

## **PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA**

# **DISEÑO DEL ÁREA TÉCNICA DE UNA EMPRESA DE CONTROL DE CALIDAD DE AUTOPARTES**

**Oliden, Nicolás Alejandro – LU117629**

Ingeniería Electromecánica

Tutor:

**Barrozo, Claudio Daniel, Toyota Argentina S.A.**

Co-Tutor:

**Filipich, Juan, UADE**

**2020**



**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

---

## Resumen

El presente documento comprende el diseño de un área técnica o laboratorio destinado al control de calidad de autopartes, especializado en ensayos mecánicos y soldadura. Esta instalación podrá ser utilizada tanto por una pequeña o mediana empresa de control de calidad, como por una gran terminal automotriz, para asegurar que las autopartes evaluadas cumplan con sus especificaciones de calidad, previniendo así fallas que puedan generar lesiones en las personas o perjuicios económicos en los fabricantes automotrices.

Luego de presentar el marco teórico, donde se explican brevemente algunos conceptos fundamentales sobre los cuáles se desarrolla posteriormente el trabajo, en la primera etapa se determinan los requisitos generales del laboratorio. Para esto se clasifican los componentes de un vehículo y se analizan los tipos de esfuerzos mecánicos a los que están sometidos, determinando el tipo de ensayo necesario para asegurar las propiedades mecánicas de cada uno. De esta forma, partiendo de un análisis del vehículo entero, se llegan a clasificar los principales esfuerzos mecánicos en 4 categorías de ensayos, necesarios para asegurar las propiedades mecánicas de sus autopartes.

Basándose en estas categorías, a continuación, se determina en forma específica el equipamiento con que debe contar el laboratorio. Analizando el proceso aplicable a cada una de estas categorías, son definidos el tipo de equipo a utilizar, así como sus especificaciones y dimensión requerida en función de las piezas a ensayar. Posteriormente se realiza el diseño físico del área donde se llevará a cabo la actividad. Se analizan las características de procesos y equipos para definir el *layout* en forma eficiente; y se determinan mediante cálculo las capacidades de iluminación, climatización e instalación eléctrica necesarias para el funcionamiento del laboratorio.

Finalmente se realiza un análisis sobre los costos del proyecto y de los posibles riesgos de no contar con instalaciones de este tipo. De este análisis se concluye que, si bien instalaciones de este tipo presentan costos considerables, son fundamentales para prevenir fallas de calidad en autopartes, las cuáles pueden resultar en perjuicios económicos aún mayores para el fabricante. Es por lo tanto una inversión justificada, ya sea para grandes terminales automotrices como para pequeñas y medianas empresas dedicadas a la tercerización de servicios de control de calidad autopartista.

## **Abstract**

This document details the design of a technical area or laboratory destined for quality control of auto parts, specialized in mechanical properties testing and welding. This facility may be used by either by small or medium quality control companies, as well as by large automotive manufacturers, to ensure that the evaluated auto parts meet their quality specifications, thus preventing failures that generate injuries to people or economic to auto manufacturers.

After presenting the theoretical framework, where some fundamental concepts over which this project is later carried out are briefly explained, the general requirements of the laboratory are determined during the first stage. In order to do so, vehicle components are classified and the types of mechanical stresses to which they are subject are analyzed, defining the necessary type of testing required to ensure mechanical properties of each one. In this way, starting from a full vehicle analysis, the main mechanical stresses can be classified into 4 testing categories, required to guarantee mechanical properties of its auto parts.

Next, basing on the previously defined testing categories, the laboratory equipment requirements are determined. Each testing process is analyzed, defining the type of equipment necessary for each stage, its specifications and required dimensions. Subsequently, the physical design of the area where activities will take place is carried out. Process and equipment characteristics are analyzed to efficiently create the layout; and lighting, air conditioning and electrical installation capacities are defined by calculus, according to the laboratory operational needs.

Finally, project costs are analyzed, as well as possible risks of not having this type of facilities. From this analysis it can be concluded that, although facilities of this type present considerable costs, they are fundamental to prevent quality failures in auto parts, which can result in even greater economic damages for auto manufacturers. It is therefore a justified investment, either for large auto manufacturers or for small and medium-sized providers of auto parts quality control services.

## Contenidos

<b>Resumen .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
1.1. Autopartes defectuosas .....	6
1.2. Contexto productivo nacional.....	7
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>10</b>
2.1. Componentes de vehículos automóviles.....	10
2.2. Esfuerzos mecánicos .....	11
2.3. Ensayos de materiales .....	14
2.3.1. Ensayo de tracción.....	15
2.3.2. Ensayo de dureza .....	17
2.3.3. Ensayo de partículas magnéticas.....	20
2.4. Calidad de soldadura .....	21
2.4.1. Soldadura de arco .....	21
2.4.2. Soldadura de punto.....	23
<b>3. Requisitos.....</b>	<b>25</b>
3.1. Esfuerzos mecánicos de autopartes .....	25
3.2. Chasis .....	26
3.3. Espirales.....	27
3.4. Elásticos .....	28
3.5. Amortiguadores .....	29
3.6. Barra estabilizadora .....	30
3.7. Soportes de motor y transmisión .....	31
3.8. Cardan .....	32
3.9. Ejes y semiejes.....	33
3.10. Carrocería.....	34
3.11. Soportes de carrocería .....	34
3.12. Matriz de control .....	35
<b>4. Equipamiento.....</b>	<b>36</b>
4.1. Ensayo de tracción .....	36
4.1.1. Corte de muestras.....	36
4.1.2. Corte de probetas.....	38
4.1.3. Preparación de probetas.....	41
4.1.4. Medición de espesor.....	43
4.1.5. Ensayo de tracción.....	44
4.1.6. Equipos requeridos para ensayo de tracción.....	45
4.2. Calidad de soldadura .....	45

4.2.1.	Corte de la muestra .....	46
4.2.2.	Inclusión de la muestra .....	48
4.2.3.	Preparación de la muestra .....	49
4.2.4.	Inspección visual y dimensional .....	50
4.2.5.	Observación microscópica .....	52
4.2.6.	Equipos requeridos para control de soldadura .....	52
4.3.	Ensayo de dureza .....	53
4.3.1.	Macro-dureza .....	53
4.3.2.	Micro-dureza .....	54
4.3.3.	Equipos requeridos para control de dureza .....	54
4.4.	Ensayo de partículas magnéticas .....	57
4.4.1.	Preparación de la pieza .....	57
4.4.2.	Magnetización de la pieza .....	57
4.4.3.	Aplicación de partículas e inspección .....	58
4.4.4.	Equipos requeridos para control por partículas magnéticas .....	59
5.	Instalaciones .....	60
5.1.	Layout .....	60
5.2.	Iluminación .....	64
5.3.	Climatización .....	69
5.3.1.	Carga térmica de calefacción .....	69
5.3.2.	Carga térmica de refrigeración .....	73
5.4.	Instalación eléctrica .....	78
5.4.1.	Cálculo de sección de conductores .....	79
5.4.2.	Elementos de protección .....	84
6.	Costos .....	90
6.1.	Inversión inicial .....	90
6.2.	Costo operativo .....	92
6.3.	Costo de tener fallas .....	93
6.4.	Amortización de la inversión inicial .....	94
7.	Análisis de casos .....	97
7.1.	Ford 1980 .....	97
7.2.	Toyota 2010 .....	98
7.3.	General Motors 2014 .....	99
8.	Conclusiones .....	101
	Bibliografía .....	106

## 1. Introducción

### 1.1. Autopartes defectuosas

En el año 1980 Ford lanzó un *recall* -o llamado a revisión- que alcanzó más de 21 millones de vehículos, a causa de un defecto en la selectora de marcha. Una falla de resistencia en un resorte provocaba que la palanca de transmisión automática saltara espontáneamente de la posición “P” a la posición “R”, provocando que un vehículo detenido repentinamente retrocediera sin control. Producto de este defecto hubo más de 6000 accidentes, con 98 muertes registradas, principalmente entre niños y adultos mayores ubicados en el asiento trasero de estos vehículos mientras estaban estacionados.

En el año 2010 Toyota, que por cantidades era en ese momento el primer productor mundial de vehículos de pasajeros, llamó a revisión más de 9 millones de automóviles por una falla mecánica en el pedal de acelerador que provocaba la aceleración sin control del vehículo. La mayoría de las fallas se dieron en el mercado norteamericano. A raíz de esta situación el presidente de Toyota, Akio Toyoda, fue convocado a una audiencia pública ante el Congreso de EE.UU. en la que tuvo que disculparse y dar explicaciones al respecto. En total se registraron 37 muertes relacionadas con este problema. La confianza en la marca se desplomó, y en un año cayó del primer al tercer puesto de producción mundial, detrás de General Motors y Volkswagen.

En el año 2014 General Motors (GM) lanzó un *recall* que alcanzó más de 30 millones de vehículos nivel mundial por un problema en el cilindro de arranque. Un defecto de rugosidad superficial provocaba un bajo torque rotacional en el cilindro, que como consecuencia podía generar que la llave girara y el motor del vehículo se apagara inesperadamente durante la conducción, endureciendo el mecanismo de dirección y anulando el funcionamiento de las bolsas de aire. Como consecuencia directa de este problema se registraron 124 muertes. En ese momento GM se encontraba peleando el primer puesto de producción mundial con Toyota, que se estaba recuperando de su anterior caída de imagen cuatro años antes. Luego del 2014 la imagen de GM se desplomó y quedó en el cuarto puesto mundial, detrás de Toyota, Volkswagen y Hyundai/Kia; situación de la que no ha podido recuperarse hasta el día de hoy.

Todos estos casos, y muchos otros que afectaron en gran parte a la industria automotriz de las últimas décadas, tuvieron una causa raíz en común: autopartes defectuosas que, ya sea por controles insuficientes o no contemplados, no fueron detectadas a tiempo por proveedores autopartistas o fabricantes de vehículos, y llegaron a manos de los clientes en condición defectuosa.

## 1.2. Contexto productivo nacional

En el año 2018 se produjeron en nuestro país 466.649 automóviles y vehículos utilitarios livianos. Esta cantidad representó apenas el 0,5% de la producción mundial, con un total de 96.094.647 vehículos, pero a nivel regional ubica a Argentina en el segundo puesto, únicamente detrás de Brasil. Esto hace de este país un productor automotriz relativamente pequeño a nivel global, pero importante a nivel regional.

TABLA I: Producción automotriz global en 2018.

País	Automóviles	Utilitarios Livianos	Total
China	23.529.423	4.279.773	27.809.196
EEUU	2.795.971	8.518.734	11.314.705
Japón	8.358.220	1.370.308	9.728.528
India	4.064.774	1.109.871	5.174.645
Alemania	5.120.409	0	5.120.409
México	1.575.808	2.524.717	4.100.525
Corea del Sur	3.661.730	367.104	4.028.834
Brasil	2.386.758	493.051	2.879.809
...	...	...	...
Argentina	208.573	258.076	466.649

Fuente: Organización Internacional de Constructores de Automóviles ([www.oica.net](http://www.oica.net))

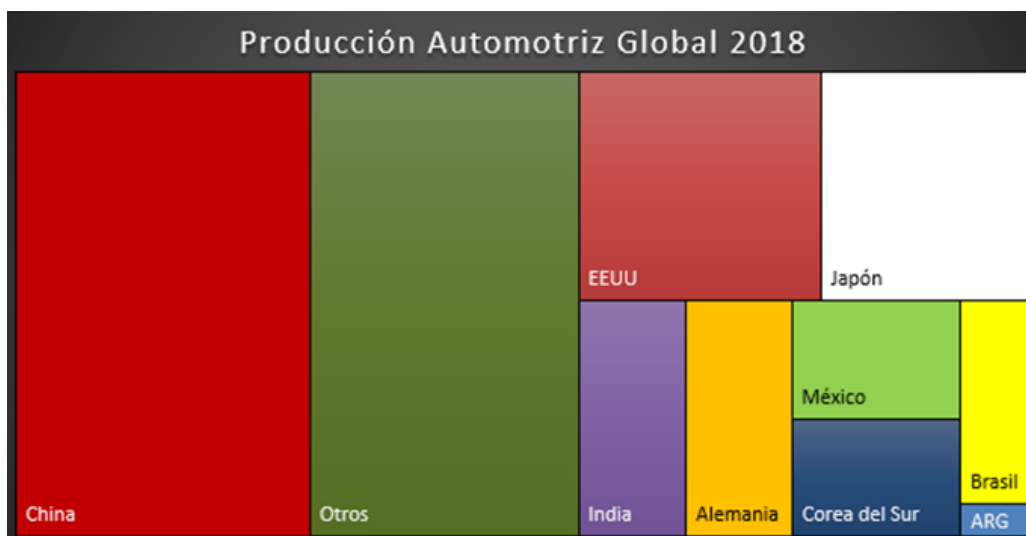


Figura 1-1: Representación gráfica de la producción automotriz global en 2018.

Para fabricar un vehículo se emplean en promedio más de 3000 autopartes. Considerando el volumen de producción nacional, la industria automotriz consume por lo tanto más de 100 millones de autopartes por mes.

En este rubro no solo el volumen de producción es muy alto, sino que también nivel de calidad exigido es muy alto. La gran mayoría de los procesos productivos autopartistas responde a una distribución de tipo Normal, aspirando a lograr niveles de calidad del tipo “6 sigma” que generen valores de PPM de una sola cifra, entendiéndose por PPM la cantidad de partes fuera de especificación en un millón de partes producidas. Sin embargo, en la práctica es muy difícil y costoso alcanzar estos niveles de calidad, debido a fallas productivas y en los sistemas de gestión y control.

TABLA II: Cantidad de PPM para distintos niveles de Calidad.

Nivel de Calidad	PPM
6σ	3,4
5σ	233
4σ	6.210
3σ	66.807

Fuente: [www.pdcahome.com](http://www.pdcahome.com)

En este contexto de alta exigencia cuantitativa y cualitativa, es fundamental para los proveedores autopartistas y las terminales automotrices asegurar el nivel de calidad de partes destinadas a producción, y así poder garantizar la entrega de productos dentro de



especificación a sus clientes. Un pilar fundamental del control de calidad de partes se basa en los ensayos mecánicos, destinados a asegurar que cumplan con sus especificaciones de diseño.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar el área técnica de una empresa de control de calidad de autopartes. Comprende el diseño de un laboratorio de ensayos mecánicos y control de calidad de soldadura donde puedan evaluarse, por métodos de muestreo, las propiedades mecánicas de las autopartes ensayadas. Una vez finalizado el proyecto, esta empresa ficticia estaría en condiciones de hacer uso de este conjunto de instalaciones y equipos para realizar ensayos mecánicos de partes a pedido de sus clientes, ya sean los propios proveedores autopartistas que fabrican las piezas o las terminales automotrices que las consumen.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Componentes de vehículos automóviles

Un vehículo de pasajeros o utilitario liviano puede dividirse, según su funcionalidad, en distintos grupos y sub-grupos de autopartes y componentes. En la figura 2-1 se detallan los principales grupos y sub-grupos en los que pueden clasificarse las partes de un vehículo, junto con su función principal.

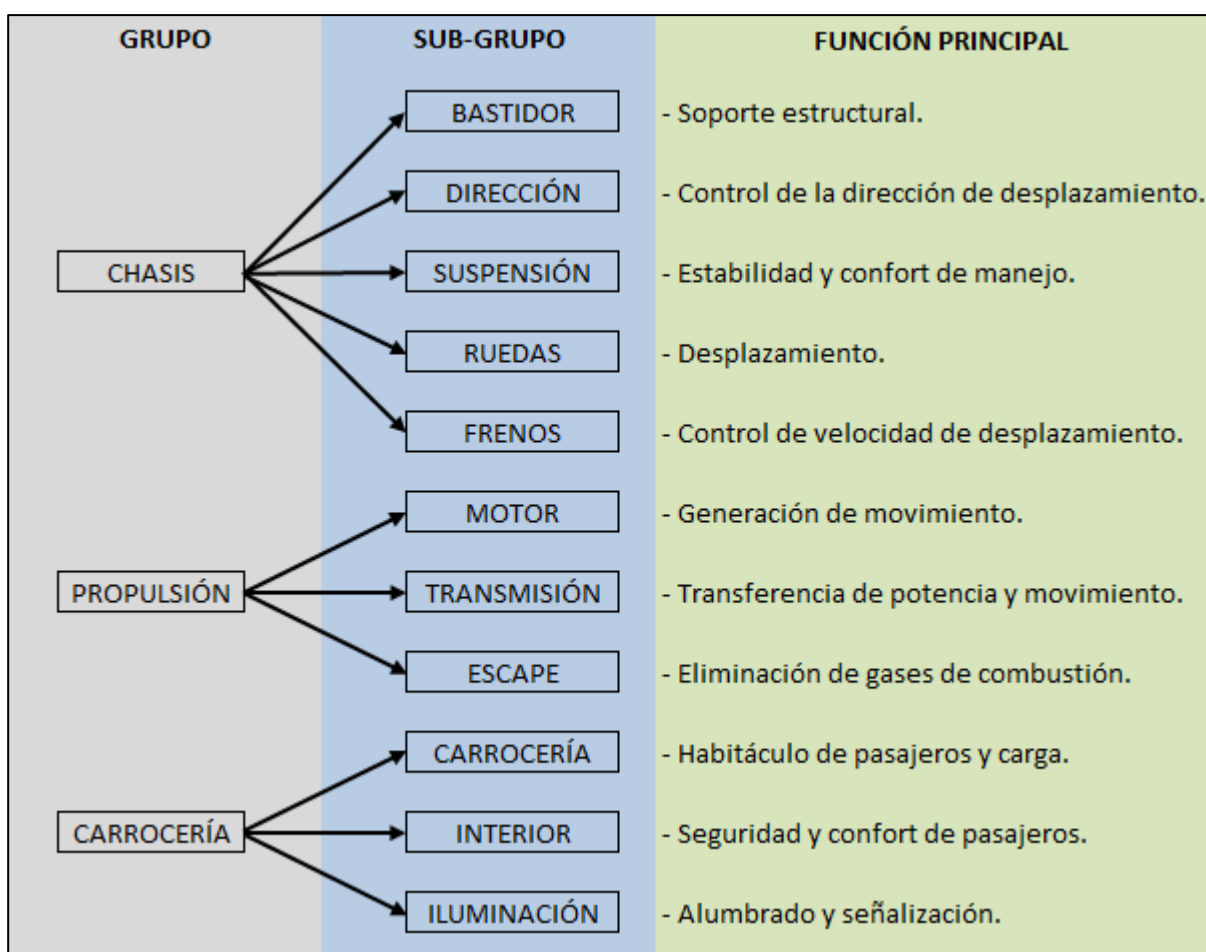


Figura 2-1: Grupos y sub-grupos componentes de un vehículo utilitario liviano.

Por autoparte se entiende a cualquier pieza o conjunto de piezas del vehículo que también se comercializa por separado en forma de repuesto. Ejemplo de autopartes pueden ser un volante, un amortiguador, un paragolpes o hasta un motor entero. Por otro lado, un componente automotor es una pieza indivisible, como un bulón, una tuerca o un vidrio. Las autopartes están formadas por componentes.

## 2.2. Esfuerzos mecánicos

Por esfuerzo mecánico se entiende a la resistencia que ejerce una pieza para contrarrestar una fuerza o presión ejercida sobre ella, y que tiende a deformarla. Existen seis tipos de esfuerzos mecánicos a los que puede estar sometida una pieza o cuerpo, detallados a continuación.

- Tracción: Esfuerzo al que está sometido un cuerpo por acción de dos fuerzas de igual dirección y sentido opuesto, que tienden a estirarlo.



Figura 2-2: Cuerpo sometido a un esfuerzo de tracción.

- Compresión: Esfuerzo al que está sometido un cuerpo por acción de dos fuerzas de igual dirección y sentido opuesto, que tienden a acortarlo.



Figura 2-3: Cuerpo sometido a un esfuerzo de compresión.

- Flexión: Un cuerpo está sometido a un esfuerzo de flexión cuando, teniendo uno o más puntos fijos, actúa sobre él una fuerza que tiende a curvarlo, comprimiendo la cara en que es aplicada la fuerza, y traccionando la cara opuesta.

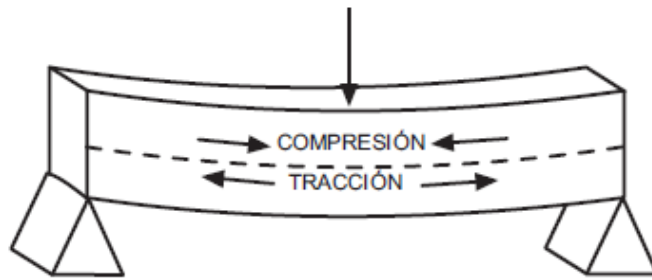


Figura 2-4: Cuerpo sometido a un esfuerzo de flexión.

- Corte: Esfuerzo al que está sometido un cuerpo cuando actúan sobre él dos fuerzas de sentido opuesto y paralelas a su sección transversal, que tienden a deslizar las distintas secciones del cuerpo entre sí.

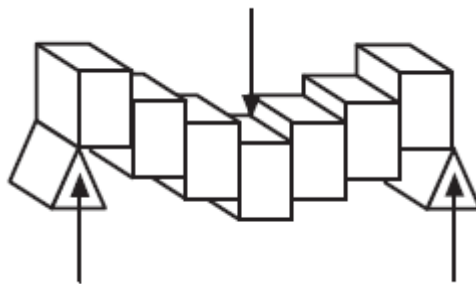


Figura 2-5: Viga sometida a un esfuerzo de corte.

- Torsión: Un cuerpo está sometido a un esfuerzo de torsión cuando se le aplica una fuerza en dirección transversal que genera un momento sobre su eje longitudinal.

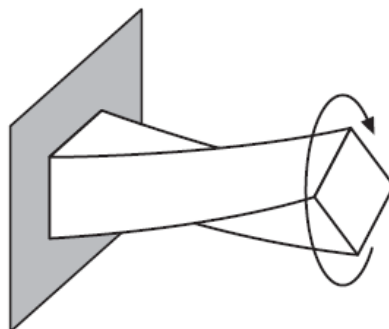


Figura 2-6: Viga sometida a un esfuerzo de torsión.

- Pandeo: Esfuerzo al que está sometido un cuerpo alargado cuando actúan sobre él esfuerzos axiales de compresión, de una magnitud tal que generan un desplazamiento transversal de su centro.

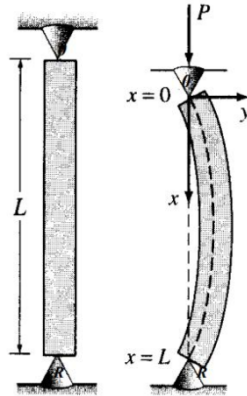


Figura 2-7: Columna sometida a un esfuerzo de pandeo (mat.camino.upm.es).

Los materiales tienen, dependiendo de sus propiedades mecánicas, distintos módulos de resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos. Para cuantificar esfuerzos mecánicos y su efecto en las piezas sujetas a los mismos, se utilizan principalmente dos variables:

- Tensión ingenieril  $R$  [MPa]: Es fuerza aplicada dividida por la superficie inicial de aplicación de esa fuerza.

$$R = \frac{F}{A_0} \tag{1}$$

Siendo:

$F$  = Fuerza aplicada [N]

$A_0$  = Superficie inicial transversal [ $mm^2$ ]

- Deformación ingenieril  $e$ : Es el cambio de magnitud dimensional respecto de la dimensión original, causada por la aplicación de una fuerza.

$$e = \frac{(L-L_0)}{L_0} \tag{2}$$

Siendo:

$L$  = Longitud final [m]

$L_0$  = Longitud inicial [m]

### 2.3. Ensayos de materiales

Un ensayo es una prueba para determinar la aptitud de un material para un uso determinado. Los ensayos de materiales se realizan sobre materias primas o materiales primarios. Las materias primas son productos naturales que no sufrieron procesos de transformación, mientras que los materiales primarios son las materias primas que ya sufrieron un proceso de fabricación, generalmente semielaborados utilizados para la fabricación de otros productos terminados.

ENSAYOS DE MATERIALES PRIMARIOS	
Ensayos científicos	Ensayos tecnológicos
Ensayos físicos	Ensayos químicos
Ensayos estáticos	Ensayos dinámicos
Ensayos destructivos	Ensayos no destructivos

Figura 2-8: Clasificación de ensayos de materiales primarios.

Como se puede ver en la figura 2-8, los materiales primarios pueden clasificarse según distintos criterios. Dependiendo del tipo de resultado obtenido, pueden clasificarse en ensayos científicos o tecnológicos.

- Científicos: El resultado de este tipo de ensayos esta expresado en valores absolutos reproducibles, y deben poder expresarse en cifras o magnitudes físicas.
- Tecnológicos: Este tipo de ensayos aporta resultados comparativos entre partes, más orientado a controlar las exigencias prácticas del material, pero no brinda valores absolutos.

Según el tipo de propiedades a determinar, pueden clasificarse en ensayos físicos o químicos.

- Químicos: Orientados a evaluar las propiedades químicas del material, relacionadas con su composición y cantidad de elementos, y el tipo de enlace químico que posee.
- Físicos: Se analizan aspectos como la resistencia, estructura, reflexión, y varios tipos de propiedades físicas relacionadas con el material.

Según como el ensayo afecta la integridad de la pieza en estudio, pueden clasificarse en destructivos o no destructivos.

- Destructivos (EDs): La pieza o material en análisis resulta destruida durante el ensayo, imposibilitando su posterior uso.
- No destructivos (ENDs): La pieza o material bajo análisis no resulta dañada o recibe un daño insignificante, que permite su posterior uso normal.

Según la velocidad de aplicación del ensayo, pueden clasificarse en ensayos estáticos y dinámicos.

- Estáticos: En este tipo de pruebas la velocidad de sollicitación es nula o despreciable, no afecta el resultado del ensayo.
- Dinámicos: En este tipo de pruebas la velocidad de aplicación de la carga es una variable a controlar y puede afectar el resultado del ensayo.

Entre los tipos de ensayo más importantes para el control de calidad de autopartes se encuentran los ensayos mecánicos, una variante de ensayos físicos, en los que se somete al material a distintos esfuerzos. Dos tipos de ensayos mecánicos utilizados comúnmente en la industria autopartista son los ensayos de tracción y dureza.

### **2.3.1. Ensayo de tracción**

El ensayo de tracción es un ensayo del tipo científico, físico, estático y destructivo. Consiste en someter una probeta, generalmente normalizada, a un esfuerzo de tracción ascendente hasta su rotura. Sirve para evaluar parámetros como la rigidez, resistencia mecánica, ductilidad y tenacidad de la pieza.

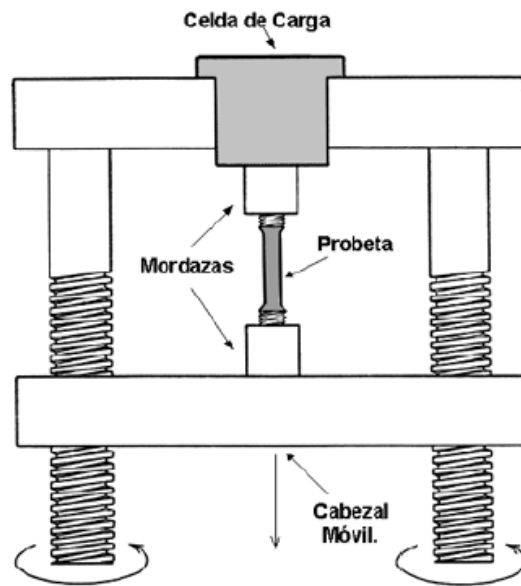


Figura 2-9: Ensayo de tracción (www.areatecnologia.com).

- Rigidez (E): Es la resistencia que opone el material a la deformación elástica, medida en GPa. Representada por el módulo de Young, o módulo de elasticidad longitudinal de un material.
- Resistencia mecánica (Re, Rp): Es la resistencia que opone el material a la deformación plástica, medida en MPa. Representada por el límite elástico o límite de fluencia de un material.
- Ductilidad (A%, Z%): Es la capacidad de un material de deformarse plásticamente. Se evalúa mediante el alargamiento porcentual a la rotura o estricción porcentual a la rotura.
- Tenacidad (estática): Es la capacidad de almacenar energía durante la deformación del material hasta su rotura, se mide en J. Es el área bajo la curva de fluencia.



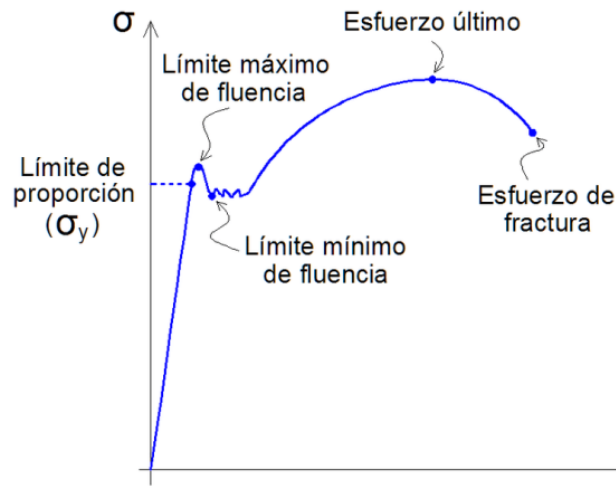


Figura 2-10: Curva de tensión-deformación (researchgate.net).

Como resultado del ensayo de tracción se obtiene también la curva de tensión-deformación del material, que permite visualizar sus parámetros en estudio y analizar el comportamiento de la probeta a lo largo del ensayo.

### 2.3.2. Ensayo de dureza

Otro ensayo muy importante en el control de calidad de autopartes es el ensayo de dureza. Este ensayo es del tipo científico, físico y estático. Puede ser destructivo o no destructivo, dependiendo del tipo de dureza en estudio.

Como su nombre lo indica, este ensayo permite determinar la dureza superficial del material, la cual está relacionada con sus propiedades elásticas y plásticas. Si bien no existe una definición única de dureza, por dureza se entiende la propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador bajo carga. En ese sentido se puede definir a la dureza como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada.

Además de evaluar esta resistencia, el ensayo de dureza también se utiliza para:

- ✓ Evaluar la efectividad de un tratamiento térmico.
- ✓ Evaluar la resistencia al desgaste de un material.
- ✓ Evaluar la maquinabilidad de un material.

Existen diferentes tipos de ensayo, correspondientes a los distintos tipos de dureza. Estos pueden clasificarse en ensayos de macro-dureza y de micro-dureza. Entre los ensayos de macro-dureza se encuentran:

- Dureza Brinell: Este ensayo de dureza consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolilla de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciendo una impresión en forma de casquete esférico. El valor de dureza, número de Brinell HB, resulta de:

$$HB = \frac{P}{\pi * D * h} \left[ \frac{kg}{mm^2} \right] \quad (3)$$

Siendo:

$P$  = Carga aplicada [kg]

$D$  = Diámetro de la esfera [mm]

$h$  = Profundidad del casquete [mm]

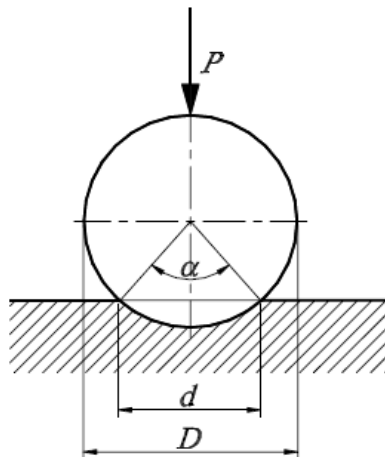


Figura 2-11: Esquema de un ensayo de dureza Brinell.

- Dureza Rockwell: El método es similar al ensayo Brinell, pero difiere en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños, por lo que la impronta será menor y menos profunda. Además, como indentador se puede utilizar una bolilla de acero o un cono de diamante. En este tipo de dureza no hacen falta fórmulas para calcular el resultado, se obtiene por lectura directa del equipo en base a la profundidad de penetración del indentador.

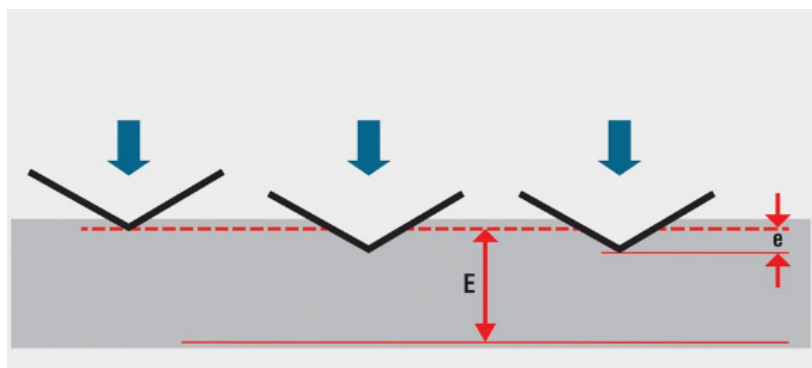


Figura 2-12: Esquema de un ensayo de dureza Rockwell.

- Dureza Vickers: Este método coincide con los anteriores en cuanto a la penetración del material, pero utilizando un indentador de diamante con geometría piramidal. La determinación de dureza Vickers se obtiene mediante:

$$HV = \frac{1,854 P}{d^2} \tag{4}$$

Siendo:

$P$  = Carga aplicada [kg]

$d$  = Diagonal de la impronta [mm]

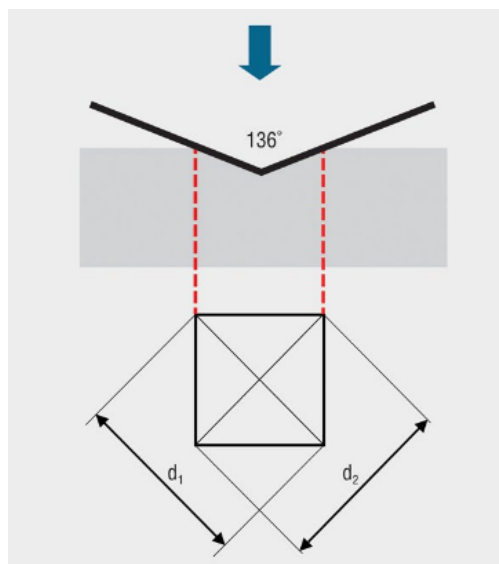


Figura 2-13: Esquema de un ensayo de dureza Vickers.

A diferencia de estos ensayos de macro-dureza, en los ensayos de micro-dureza la penetración es del orden de algunos micrones, por lo que permiten ensayar láminas o chapas extremadamente delgadas, o superficies tratadas en las que el espesor del tratamiento

es muy delgado. Uno de los métodos de ensayo de micro-dureza más comunes es el Vickers, que emplea el mismo tipo de penetrador piramidal, pero con cargas mucho más bajas. Se lo considera un ensayo no destructivo por el tamaño microscópico de su indentación.

### 2.3.3. Ensayo de partículas magnéticas

Uno de los ensayos más utilizados en el control de calidad de partes es el de partículas magnéticas, debido a su efectividad y relativa simplicidad, que permite detectar defectos superficiales o sub-superficiales en la pieza. Es un ensayo de tipo tecnológico, físico, estático y no destructivo. Esto último es muy importante ya que permite el posterior uso normal de la pieza evaluada. Es aplicable únicamente a materiales ferromagnéticos, lo cual no es un gran impedimento en la industria automotriz dada la gran cantidad de autopartes de acero que requieren control superficial. A continuación, se enumeran algunas ventajas de este ensayo por sobre otros tipos de control superficial.

- ✓ Es un método rápido y económico.
- ✓ Requiere relativamente poca preparación de la pieza.
- ✓ Revela discontinuidades que no afloran en la superficie.

Durante este ensayo la pieza ferromagnética es magnetizada, generalmente empleando un yugo magnético, para luego espolvorearla con partículas magnéticas. Estas partículas se posicionan sobre la superficie según las líneas del campo magnético generado, acumulándose en zonas donde haya fugas de flujo, evidenciando de esta forma fallas superficiales o sub-superficiales en la pieza. Luego del ensayo la pieza es desmagnetizada y puede utilizarse en forma normal, siempre que no se hayan encontrado defectos superficiales.

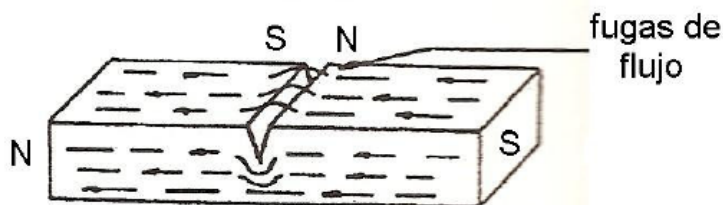


Figura 2-14: Falla superficial en un imán permanente (raquelserrano.com).

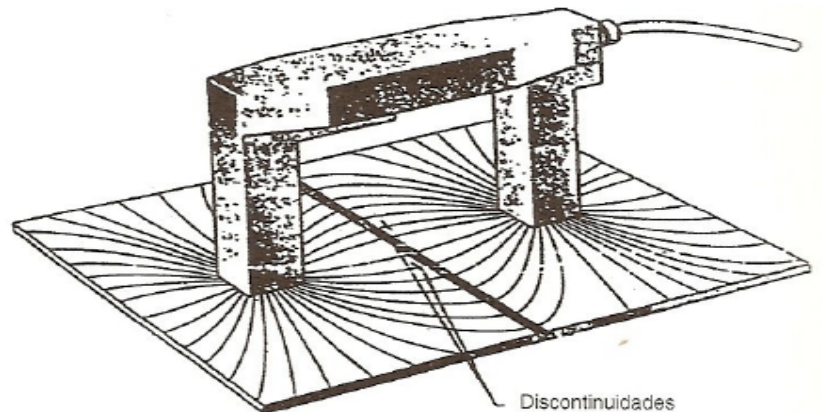


Figura 2-15: Magnetización de superficie con yugo magnético (raquelserrano.com).

## 2.4. Calidad de soldadura

La soldadura es la aplicación de altas temperaturas para establecer una unión sólida entre dos elementos mediante fusión del material, aplicada generalmente en materiales metálicos, aunque también puede aplicarse a termoplásticos. Puede realizarse con o sin aporte de un tercer material, aunque la primera opción es más común.

Es un método de enorme aplicación en la industria automotriz y autopartista, prácticamente todos los grupos y sub-grupos de elementos automotrices contienen partes soldadas, por lo que es fundamental el control de uniones soldadas para garantizar la calidad estructural y correcto funcionamiento del vehículo. El método más comúnmente utilizado en esta industria es el de soldadura por arco, aunque también es frecuente el uso de soldadura de punto.

### 2.4.1. Soldadura de arco

En la soldadura por arco se utiliza una fuente eléctrica de alta tensión para generar un arco voltaico entre el material base y un electrodo. Este arco se desplaza sobre el contorno de las piezas a unir, de modo que los metales se fusionan formando un cordón de soldadura longitudinal entre ambas.

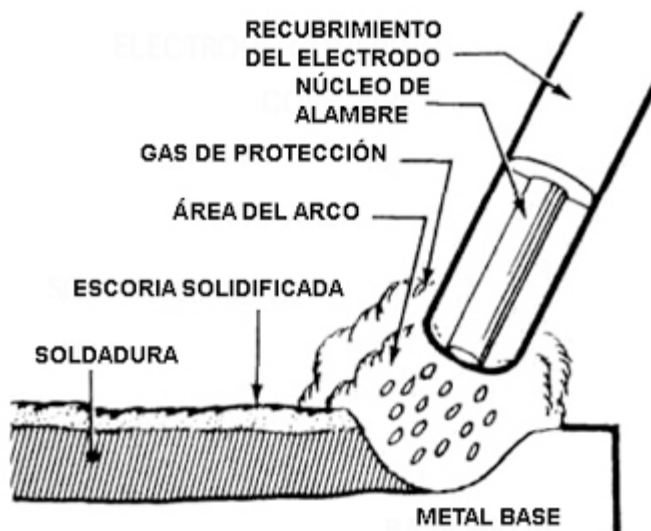


Figura 2-16: Soldadura de arco (sapiensman.com).

Existen diversos métodos de control de soldadura, pero la forma principal de garantizar la calidad de una unión soldada es mediante el control dimensional de la sección del cordón. Para esto se debe cortar el cordón de soldadura en forma transversal y realizar un tratamiento superficial sobre la sección del cordón, de forma de exponer y evaluar sus parámetros de control dimensional. Estos son: profundidad, cateto y garganta.

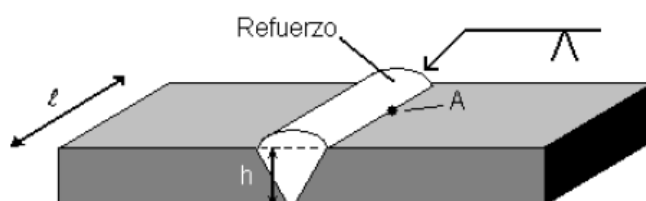


Figura 2-17: Sección transversal de cordón de soldadura (researchgate.net).

- Profundidad ( $S$ ): Es la profundidad que alcanza el cordón de soldadura desde su superficie hasta el nivel de máxima penetración.
- Cateto ( $Z$ ): Es la dimensión del cordón de soldadura sobre cada pieza, paralela a su superficie ( $Z_1$  y  $Z_2$ ).
- Garganta ( $a$ ): Es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las piezas a unir.

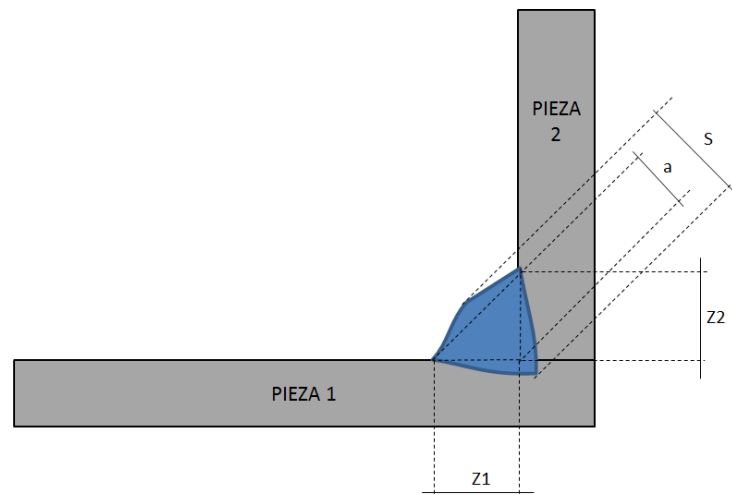


Figura 2-18: Dimensiones de control en un cordón de soldadura.

### 2.4.2. Soldadura de punto

En la soldadura de punto se aplica presión y temperatura en una zona puntual entre dos piezas, generando una unión sólida por fusión del material. A diferencia de la soldadura por arco, en la soldadura de punto se utilizan dos electrodos en la parte superior e inferior de las piezas a unir, por los que pasa la corriente eléctrica y que a su vez generan la presión necesaria para lograr la soldadura. Es aplicable a láminas o chapas de hasta 3 mm de espesor. En la industria automotriz es muy utilizada para soldar paneles y refuerzos de carrocería.

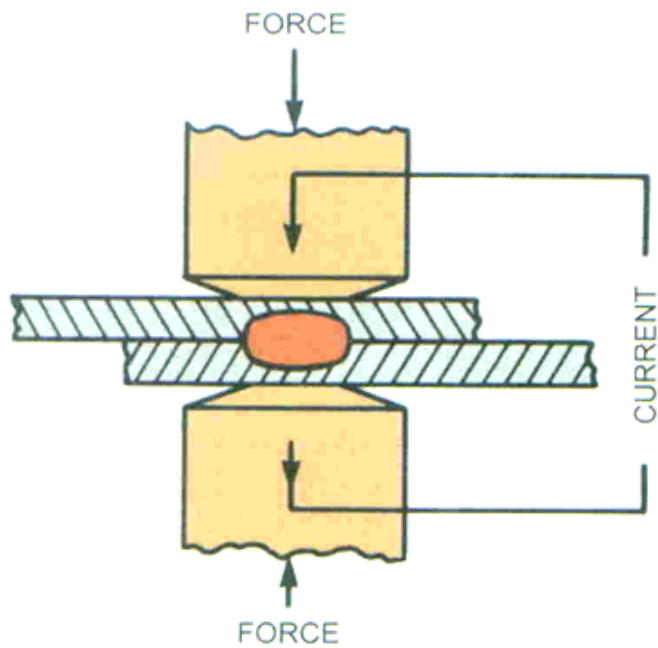


Figura 2-19: Esquema de soldadura de punto (researchgate.net).

El control de calidad en soldadura de punto es similar al de soldadura de arco, pero evaluándose únicamente longitud ( $L$ ) y profundidad ( $S$ ) como parámetros dimensionales.

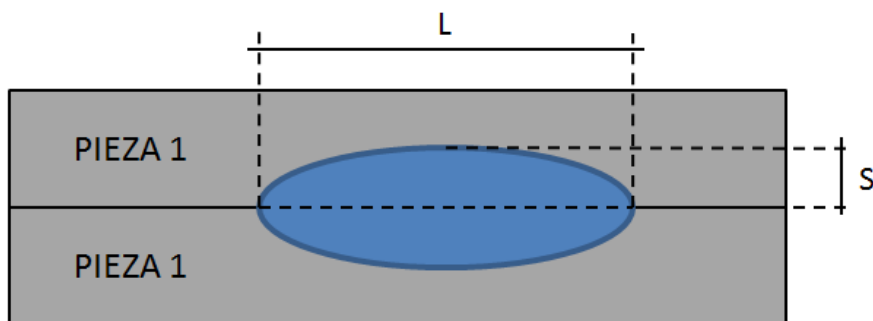


Figura 2-20: Dimensiones de control en un punto de soldadura.



### 3. Requisitos

#### 3.1. Esfuerzos mecánicos de autopartes

Para diseñar un laboratorio de ensayos mecánicos de autopartes el primer paso es definir qué tipo de autopartes van a ensayarse en el mismo, en otras palabras, cuál sería el alcance del laboratorio. Si bien no están definidos inicialmente, consideramos que tanto el espacio como los recursos para su fabricación son limitados. Por lo tanto, se necesita contar con instalaciones y equipos que permitan ensayar autopartes en forma eficiente, ya que supone una inversión de magnitud para cualquier empresa.

Dado que la función del laboratorio es comprobar la resistencia a esfuerzos de las autopartes, se seleccionan las partes que estén sometidas a esfuerzos mecánicos en el conjunto del vehículo. A continuación, se detallan las autopartes de cada grupo y sub-grupo que en mayor medida están sometidas a esfuerzos mecánicos.

TABLA III: Principales esfuerzos mecánicos en componentes de un vehículo.

Grupo	Sub-Grupo	Parte	Tipo de Esfuerzo Principal
Chasis	Chasis	Chasis o bastidor	Flexión / Corte / Torsión
	Suspensión	Espirales	Compresión
		Elásticos	Flexión
		Amortiguadores	Tracción / Compresión
		Barra estabilizadora	Torsión
Propulsión	Motor	Soportes de motor	Compresión / Corte
		Soportes de transmisión	Compresión / Corte
	Árbol de transmisión	Cardan	Torsión / Compresión
		Ejes y semiejes	Torsión / Corte
Carrocería	Exterior	Carrocería	Compresión / Flexión / Corte / Torsión
		Soportes de carrocería	Compresión

En la tabla III se detallan los esfuerzos de diseño más comunes a cada parte durante la operatoria normal del vehículo. Se selecciona estos esfuerzos como muestra representativa, aunque en la práctica estas partes pueden ser exigidas en tipos de esfuerzo adicionales, y existen muchas otras autopartes sometidos a distintos esfuerzos mecánicos.

A continuación, se realiza un análisis de estos componentes y cómo actúan sobre ellos los esfuerzos mecánicos aplicados a cada uno. En base a estos esfuerzos se

determinan los ítems de control necesarios para resistirlos, y el tipo de ensayo aplicable a cada uno de estos ítems para evaluar sus propiedades.

### 3.2. Chasis

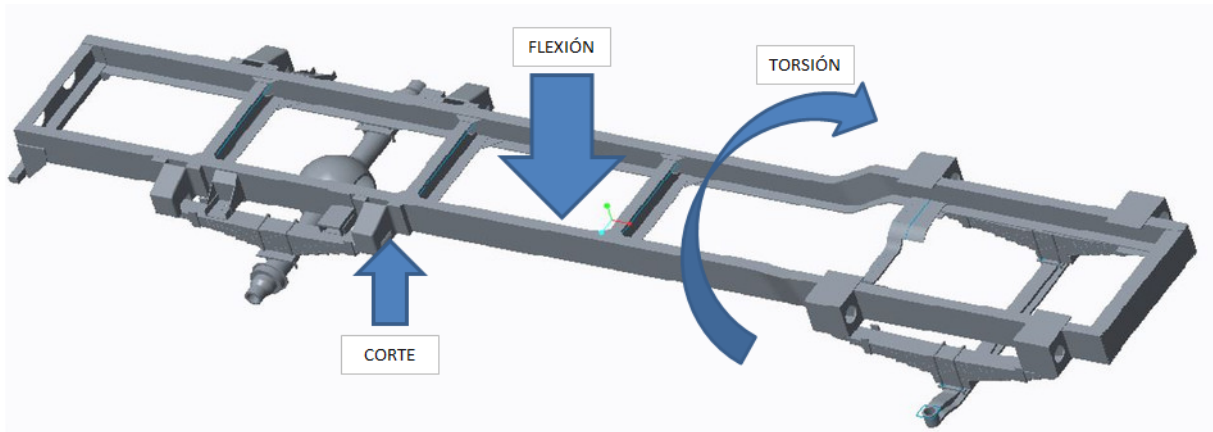


Figura 3-1: Esfuerzos principales aplicados en un chasis.

El chasis está formado comúnmente por un conjunto de largueros y travesaños de acero, que a su vez están formados por recortes de acero estampado. Su función es la de sostener la mayoría de los demás componentes y brindar integridad estructural al vehículo. Para esto está sometido a esfuerzos de flexión sobre los largueros y travesaños, de corte en las zonas de apoyo, y puede estar sometido a esfuerzos de en todo su conjunto. Para resistir estos esfuerzos requiere gran rigidez y resistencia en sus uniones.

TABLA IV: Ensayos requeridos sobre un chasis.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Flexión	Propiedades mecánicas del acero	Ensayo de tracción
Torsión	Propiedades mecánicas del acero	Ensayo de tracción
Corte	Resistencia de las uniones	Calidad de soldadura

### 3.3. Espirales

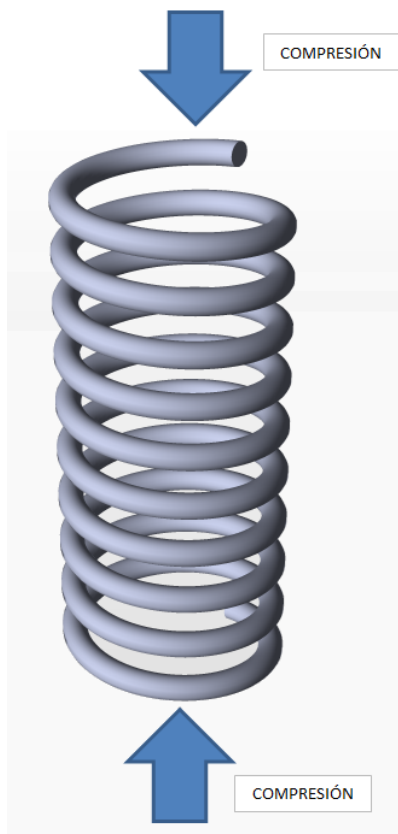


Figura 3-2: Esfuerzo principal aplicado en un espiral.

El espiral está formado por una barra de acero de sección circular doblado en forma helicoidal. Los espirales de suspensión trabajan a compresión, soportando la mayoría del peso del vehículo. Para esto deben tener gran capacidad de deformarse elásticamente, sin llegar a sufrir deformación plástica, por lo que deben tener un alto límite elástico. Una forma efectiva de comprobar la resistencia a la deformación es mediante el ensayo de dureza. También es fundamental que su superficie esté libre de irregularidades que puedan generar fallas de material durante la sollicitación.

TABLA V: Ensayos mecánicos requeridos sobre un espiral.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Compresión	Resistencia a la deformación	Ensayo de dureza
Corte	Superficie libre de discontinuidades	Partículas magnéticas

### 3.4. Elásticos

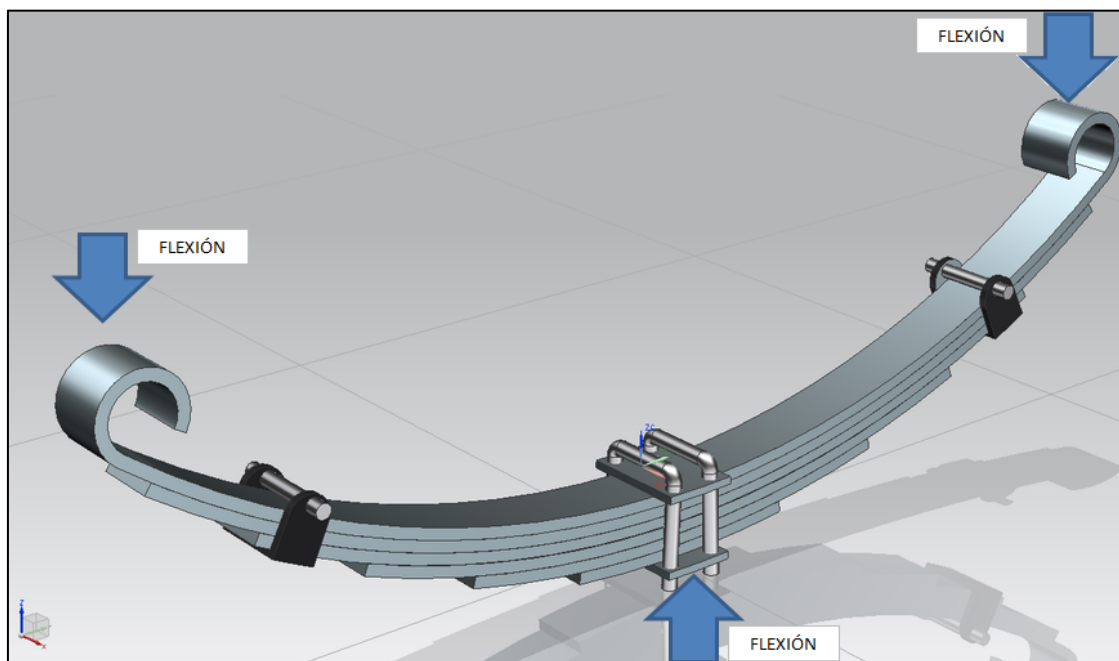


Figura 3-3: Esfuerzo principal aplicado en un elástico.

El elástico cumple la misma función que el espiral, pero en lugar de trabajar a compresión trabaja a flexión, aumentando su rigidez en forma progresiva. Al igual que el espiral, y como lo indica su nombre, debe presentar elasticidad, pero con gran resistencia a la deformación, así como una superficie libre de discontinuidades.

TABLA VI: Ensayos mecánicos requeridos sobre un elástico.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Flexión	Resistencia a la deformación	Ensayo de dureza
Corte	Superficie libre de discontinuidades	Partículas magnéticas

### 3.5. Amortiguadores



Figura 3-4: Esfuerzos principales aplicados en un amortiguador.

El amortiguador cumple la función de disipar la energía cinética de la suspensión, los más comunes utilizan un vástago y cámaras de fluidos. Durante su uso están solicitados longitudinalmente tanto a compresión como a tracción. Por eso es importante asegurar la resistencia a la tracción de los anclajes, así como la rigidez del vástago. Este último también debe resistir esfuerzos de pandeo, por lo que está sometido a tratamientos térmicos para mejorar su resistencia. Se lo puede controlar con un ensayo de micro-dureza.

TABLA VII: Ensayos mecánicos requeridos sobre un amortiguador.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Tracción	Resistencia de anclajes	Ensayo de tracción / Calidad de soldadura
Compresión	Resistencia del vástago	Ensayo de dureza
Compresión / Pandeo	Rigidez del vástago	Microdureza

### 3.6. Barra estabilizadora

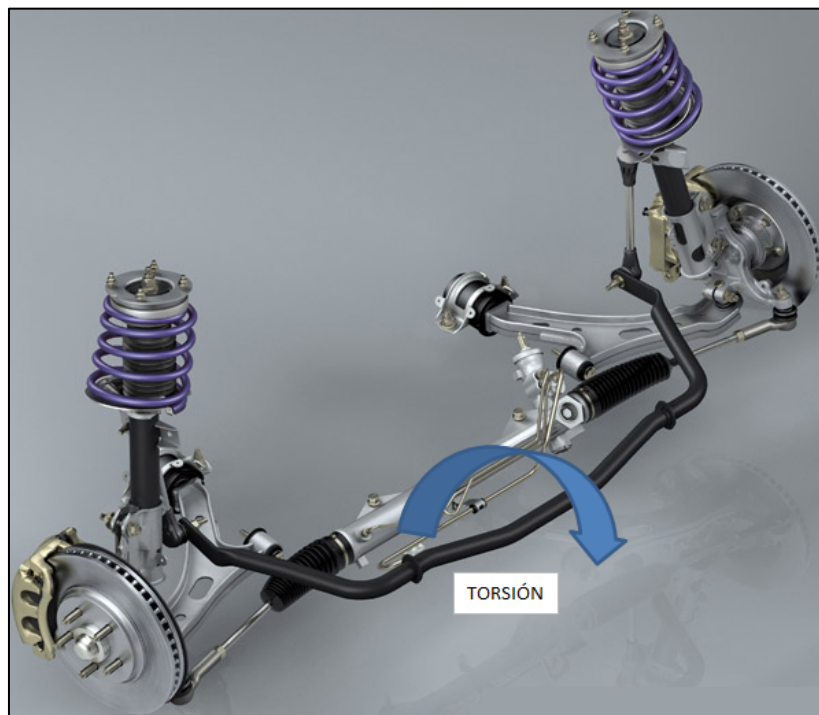


Figura 3-5: Esfuerzo principal aplicado en una barra estabilizadora de suspensión.

La barra estabilizadora equilibra la carga entre los lados de la suspensión durante el manejo en curvas, contrarrestando la acción de la fuerza centrífuga que tiende a comprimir un lado y relajar el otro. Para esto debe ser flexible, de modo que al aplicar la fuerza de torsión sobre la misma permita cierta deformación elástica, pero sin llegar a deformar plásticamente. Es importante, al igual que con otros componentes de la suspensión, el control de su dureza.

TABLA VIII: Ensayos mecánicos requeridos sobre una barra estabilizadora.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Torsión	Resistencia a la deformación	Ensayo de dureza
Corte	Superficie libre de discontinuidades	Partículas magnéticas

### 3.7. Soportes de motor y transmisión

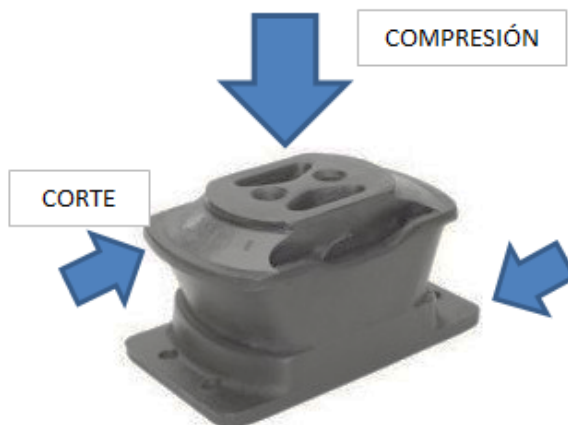


Figura 3-6: Esfuerzos principales aplicados en un soporte de motor.

Los soportes o tacos de motor y transmisión cumplen la función de sostener el peso de estos componentes, apoyándose en el chasis, y al mismo tiempo absorber las vibraciones generadas por los mismos. Al cumplir una función anti vibrante se fabrican de goma. Deben ser capaces de resistir esfuerzos de compresión por el peso, y de corte debido al giro de motor y transmisión. También deben ser flexibles sin llegar a deformarse, y resistentes en sus uniones en caso de tener partes soldadas, como apoyos metálicos para facilitar su ensamble.

TABLA IX: Ensayos mecánicos requeridos sobre un soporte de motor.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Compresión	Resistencia a la deformación	Ensayo de dureza
Corte	Resistencia de uniones	Calidad de soldadura

### 3.8. Cardan

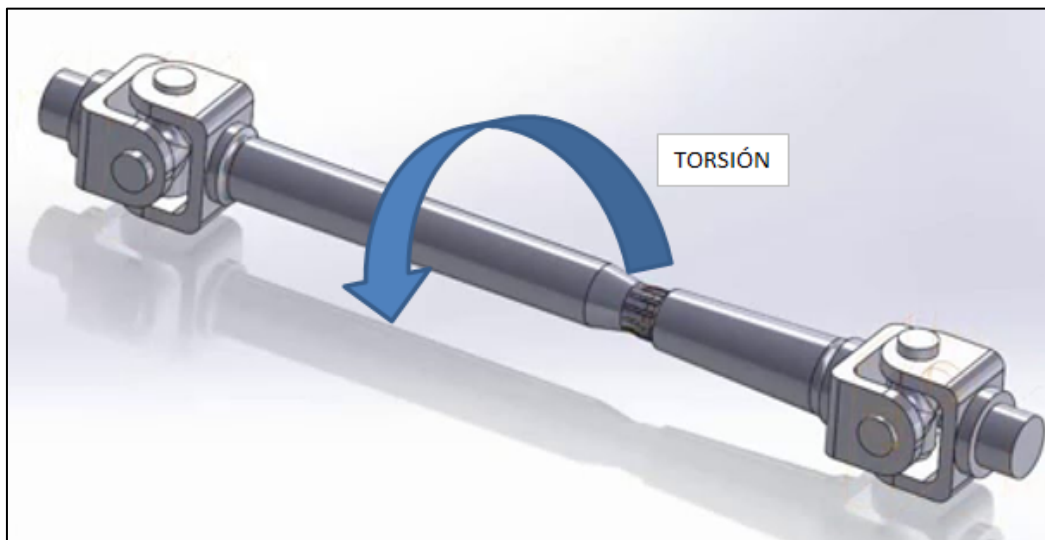


Figura 3-7: Esfuerzo principal aplicado sobre un cardan

El cardan transmite movimiento rotacional de la transmisión a los ejes propulsores del vehículo. Al girar está sometido principalmente a esfuerzos de torsión, aunque también puede ser comprimido con el movimiento oscilatorio generado al activarse la suspensión. Para resistir estos esfuerzos es muy importante garantizar la resistencia de las crucetas, así como la resistencia de las uniones entre crucetas y eje.

TABLA X: Ensayos mecánicos requeridos sobre un cardan.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Torsión	Resistencia crucetas	Ensayo de dureza
Torsión	Resistencia de las uniones	Calidad de soldadura



### 3.9. Ejes y semiejes

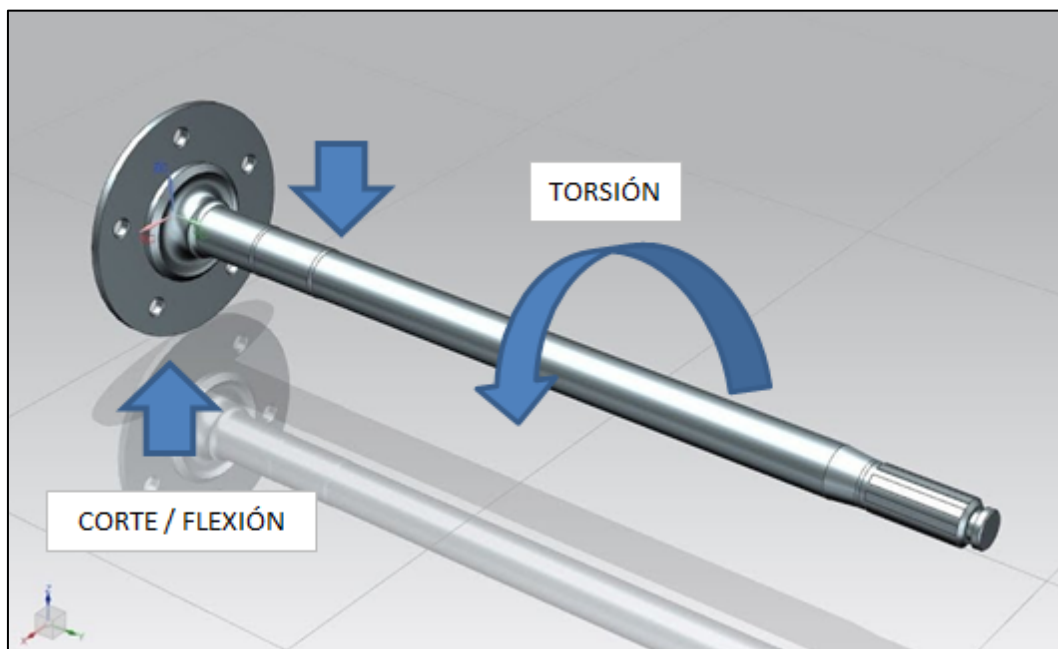


Figura 3-8: Esfuerzos principales aplicados en un semieje rígido.

Unen las ruedas con el resto del vehículo, y en el caso de ejes propulsores transmiten el movimiento rotacional. Para esto deben resistir esfuerzos de corte y torsión, por lo que deben poseer alta rigidez y resistencia en las uniones en el caso de ejes soldados. Se les aplican tratamientos térmicos que mejoran sus propiedades mecánicas.

TABLA XI: Ensayos mecánicos requeridos sobre un semieje.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Torsión	Resistencia de las uniones	Calidad de soldadura
Corte	Superficie libre de discontinuidades	Partículas magnéticas
Flexión	Rigidez	Ensayo de dureza / Microdureza

### 3.10. Carrocería

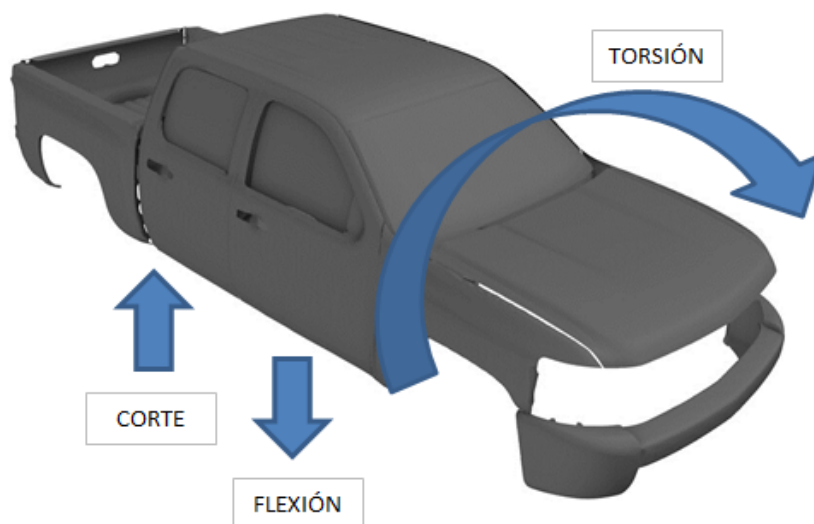


Figura 3-9: Esfuerzos principales aplicados en una carrocería

La carrocería es un conjunto de paneles y refuerzos de acero estampados y soldados, que unidos forman habitáculos de transporte para pasajeros y carga. En vehículos sin chasis la carrocería es del tipo autoportante, cumpliendo además la función de mantener la rigidez y sostener a los demás componentes. Al igual que el chasis, la carrocería experimenta muchos tipos de esfuerzo como flexión, torsión y corte. Para mantener su rigidez estructural es fundamental controlar la resistencia de sus uniones, así como las propiedades mecánicas del acero utilizado en su fabricación.

TABLA XII: Ensayos mecánicos requeridos sobre una carrocería.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Flexión	Propiedades mecánicas del acero	Ensayo de tracción
Torsión	Propiedades mecánicas del acero	Ensayo de tracción
Corte	Resistencia de las uniones	Calidad de soldadura

### 3.11. Soportes de carrocería

Similares a los soportes de motor o transmisión, pero no están sometidos a esfuerzos de corte, solo de compresión. Al igual que aquellos, son de goma y su característica más importante es absorber vibraciones y resistir la deformación durante la compresión.

TABLA XIII: Ensayos mecánicos requeridos sobre un soporte de carrocería.

Tipo de esfuerzo	Ítem de control	Ensayo requerido
Compresión	Resistencia a la deformación	Ensayo de dureza

### 3.12. Matriz de control

Como se aclaró inicialmente, la cantidad de componentes y esfuerzos de distinto tipo involucrados en el uso de un vehículo es mayor a los casos analizados, pero el objetivo de este análisis es el de obtener una muestra representativa sobre el tipo de esfuerzos actuantes, y el tipo de ensayos mecánicos requeridos en el laboratorio, para asegurar la calidad de las autopartes. En base a los casos relevados se desarrolla una matriz de control entre partes analizadas y ensayos mecánicos requeridos.

TABLA XIV: Matriz de control de ensayos mecánicos.

Parte \ Ensayo	Ensayo de tracción	Calidad de soldadura	Ensayo de dureza / Microdureza	Partículas magnéticas
Chasis	X	X		
Espirales			X	X
Elásticos			X	X
Amortiguadores	X		X	
Barra estabilizadora			X	X
Soportes de motor y transmisión		X	X	
Cardan		X	X	
Ejes y semiejes		X	X	X
Carrocería	X	X		
Soportes de carrocería			X	

De la matriz se desprende que los ensayos mecánicos requeridos pueden agruparse en 4 categorías. Puede haber variaciones en el tipo de ensayo específicamente requerido entre una parte y otra, por ejemplo, distintos tipos de ensayos de dureza según el tipo de sustrato en análisis, pero se puede concluir que contando con la capacidad de realizar estas 4 categorías de ensayos se está en capacidad de abarcar un gran espectro en el control de calidad mecánico de autopartes.

## 4. Equipamiento

### 4.1. Ensayo de tracción

En primer lugar, se analiza el requisito para ensayar muestras de acero, tanto para Chasis (punto 3.2) como para carrocería (punto 3.10). Para determinar las propiedades mecánicas del acero mediante un ensayo de tracción se necesita una máquina universal de ensayos, así como uniformidad en la dimensión de muestras (probetas) a ensayar, por lo que también se necesita una prensa con matriz de corte para probetas. Además, las probetas deberán cumplir ciertos requisitos de rugosidad superficial, y estar libre de entallas superficiales que puedan ser puntos de falla durante el ensayo, por lo que se necesitará contar con un rugosímetro y una fresa para lijar la superficie de las mismas. A continuación, se detalla el proceso, y se analizan los equipos necesarios para cada etapa.

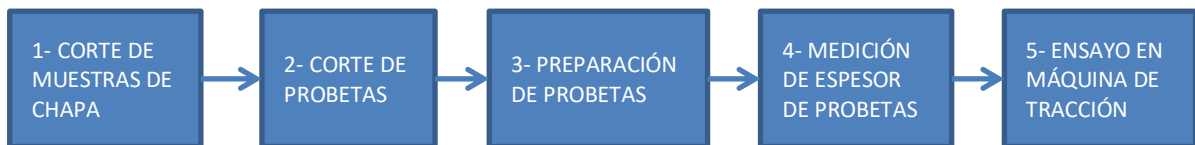


Figura 4-1: Ensayo de tracción en muestras de chapa para chasis y carrocería.

#### 4.1.1. Corte de muestras

Las muestras de acero a ensayar deben ser recortes de chapa planos, por lo que serán segregadas previamente a su estampado. Una vez recibidas por el laboratorio puede ser necesario recortar estas muestras para poder introducirlas en la matriz de corte de probetas, por lo que será necesario contar con una cortadora de chapa. Para esto se analizan distintas opciones:











Equipo	Velocidad de corte	Tamaño	Efectividad
Tijera corta chapa 	 Mala	 Bueno	 Mala (Chasis)  Buena (Carrocería)
Cortadora de chapa eléctrica o neumática 	 Regular	 Bueno	 Mala (Chasis)  Buena (Carrocería)
Cizalla manual 	 Buena	 Regular	 Buena

Figura 4-2: Opciones de corte de chapa.

La primera opción es utilizar una tijera corta chapa. Si bien su tamaño es bueno, ya que ocupa poco espacio y puede guardarse y manipularse fácilmente, su velocidad es baja ya que la tarea es enteramente manual. En cuanto a efectividad, su espesor máximo de corte suele ser de 1,2 mm a 1,6 mm. Este es un espesor de corte adecuado para chapas de carrocería, que oscilan entre 0,6 y 1,2 mm de espesor. Pero no es efectivo para chapas de chasis, que en vehículos de pasajeros o utilitarios livianos pueden tener espesores nominales entre 2,5 mm y 3,5 mm.

Un caso similar es el de la cortadora eléctrica o neumática. Su velocidad de corte es superior a la tijera, ya que el esfuerzo no es manual, pero igual requiere que el usuario vaya siguiendo el contorno de corte en forma artesanal, por lo que no es un proceso rápido. Su tamaño es fácil de manejar y su uso es sencillo, pero al igual que la tijera su espesor máximo no la hace efectiva para muestras de chasis, limitando su uso a chapa de carrocería.

Finalmente, la opción de la cizalla manual permite un corte relativamente rápido y no requiere preparación previa, como tener que conectarla a una fuente eléctrica o de aire comprimido, por lo que su velocidad de trabajo es buena. Su tamaño es mayor y no tiene la movilidad de las otras herramientas, por lo que en este ítem se califica como regular, pero su efectividad es superior a las demás opciones ya que permite cortar chapas de espesores mayores. La opción más adecuada para este caso sería una cizalla con capacidad de cortar espesores de hasta 4 mm, posibilitando trabajar en forma rápida y efectiva con muestras tanto de carrocería como de chasis.

### 4.1.2. Corte de probetas

Una vez adecuadas dimensionalmente las muestras de chapa, se procede al corte de probetas para el ensayo. Para esto es necesaria una matriz de corte junto con una prensa de la capacidad adecuada. Primero hay que determinar la fuerza necesaria para el corte de probetas. La fuerza de corte  $F_c$  de un material viene dada por:

$$F_c = P * e * \sigma_c \tag{5}$$

Siendo:

$P$  = Perímetro de corte [ $mm$ ].

$e$  = Espesor del material [ $mm$ ].

$\sigma_c$  = Resistencia al corte del material [ $MPa$ ].

El perímetro está definido por las dimensiones de la probeta. Basándose en los requerimientos establecidos en la norma IRAM/IAS U 500-102 “Materiales metálicos - Ensayos de tracción”, específicamente en el anexo A “Probetas para productos planos (chapas y flejes) y perfiles conformados en frío”, se define la siguiente dimensión de probeta:

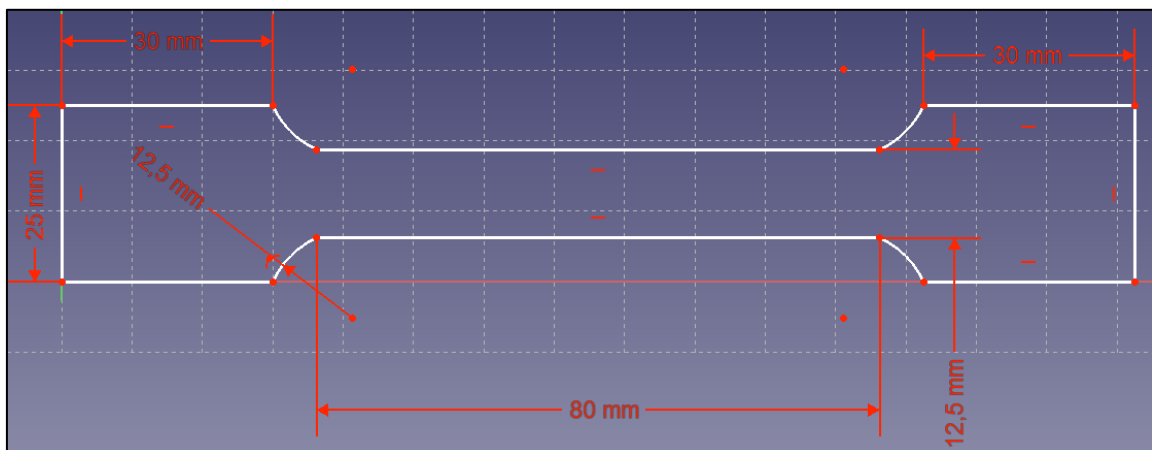


Figura 4-3: Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción.

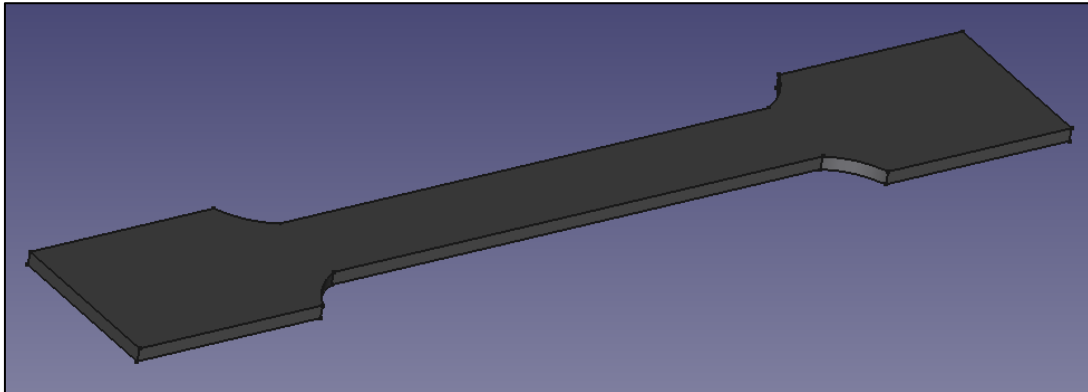


Figura 4-4: Vista en 3D de la probeta para ensayo de tracción, para un espesor de 2 mm.

Con esta dimensión, el perímetro  $P$  de la probeta es igual a las superficies rectas sumadas a las 4 secciones radiales, que en total forman media circunferencia de radio 12,5 mm:

$$P = (25 + 30 + 80 + 30 + 25 + 30 + 80 + 30 + \frac{\pi * (2 * 12,5)}{2}) \text{ mm}$$

$$P = 369,25 \text{ mm}$$

El espesor  $e$  corresponde al espesor de la chapa a ensayar. Como se mencionó anteriormente, las chapas de carrocería pueden estar en el orden de 0,6 mm a 1,2 mm de espesor, mientras que las de chasis pueden llegar a tener valores de 3,5 mm. Por lo tanto, para que la prensa pueda cortar probetas de ambos tipos sin dificultad, se toma como espesor de corte un valor  $e$  de 3,5 mm.

La resistencia al corte es una propiedad intrínseca de cada material. En el caso del acero para chasis y carrocería, se utilizan aceros de bajo carbono (0,08% hasta 0,25%) debido a su mayor ductilidad, haciéndolos aptos para procesos de estampado y soldadura. Los aceros de bajo carbono tienen valores de resistencia a la tracción ( $R_m$ ) entre 470 y 540  $N/mm^2$ . La resistencia al corte  $\sigma_c$  de un acero de bajo carbono puede calcularse aproximadamente como el 58% de su resistencia a la tracción, por lo que para calcular  $\sigma_c$  se toma el valor máximo de tracción del acero de bajo carbono y se lo multiplica por este factor:

$$\sigma_c = 0,58(540 \text{ N/mm}^2)$$

$$\sigma_c = 313,2 \text{ N/mm}^2$$

Se aplica la fórmula (5) con los valores obtenidos para determinar la fuerza de corte necesaria en la matriz:

$$F_c = 369,25 \text{ mm} * 3,5\text{mm} * 313,2 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = 404772 \text{ N}$$

La fuerza de corte necesaria para probetas del máximo espesor posible será de 404772 N. Tomando un coeficiente de seguridad para el cálculo de 1,2 resulta en una fuerza de 485727 N, aproximable a 500000 N. Por lo tanto, es necesaria una prensa de corte de 50 toneladas. A continuación, se analiza el tipo de prensa más adecuado para esta tarea.

TABLA XV: Tipos de prensa – ventajas y desventajas.

Tipo de Prensa	Ventajas	Desventajas
Neumática	- Mayor velocidad de trabajo	- Mayor volumen - Menor precisión - Menor efectividad por encima de 20 toneladas
Mecánica	- Mayor velocidad de trabajo - Efectiva en grandes cargas	- Mayor volumen - Menor precisión
Hidráulica	- Mayor precisión - Menor volumen - Efectiva en grandes cargas	- Menor velocidad de trabajo

En primer lugar, están las prensas neumáticas, que presentan una gran velocidad de trabajo, pero que son más voluminosas y menos precisas que los otros tipos. También pierden efectividad por encima de las 20 toneladas, por lo que no son adecuadas para esta tarea.

Las prensas mecánicas pueden trabajar con grandes cargas y tienen buena velocidad de trabajo, pero también son voluminosas debido a su mecanismo con volante mecánico, y tampoco tienen gran precisión.

Finalmente, las prensas hidráulicas también son efectivas a grandes cargas, pero además presentan menor volumen y mayor precisión. Su velocidad es menor que en otros tipos de prensa, y esto podría ser una desventaja en el caso de una prensa de producción, donde es crítico obtener la mayor cantidad de piezas en el menor tiempo posible. Pero dado el uso de laboratorio destinado a la prensa en este caso, su velocidad es adecuada. Por otro lado,



al estar ubicada en un recinto con espacio limitado su menor volumen es un factor importante, por lo que una prensa hidráulica es la opción más adecuada para realizar el corte de probetas.

### 4.1.3. Preparación de probetas

Una vez obtenidas las probetas se deben preparar en forma adecuada para evitar alterar las propiedades de la muestra de chapa. En particular deben eliminarse por mecanizado las zonas afectadas por la matriz de corte, removiendo entallas superficiales que puedan generar fallas del material durante el ensayo de tracción, y debe verificarse que la rugosidad superficial de la probeta sea la adecuada. Para esto será necesario contar con un rugosímetro y una herramienta de mecanizado.

Para medir rugosidad se emplea el parámetro Ra, representativo de la superficie y de obtención relativamente fácil y rápida. La norma DIN 4769 establece distintos grados de rugosidad Ra medida en micrones [ $\mu m$ ]. Para el ensayo de tracción, la zona a ensayar de la probeta debería cumplir con una rugosidad Ra de  $0,5 \mu m$  correspondiente a un grado N6. Por lo tanto, será necesario utilizar un rugosímetro con resolución de al menos  $0,5 \mu m$ .

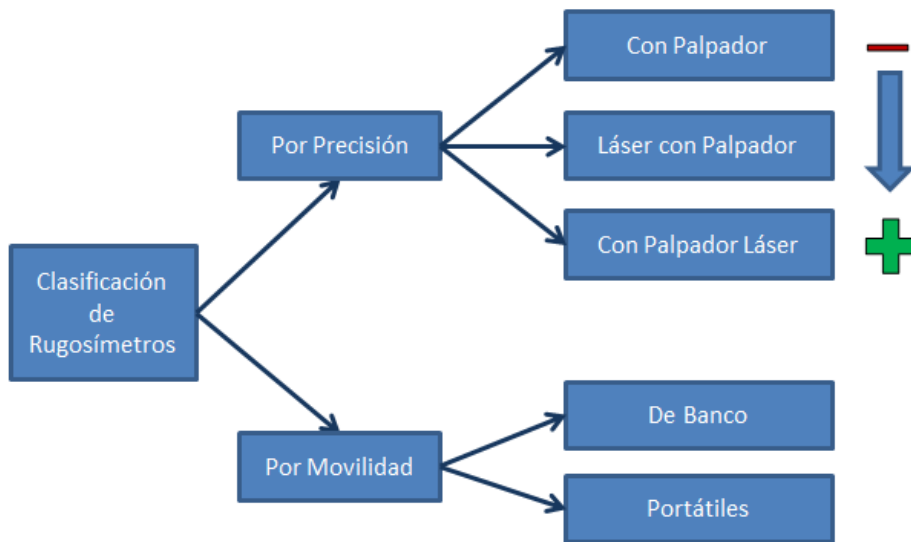


Figura 4-5: Tipos de Rugosímetro.



Figura 4-6: Rugosímetros de banco y portátil (mitutoyo.com).

Como se puede ver en la figura 4-5, existen distintos tipos de rugosímetros. El nivel de exigencia grado N6 es relativamente bajo y todos los tipos de palpadores están en condiciones de lograr una resolución de  $0,5 \mu m$  -los más básicos suelen tener una resolución de  $0,02 \mu m$ - por lo que se puede utilizar un rugosímetro de palpador convencional, de menor complejidad y costo que los de tecnología láser. En cuanto al tipo de uso que se le va a dar, no es un requerimiento que sea portátil, y los rugosímetros de banco presentan mayor comodidad para trabajar, por lo que se selecciona un equipo de banco con palpador convencional para el laboratorio.

Luego de comprobar la rugosidad superficial de la probeta es necesario eliminar por mecanizado superficial las áreas perimetrales afectadas por el corte en matriz. Esto es debido a que las propiedades del material pueden verse afectadas en esa zona durante el corte. Para este fin existen equipos especialmente diseñados, llamados fresadoras de probetas, que facilitan la tarea.



Figura 4-7: Fresadora de probetas planas (zwickroell.com).

#### 4.1.4. Medición de espesor

El último paso antes del ensayo de tracción propiamente dicho es la medición de espesor de la probeta. Esto es necesario ya que, si bien las probetas tienen un espesor nominal, también tienen un rango de tolerancia de espesor producto de pequeñas diferencias de parámetros durante el proceso productivo del acero, como por ejemplo un mayor desgaste en rodillos de laminación, variaciones en la temperatura del material durante su fabricación, tensión de bobinado, etc. Conocer el espesor exacto de la probeta permite calcular con precisión su sección rectangular, necesaria a su vez para calcular los resultados del ensayo de tracción.

Para medir espesores en el orden de las chapas a ensayar, entre 0,5 *mm* y 3,5 *mm*; el instrumento más adecuado es un micrómetro con una precisión de 0,001 *mm*. Para facilitar su lectura y agilizar el proceso de medición es recomendable utilizar un micrómetro digital.



Figura 4-8: Micrómetro digital con resolución de 0,001 mm (mitutoyo.com).

#### 4.1.5. Ensayo de tracción

Una vez completada la preparación de probetas y tomado su espesor, se procede a realizar el ensayo. Para esto es necesario contar con una máquina universal de ensayos, conectada a una PC como interfaz con el usuario. La capacidad requerida por el equipo se determina en base a las probetas a ensayar. La fuerza de tracción  $F_t$  necesaria de la máquina será igual a la resistencia a la tracción del material, multiplicada por su sección.

$$F_t = Rm * S \tag{6}$$

Siendo:

$Rm$  = Resistencia a la tracción [ $N/mm^2$ ]

$S$  = Sección [ $mm^2$ ]

Como se mencionó en el punto 4.1.2, la resistencia a la tracción del acero a ensayar puede ubicarse entre  $470 N/mm^2$  y  $540 N/mm^2$ , por lo que para el cálculo se utiliza el mayor valor. Para calcular el área también se utiliza como base una chapa del mayor espesor disponible,  $3,5 mm$ . La sección de una probeta de sección rectangular es igual a su espesor multiplicado por el ancho de probeta, siendo en este caso:

$$S = 3,5 mm * 12,5 mm$$

$$S = 43,75 mm^2$$

El ancho de probeta se calcula en la parte donde se produce la deformación y rotura de la misma, la sección central, por eso se utiliza  $12,5 mm$ . Por lo tanto, la fuerza necesaria será, aplicando nuevamente la fórmula (6):

$$F_t = 540 \frac{N}{mm^2} * 43,75 mm^2$$

$$F_t = 23625 N$$

Tomando un coeficiente de seguridad de 1,2 el resultado es de 28350 N. Por lo tanto, para ensayar efectivamente probetas del acero y dimensión especificados, se necesitará una traccionadora de 30kN. Por clasificación de los equipos comerciales disponibles seguramente sea necesario adquirir una traccionadora de 50kN, con la ventaja adicional de trabajar cerca de la mitad de su capacidad máxima y no tan cerca de su límite superior, alargando así su vida útil.

Adicionalmente al ensayo de tracción de chapas, la máquina universal puede utilizarse para ensayar tracción en autopartes, por ejemplo, en amortiguadores, como fue remarcado en la matriz de control (punto 3.12). Al trabajar a compresión y tracción, es importante ensayar a tracción el amortiguador para comprobar la resistencia de sus anclajes.

#### 4.1.6. Equipos requeridos para ensayo de tracción

A continuación, se resumen, de acuerdo a lo revisado en cada ítem, los equipos requeridos para realizar ensayos de tracción.

TABLA XVI: Equipos para ensayo de tracción.

Equipo	Capacidad mínima	Función / Ítem de control
Cizalla manual	4 mm	Corte de chapa
Prensa hidráulica	50 toneladas	Corte de probetas
Rugosímetro con palpador	0,02 $\mu m$	Rugosidad de probetas
Fresadora de probetas	-	Mecanizado de probetas
Micrómetro digital	0,002 mm	Espesor de probetas
Máquina universal de ensayos	50 kN	Ensayo de tracción

#### 4.2. Calidad de soldadura

El proceso de control de calidad de soldadura en el laboratorio de ensayos está basado principalmente en dos tipos de control: inspección visual de la soldadura y estudio metalográfico de la zona de unión, aunque también son aplicables otras técnicas de control (por ejemplo, ensayo de resistencia de soldadura en máquina de tracción). El proceso de inspección visual consiste en un estudio de apariencia y dimensional sobre la zona de fusión

de los materiales, analizando parámetros dimensionales como cateto, garganta y profundidad de penetración. El segundo proceso analiza y evalúa las características estructurales de los materiales soldados, como tamaño de grano y fase.

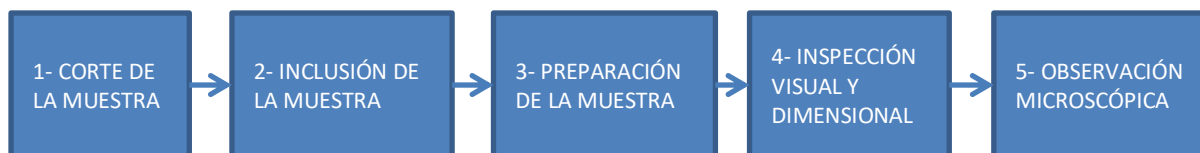


Figura 4-9: Proceso de control de calidad de soldadura.

Como se puede ver en la figura 4-9 el proceso comienza con una toma de muestra, se realiza una inclusión para su mejor manipuleo, se prepara la muestra de soldadura para evidenciar sus características principales, y finalmente se realizan los controles necesarios. A continuación, se analizan los requerimientos puntuales de cada etapa.

### 4.2.1. Corte de la muestra

Para obtener las muestras de soldadura es necesario contar con herramientas de corte. Dependiendo de la complejidad de las autopartes a evaluar, serán necesarias herramientas de mayor a menor tamaño, y de menor a mayor precisión. Para evaluar la soldadura en el larguero de un chasis o en un refuerzo de carrocería, por ejemplo, primero será necesario realizar cortes de gran tamaño, para luego ir separando muestras de menor tamaño. También será necesario contar con herramientas que dispongan de movilidad, ya que por cuestiones de tamaño sería imposible en primer lugar llevar un chasis o una carrocería enteros al laboratorio de ensayos.

Equipo	Velocidad de corte	Tamaño	Movilidad
Sierra sin fin para metales 	● Regular	● Malo	● Malo
Amoladora 230mm 	● Regular	● Bueno	● Bueno
Sierra sensitiva 400mm 	● Buena	● Regular	● Regular

Figura 4-10: Herramientas para cortes metálicos grandes.

La sierra sin fin, aunque es muy efectiva para el corte de metales, tiene la limitación -al igual que otras herramientas de banco- de no tener movilidad. Esto limita su uso a partes de menor tamaño, como soportes o amortiguadores. Pero imposibilita trabajar sobre partes más grandes en las que haya que realizar el corte fuera del laboratorio, además de ser un equipo voluminoso. Una sierra sensitiva por otro lado ocupa mucho menos espacio y tiene mejor velocidad de corte. Y aunque técnicamente tampoco es un equipo portátil, si presenta cierto grado de movilidad. Por lo tanto, la opción más adecuada para tener mayor movilidad es la amoladora angular, en este caso con un disco de 230mm, complementada con una sierra sensitiva en el laboratorio para realizar cortes rápidos en piezas de menor tamaño.

No se analizan herramientas de corte con temperatura, por ejemplo, cortadoras de plasma, ya que las altas temperaturas pueden modificar las propiedades metalográficas del metal. Las herramientas de corte abrasivo generan un incremento de temperatura por rozamiento, pero este es localizado, e idealmente los cortes se realizan a una distancia prudencial de la muestra de soldadura a evaluar para evitar distorsiones.

Una vez cortadas las porciones metálicas donde se encuentra la muestra, es necesario realizar cortes de menor tamaño y mayor precisión sobre la misma soldadura, de forma de exponer su perfil para inspección. Para esto se utilizan principalmente cortadoras metalográficas con discos de corte abrasivos, debido a su gran precisión de corte y al alto nivel de calidad superficial que permiten obtener en la muestra. Además, estas máquinas cuentan con refrigeración líquida sobre el área de corte, lo cual previene el aumento de temperatura de la muestra y alteración de sus propiedades metalográficas. Pueden ser de accionamiento manual, o automatizadas, siendo estas últimas más útiles para cortes en serie.



Figura 4-11: Cortadora metalográfica (neurtek.com).

#### 4.2.2. Inclusión de la muestra

Luego del corte se procede a encapsular la muestra en una probeta, para facilitar su posterior preparación y evaluación. Este proceso se conoce como inclusión o empastillado, y para ello será necesario utilizar una incluidora. El montaje en la probeta se realiza utilizando baquelita o algún otro material termo endurecible, que son moldeados con la pieza en su interior utilizando una prensa con calefactor.



Figura 4-12: Incluidora de probetas metalográficas (es.leco.com).



### 4.2.3. Preparación de la muestra

Una vez preparada la probeta que contiene la muestra es necesario lijar y pulir su superficie, empezando con un grano grueso y avanzando hacia un nivel de grano más fino, hasta lograr un acabado espejo para su posterior evaluación. Para la etapa de lijado se pueden utilizar lijadoras convencionales, pero lo más recomendable es el uso de lijadoras metalográficas, especialmente diseñadas para lijar y pulir este tipo de probetas. Estos equipos suelen contar con uno o dos platos giratorios para lijar y pulir la probeta, y cuentan con su propio sistema de lubricación líquida, lo que evita aumentar la temperatura de la muestra por rozamiento. Existen de variante manual o automáticas. Estas últimas regulan automáticamente la presión de lijado y pulido de la muestra. Sin embargo, se pueden obtener los mismos resultados con las lijadoras manuales, siempre que el operario regule la presión adecuadamente, y su costo es menor.



Figura 4-13: Máquina lijadora-pulidora metalográfica (directindustry.es).

Luego del lijado y pulido de la muestra, se realiza sobre la misma un ataque químico para exponer aún más su estructura y facilitar su análisis y evaluación. Estos ataques químicos se realizan con soluciones de ácido nítrico o ácido pícrico, que son altamente nocivas, por lo que su uso en forma segura requiere contar con una cabina extractora de gases para realizar esta operación. Luego de realizar el ataque se seca la probeta con una corriente de aire caliente, por lo que también será necesario utilizar una pistola de calor.



Figura 4-14: Cabina extractora de gases (es.aircleansystems.com).

#### 4.2.4. Inspección visual y dimensional

Durante esta etapa se inspecciona visualmente y se evalúa que las dimensiones de soldadura sean acordes a especificación, además de no presentar fisuras u otro tipo de imperfecciones. Para realizar este análisis es necesario contar con un magnificador óptico, como una lupa para soldadura con niveles de aumento de 2x a 10x. Con este tipo de inspección, el operario mide y calcula manualmente las distancias de soldadura para emitir un juicio sobre la pieza evaluada.



Figura 4-15: Lupa de inspección (medicalexp.es).

Adicionalmente se puede contar con un equipo de medición óptica digital, que permite mediante una cámara digital integrada a un software específico reducir tiempos y obtener una precisión mucho mayor en la medición, reduciendo en gran medida la probabilidad de errores por factor humano, pero a su vez con un costo más elevado.



Figura 4-16: Medición de soldadura con equipo óptico digital (struers.com)

#### 4.2.5. Observación microscópica

El último paso en la evaluación de calidad de soldadura es el control metalográfico. Durante este paso se observa la microestructura de la unión soldada, para detectar posibles impurezas y evaluar si se encuentra dentro de especificación. Es fundamental contar con un microscopio metalográfico con 50x, 100x y 200x aumentos, aunque pueden emplearse microscopios con niveles de hasta 1500x aumentos.



Figura 4-17: Microscopio metalográfico (ictsl.net).

#### 4.2.6. Equipos requeridos para control de soldadura

En la siguiente tabla se detallan los equipos requeridos para realizar ensayos de control de calidad de soldadura.

TABLA XVII: Equipos para control de soldadura.

Equipo	Capacidad	Función / Ítem de chequeo
Amoladora angular	230 mm	Corte de muestras
Sierra sensitiva	400 mm	Corte de muestras
Cortadora metalográfica	Manual	Corte de precisión
Incluidora de probetas	-	Preparación de muestra
Lijadora-pulidora metalográfica	Manual	Preparación de muestra
Cabina extractora de gases	-	Ataque químico
Pistola de calor	ver	Ataque químico
Lupa de inspección	2x - 10x	Inspección visual
Medición óptica digital	-	Inspección visual
Microscopio metalográfico	200x	Observación microscópica

### 4.3. Ensayo de dureza

Como se puede ver en la matriz de control, casi la totalidad de las autopartes analizadas necesitan alguna variante de ensayo de dureza para asegurar sus propiedades mecánicas. La diferencia se da en el tipo de dureza a evaluar en cada parte.

#### 4.3.1. Macro-dureza

El ensayo de dureza Vickers es utilizado en un amplio rango de durezas, bajas y altas, incluyendo dureza de soldaduras y micro-dureza, por lo que un durómetro de este tipo aporta gran versatilidad en el estudio de dureza de partes.

El ensayo de dureza Rockwell tiene como principal ventaja su fácil y rápida aplicación, haciéndolo muy útil para la evaluación rápida de un gran volumen de partes, por lo que también es conveniente contar con un durómetro Rockwell en el laboratorio.

El ensayo de dureza Brinell es menos común que otros ensayos, pero adecuado para muestras de mayor tamaño con una estructura de grano grande o irregular, como materiales forjados o de fundición, por lo que será muy útil para la evaluación de este tipo de autopartes.

Finalmente, el ensayo de dureza Shore permite evaluar materiales blandos, como la goma, permitiendo evaluar una gran variedad de autopartes como mangueras, cubiertas o soportes anti vibrantes; siendo de gran utilidad para el control de calidad autopartista. La escala de dureza shore para materiales de goma varía entre 0 y 100 HA.

### **4.3.2. Micro-dureza**

A diferencia de los anteriores ensayos de macro-dureza, para analizar micro-dureza se utilizan cargas muy bajas, entre 10 y 1000 gramos. Esto provoca huellas de dimensiones muy bajas, al punto de considerarse un ensayo no destructivo. El equipo será el mismo durómetro para ensayo de dureza Vickers, pero al trabajar con huellas tan pequeñas es necesaria una preparación adecuada de la superficie, logrando un pulido similar al necesario para realizar ensayos metalográficos. Por lo tanto, además del durómetro, será necesario utilizar equipos de preparación de muestras detallados en el punto 4.2, como la lijadora-pulidora metalográfica.

### **4.3.3. Equipos requeridos para control de dureza**

Dada la similitud de los distintos tipos de ensayos sobre materiales metálicos, existen equipos capaces de ensayar más de un tipo de dureza, llamados durómetros universales. Estos equipos aportan gran flexibilidad a la hora de realizar controles sobre una amplia gama de partes. Idealmente se puede contar con un equipo capaz de ensayar dureza Vickers, Brinell y Rockwell para cubrir la totalidad de requisitos de partes metálicas, y adicionalmente contar con un equipo de dureza Shore para materiales de goma y blandos en general.



Figura 4-18: Durómetro universal para ensayos de micro y macro-dureza (struers.com).



Figura 4-19: Durómetro Shore 0-100 HA (directindustry.es).

Como se vio en el punto 4.1.2, los aceros de bajo carbono utilizados en el estampado pueden tener una resistencia a la tracción de hasta 540 N/mm<sup>2</sup>, pero para otras piezas de mayor resistencia, como ejes o vástagos de amortiguador, se emplean aceros más duros con mayor contenido de carbono y valores de hasta 800 N/mm<sup>2</sup>.



Brinell Dureza HB	Rockwell Dureza HRb	Rockwell Dureza HRC	Vickers Dureza HV	Shore	Resistencia a la tracción Kg/mm <sup>2</sup>
682	-	65	885	91.0	232.9
652	-	63	820	87.2	221.5
627	-	61	765	84.8	213.5
600	-	59	633	76.5	188.7
578	-	59	717	81.5	204.0
555	120	57	675	78.5	195.1
534	119	54	598	73.5	181.3
514	119	52	567	71.0	174.9
495	117	51	540	68.5	168.0
477	117	49	515	66.7	162.2
461	116	48	494	65.0	157.0
444	115	46	472	63.0	150.6
429	115	45	454	61.0	145.6
415	114	44	437	59.0	140.0
401	113	42	420	57.2	136.0
388	112	41	404	65.8	132.0
375	112	40	389	54.0	127.5
363	110	39	375	52.2	123.4
	110	38	363	50.5	120.0
341	109	36	350	49.2	115.9
331	109	35	339	48.0	112.4
321	108	34	327	46.7	109.1
311	108	33	316	45.2	105.6
302	107	32	305	44.5	102.7
293	106	31	296	43.2	99.6
285	105	30	287	42.0	96.9
277	104	29	279	41.0	94.2
269	104	28	270	40.0	91.5
262	103	27	263	39.2	89.1
255	102	25	256	38.5	86.7
248	102	24	248	37.5	84.3
241	100	23	241	36.5	81.9
235	100	22	235	35.7	79.9
229	99	21	229	35.0	77.9
223	98	20	223	34.0	75.8

Figura 4-20: Equivalencia entre escalas de dureza y resistencia a la tracción (ingmecanica.com)

En la figura 4-20 se pueden ver las equivalencias entre valores de resistencia a la tracción y los distintos tipos de dureza. Para aceros duros, con valores de resistencia a la tracción de hasta 800 N/mm<sup>2</sup>, los valores de dureza son: Brinell 240 HB, Vickers 240 Hv, y Rockwell 60 Ha, 100 HRb y 23 HRC. Para ensayar estos niveles de dureza es ideal contar con un durómetro con una capacidad de carga de hasta 150 Kgf.



TABLA XVIII: Equipos para control de dureza.

Equipo	Capacidad
Durómetro Brinell / Vickers / Rockwell	240 Hb / 240 Hv / 60 Ha- 100 HRb - 23 HRC 150 Kgf
Durómetro Shore	0 - 100 HA

Además de estos equipos será necesario utilizar elementos de corte y preparación de muestras, ya detallados en el punto 4.2.6.

#### 4.4. Ensayo de partículas magnéticas

El control de piezas por aplicación de partículas magnéticas se realiza según la siguiente secuencia.

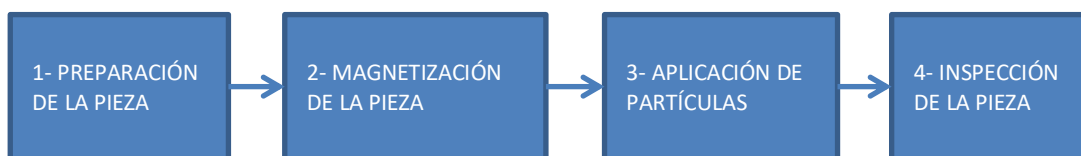


Figura 4-21: Ensayo de partículas magnéticas.

##### 4.4.1. Preparación de la pieza

El primer paso es la preparación de la superficie de la pieza. Se utilizan solventes y productos especiales de limpieza, que pueden ser de aplicación en aerosol o en forma líquida. Para esto no es necesario contar con equipo especializado, pero es conveniente disponer de un área de desagüe para líquidos especiales, y suministro de aire a presión para el secado de piezas.

##### 4.4.2. Magnetización de la pieza

Una vez preparada la superficie, la magnetización se aplica por medio de un yugo magnético. Es preferible utilizar este equipo por sobre un imán permanente, debido a que el yugo genera un campo magnético inducido por corrientes eléctricas el cual es de una intensidad mayor. Existen modelos de dimensiones regulables, permitiendo gran versatilidad para la inspección de distintos tipos de partes.



Figura 4-22: Yugo magnético (magnaflux.com)

#### 4.4.3. Aplicación de partículas e inspección

Magnetizada la pieza, se procede a la aplicación de partículas magnéticas (limaduras de hierro o similares) para que estas, impulsadas por la fuerza del campo, se acumulen en fallas e imperfecciones superficiales. Las partículas pueden ser del tipo de aplicación en seco, o aplicación húmeda. Dado que la aplicación en seco es más conveniente para evaluar piezas rugosas y defectos de soldadura, se selecciona este tipo de aplicación.

La inspección se realiza tanto con luz natural y luz blanca, como con luz ultravioleta (UV). Los distintos tipos de iluminación permiten detectar mayor cantidad de defectos en la pieza. Para la aplicación de las distintas variantes de iluminación se puede realizar una instalación especial con los distintos tipos de reflectores, pero también existen lámparas de inspección de mano especialmente diseñadas para este tipo de ensayo, llamadas lámparas UV. Dado que no es necesario evaluar piezas de gran porte o en línea de producción, esta segunda opción es más conveniente por su facilidad de uso y menor costo.



Figura 4-23: Lámpara UV para inspección de partículas magnéticas (magnaflux.com)

Adicionalmente será necesario contar con un cerramiento con cortinas UV para bloquear la luz externa durante la inspección con este equipo. Un tamaño de cerramiento de 1,5 m x 1,5 m permitiría trabajar cómodamente y manipular las piezas a inspeccionar sin dificultad.

#### 4.4.4. Equipos requeridos para control por partículas magnéticas

Debido a la relativa simpleza de este tipo de inspección, no se requiere una gran cantidad de equipamiento para realizar el ensayo de partículas magnéticas. Además del cerramiento, a continuación, se detallan los equipos necesarios.

TABLA XIX: Equipos requeridos para control por partículas magnéticas

Equipo	Función
Yugo magnético	Magnetización y desmagnetización
Lámpara UV	Visualización de defectos
Cerramiento UV	Oscurecimiento para inspección

## 5. Instalaciones

### 5.1. Layout

Para realizar un layout funcional del laboratorio el primer paso es diferenciar dos sectores principales: un área de ensayos y un área de análisis. A continuación, se presentan las características principales de cada sector.

TABLA XX: Características de cada sector del laboratorio.

Ensayos	Análisis
Tareas repetitivas / mecánicas	Tareas de observación y análisis
Elementos de uso industrial	Elementos de oficina
Manipuleo de chapas y partes	Manipuleo de muestras pequeñas
Uso de EPPs	Sin uso de EPPs

Definidas ambas áreas, se analiza el uso de equipos de cada tipo de ensayo, para determinar la ubicación de los mismos.

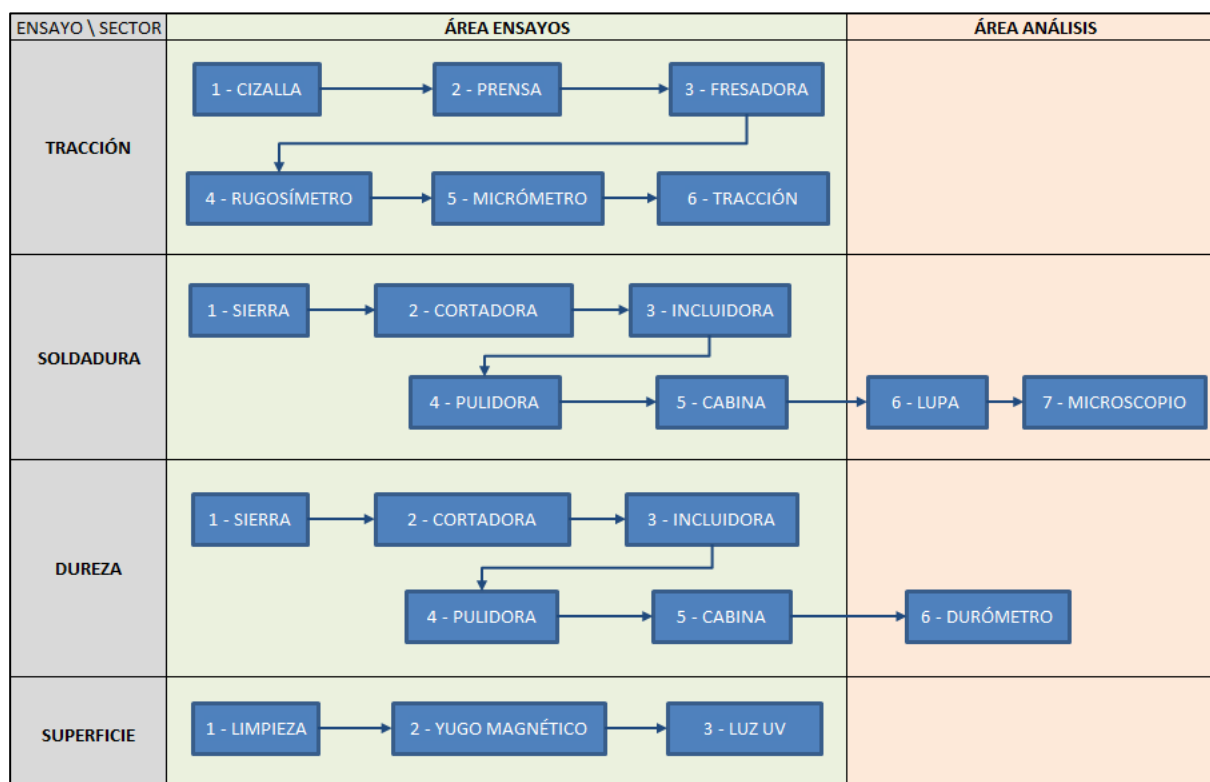


Figura 5-1: Diagramas de flujo de ensayos

Como se puede ver en la figura 5-1, la mayoría de las operaciones técnicas se desarrollan en el área Ensayos. El área Análisis cuenta con menos operaciones, pero en este sector es dónde también se realizan actividades analíticas relacionadas con la realización de ensayos, como el seguimiento de resultados y armado de reportes. Para esto deberá contar con espacio destinado a escritorios y computadoras para el personal del laboratorio.

Hay algunas operaciones, como la medición de rugosidad, que podrían por sus características pertenecer al área Análisis. Sin embargo, para favorecer el flujo de proceso, se colocaron estas operaciones en el área Ensayos, reduciendo así al mínimo posible el traslado de piezas y personal entre áreas. A continuación, se detallan las superficies requeridas para cada uno de los equipos a utilizar, así como de los elementos adicionales del laboratorio.

TABLA XXI: Superficies requeridas por equipo/sector.

Categoría	Equipo	Ancho [m]	Profundidad [m]
Ensayo de Tracción	Cizalla en mesa de trabajo	2,5	0,8
	Prensa hidráulica	1,2	0,8
	Fresadora	1,2	0,8
	Rugosímetro y micrómetro	0,8	0,8
	Máquina de ensayos con PC	2	0,8
Ensayo de Soldadura	Sierra en mesa de trabajo	2,5	0,8
	Cortadora metalográfica	0,8	0,8
	Incluidora de probetas	0,8	0,8
	Lijadora metalográfica	1,2	0,8
	Cabina extractora	1,2	0,8
	Lupa de inspección	0,8	0,8
	Microscopio	0,8	0,8
Ensayo de Dureza	Durómetro universal	0,8	0,8
Inspección Superficial	Área de limpieza	1,2	0,8
	Cabina de inspección	1,6	1,6
Estanterías	Entrada de partes a ensayar	3	0,8
	Salida de partes ensayadas	1	0,8
	Salida de <i>scrap</i> de partes	2	0,8
	Archivo contramuestras	3	0,8
	Insumos y repuestos	4	0,8
	Material referencial	2	0,8
Escritorios	Supervisor (1)	1,5	0,8
	Analistas (3)	4,5	0,8
Otros	Armario EPPs	1	0,8

En base a estos requerimientos se realiza el diseño de layout operacional, buscando optimizar el flujo de procesos y reducir los traslados de personal y partes o muestras.

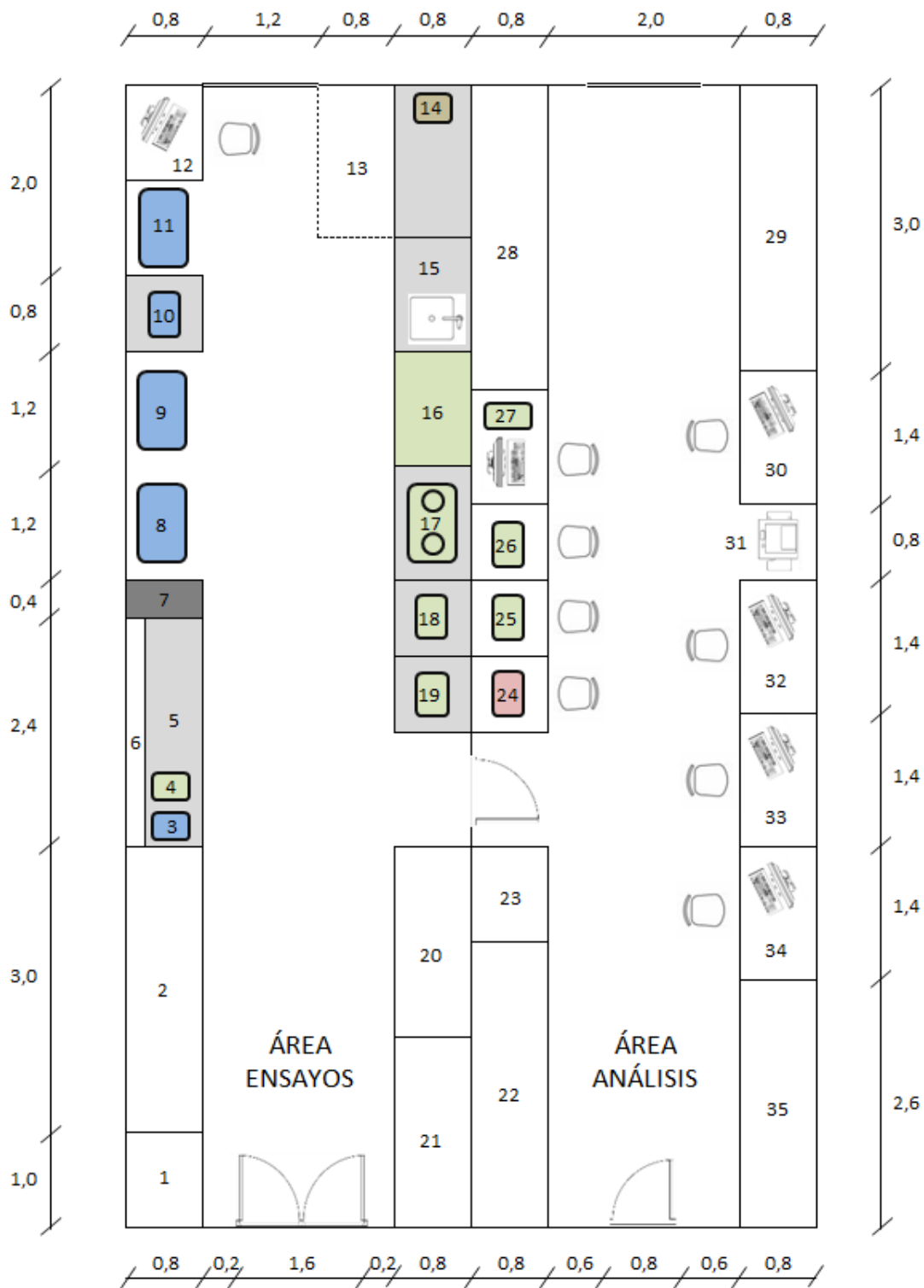


Figura 5-2: Layout operacional del laboratorio

TABLA XXII: Referencias de la figura 5-2.

Ítem	Descripción
1	Estantería de salida de partes ensayadas (END)
2	Estantería de entrada de partes a ensayar
3	Cizalla manual
4	Sierra sensitiva
5	Mesa de trabajo
6	Panel de herramientas manuales
7	Depósito para <i>scrap</i> de chapas
8	Prensa para corte de probetas de chapa
9	Fresadora para probetas de chapa
10	Rugosímetro
11	Máquina de tracción
12	PC para control de máquina de tracción
13	Cerramiento de cortina para observación con luz UV
14	Yugo magnético y lámpara UV
15	Mesada con canilla y desagüe
16	Cabina extractora de gases
17	Lijadora-pulidora metalográfica
18	Incluidora
19	Cortadora metalográfica
20	Estantería de salida de partes ensayadas ( <i>scrap</i> )
21	Tablero eléctrico
22	Armario para efectos personales / uso general
23	Armario EPPs
24	Durómetro universal
25	Lupa de inspección
26	Microscopio metalográfico
27	Medición óptica digital
28	Archivo de contramuestras
29	Biblioteca y material referencial
30	Escritorio del supervisor de laboratorio
31	Impresora
32	Escritorio de analista de laboratorio 1
33	Escritorio de analista de laboratorio 2
34	Escritorio de analista de laboratorio 3
35	Estantería de repuestos de equipos / Insumos de oficina

## 5.2. Iluminación

Una vez definido el layout, el siguiente paso es calcular la iluminación del laboratorio. Para esto primero es necesario determinar el flujo luminoso total  $\Phi_t$  del laboratorio, expresado en lúmenes [ $lm$ ]. El flujo luminoso total viene dado por:

$$\Phi_t = \frac{E \cdot S}{C_u \cdot C_m} [lm] \quad (7)$$

Siendo:

$E$  = Nivel de iluminación medio [ $lux$ ]

$S$  = Superficie a iluminar [ $m^2$ ]

$C_u$  = Coeficiente de utilización

$C_m$  = Coeficiente de mantenimiento

El primer paso para determinar el flujo total es definir el nivel de iluminación medio  $E$  requerido.

TABLA XXIII: Niveles de iluminación recomendados.

Ambiente	Nivel recomendado [ $lux$ ]
Depósito y áreas de embalaje	200
Taller de actividades varias	300
Laboratorio general	500
Laboratorio de instrumentación	700
Zona de inspección visual	1000
Taller de precisión	>1500

Fuente: [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com)

Según la tabla XXIII el nivel de iluminación recomendado para un laboratorio de instrumentación es de 700 lux, por lo tanto, se define:

$$E = 700 \text{ lux}$$

A continuación, se calcula el área donde es necesario mantener el nivel de iluminancia requerido, la superficie total del laboratorio  $S_l$ .

$$S_l = L \cdot A [m^2] \quad (8)$$

Siendo:

$L$  = Largo [ $m$ ]



$A = \text{Ancho [m]}$

Se calculan el largo y ancho total según dimensiones del Layout:

$$L = 1\text{ m} + 3\text{ m} + 2,4\text{ m} + 0,4\text{ m} + 1,2\text{ m} + 1,2\text{ m} + 0,8\text{ m} + 2\text{ m}$$

$$L = 12\text{ m}$$

$$A = 0,8\text{ m} + 1,2\text{ m} + 0,8\text{ m} + 0,8\text{ m} + 0,8\text{ m} + 2,0\text{ m} + 0,8\text{ m}$$

$$A = 7,2\text{ m}$$

Aplicando la fórmula (8) la superficie total resulta:

$$S_l = 12\text{ m} * 7,2\text{ m}$$

$$S_l = 86,4\text{ m}^2$$

Por lo tanto, es necesario mantener un nivel de iluminancia medio de 700 lux sobre un área de  $86,4\text{ m}^2$ . A continuación, se determina el coeficiente de utilización  $C_u$ . Para esto primero es necesario determinar el índice del local  $k$ . Considerando un método de iluminación directa, el índice del local es igual a:

$$k = \frac{L * A}{h(L + A)} \quad (9)$$

En el caso del laboratorio  $L$  y  $A$  son conocidas, mientras que  $h$  hace referencia a la altura de las luminarias respecto de la altura de trabajo. Definiendo una altura de luminarias de  $3\text{ m}$  y una altura de trabajo de  $0,85\text{ m}$ , la resultante  $h$  es igual a  $2,15\text{ m}$ . Por lo tanto, el índice del local es:

$$k = \frac{12\text{ m} * 7,2\text{ m}}{2,15\text{ m} (12\text{ m} + 7,2\text{ m})}$$

$$k = 2,09$$

Con este valor y los coeficientes de reflexión de paredes y techo se obtiene de tabla el valor de  $C_u$  correspondiente. Para los coeficientes de reflexión se utilizan 0,5 para el techo y 0,3 para las paredes, correspondientes a un techo de color claro y paredes de colores medios. Con estos valores se revisa la tabla:

Índice del local k	Factor de utilización ( $\eta$ )												
	Factor de reflexión del techo												
	0.8			0.7			0.5			0.3			0
	Factor de reflexión de las paredes												
	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30	
0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37	
1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41	
1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45	
1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48	
2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52	
2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54	
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56	
4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58	
5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59	

Figura 5-3: Tabla de cálculo para factor de utilización (ingenieriaindustrialonline.com).

Por tabla se obtiene un coeficiente de utilización  $C_u$  de 0,59. A continuación es necesario estimar el coeficiente de mantenimiento  $C_m$  de la instalación. Este valor se puede definir como 0,8 para ambientes limpios y con mantenimiento regular; o 0,6 para ambientes sucios y sin mantenimiento. Por tratarse de un laboratorio, se define  $C_m$  como 0,8.

Obtenidos todos los datos necesarios para calcular el flujo total de iluminación  $\Phi_t$ , se aplica nuevamente la fórmula (7):

$$\Phi_t = \frac{700 \text{ lux} * 86,4 \text{ m}^2}{0,59 * 0,8}$$

$$\Phi_t = 128136 \text{ lm}$$

Obtenido el flujo total, es necesario calcular el número de luminarias  $NL$  a instalar, aplicando la siguiente fórmula:

$$NL = \frac{\Phi_t}{n * \Phi_l} \tag{10}$$

Siendo:

$n$  = Número de lámparas por luminaria

$\Phi_l$  = Flujo luminoso de cada luminaria [ $lm$ ]

Como luminarias se seleccionan plafones de LED de 36  $W$  de potencia, con un flujo luminoso especificado de 4500  $lm$ .

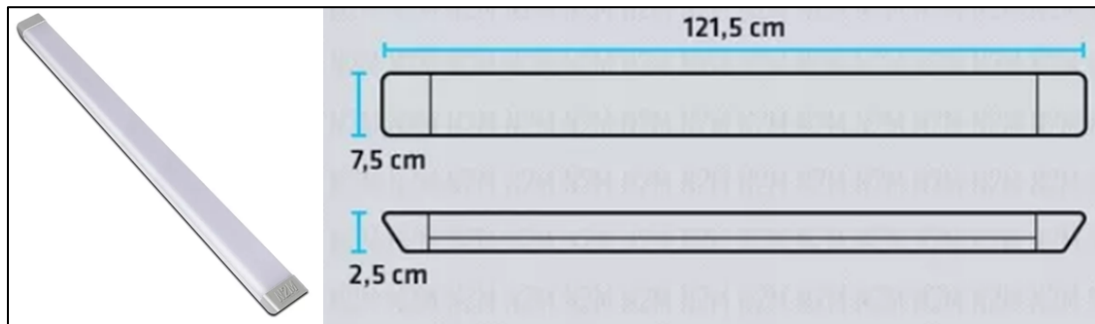


Figura 5-4: Plafón LED de 36W (lamparayluz.es).

$$NL = \frac{128136 \text{ lm}}{1 * 4500 \text{ lm}}$$

$$NL = 29$$

Considerando a cada plafón como una sola lámpara de 4500 *lm* de flujo, el número de luminarias mínimo requerido para mantener una iluminación media de 700 lux es de 29. Para lograr una distribución uniforme y equitativa en ambas áreas del laboratorio, se define un *NL* de 32 luminarias, según la disposición presentada en la siguiente figura.

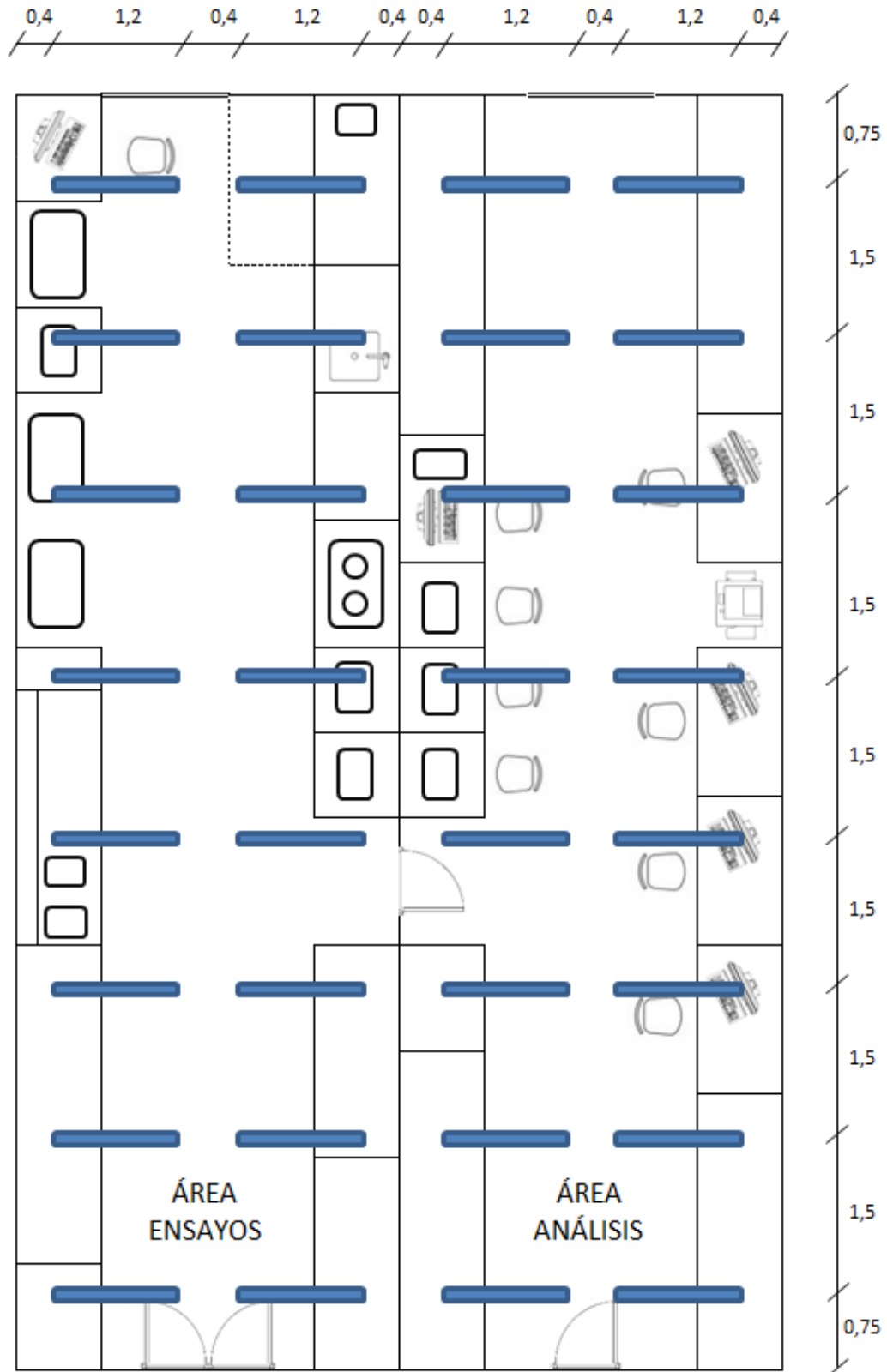


Figura 5-5: Disposición de luminarias.

### 5.3. Climatización

Para el cálculo de climatización del laboratorio se considera al mismo como una estructura exterior, aislada de otras construcciones, de modo de dimensionar los equipos según las peores condiciones posibles de exposición. También se considera a ambos sectores del laboratorio conectados entre sí con libre circulación de aire, calculando la potencia de calefacción y refrigeración de todo el recinto como una unidad.

Por tratarse de un laboratorio de control de calidad, es fundamental contar con una temperatura templada durante todo el año, independientemente de la temperatura exterior. Para esto se calcula la potencia de climatización necesaria tanto para invierno, como carga térmica de calefacción, como para verano, como carga térmica de refrigeración.

#### 5.3.1. Carga térmica de calefacción

La carga térmica de calefacción  $Q_c$  de un local expresada en watts [ $W$ ] se calcula mediante la fórmula:

$$Q_c = Q_{st} + Q_{si} - Q_{sai} \quad (11)$$

Siendo:

$Q_{st}$  = Pérdida de calor sensible por transmisión [ $W$ ]

$Q_{si}$  = Pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire exterior [ $W$ ]

$Q_{sai}$  = Ganancia de calor sensible por aportes internos [ $W$ ]

La pérdida de calor por transmisión  $Q_{st}$  se calcula aplicando:

$$Q_{st} = k * A(T_i - T_e) \quad (12)$$

Siendo:

$k$  = Coeficiente de transmitancia térmica del cerramiento [ $\frac{W}{m^2K}$ ]

$A$  = Superficie del cerramiento [ $m^2$ ]

$T_i$  = Temperatura interior de diseño [ $^{\circ}K$ ]

$T_e$  = Temperatura exterior de diseño [ $^{\circ}K$ ]

El coeficiente de transmitancia térmica  $k$  varía según la superficie en estudio. Asumiendo una altura de paredes de 3 m, 2 ventanas de 1,2 m x 1,2 m en la pared del fondo y

4 ventanas de  $2\text{ m} \times 0,5\text{ m}$  distribuidas equitativamente en las paredes laterales, las superficies totales del laboratorio se calculan en la siguiente tabla.

TABLA XXIV: Superficies externas del laboratorio.

Elemento	Largo [m]	Ancho [m]	Cantidad	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia térmica $k$ [W/m <sup>2</sup> K]
Techo de losa	12	7,2	1	86,40	0,38
Puerta metálica	2	0,8	3	4,80	4
Ventana DVH	1,2	1,2	2	2,88	3,23
	2	0,5	4	4,00	
Pared de hormigón*	7,2	3	2	35,52	0,74
	12	3	2	68,00	

\*Para el cálculo de paredes se descontó la superficie ocupada por las aberturas.

Sumando las superficies, se obtiene la superficie total  $A = 201,60\text{ m}^2$ . A continuación, se calcula el coeficiente  $k$  neto, proporcional a cada una de las superficies:

$$k = \frac{[(86,40\text{ m}^2 k_1 + 4,80\text{ m}^2 k_2 + (2,88 + 4)\text{ m}^2 k_3 + (35,52 + 68)\text{ m}^2 k_4)]}{A}$$

$$k = 0,75 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

Con  $k$  y  $A$  conocidas, resta definir las temperaturas de diseño interiores y exteriores. Asumiendo como ubicación del laboratorio la zona norte del conurbano bonaerense, podemos definir una temperatura mínima de diseño de  $-2^\circ\text{C}$ , equivalente a  $T_e = 271,15^\circ\text{K}$ . Para el interior se define una temperatura de diseño de  $20^\circ\text{C}$ , equivalente a  $T_i = 293,15^\circ\text{K}$ .

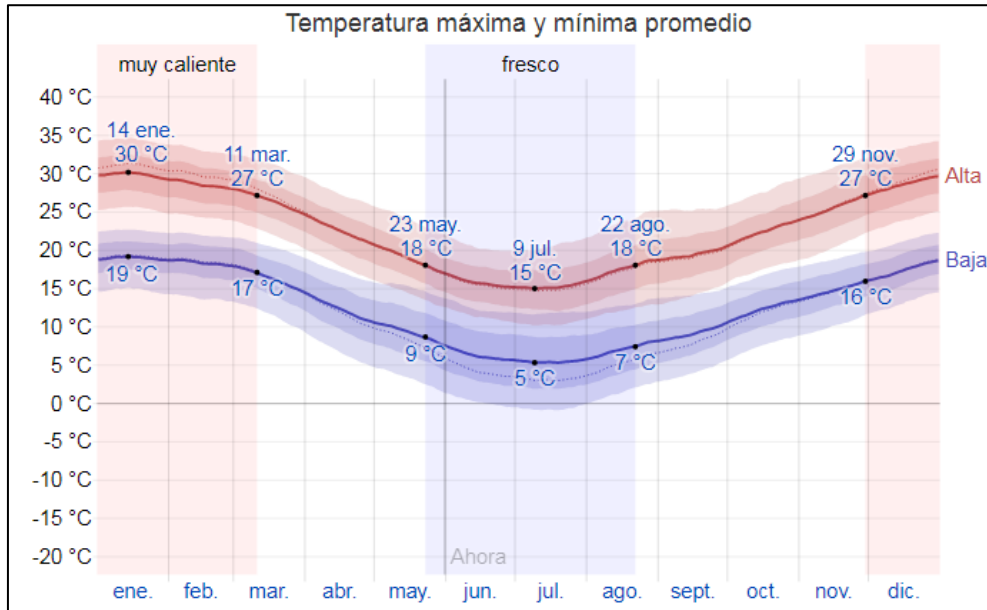


Figura 5-6: Rango de temperaturas promedio del área norte GBA (weatherspark.com).

Con estos datos se aplica nuevamente la fórmula (12):

$$Q_{st} = 0,75 \frac{W}{m^2 K} * 201,60 m^2 (293,15^{\circ}K - 271,15^{\circ}K)$$

$$Q_{st} = 3326 W$$

Obtenido  $Q_{st}$ , se calcula la pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire  $Q_{si}$  según la fórmula:

$$Q_{si} = V * N * 0,35 \frac{Wh}{m^3 \cdot K} (T_i - T_e) \tag{13}$$

Siendo:

$V$  = Volumen del ambiente [ $m^3$ ]

$N$  = Número de renovaciones por hora [ $1/h$ ]

Como número necesario de renovaciones por hora se define  $N = 1,2$  para garantizar un nivel de renovación del aire aceptable. Se calcula el volumen del recinto:

$$V = 12 m * 7,2 m * 3 m$$

$$V = 259,2 m^3$$

Este volumen de aire renovándose 1,2 veces por hora contempla, para un laboratorio de 4 ocupantes, un caudal de renovación de aire de  $77,76 m^3$  por persona por hora.

Este valor se encuentra muy por encima del mínimo recomendado de 25 a 35 m<sup>3</sup> por persona por hora. A continuación, se calcula la pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire, aplicando la fórmula 13:

$$Q_{si} = 259,2 \text{ m}^3 * \frac{1,2}{h} * 0,35 \frac{Wh}{\text{m}^3 \cdot K} (22^\circ K)$$

$$Q_{si} = 2395 \text{ W}$$

Obtenido  $Q_{si}$ , se calcula la ganancia de calor sensible por aportes internos  $Q_{sai}$  aplicando la fórmula:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{sv} \quad (14)$$

Siendo:

$Q_{sil}$  = Ganancia interna de calor sensible por iluminación [W]

$Q_{sp}$  = Ganancia interna de calor sensible debido a los ocupantes [W]

$Q_{sv}$  = Ganancia interna de calor sensible por aparatos permanentes [W]

La ganancia de calor sensible por iluminación  $Q_{sil}$  viene dada por la potencia total de luminarias. Dado que se utilizan 32 luminarias de 36 W cada una, la potencia total es:

$$Q_{sil} = 32 * 36 \text{ W}$$

$$Q_{sil} = 1152 \text{ W}$$

La ganancia de calor sensible debido a ocupantes  $Q_{sp}$  se calcula tomando en cuenta la presencia permanente del supervisor de laboratorio y 3 analistas, realizando actividades de oficina y ensayos mecánicos. La carga térmica sensible de una persona haciendo este tipo de actividad es de 75 W.

$$Q_{sp} = 4 * 75 \text{ W}$$

$$Q_{sp} = 300 \text{ W}$$

A continuación, se calcula la ganancia de calor por aparatos permanentes  $Q_{sv}$ , tomando en cuenta la potencia activa de los equipos que generan calor en forma constante. Para esto se toma en cuenta el factor de potencia emitida en forma permanente por los equipos, o la potencia consumida solo por estar encendido y no en uso constante.



TABLA XXV: Equipos que generan cargas térmicas.

Equipo	Potencia [W]	Factor de uso permanente	Carga generada [W]
Prensa hidráulica	2200	0,2	440
Fresadora de probetas	600	0,2	120
Máquina de ensayos	1600	0,2	320
Cortadora metalográfica	3000	0,2	600
Incluidora metalográfica	1300	0,2	260
Durómetro	600	0,2	120
Lijadora-pulidora	700	0,2	140
Equipos de oficina	400	0,9	360
Otros	500	1,0	500
TOTAL			2860

FUENTE: Hojas técnicas de equipos.

Con estos datos se aplica la fórmula (14) para obtener  $Q_{sai}$ :

$$Q_{sai} = 1152 W + 300 W + 2860 W$$

$$Q_{sai} = 4312 W$$

Finalmente, con los resultados obtenidos de (12), (13) y (14); se aplica nuevamente la fórmula (11) para calcular la carga térmica total de calefacción  $Q_c$ :

$$Q_c = 3326 W + 2395 W - 4312 W$$

$$Q_c = 1409 W$$

Por lo tanto, la potencia total de calefacción para el laboratorio podría ser cubierta con un calefactor de 2000 o 3000  $W$ , con un buen margen de potencia. No es un valor alto en relación al volumen de la instalación, debido en parte a los buenos factores de aislación de paredes y techo, y al importante aporte de calor de los equipos.

### 5.3.2. Carga térmica de refrigeración

La carga térmica de refrigeración  $Q_r$  del laboratorio, expresada en watts [ $W$ ], se calcula utilizando la fórmula:

$$Q_r = Q_s + Q_l \tag{15}$$

Siendo:

$Q_s$  = Carga térmica sensible [W]

$Q_l$  = Carga térmica latente [W]

A su vez, la carga térmica sensible  $Q_s$  se calcula mediante:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{sir} + Q_{sai} \quad (16)$$

Siendo:

$Q_{sr}$  = Calor por radiación solar a través del cristal [W]

$Q_{str}$  = Calor por transmisión a través de paredes y techo [W]

$Q_{sir}$  = Calor sensible por infiltraciones de aire exterior [W]

$Q_{sai}$  = Calor sensible por aportes internos [W]

Se calcula el calor por radiación  $Q_{sr}$  utilizando la fórmula:

$$Q_{sr} = R * S * f_r \quad (17)$$

Siendo:

$R$  = Radiación solar [ $\frac{W}{m^2}$ ]

$S$  = Superficie de ventanas [ $m^2$ ]

$f_r$  = Factor de corrección por radiación solar

La radiación solar medida para el norte de la provincia de Buenos Aires durante el verano es de aproximadamente  $6,5 \frac{kWh}{m^2}$  durante el día, equivalente a  $540 \frac{W}{m^2}$  considerando un período diurno de 12 horas.

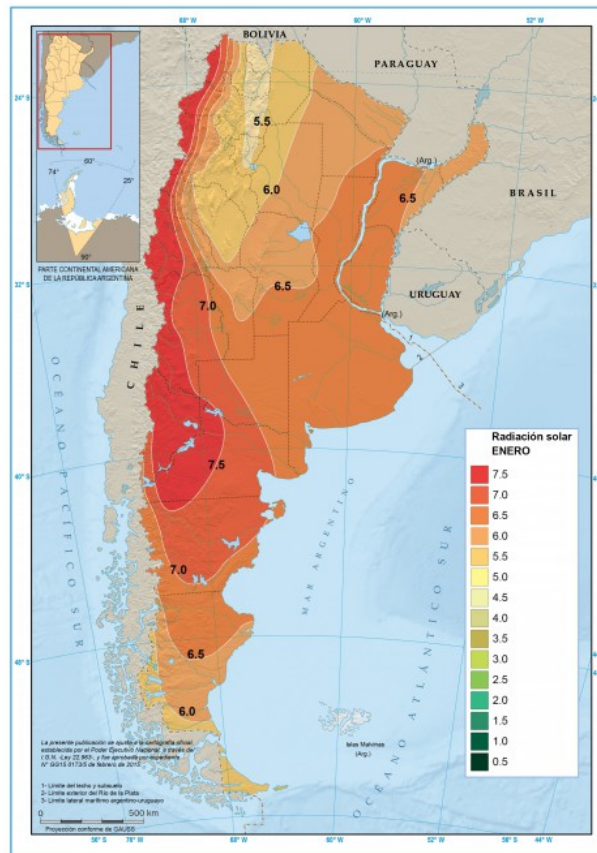


Figura 5-7: Mapa de radiación solar en Argentina (energiasdemipais.educ.ar)

La superficie de ventanas obtenida previamente (TABLA XXIV) es  $S = 6,88 \text{ m}^2$ . El factor de corrección por radiación solar depende del nivel reflectivo del vidrio utilizado, verificable por tabla, y de la orientación de las ventanas respecto de la luz solar.

Tipo de acristalamiento	Espesor en mm	Factor de transmisión energética	Factor solar $F_s$
Sencillo: Vidrio sencillo	3	0,87	0,88
Luna incolora	6	0,82	0,85
	8	0,78	0,83
	10	0,76	0,82
Luna color rosa	6	0,74	0,80
	8	0,64	0,73
Luna color gris	6	0,49	0,64
	10	0,33	0,54
Luna color verde	6	0,44	0,62
	10	0,32	0,53
Luna color bronce	6	0,47	0,64
	10	0,31	0,52
Luna reflectante	—	0,21 a 0,59	0,38 a 0,69
Doble: Lunas incoloras	6 + 6	0,67	0,73
	8 + 8	0,63	0,70
	10 + 8	0,61	0,68
Lunas color bronce + incolora	6 + 6	0,39	0,51
	10 + 8	0,24	0,37
Lunas color gris + incolora	6 + 6	0,40	0,52
	10 + 8	0,26	0,41
Lunas color verde + incolora	6 + 6	0,38	0,50
	10 + 8	0,28	0,39
Reflectante	—	0,17 a 0,49	0,27 a 0,55

Figura 5-8: Factor de corrección solar (Norma NBE-CT-79)

Por tabla se obtiene, para un doble vidrio transparente, un factor de 0,73. Adicionalmente se define un factor de incidencia de 0,5, considerando que como máximo la mitad de las ventanas están orientadas hacia la luz solar en un momento determinado. Con estos datos se calcula el calor por radiación solar total aplicando la fórmula (17):

$$Q_{sr} = 540 \frac{W}{m^2} * 6,88 m^2 * 0,73 * 0,5$$

$$Q_{sr} = 1356 W$$

A continuación, se calcula el calor por transmisión a través de paredes y techo  $Q_{str}$ , utilizando la fórmula:

$$Q_{str} = k * A(T_e - T_i) \tag{18}$$

Los valores  $k$  y  $A$  son los mismos que los calculados para la fórmula XX. Las temperaturas de diseño de refrigeración se definen 20°C para el interior, equivalente a  $T_i = 293,15^\circ K$ ; y 34°C para el exterior, según la figura 5-6, equivalente a  $T_e = 307,15^\circ K$ . Con estos datos se aplica la fórmula XX:

$$Q_{str} = 0,75 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 201,60 m^2 (307,15^\circ K - 293,15^\circ K)$$

$$Q_{str} = 2117 W$$

El calor sensible por infiltraciones de aire exterior  $Q_{sir}$  se calcula mediante una fórmula similar a la utilizada en el cálculo de  $Q_{si}$  (13) aplicado para calefacción, pero con temperaturas de refrigeración:

$$Q_{sir} = V * N * 0,35 \frac{Wh}{m^3 \cdot K} (T_e - T_i) \quad (19)$$

Conocidas  $V$  y  $N$  se actualizan las temperaturas, obteniendo:

$$Q_{sir} = 259,2 m^3 * \frac{1,2}{h} * 0,35 \frac{Wh}{m^3 \cdot K} (14^\circ K)$$

$$Q_{sir} = 1524 W$$

El calor sensible por aportes internos, obtenido previamente para el cálculo de calefacción, es  $Q_{sai} = 4312 W$ . Con este dato y los obtenidos de las fórmulas (17), (18) y (19); se aplica nuevamente la fórmula (16) para obtener el calor sensible total de refrigeración:

$$Q_s = 1356 W + 2117 W + 1524 W + 4312 W$$

$$Q_s = 9309 W$$

Completado el cálculo de carga térmica sensible, se procede al cálculo de carga térmica latente, aplicando la fórmula:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp} \quad (20)$$

Siendo:

$Q_{li}$  = Calor latente por infiltraciones de aire exterior [ $W$ ]

$Q_{lp}$  = Calor latente por ocupantes [ $W$ ]

Para calcular  $Q_{li}$  se aplica la fórmula:

$$Q_{li} = V * N * 0,8 \frac{Wh}{m^3 \cdot K} (T_e - T_i) \quad (21)$$

Conocidos los valores de  $V$ ,  $N$  y temperaturas, se calcula:

$$Q_{li} = 259,2 \text{ m}^3 * \frac{1,2}{h} * 0,8 \frac{Wh}{\text{m}^3 \text{K}} (14^\circ K)$$

$$Q_{li} = 3484 \text{ W}$$

La carga térmica latente de una persona para esta actividad es de 75 *W*, por lo que el calor latente  $Q_{lp}$  para los 4 ocupantes del laboratorio es:

$$Q_{lp} = 4 * 115 \text{ W}$$

$$Q_{lp} = 460 \text{ W}$$

Se aplica nuevamente la fórmula (20) para calcular el calor latente total:

$$Q_l = 3484 \text{ W} + 460 \text{ W}$$

$$Q_l = 3944 \text{ W}$$

Obtenida la carga térmica sensible (16) y la carga térmica latente (20), se aplica nuevamente la fórmula (15) para obtener la carga térmica total de refrigeración:

$$Q_r = 8009 \text{ W} + 3944 \text{ W}$$

$$Q_r = 11953 \text{ W}$$

Por lo tanto, será necesario contar con un equipo de refrigeración de 13000 *W* de potencia para garantizar una temperatura interior de 20°C durante los días más cálidos del verano, con un margen de potencia cercano al 10%.

Como resultado de este análisis, se define instalar un equipo de aire acondicionado de 6500 *W* con capacidad frío/calor en cada uno de los sectores, cubriendo de esta forma la totalidad de las necesidades de climatización del laboratorio durante todo el año. Para que la temperatura sea equitativa, dado que la carga térmica de equipos se encuentra desbalanceada entre áreas, se define el uso de rejillas de ventilación con libre circulación de aire en la división central del laboratorio.

#### 5.4. Instalación eléctrica

Para el diseño de la instalación eléctrica del laboratorio, se considera que el suministro eléctrico es trifásico, con una tensión entre fases de 400 *V*, tensión entre fase y

neutro de 230 *V* y frecuencia de 50 *Hz* (valores recomendados según IEC). La instalación estará compuesta por un tablero y 3 circuitos eléctricos, detallados en la tabla a continuación.

TABLA XXVI: Circuitos eléctricos.

Circuito	Uso	Potencia instalada [kW]	Factor de simultaneidad	Factor de utilización	Potencia neta calculada [kW]
Iluminación	Luminarias.	1,20	1,00	1,00	1,20
Análisis	Tomas oficina y accesorios.	3,50	0,75	0,90	2,36
Ensayos	Tomas equipos de mayor porte.	14,20	0,75	0,75	7,99
TOTAL					11,55

Los circuitos de iluminación y del área análisis son exclusivamente de tensión monofásica (230 *V*), mientras que el circuito del área ensayos cuenta con tensión trifásica (400 *V*). De esta forma, el área análisis estará equipada con tomacorrientes monofásicos, mientras que el área ensayos dispondrá de tomacorrientes monofásicos y trifásicos.

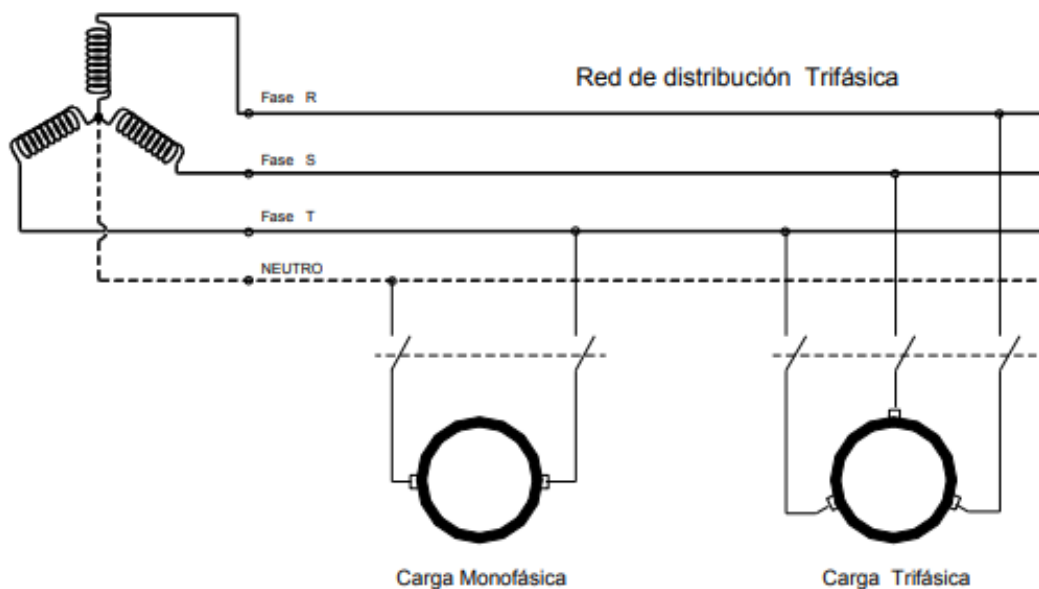


Figura 5-9: Conexión de tomacorrientes monofásicos y trifásicos a la red trifásica (researchgate.net).

### 5.4.1. Cálculo de sección de conductores

El conductor seleccionado debe cumplir principalmente con 2 requisitos: Resistir el calor generado por la intensidad de corriente circulante, y estar dentro de valores admisibles de caída de tensión entre la fuente y las cargas de cada circuito. En función de estos requisitos se calcula la sección adecuada para cada conductor. Pero en primer lugar se determina el tipo de instalación de conductores a emplear.

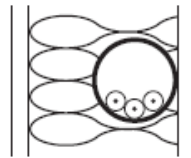
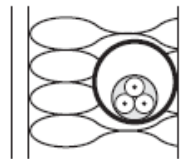


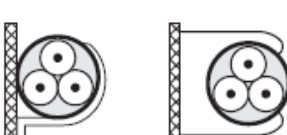
Métodos de instalación	Descripción	Método de instalación de referencia que se va a utilizar para obtener la capacidad de conducción de corriente
 Sala	Conductores aislados o cables en tubo empotrado en una pared aislada térmicamente	A1
 Sala	Cables multiconductores en tubo empotrado en una pared aislada térmicamente	A2
	Conductores aislados o cables en tubo en una pared de madera o mampostería o separados de la misma a una distancia inferior a $0,3 \times$ diámetro de tubo	B1
	Cable multiconductor bajo tubo en una pared de madera o mampostería o separado de la misma a una distancia inferior a $0,3 \times$ diámetro de conducto	B2
	Cables unipolares o multiconductores fijados o separados de una pared de madera a una distancia inferior a $0,3 \times$ diámetro de cable	C

Figura 5-10: Ejemplos de métodos de instalación de conductores.

Por el tipo de construcción de mampostería, y para evitar la exposición de conductores en bandejas o métodos similares, se selecciona el método de instalación A1 de conductores aislados en tubo empotrado, contribuyendo de esta forma a un mayor grado de seguridad en la instalación. A continuación, se determina la intensidad de corriente máxima



en cada circuito. Para esto se calcula la intensidad de corriente en función de la potencia neta calculada (TABLA XXVI).

Para el cálculo de potencia  $P$  en circuitos monofásicos se utiliza la fórmula:

$$P = I \times U \times \cos\varphi \quad (22)$$

Siendo:

$I$  = Intensidad de corriente monofásica [A]

$U$  = Tensión de circuito [V]

$\cos\varphi$  = Factor de potencia del circuito

Por lo tanto, para determinar  $I_m$  se despeja la fórmula (22) obteniendo:

$$I = \frac{P}{U \times \cos\varphi} \quad (23)$$

Del mismo modo, la potencia trifásica está determinada por:

$$P_t = \sqrt{3} \times I_t \times U \times \cos\varphi \quad (24)$$

Siendo:

$I_t$  = Intensidad de corriente trifásica [A]

Por lo tanto, para determinar  $I_t$  se despeja la fórmula (24), obteniendo:

$$I_t = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad (25)$$

A continuación, se aplican las fórmulas (23) y (25) según corresponda para determinar la intensidad de corriente en cada circuito.

TABLA XXVII: Intensidades de corriente por circuito.

Circuito	Potencia neta [W]	Tensión [V]	Cos $\varphi$	Potencia aparente [VA]	Intensidad de corriente [A]
Iluminación	1200	230	1	1200	5,2
Análisis	2360	230	0,9	2622	11,4
Ensayos	7990	400	0,8	9988	14,4

Para los 3 circuitos se utiliza cable de cobre con recubrimiento de PVC. Definidos el tipo de conductor, método de instalación e intensidades máximas, se obtiene la sección de cable normalizada necesaria para cada circuito en función del calor generado.

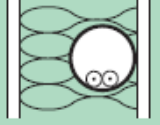
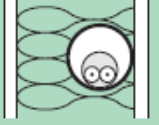


Sección nominal de conductores (mm <sup>2</sup> )	Métodos de instalación			
	A1	A2	B1	B2
1				
	2	3	4	5
<b>Cobre</b>				
1,5	13,5	13	15,5	15
2,5	18	17,5	21	20
4	24	23	28	27
6	31	29	36	34
10	42	39	50	46
16	56	52	68	62

Figura 5-11: Intensidades máximas de corriente admisibles por sección.

Como se puede ver en la figura 5-11, en función del calor generado por la intensidad de corriente circulante, para los circuitos Iluminación y Análisis es suficiente con una sección de 1,5 mm<sup>2</sup>, mientras que el circuito Ensayos requiere una sección de 2,5 mm<sup>2</sup>. También se puede verificar de esta forma que la tensión trifásica es la más adecuada para el circuito Ensayos, ya que de utilizar tensión monofásica con ese nivel de cargas la intensidad de corriente sería de 43,4 A; requiriendo una sección nominal de 16 mm<sup>2</sup> por conductor.

A continuación, se determina la caída de tensión máxima generada en los circuitos eléctricos. Por normativa esta no debe superar el 3% en el circuito Iluminación, el 5% en los circuitos Análisis y Ensayos durante uso normal; y el 8% en el circuito Ensayos durante el arranque de equipos con motor eléctrico. En caso de no cumplir con estos requisitos se deberá utilizar una sección de conductor mayor a la previamente determinada.

La caída de tensión  $\Delta U$  para conductores de sección inferior a 50 mm<sup>2</sup> en circuitos monofásicos se obtiene mediante:

$$\Delta U = 2I_m(R \cos \phi)L \tag{26}$$

Siendo:

$I_m$  = Intensidad de corriente monofásica [A]

$R$  = Resistencia del conductor [ $\frac{\Omega}{km}$ ]

$L$  = Longitud del conductor [km]

Mientras que para circuitos trifásicos se aplica:

$$\Delta U = \sqrt{3} I_t (R \cos \varphi) L \tag{27}$$

La resistencia R del cobre viene dada por:

$$R = \frac{22,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}}{S} \tag{28}$$

Siendo:

$S$  = Sección del conductor [ $\text{mm}^2$ ]

Aplicando las fórmulas (25), (26) y (27) se obtienen los datos de caída de tensión máxima por circuito en siguiente tabla.

TABLA XXVIII: Caídas de tensión máxima por circuito.

Circuito	Intensidad de corriente [A]	Sección [ $\text{mm}^2$ ]	Resistencia [ $\Omega/\text{km}$ ]	$\text{Cos } \varphi$	Longitud* [km]	Caída de tensión [V]
Iluminación	5,2	1,5	15	1	0,04	6,0
Análisis	11,4	1,5	15	0,9	0,03	9,6
Ensayos	14,4	2,5	9	0,8	0,03	1,5
Ensayos (arranque)	72,0* <sup>2</sup>	2,5	9	0,35	0,03	1,4

\* Como valor de Longitud se toma el perímetro total del laboratorio en el circuito Iluminación, y los perímetros individuales de cada área en los circuitos Análisis y Ensayos.

\*<sup>2</sup> En condiciones de arranque se define la intensidad de corriente  $I_a = 5 I_t$ .

A continuación, se determinan los porcentajes de caída de tensión máxima en cada circuito.

TABLA XXIX: Porcentajes de caída de tensión máxima por circuito.

Circuito	Caída de tensión [V]	Tensión nominal [V]	% ΔV
Iluminación	6,0	230	2,6%
Análisis	9,6	230	4,2%
Ensayos	1,5	400	0,4%
Ensayos (arranque)	1,4	400	0,4%

Se puede ver que ninguno de los circuitos, tanto en condiciones de uso normal como de arranque en el caso del circuito Ensayos, excede el valor requerido de caída de tensión máxima. Por lo tanto, en lo que a caída de tensión respecta no es necesario aumentar la sección de los conductores previamente determinados.

### 5.4.2. Elementos de protección

Para proteger tanto a la instalación eléctrica como a los usuarios del laboratorio se utilizarán dos tipos de protecciones automáticas, interruptor termomagnético e interruptor diferencial; así como un electrodo de puesta a tierra adecuado (jabalina) de acero con depósito electrolítico según especificación de norma IRAM 2309. Se asume que la instalación mayor donde se emplaza el laboratorio cuenta con protección contra sobretensiones (pararrayos).

Los interruptores termomagnéticos seleccionados para cada circuito deben cumplir la siguiente relación:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \tag{29}$$

Siendo:

$I_B$  = Intensidad de corriente del circuito [A]

$I_n$  = Intensidad de corriente nominal del interruptor [A]

$I_z$  = Intensidad de corriente admisible del conductor [A]

Los interruptores termomagnéticos están normalizados según su intensidad de corriente nominal en: 6 A, 10 A, 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 40 A, 50 A y 63 A. Pero permiten una

tolerancia de +/-20% en su intensidad nominal, por lo que, tomando en cuenta estos valores, se definen interruptores termomagnéticos de las siguientes capacidades para colocar en la entrada de cada circuito:

TABLA XXX: Protecciones termomagnéticas por circuito.

Circuito	Intensidad de corriente [A]	Corriente nominal del interruptor [A]	Rango de acción del interruptor [A]	Corriente admisible del conductor [A]
Iluminación	5,2	10,0*	8,0 - 12,0	13,5
Análisis	11,4	16,0	12,8 - 19,2	18,0
Ensayos	14,4	20,0*	16,0 - 24,0	18,0* <sup>2</sup>

\* Tomando en cuenta únicamente la intensidad de corriente nominal de circuitos, podrían seleccionarse interruptores automáticos de 6 A y 16 A para los circuitos Iluminación y Ensayos respectivamente, pero aplicando la tolerancia de +/- 20% estos quedarían dentro del rango de disparo en condiciones de uso normal. Por lo tanto, se seleccionan para estos circuitos interruptores de 10 A y 20 A respectivamente.

\*<sup>2</sup> Al seleccionar un interruptor de 20 A para el circuito Ensayos se comprueba que no se cumple la relación definida en la fórmula (29), ya que en este caso la corriente nominal del interruptor  $I_n$  es mayor a la corriente máxima admisible del conductor  $I_z$  (valores de  $I_z$  obtenidos de la figura 5-11), por lo tanto se redefine una sección de conductor de 4 mm<sup>2</sup> para este circuito, con una intensidad de corriente admisible de 24 A.

Las cargas presentes en los distintos circuitos no son iguales, y requieren el uso de distintas clases de interruptores según su tiempo de disparo. Para los circuitos Iluminación y Análisis, con cargas principalmente resistivas, se utilizarán interruptores clase B. Por otro lado, el circuito Ensayos presenta corrientes de arranque debido a las cargas con motor eléctrico, por lo que para este circuito se utilizará un interruptor clase C.

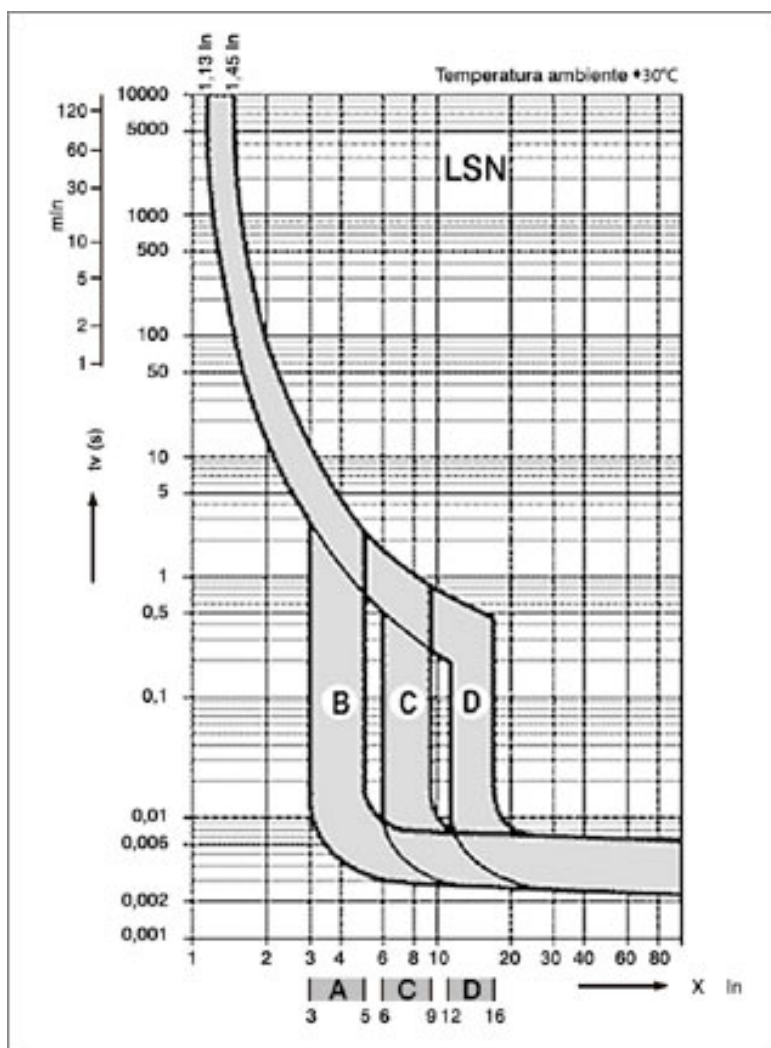


Figura 5-12: Curvas de disparo de interruptor termomagnético (IEC60898)

Para determinar la máxima capacidad de corte de los interruptores termomagnéticos se calcula la corriente de cortocircuito trifásico  $I_{cc3}$  utilizando:

$$I_{cc3} = \frac{0,8 U_t}{\sqrt{3} Z_T} \quad (30)$$

Siendo:

$U_t$  = Tensión nominal trifásica [V]

$Z_T$  = Impedancia total del circuito [ $\Omega$ ]

Como se desconoce la impedancia del circuito de alimentación de la red (transformador, red de distribución y acometida) se admite que en el caso de cortocircuito la tensión se puede considerar como 0,8 veces la tensión nominal de línea. Se considera

únicamente la resistencia del conductor  $R$  como impedancia total  $Z_T$ , y se calcula el defecto fase-tierra como la peor condición.

Considerando que el laboratorio esta alimentado por una línea de derivación individual de  $10 \text{ mm}^2$  de por lo menos  $20 \text{ m}$  de longitud, se calcula primero la resistencia total del cable aplicando la ecuación (28) para una distancia de  $20 \text{ m}$ :

$$R = \frac{22,5 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{km}} \times 0,02 \text{ km}}{10 \text{ mm}^2}$$

$$R = 0,045 \Omega$$

A continuación, se toma este valor de resistencia como impedancia total del sistema, aplicando la ecuación (30) para obtener la corriente de cortocircuito:

$$I_{cc3} = \frac{0,8 \times 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 0,045 \Omega}$$

$$I_{cc3} = 4110 \text{ A}$$

Tomando en cuenta la tolerancia de  $\pm 20\%$  en intensidad de corriente de interruptores termomagnéticos, estos deberán contar con una capacidad de corte de  $5 \text{ kA}$ .

Además de los interruptores termomagnéticos, el tablero eléctrico de la instalación dispone de un interruptor diferencial tetrapolar a la entrada para detectar diferencias entre la entrada y salida de corriente de los circuitos, protegiendo así a las personas de descargas eléctricas. Pero para evitar que este pueda dañarse por corrientes de cortocircuito, a su vez se coloca una protección termomagnética tetrapolar adicional aguas arriba del interruptor diferencial, con capacidad de corte igual a la suma de las corrientes definidas para cada circuito.

A continuación, se presenta el diagrama de las protecciones definidas para la instalación eléctrica del laboratorio.

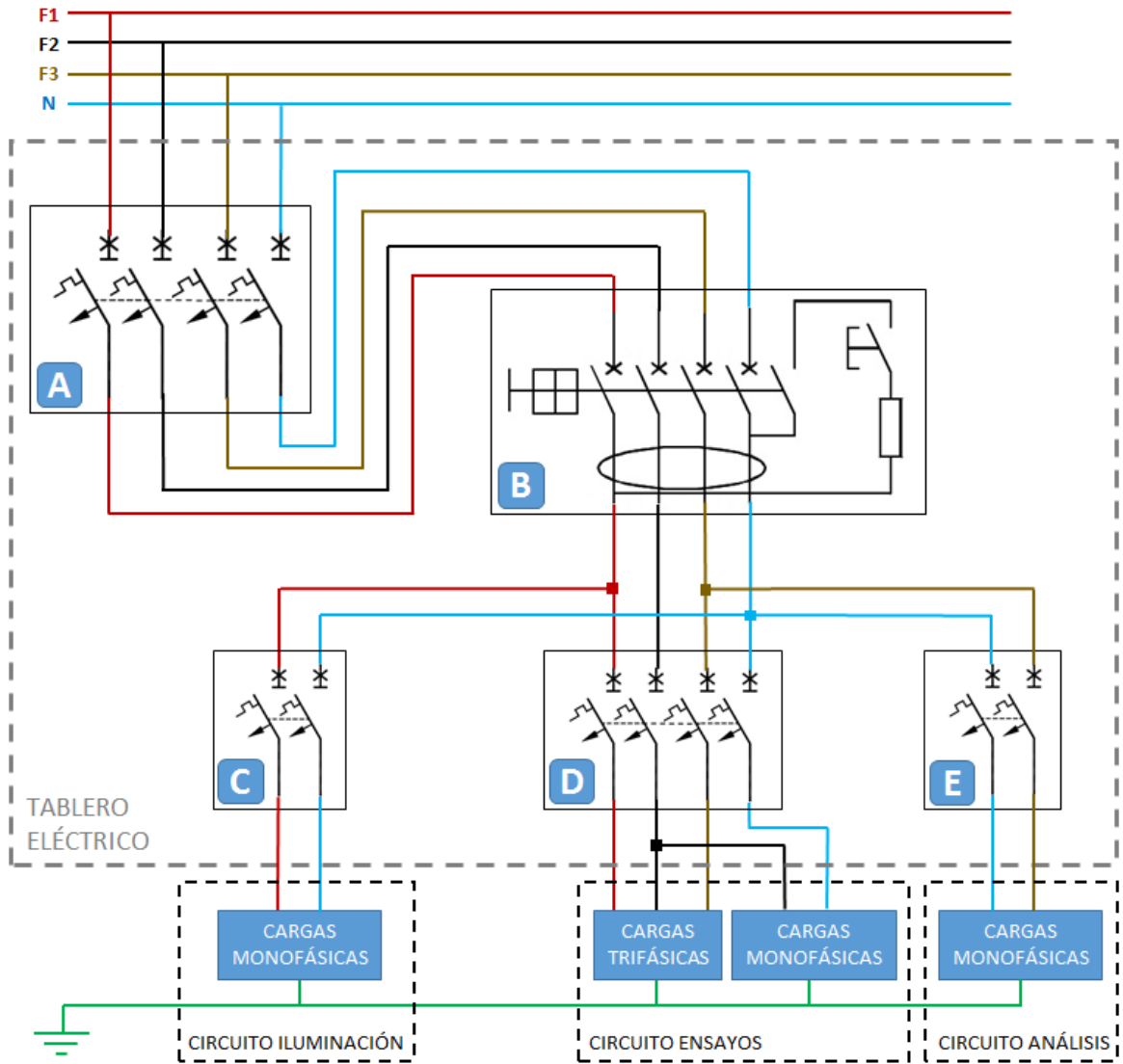


Figura 5-13: Diagrama de los elementos de protección del laboratorio



TABLA XXXI: Referencias de la figura 5-13.

Ítem	Tipo de interruptor	N° de polos	Capacidad [A]
A	Termomagnético	4	40
B	Diferencial	4	40 (30 mA)
C	Termomagnético	2	10
D	Termomagnético	4	20
E	Termomagnético	2	16

Como se desprende de la figura 5-12 y de la tabla XXXI, el tablero eléctrico cuenta con 4 interruptores termomagnéticos y 1 interruptor diferencial que seccionan y distribuyen la corriente de la línea trifásica principal en los 3 circuitos previamente definidos del laboratorio.

La protección termomagnética inicial podría definirse nominalmente en 32 A, ya que la suma de las intensidades de corriente en los circuitos es de 31 A (Tabla XXX). Pero, al igual que con casos previos, se le aplica el rango de tolerancia de +/-20% que podría provocar el disparo en condiciones de uso normal. Es por esto que tanto el interruptor termomagnético como el diferencial de entrada se definen en 40 A. El interruptor diferencial cuenta además con una sensibilidad de 30 mA para detectar corrientes de fuga.



Figura 5-14: Interruptor termomagnético tetrapolar e interruptor diferencial tetrapolar (sicaelec.com)

## 6. Costos

### 6.1. Inversión inicial

Según registros del Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesiones Afines ([www.copaipa.org.ar/costos-de-la-construccion](http://www.copaipa.org.ar/costos-de-la-construccion)), el costo de construcción para una edificación del tipo industrial como la presentada en este proyecto era de \$ 26.514,32 por  $m^2$  al mes de marzo de 2019. Este valor incluye el costo de la instalación eléctrica, cañerías e instalación de luminarias.

Según registros del Banco Nación, durante marzo de 2019 el valor promedio del dólar fue de \$ 41,55. El valor de construcción en dólares es por lo tanto de U\$S 638,13 por  $m^2$ . Calcular el costo en dólares permite extrapolar el costo del  $m^2$  de construcción, independientemente de la inflación en pesos.

TABLA XXXII: Costo de construcción.

Superficie [ $m^2$ ]	Costo por m2 [U\$S]	Costo Total [U\$S]
86,4	638,13	55134,43

A continuación, se calcula el costo total del equipamiento necesario, según requerimientos definidos en los capítulos 4 y 5.

TABLA XXXIII: Costo de equipamiento del laboratorio

Ítem	Costo unitario [U\$S]	Cantidad	Costo total [U\$S]
Cizalla manual	190,00	1	190,00
Amoladora	225,00	1	225,00
Sierra sensitiva	300,00	1	300,00
Herramientas manuales	3200,00	1	3200,00
Prensa hidráulica	8000,00	1	8000,00
Fresadora	6500,00	1	6500,00
Lijadora-pulidora	5500,00	1	5500,00
Máquina Universal	14500,00	1	14500,00
Rugosímetro	4300,00	1	4300,00
Micrómetro	350,00	1	350,00
Yugo magnético	3200,00	1	3200,00
Lámpara UV	4200,00	1	4200,00
Cerramiento UV	250,00	1	250,00
Cortadora metalográfica	4600,00	1	4600,00
Cabina extractora	5400,00	1	5400,00
Incluidora metalográfica	5900,00	1	5900,00
Durómetro universal	8500,00	1	8500,00
Durómetro Shore	250,00	1	250,00
Lupa de inspección	600,00	1	600,00
Microscopio metalográfico	7500,00	1	7500,00
Equipo de medición óptica	14000,00	1	14000,00
Estantería metálica por metro	45,00	19	855,00
PC con monitor	300,00	6	1800,00
Impresora láser	300,00	1	300,00
Escritorio	100,00	4	400,00
Silla	60,00	9	540,00
Aire acondicionado 6500 W	1000,00	2	2000,00
Instalación de equipos	700,00	1	700,00
<b>TOTAL</b>			<b>104060,00</b>

Fuente: Valores comerciales disponibles de mercado

El costo de los equipos está basado en su valor comercial de mercado, sin incluir costos adicionales de importación e impuestos. Para hacer una aproximación más exacta, se multiplica este resultado por un factor de 1,36 (0,21 por impuestos y 0,15 por gastos de importación), obteniéndose un resultado de U\$S 141.522.

Calculando entonces la inversión inicial para este proyecto como la suma del costo de construcción y el costo de equipamiento, el total es de U\$S 196.656.

## 6.2. Costo operativo

Para calcular el costo operativo normal del laboratorio se toman en cuenta 3 factores: personal, insumos y consumo eléctrico. No se incluyen costos de mantenimiento edilicio, amortización de equipos u otros factores, ya que no se pretende realizar un análisis del punto de vista comercial del proyecto, sino simplemente una aproximación de su costo operativo mensual.

El personal fijo del laboratorio consiste en un supervisor y 3 analistas. El monto mensual total para un supervisor y 3 analistas de laboratorio en Argentina es de U\$S 3.079,00; basándose en niveles de sueldo promedio del mercado (fuente: bumeran.com.ar) y al tipo de cotización oficial del dólar.

Los insumos necesarios son muy diversos, con gran variación de costos, y van desde elementos comunes de oficina como hojas de impresora o folios, hasta insumos específicos de laboratorio, como agentes químicos para el tratamiento de superficies metálicas a partículas magnetizables. También su costo es variable en función del uso que se da a los distintos tipos de ensayo en el laboratorio. A fin de simplificar el cálculo se determina un costo mensual por insumos de U\$S 1.000.

A continuación, se calcula el costo del consumo eléctrico. De la tabla XXVI, la potencia neta calculada es de 11,55 kW. Considerando una jornada laboral de 8 horas, el consumo diario del laboratorio es de 92,4 kWh. Según criterio del Ente Nacional Regulador de Energía, este tipo de instalación corresponde a la categoría T2, usuarios intermedios.

TABLA XXXIV: Cuadro tarifario para usuarios intermedios T2 a marzo 2018

Tarifa 2	Unidad	Valor
Cargo Fijo	\$/mes	713,00
Cargo por Potencia Contratada	\$/kW-mes	332,56
Cargo por Potencia Adquirida	\$/kW-mes	2,57
Cargo Variable	\$/kWh	1,235

Fuente: Ente Nacional Regulador de la Electricidad  
([www.argentina.gob.ar/enre/cuadros\\_tarifarios](http://www.argentina.gob.ar/enre/cuadros_tarifarios))

El costo mensual del consumo eléctrico  $C_e$ , calculando un mes con 23 días hábiles, es entonces la suma del cargo variable y el cargo fijo:

$$C_e = 92,4 \text{ kWh} * 1,235 \frac{\$}{\text{kWh}} * 23 + 713,00 \$ + 332,56 \$ + 2,57 \$$$

$$C_e = 3672,75 \$$$

A valor del dólar en marzo 2018, el costo por consumo eléctrico es de U\$S 88,39.

Finalmente se calcula el costo operativo mensual  $C_o$ , sumando los costos de personal, insumos y consumo eléctrico:

$$C_o = 3079,00 \text{ U}\$\$ + 1000,00 \text{ U}\$\$ + 88,39 \text{ U}\$\$$$

$$C_o = 4167,39 \text{ U}\$\$$$

El costo operativo mensual de laboratorio es, por lo tanto, de U\$S 4.167,39.

### 6.3. Costo de tener fallas

En este punto se evalúa el costo para una terminal automotriz de trabajar con piezas que no cumplan con los requisitos mecánicos necesarios. Suponiendo que se producen piezas defectuosas y estas llegan al proceso productivo de un fabricante, existen distintas instancias en las que pueden ser detectadas, pero a fines de simplificar el análisis se separan en dos categorías:

- Detección durante la fabricación del vehículo, por parte del fabricante.
- Detección en vehículo terminado, por parte del cliente.

Por lo visto en la introducción de este trabajo, la gravedad es mucho mayor para el segundo grupo, pudiendo llegar a afectar la seguridad de las personas y potencialmente generar enormes consecuencias económicas para el fabricante, al punto de amenazar su propia supervivencia como empresa. Pero esto no quiere decir que los casos clasificados dentro del primer grupo no puedan generar a su vez serios impactos económicos. A continuación, se analiza el costo de tener piezas con fallas que generen paradas de línea productiva, afectando la eficiencia de planta. Para esto se calcula el costo de cada minuto productivo  $x$ , relacionando el ingreso por vehículo y el tiempo de ciclo de fabricación de cada vehículo.

$$x = \frac{I_v}{T} \quad (31)$$

Siendo:

$I_v$  = Ingreso por vehículo [*U\$S/veh*]

$T$  = Tiempo de ciclo [*min/veh*]

Durante el año 2017, los 3 principales fabricantes automotrices nacionales produjeron en total 279.608 vehículos automotores, un promedio de 93.203 por fabricante (*ADEFA.org.ar*). Esto es equivalente a una producción mensual de 7767 vehículos. Considerando un mes de 22 días laborables, y una producción diaria neta de 16 horas divididas en 2 turnos, esto equivale a 22 vehículos por hora. Por lo tanto, el tiempo de ciclo promedio para la industria durante 2017 fue de 2,72 minutos, o 163 segundos. Esto significa que, por cada 2,72 minutos no productivos, la terminal produce un vehículo menos, y por lo tanto deja de percibir como ingreso el precio de venta de ese vehículo. En la práctica los tiempos de ciclo son en muchos casos aún menores.

El costo de fabricación promedio de un vehículo en Argentina en la actualidad es de U\$S15.900 (*ADEFA.org.ar*). Ya que el ingreso por vehículo es un cálculo complejo que involucra muchas variables desconocidas, y a fines de establecer un piso, se asume que el ingreso es el mismo costo de fabricación y que no existen ganancias por parte de la empresa. De esta forma se aplica la ecuación (31) sobre los datos anteriores para determinar el costo del minuto no productivo para la terminal automotriz:

$$x = \frac{15900 \text{ U$S/veh}}{2,72 \text{ min/veh}}$$

$$x = 5845,59 \text{ U$S/min}$$

Por lo tanto, el costo del minuto no productivo para el fabricante es de casi U\$S 6.000. En la realidad este costo es aún mayor porque, como se mencionó, el ingreso por vehículo es mayor al costo de fabricación. Además, el tiempo de ciclo es, en algunos terminales, menor al calculado.

#### 6.4. Amortización de la inversión inicial

Partiendo de las cifras analizadas durante la introducción de este trabajo, la industria automotriz consume aproximadamente 100 millones de autopartes al mes.

Considerando que una terminal automotriz tuviera el 10% del mercado nacional, esto equivaldría a un consumo mensual de 10 millones de autopartes. Si se toman en cuenta los valores de PPM vistos durante la introducción (TABLA II), y en el caso hipotético de que sus proveedores de autopartes lograsen niveles de calidad correspondientes a  $6\sigma$ , o 3,4 PPM; estaría recibiendo 34 partes defectuosas todos los meses (un cálculo muy optimista a fines prácticos). Suponiendo una parada de línea promedio de un minuto por cada parte defectuosa, considerando este el tiempo mínimo necesario para identificar la parte como defectuosa, retirarla de la línea de ensamble y reemplazarla con una parte OK; esto equivale a 34 minutos de paradas de línea todos los meses, producto de autopartes defectuosas.

No todos los defectos de autopartes son del tipo detectables en el laboratorio, mediante ensayos mecánicos y control de soldadura. Haciendo una clasificación de defectos principales de autopartes podemos definir 4 grandes grupos: dimensional, apariencia, funcional y propiedades mecánicas. Estas últimas serían detectables en el laboratorio. Por lo tanto, de las 32 partes defectuosas por mes asumimos que un 25%, equivalente a 8 partes por mes, serían detectables en una instalación de este tipo. Tampoco en laboratorio podría garantizarse la detección del 100% de las partes defectuosas, ya que por limitaciones lógicas en tiempo y cantidad de recursos disponibles es imposible controlar el total de las autopartes destinadas a producción, trabajando en su lugar por muestreo de lotes. Considerando que la detectabilidad sea del 50% de los defectos, esto lograría evitar que un total de 4 autopartes defectuosas llegaran a línea de ensamble por mes.

Tomando el valor del costo por minuto no productivo  $x$  calculado en el punto 6.3, y estimando una parada de línea de por lo menos un minuto por pieza defectuosa, como se mencionó previamente, esto equivale a 4 minutos menos de parada de línea por mes, o un ahorro mensual de:

$$4 \text{ min/mes} * 5845,59 \frac{\text{U\$\$}}{\text{min}} = 23382 \text{ U\$$/mes}$$

Descontándole a este monto el costo operativo calculado en el punto 6.2, el ahorro neto es de:

$$23382,36 \text{ U\$$/mes} - 4167,39 \text{ U\$$/mes} = 19214,97 \text{ U\$$/mes}$$

Con este resultado se puede calcular el plazo de amortización del proyecto, como el cociente entre la inversión inicial calculada en el punto 6.1 y el ahorro mensual neto:

$$\frac{196656 \text{ U\$}}{19214,97 \text{ U\$/mes}} = 10,23 \text{ meses}$$

Por lo tanto, el costo de inversión inicial del proyecto quedaría amortizado en un plazo menor a un año.



## 7. Análisis de casos

En la introducción de este proyecto, se presentaron 3 casos emblemáticos de la industria automotriz que involucraron fallas mecánicas en autopartes. A continuación, se resume cómo, para cada uno de estos casos, se podrían haber utilizado equipos del laboratorio para analizar y evaluar el componente defectuoso. Por supuesto hay muchos factores involucrados en la generación y propagación de defectos de alcance tan masivo como los mencionados, como por ejemplo factores de diseño ajenos del ámbito del control de calidad o políticas corporativas elaboradas en función de costos operativos, pero con este ejercicio se pretende mostrar el alcance de una instalación de este tipo, y su rol fundamental en la detección y prevención de fallas.

### 7.1. Ford 1980

- Problema: Cambio de posición espontáneo e involuntario en la selectora de marcha de transmisión automática, saltando de la “P” a la “R”. Como consecuencia puede generar, si el vehículo se encuentra con el motor en marcha, una repentina aceleración en reversa producto del acople de la transmisión.
- Causa Raíz: Falla de resistencia mecánica en un resorte.
- Ensayo Requerido: Micro dureza.
- Equipo principal: Durómetro.

En este caso un resorte se encontraba fuera de especificación en cuanto a resistencia mecánica. Para evaluar la resistencia del mismo se utiliza un ensayo de dureza. Al ser una superficie pequeña y de poca profundidad, se utiliza un ensayo del tipo micro dureza Vickers.

Primero es necesario preparar la pieza para su análisis, cortando una muestra con la cortadora metalográfica e incluyéndola en una probeta con la incluidora. A continuación, se pule la superficie para eliminar imperfecciones, utilizando la pulidora y comprobando su estado con la lupa de inspección hasta alcanzar el nivel adecuado para la evaluación de dureza. Finalmente se utiliza el durómetro universal para realizar la impronta en la pieza y medir el valor de penetración obtenido, comprobando si este se ajusta a la especificación de dureza del material.

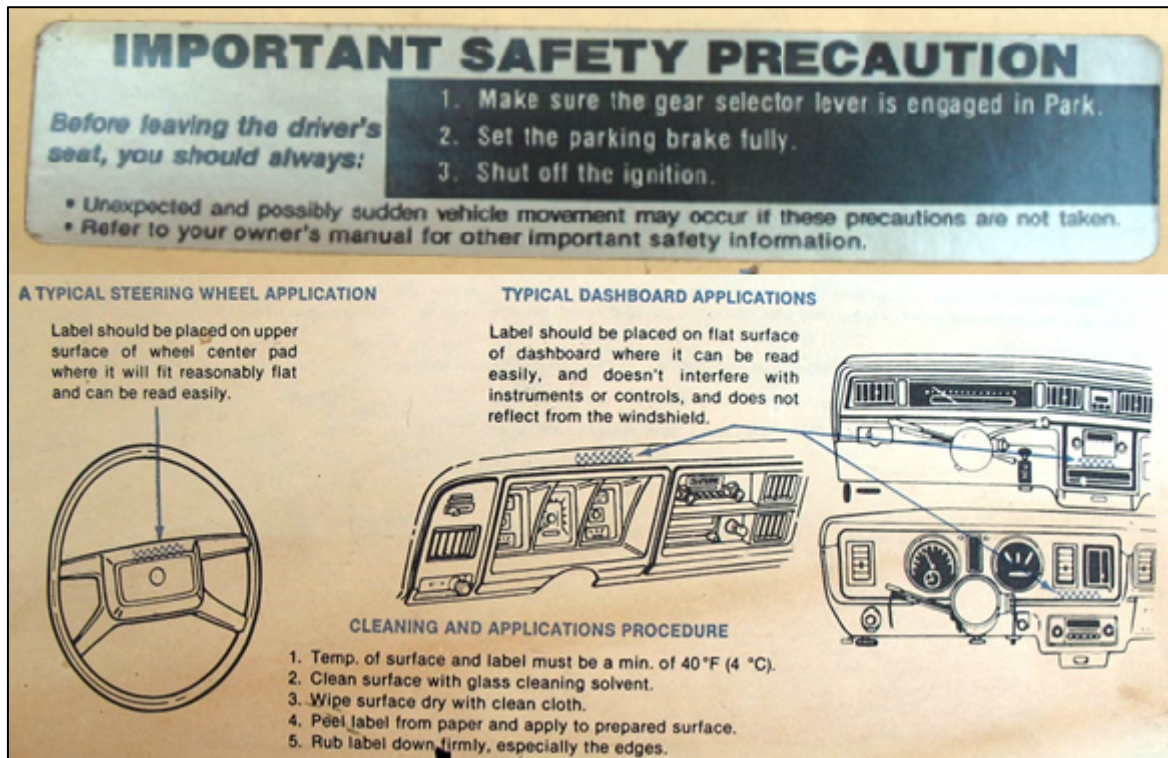


Figura 7-1: Etiqueta de seguridad y aplicación recomendada en vehículo, Ford 1981 (fordification.com)

## 7.2. Toyota 2010

- Problema: Falla del pedal de aceleración provoca que este se trabe, acelerando el vehículo en forma descontrolada.
- Causa raíz: Coeficiente de rozamiento estático excesivo entre el pedal y el soporte de caucho, impide el retorno libre del mismo luego de accionarlo. Se genera por un exceso de rugosidad superficial en la superficie del soporte en contacto con el pedal.
- Ensayo requerido: Rugosidad superficial.
- Equipo principal: Rugosímetro.

En este caso la falla estuvo en no evaluar correctamente la rugosidad superficial del soporte, incluso siendo el ensayo de rugosidad un ensayo muy simple de realizar. En este proyecto se incluyó el análisis de rugosidad como parte del proceso de preparación de probetas para un ensayo de tracción (sección 4.1.3), pero contando con un

rugosímetro palpador de banco como el seleccionado para el laboratorio es posible realizar este tipo de ensayo en cualquier superficie de manera independiente.

Para realizar el ensayo es necesario desarmar el subensamble del pedal, separando el soporte, y cortar una muestra del mismo de forma tal que la superficie que interactúa con el pedal quede en contacto con el palpador del rugosímetro. Obtenida esta muestra el palpador del equipo realiza un recorrido por la superficie, otorgando los valores de rugosidad superficial medidos, permitiendo así evaluar si los mismos se encuentran dentro de la especificación de la parte.



Figura 7-2: Defecto de acelerador Toyota por exceso de fricción (carscoops.com)

### 7.3. General Motors 2014

- Problema: Bajo torque rotacional en tambor de arranque, genera que la llave pueda girar de posición ignición a posición apagado a causa de vibraciones o saltos durante la marcha. Por diseño del sistema, al apagar la marcha se endurece la dirección y se desactivan las bolsas de aire, aumentando la probabilidad de accidentes y la gravedad de los mismos.

- Causa raíz: Bajo rozamiento entre disco plástico y marco del cilindro, baja resistencia a la deformación del resorte del retén de posición del cilindro.
- Ensayo requerido: Rugosidad superficial, micro dureza.
- Equipo principal: Durómetro, rugosímetro.

La causa raíz en este caso es una combinación de los factores vistos en los dos casos anteriores. Por un lado, un resorte de retén que presenta una falla de resistencia mecánica, y por otro lado una falla de rugosidad entre superficies que genera un coeficiente de rozamiento por debajo de especificación. La forma de analizar individualmente cada componente sería la misma que en puntos anteriores, mediante ensayos de micro dureza y rugosidad superficial, en durómetro universal y rugosímetro respectivamente.

Este último caso demuestra que diversos modos de falla en autopartes, con mayor o menor alcance, pueden tener una causa raíz igual o similar en común. De ahí la importancia de conocer las causas más comunes de falla en las propiedades mecánicas de las autopartes, y elaborar un plan de control acorde para la evaluación de las mismas. Y es requisito fundamental para ello contar con instalaciones y equipos como los desarrollados en este proyecto.

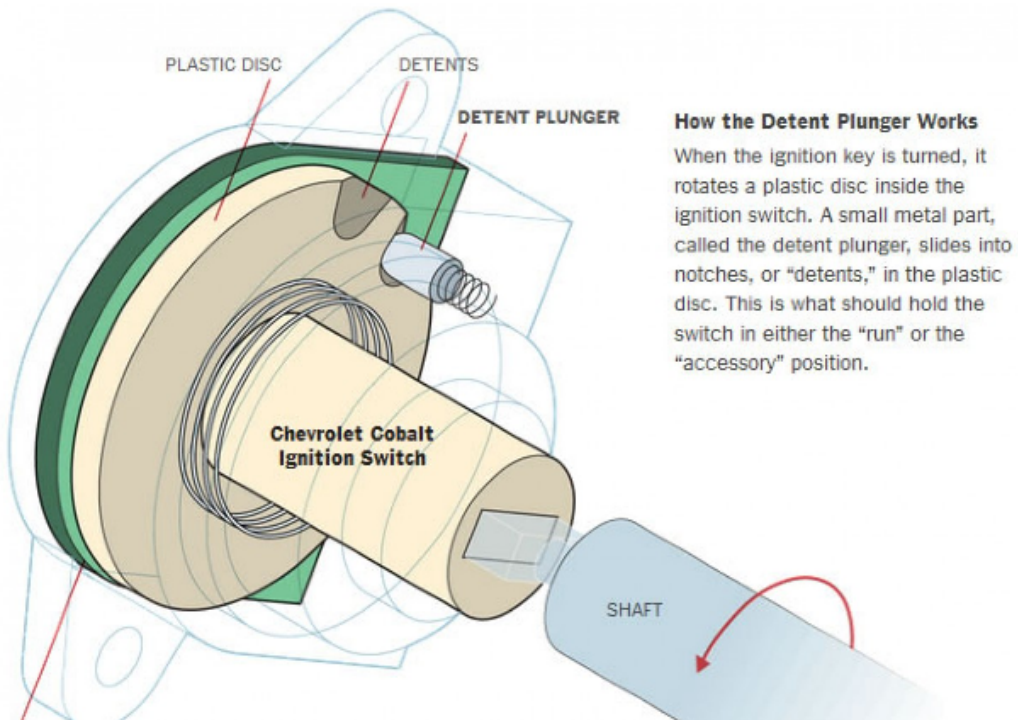


Figura 7-3: Defecto en tambor de arranque GM (aerossurance.com)

## 8. Conclusiones

Durante el presente trabajo se analizaron los pasos necesarios para la construcción de un laboratorio automotriz de ensayos mecánicos y soldadura. En el mismo se puede ver que, si bien el diseño y construcción de instalaciones de este tipo comprende una tarea de alta complejidad, se puede llevarse a cabo en forma relativamente simple respetando la secuencia de actividades descritas en este documento.

Al ser un trabajo desarrollado en forma secuencial, cada etapa de diseño del laboratorio parte de un *input* definido o generado en la etapa o etapas anteriores, procesándolo para obtener como resultado un *output* de datos determinado. Estos a su vez sirven, en primer lugar, para definir requerimientos específicos del proyecto, y en segundo lugar para actuar nuevamente como *input* de la etapa siguiente, hasta llegar así al diseño final del proyecto.

De la primera etapa de diseño, o etapa de requisitos, se desprende que, si bien la complejidad de un vehículo automotor en la actualidad es muy alta, comprendiendo sistemas mecánicos, electromecánicos y electrónicos interconectados; los requisitos de evaluación de esfuerzos mecánicos a los que se encuentran sometidos estos sistemas pueden agruparse en relativamente pocas categorías. Es así que, partiendo de los grupos y sub-grupos componentes del vehículo, se definen los principales esfuerzos mecánicos aplicados a cada uno, y se agrupan en una matriz de control con 4 categorías principales de ensayos. Estas serán luego utilizadas como base para definir los requisitos puntuales del laboratorio en cuanto a equipamiento. Se puede concluir entonces que, verificando solamente estas 4 categorías de ensayo, se puede asegurar en gran medida la condición estructural del vehículo.

Partiendo de las 4 categorías antes determinadas, en la siguiente etapa se define el equipamiento necesario para realizar los controles correspondientes. En este capítulo se puede ver que la manera más efectiva para clarificar los requisitos de equipamiento es realizando un desglose de los procesos operativos correspondientes a cada categoría. De esta forma se definen los requisitos materiales necesarios para todo el proceso de control, de principio a fin. A su vez es posible analizar las distintas opciones de equipamiento disponibles en cada caso para cumplir una función determinada, tomando en cuenta factores como efectividad y productividad a la hora de priorizar una opción sobre otra. De esta forma es posible adaptar mejor el equipamiento necesario a los requisitos específicos de cada laboratorio, según sus propias características definidas por el usuario.



Como puede observarse en esta etapa, para este proyecto se priorizó el equipamiento con menor volumen físico. De este modo se puede hacer uso del espacio en forma más eficiente, considerando que este tipo de instalación no suele tener gran cantidad de espacio disponible en plantas productivas, por no estar directamente relacionadas con la producción, y que tampoco podría disponer de mucho espacio en caso de tratarse de una pequeña o mediana empresa dedicada a servicios de control de calidad en forma tercerizada. En el presente análisis también se priorizan los equipos de mayor velocidad, aumentando de esa forma la productividad del laboratorio. Esto obedece a la necesidad de analizar piezas por muestreo. La capacidad de analizar un mayor número de piezas en menor tiempo permite hacer las muestras de los lotes de producción más grandes y por lo tanto más representativas, así como verificar una mayor variedad de piezas, aumentando en ambos casos el índice de aseguramiento de calidad de las mismas.

La siguiente etapa de Layout es fundamental para finalmente dar forma y organización material al conjunto de requerimientos y equipamientos detallados en etapas anteriores. Una vez más se realiza primero un desglose de los procesos de control detallados en etapas anteriores, pero agrupándolos según sus características en dos áreas diferenciadas. La mayoría de las operaciones de control son, por sus características, asignadas al sector “Ensayos” del laboratorio. Pero debido a las tareas complementarias de tipo analítico que se llevan a cabo, como por ejemplo el análisis de tendencias o la confección de reportes de resultados, el neto de actividades está balanceado entre ambas áreas. Se concluye, por lo tanto, que la cantidad de espacio físico necesario para ambos sectores es similar. Teniendo esto en cuenta se realiza el layout físico de ambas áreas, basándose en el flujo de procesos de cada categoría visto anteriormente para optimizar el Layout de equipos, reduciendo al mínimo los movimientos innecesarios o que no agreguen valor al ensayo.

Se determinan a continuación, mediante cálculo, los valores necesarios de iluminación y climatización. Por tratarse de un laboratorio el nivel de requerimiento lumínico calculado es elevado, pero este es fácilmente alcanzable utilizando equipos de tecnología LED de alta potencia presentados en el documento. Estos equipos tienen la ventaja de ser durables y de relativamente bajo costo, haciéndolos una opción muy conveniente para suplir el requerimiento lumínico de la instalación. Por la división de áreas y tareas definida para este laboratorio en particular, se definió utilizar una distribución equitativa de luminarias en ambos

sectores. Esto nos permite obtener un nivel uniforme de luz en todas las áreas, aunque podría modificarse según las necesidades particulares de cada diseño.

Del cálculo de climatización se puede ver que la importante carga térmica de equipos, combinada con el espacio relativamente pequeño del laboratorio, generan que el nivel de calefacción necesario durante el invierno sea relativamente bajo, necesitando una baja potencia instalada de calefacción para acondicionar el ambiente. Pero a su vez esto genera que sea necesaria una elevada potencia de refrigeración durante el verano, para mantener el laboratorio en niveles de temperatura adecuados para la realización de ensayos. Como consecuencia de este análisis se determina prioritario emplazar el laboratorio en zonas que favorezcan menores temperaturas, por ejemplo, a resguardo de luz solar directa o distanciándolo de generadores u otros equipos que puedan desprender calor, ya que contribuirían al desbalance térmico existente.

También del cálculo de climatización se concluye que es fundamental contar con un adecuado coeficiente de aislamiento en las paredes de la instalación, y disponer de luminarias que no generen o generen el mínimo posible de cargas adicionales de calor, ambos requerimientos cumplidos en este caso para reducir el consumo eléctrico en refrigeración.

A continuación, se realiza el análisis y cálculo de componentes de la instalación eléctrica. En esta etapa se puede apreciar la importancia de contar con una instalación trifásica para instalaciones de alto consumo, como es el área Ensayos del presente diseño. Como se refleja en la tabla XXVI, la potencia instalada del circuito Ensayos es más de 4 veces mayor a la potencia instalada del circuito Análisis, y casi 12 veces la potencia instalada del circuito Iluminación. Y, sin embargo, la sección de conductores calculada para este circuito es apenas mayor que para los otros circuitos, con 2,5 mm<sup>2</sup> contra 1,5 mm<sup>2</sup> respectivamente. A su vez el circuito trifásico genera menores intensidades de corriente, lo cual se traduce en elementos de protección de menor capacidad y menores costos de la instalación eléctrica en general. Como se puede ver en la figura 5-13 y en la tabla XXXI es posible, gracias a la intensidad de corriente relativamente baja, proteger a los usuarios de los 3 circuitos del laboratorio con un solo interruptor diferencial de 40 A, a su vez protegido de sobretensiones por un interruptor termo-magnético de entrada.

Otra ventaja del sistema trifásico que se puede apreciar en las tablas XXVIII y XXIX es la menor caída de tensión experimentada por este tipo de distribución. En este caso el impacto no es tan grande, ya que se trata de circuitos con relativamente corto recorrido,

pero sin embargo se puede ver que el porcentaje de caída de tensión en circuitos monofásicos Iluminación y Análisis es de 2,6% y 4,2% respectivamente. Ambos valores se encuentran cerca de los sus límites permitidos de caída de tensión respectivamente. En caso de necesitar un recorrido levemente mayor, podrían superar el porcentaje de caída admitido, haciendo necesario un incremento en la sección del conductor con su consecuente incremento en costos. Por otro lado, el circuito trifásico Ensayos presenta apenas un 0,4% de caída de tensión, lo cual le brinda amplio margen de expansión, en caso de ser necesario, sin necesidad de recurrir a un aumento de sección del conductor.

En la sección de Costos podemos ver que, si bien el costo del proyecto es considerable, es una inversión adecuada considerando el impacto económico negativo que puede llegar a tener el uso de partes con niveles de calidad inadecuados. Como se ve en la sección 6.2, tomando en cuenta la tasa de calidad promedio del sector automotriz, una terminal con el 10% del mercado podría amortizar completamente el costo de inversión total de este proyecto en un plazo menor a un año, debido a la mejora de calidad intrínseca.

De estas cifras se concluye en primer lugar el gran impacto negativo que pueden tener las fallas de calidad en autopartes para la terminal, pero también cómo este costo se puede reducir considerablemente con una inversión como la detallada en este proyecto. Si bien no es una inversión menor, está dentro de parámetros accesibles para grandes terminales automotrices. Puede resultar menos accesible para pequeñas y medianas empresas, en el caso de querer establecer una empresa dedicada a brindar servicios tercerizados de control de calidad. Pero debido al mencionado alto impacto económico de la mejora de calidad resultaría igualmente rentable, justificando por lo tanto la inversión requerida.

A continuación, se hace un resumen en forma de ítems de las principales conclusiones obtenidas en las distintas etapas del proyecto:

- ✓ Es posible simplificar el proceso de diseño de un laboratorio de ensayos mecánicos trabajando en forma secuencial.
- ✓ Si bien un vehículo automotor moderno es un conjunto complejo de sistemas interconectados, se pueden agrupar sus requisitos de evaluación principales en 4 categorías de ensayos mecánicos.
- ✓ Se pueden determinar en forma efectiva los requisitos específicos de equipamiento de cada tipo de ensayo realizando un desglose de su proceso operativo.



- ✓ Por más que la mayoría de los procesos se lleve a cabo en el sector Ensayos, se necesita la misma cantidad de espacio físico para ambos sectores del laboratorio, de modo de mantener balanceadas sus actividades complementarias y operar en forma eficiente.
- ✓ Al contar con equipos de alta carga térmica es posible tener una potencia instalada de calefacción relativamente baja, pero un mayor requerimiento de refrigeración en épocas de mayor temperatura. Es recomendable tomar en cuenta esto al momento de definir la ubicación del laboratorio (fuentes de calor externas, luz solar directa, etc.).
- ✓ Debido a la magnitud de la intensidad de corriente en el sector Ensayos, es recomendable contar con una instalación de tipo trifásica en el circuito de este sector, no así en los otros circuitos del laboratorio.
- ✓ El valor económico del minuto no productivo en el sector automotriz es muy alto. Producir con piezas fuera de especificación puede generar, en el mejor de los casos, un gran incremento de costos, y en el peor de los casos tener un impacto negativo potencialmente catastrófico en el fabricante en caso de llegar al cliente.
- ✓ Una inversión como la del presente proyecto puede generar un ahorro de costos significativo para el fabricante, amortizándose en un plazo menor a un año, y reduciendo considerablemente la probabilidad de que el cliente reciba productos defectuosos.

El resultado final de este proyecto es una herramienta flexible pero precisa para el diseño de una instalación fundamental del control de calidad, adecuándola a las necesidades particulares del usuario, ya sea una gran terminal automotriz o una pequeña empresa dedicada al control de calidad tercerizado de autopartes.

## Bibliografía

BOROJOVICH, José Luis. *Instalaciones eléctricas* [apunte]. Cátedra Instalaciones IIB - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de Córdoba. 2019. 130 p.

CZAJKOWSKI, Jorge D. *Sistemas de climatización – Balance térmico de verano* [apunte]. Cátedra de Instalaciones – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata. 2016. 18 p.

CZAJKOWSKI, Jorge D; GÓMEZ, Analía y FERREYRO, Carlos. *Diseño ambientalmente consciente 1 – Calidad higrotérmica de cerramientos verticales y horizontales – Sustentabilidad económica energética edilicia* [apunte]. Cátedra de Instalaciones – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata. 2016. 17 p.

FERREIRO LÓPEZ, Marcos. *Diseño de una matriz progresiva para chapa* [proyecto final de carrera – ingeniería técnica industrial especialidad mecánica]. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona – Universidad Politécnica de Cataluña (España). 2011. 28 p.

GÓMEZ, Víctor. *Clasificación de los aceros* [apunte]. Cátedra Materiales Metálicos – 2do Ingeniería Mecánica – Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional. 2019. 13 p.

GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA – PROCESOS DE FABRICACIÓN. *Rugosidad superficial* [apunte]. Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Mar del Plata. 2015. 16 p.

HERAS COBO, Carlos y GUARDINO SOLÁ, Xavier. *NTP373: La ventilación general en el laboratorio*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo – Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (España). 1992. 6 p.

INGENIEROSINDUSTRIALES.COM. [en línea]. © 2019. *Cálculo de cargas térmicas* [apunte]. 5 p. <<http://ingenierosindustriales.com>>

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *IRAM 11601- Aislamiento térmico de edificios – Métodos de cálculo* [apunte]. 3ª ed. 2002. 52 p.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *IRAM/IAS U 500-102 – Materiales metálicos – Ensayo de tracción* [apunte]. 3ª ed. 2016. 100p.

INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA DE CONSUEGRA (TOLEDO). *Manual de cálculo de cargas térmicas* [apunte]. Cátedra Sistemas de Energías Renovables. 2019. 47 p.

LUACES GÓMEZ, Álvaro. *Instalación eléctrica y equipamientos de un taller mecánico destinado a la fabricación y soldadura de piezas mecánicas* [proyecto final de carrera – ingeniería técnica industrial especialidad en electricidad]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad Rovira i Virgili (España). 2006. 329 p.

MILLÁN SALINAS, José Antonio. *Diseño de las instalaciones eléctricas de una nave industrial destinada a la transformación de plásticos* [proyecto final de carrera – ingeniería técnica industrial especialidad en electricidad]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad Rovira i Virgili (España). 2009. 594 p.

MORELLI, Rubén Darío. *Extracto de la reglamentación de la AEA (Asociación Electrotécnica Argentina) para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles – AEA 90364 – Parte 7 – Sección 771* [apunte]. Cátedra Dibujo Asistido por Computadora – Departamento de Sistemas de Representación – Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario.

MUNICIPALIDAD DE ROSARIO [en línea]. © 2019. *Detalles constructivos en eficiencia energética – Cubiertas* [apunte]. 4 p. Programa de construcciones sustentables y eficiencia energética. <<https://www.rosario.gob.ar>>

MUNICIPALIDAD DE ROSARIO [en línea]. © 2019. *Detalles constructivos en eficiencia energética – Muros* [apunte]. 10 p. Programa de construcciones sustentables y eficiencia energética. <<https://www.rosario.gob.ar>>

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE CONSTRUCTORES DE AUTOMÓVILES [en línea]. © 2019. [consulta mayo 2019]. <<http://www.oica.net>>

PDCA HOME [en línea]. © 2019. [consulta mayo 2019]. <<https://www.pdcahome.com>>

RAQUELSERRANO.COM [en línea]. © 2019. *Ensayos no destructivos: partículas magnéticas* [apunte]. 8 p. <<http://www.raquelserrano.com>>

RINGEGNI, Pablo. *Cálculo de uniones soldadas* [apunte]. Cátedra Mecanismos y Elementos de Máquinas - Departamento de Aeronáutica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata. 6ª ed. 2013. 21 p.

SALAZAR TRUJILLO, Jorge Eduardo. *Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería*. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. 1ª ed. 2007. 68 p. ISBN 978-958-8280-08-0.

SCHNEIDER ELECTRIC ESPAÑA, S.A. *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*. 2ª ed. Barcelona, 2008. 476p. ISBN 84-609-8658-6.

SUVIRI IGLESIAS, Fernando. *Instalaciones con aprovechamiento climático y de energía solar en edificio de residencia – Anexo de cálculo* [proyecto final de carrera – ingeniería industrial]. Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla (España). 2006. 90 p.

THE ENGINEERING TOOLBOX [en línea]. © 2019. *Illuminance - Recommended Light Level*. [artículo en línea - consulta junio 2019]. <<https://www.engineeringtoolbox.com>>

V.V.A.A. *Ensayos de dureza* [apunte]. Cátedra Conocimiento de los Materiales – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Pampa. 2006. 30 p.

V.V.A.A. *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes* [apunte]. Departamento Construcciones Arquitectónicas – Escuela Técnica Superior de Arquitectura – Universidad Politécnica de Valencia (España). 2019. 10 p.

V.V.A.A. *Metalografía* [apunte]. Cátedra Tecnología I – Instituto Nacional Superior del Profesorado Técnico – Universidad Tecnológica Nacional (Buenos Aires). 2015. 10 p.

V.V.A.A. *Enciclopedia práctica del automóvil – reparación y mantenimiento*. Ed. 2009. Madrid: Cultural, 2009. 1224 p. ISBN 978-84-8055-758-0.