



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD

## AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
ELECTRÓNICA

TÍTULO DE LA TESIS

“Definición de un método de valoración aritmética, sobre el desdoblado dinámico de la bolsa de airbag de pasajero y la interacción con la tapa del tablero de instrumento en pruebas climáticas”

Tesis para obtener el título de:  
LICENCIADO EN INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA

PRESENTA:

Emanuel Raziél Muñoz García

NOMBRE DEL DIRECTOR Y ASESOR:  
Dr. Germán Ardul Muñoz Hernández



PUEBLA, PUE.

Octubre 2021

# Índice

Capítulo 1: Introducción, justificación y objetivo del proyecto .....	2
1.1 Introducción .....	2
1.2 Justificación .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.4 Estructura de la tesis .....	6
Capítulo 2: Marco teórico .....	7
2.1 Conceptos y definiciones.....	14
2.2 Condiciones del ensayo .....	22
2.3 Sistema de airbag .....	35
Capítulo 3: Desarrollo del proyecto .....	37
3.1 Normas y Descripción de las pruebas .....	37
3.2 Pruebas experimentales .....	40
Capítulo 4: Análisis y pruebas realizadas.....	46
4.1 Desarrollo de la solución .....	46
4.2 Análisis de resultados .....	58
Capítulo 5: Conclusiones .....	60
5.1 Conclusiones generales .....	60
5.2 Conclusiones específicas .....	61
Referencias .....	65
Anexos .....	68

# Capítulo 1: Introducción, justificación y objetivo del proyecto

## 1.1 Introducción

En la actualidad, organismos mundiales como US NCAP, Euro NCAP, Australian NCAP, Japan NCAP, Korea NCAP, China NCAP, Global NCAP, Latin NCAP, Asean NCAP y BNVSAP (India) han aumentado los criterios de evaluación de la seguridad pasiva y activa de los autos que salen al mercado. Cada uno de estos organismos se encarga de dar pronósticos de los accidentes que suceden en el mundo real, mediante pruebas de impacto (*crash tests*), para determinar los valores del daño que pudieran recibir los pasajeros dentro del vehículo a la hora del choque. De esta forma, las industrias automotrices brindan a sus clientes y compradores información correcta acerca de la confiabilidad y seguridad de sus autos. En la mayoría de los casos, se promueve internamente el desarrollo de nuevos modelos de autos que cumplan y satisfagan altos estándares de seguridad.

En el caso de México, no se cuenta con leyes ni normas que ayuden a fijar el mínimo de seguridad pasiva o activa de los ocupantes de los autos. Antes del 2014, los autos vendidos en México no contaban con el mínimo de seguridad en cuanto a bolsas de aire o frenos, lo que ocasionaba que el índice de mortalidad correspondiente a accidentes automovilísticos aumentara cada año entre un 5% y 10% (Vázquez, Hernández, Fabela, Flores, Sánchez y Molano, 2017). Sin embargo, en el 2014, México se alineó a los criterios del Latin NCAP, lo que produjo un fuerte cambio, ya que, a partir de esa fecha, todos los autos que se vendieran en el país requerirían obligatoriamente lo mínimo en cuanto a seguridad pasiva de los ocupantes.

En la empresa Volkswagen de México, el departamento de Seguridad Vehicular (Desarrollo Técnico) ve la constante necesidad de desarrollar nuevos modelos de autos que permitan obtener una mejor calificación en las pruebas de impacto a nivel

mundial para que estén cada vez mejor posicionados en el mercado y ayuden al crecimiento de la empresa a nivel mundial. Dicho departamento se encarga del desarrollo y evaluación de las piezas de seguridad pasiva y activa, como las bolsas de aire (del conductor, del pasajero, lateral, de cortina y de rodilla), los cinturones de seguridad, las pruebas basadas en la norma FMVSS 201U (impacto de cabeza) y el diseño del vehículo para asegurar la protección del peatón.

Los estándares y criterios de los organismos mundiales (NCAPs) encargados de regular la protección del conductor y pasajeros dentro del auto incrementan y se dificultan con el paso del tiempo, lo que motiva al desarrollo y mejora continua de los autos de la marca.

## 1.2 Justificación

Con base en lo anteriormente señalado, el presente trabajo se enfoca en el análisis del comportamiento de la bolsa de aire frontal del pasajero, ya que, de acuerdo con las pruebas de impacto (*crash tests*) que realizan los organismos automotrices mundiales, dos de las tres principales pruebas involucran de lleno la interacción de la bolsa de aire con los maniquís (*dummies*) al momento del choque y en la tercera interactúan las bolsas restantes (la bolsa de cortina y la bolsa lateral).

Conocer mejor el desenvolvimiento de la bolsa e identificar sus zonas y tiempos de interacción con el tablero de instrumentos beneficiaría a las industrias automotrices a tener un mercado más amplio, ya que sus autos tendrían una mayor aceptación al obtener una calificación más alta durante estas pruebas. Además del impacto comercial, disponer de una buena bolsa de aire de pasajero es fundamental para tener cinco estrellas en el Impacto Completo Frontal (*Full Frontal Impact*) y en el Impacto *Offset* Frontal (*Offset-Frontal Impact*).

Cada una de las estrellas obtenidas en la prueba de choque frontal significa lo siguiente:

☆☆☆☆☆ = 10% o menos probabilidad de sufrir una lesión severa.

☆☆☆☆ = del 11% al 20% de probabilidad de sufrir una lesión severa.

☆☆☆ = del 21% al 35% de probabilidad de sufrir una lesión severa.

☆☆ = del 36% al 45% de probabilidad de sufrir una lesión severa.

☆ = 46% o más de probabilidad de sufrir una lesión severa.

De acuerdo con lo anterior, obtener una estrella representa una alta posibilidad de que, al momento de sufrir un choque, los ocupantes del vehículo sufran lesiones severas en todo el cuerpo.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo del proyecto

Formular y aplicar un método de investigación numérico referente al despliegue de la bolsa del módulo de aire del pasajero (*Beifahrerairbag/BAB/BFAB*), así como su interacción cinemática con la tapa de airbag desde la activación del módulo hasta alcanzar un giro de 100 °. Para así, mediante su uso optimizar y reducir los recursos monetarios designados a cada proyecto.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Diseñar un sistema electrónico, mediante el uso de sensores y acelerómetros, que identifique las zonas de interacción de la bolsa de aire del pasajero al momento de detonar y tener contacto con el tablero de instrumentos (es importante medir el impacto que sucede durante los primeros 30 ms).
- 2) Establecer un sistema de recolección de datos flexible y adaptable a cualquier bolsa de aire de cualquier vehículo de la marca.
- 3) Establecer un método para la mejora de productos (bolsas de aire) y la optimización de recursos durante proyectos de lanzamiento.

## **1.4 Estructura de la Tesis**

En el presente trabajo se describirá el comportamiento del sistema tablero-bolsa de aire, mediante un análisis detallado de las variables que interactúan directamente con el sistema al momento de realizar una prueba de seguridad pasiva (Capítulo 2: Marco teórico; Capítulo 3: Desarrollo del proyecto). Además, se dará una concisa justificación del trabajo, así como un desglose detallado del desarrollo del proyecto, para exponer los resultados y conclusiones obtenidos al finalizar las pruebas (Capítulo 4: Análisis y pruebas realizadas; Capítulo 5: Conclusiones).

Cabe mencionar que el proyecto surgió de la necesidad del departamento de Seguridad Vehicular, con el fin de tener una comprensión más clara y precisa del comportamiento de sus piezas, mediante el uso de nuevas tecnologías y dispositivos electrónicos de medición.

## Capítulo 2: Marcó teórico

A lo largo de la historia, los fabricantes de automóviles se han preocupado por la mejora continua de sus productos, sobre todo cuando se dieron cuenta de la necesidad de tener autos más seguros, es decir, buscar y fabricar soluciones para alcanzar el “objetivo cero”, esto es, cero víctimas de accidentes automovilísticos. Los principales hallazgos que han marcado la historia de la seguridad pasiva son los siguientes:

- 1) Habitáculo indeformable: El chasis debe contar con un espacio de alta rigidez, es decir, debe ser indeformable; la célula de supervivencia o habitáculo debe estar rodeado de estructuras menos rígidas, llamadas zonas de deformación programadas (Figura 1).



**Figura 1.** *Habitáculo indeformable.* Fuente: Grupo Fame (2016).



- 2) Cinturones de seguridad: Son los principales dispositivos de retención. Son obligatorios en todas las plazas delanteras desde 1983 y en las plazas traseras desde 1992. Además, reducen el riesgo de muerte y heridas graves entre un 40% y 65% (Figura 2).



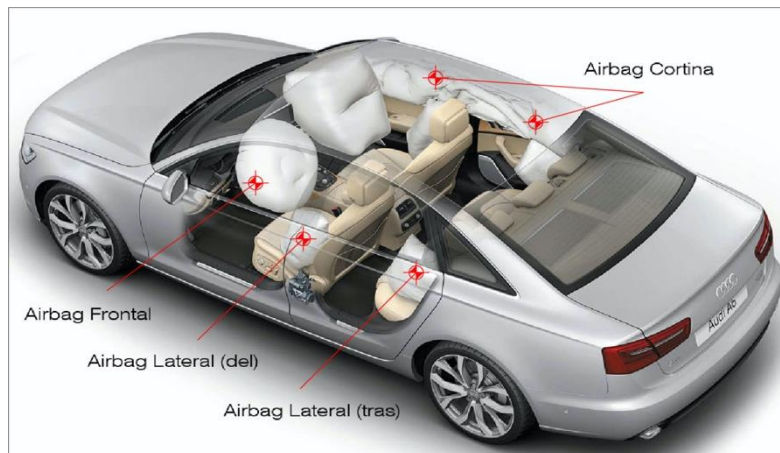
**Figura 2.** *Cinturones de seguridad.* Fuente: Lanka 77 (2016).

- 3) Cabeceras de asientos: En caso de impacto por alcance, proporcionan apoyo para la cabeza, por lo que mantienen alineadas las vértebras cervicales. De esta forma se evita o reduce la incidencia del esguince cervical, que es el tipo de lesión más frecuente en un accidente de tráfico y afecta al 25% de las víctimas (Figura 3).



**Figura 3. Cabeceras de asientos. Fuente: HRVP27, 2019.**

- 4) *Airbags*: Amortiguan el impacto, desaceleran a los ocupantes y ayudan a mantenerlos dentro del vehículo. Son obligatorios en EUA y Europa para el conductor desde 1990 y para el pasajero desde 2006. Los laterales y los de cortina no son obligatorios. Los airbags en combinación con el cinturón de seguridad reducen un 68% el riesgo de muerte (Figura 4).



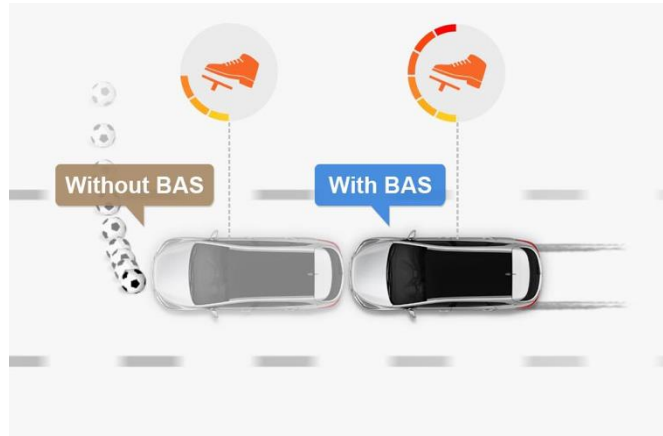
**Figura 4. Airbag. Fuente: Acosta (2020).**

- 5) ABS: El antibloqueo de frenos o *Antiblockiersystem* permite dirigir el vehículo mientras se frena a fondo y se evita que se bloqueen las ruedas. Es obligatorio desde 2004 en EUA y Europa (Figura 5).



**Figura 5.** ABS. Fuente: Mi automóvil (s.f.).

- 6) BAS: El *Brake Assist System*, o servofreno de emergencia, incrementa la presión en el circuito de frenos cuando detecta que el conductor pretende realizar una frenada de urgencia, pero no está pisando el pedal con suficiente fuerza. Es obligatorio en modelos de EUA y Europa desde 2009 (Figura 6).



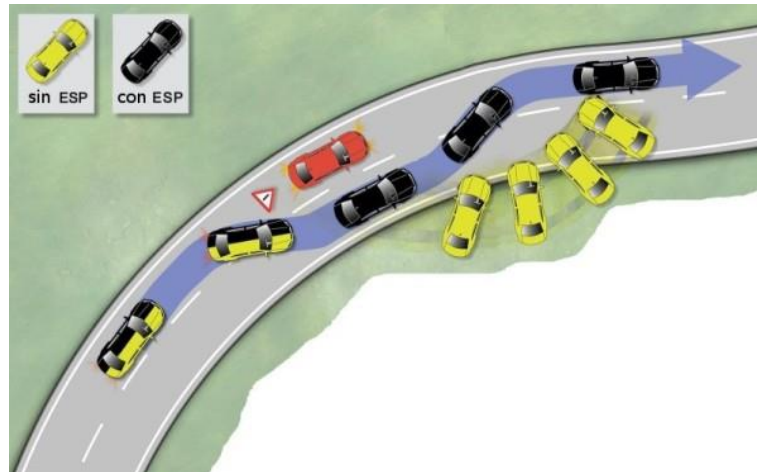
**Figura 6. BAS.** Fuente: Churchill (2020).

- 7) ISOFIX: Se trata de un sistema estándar de fijación de sillitas para niños y bebés. Lo creó el ISO a principios de los años 90 después de que varios estudios concluyeran que, hasta en un 90% de los casos, las sillitas para bebés se montaban incorrectamente, lo que ocasionaba que la muerte infantil a causa de accidentes automovilísticos aumentara (Figura 7).



**Figura 7. ISOFIX.** Fuente: Jiménez (2015).

- 8) ESP: Es un control electrónico que actúa sobre los frenos para que el conductor no pierda el control del vehículo. Reduce la probabilidad de accidente en un 22% sobre asfalto seco, un 32% en condiciones con lluvia y hasta un 38% en condiciones con nieve. Es obligatorio desde 2011 en EUA y Europa (Figura 8).



**Figura 8.** ESP. Fuente: Race Sim Online (s.f.).

México es uno de los países productores de vehículos más importantes del mundo. Muchas de las empresas que existen en el país fabrican autos seguros y con los equipamientos de seguridad para comercializar en países como Estados Unidos y Canadá, pero también fabrican autos inseguros que exportan a otros países latinoamericanos o destinan al consumo interno.

Al comenzar la elaboración de este trabajo se realizó un estudio y análisis detallado de las normas (PV3545, PV3546, TL471, TL82380, VW82511 y VW82512) que rigen los estándares de ventas en los diferentes mercados (EUA y Europa) (EURONCAP, s.f.). Se detectó con facilidad, que el principal requerimiento se basa en la protección del habitáculo y de los usuarios del automóvil.

Por lo general, hoy en día resulta sumamente complejo cumplir con todos los estándares de calidad que las diferentes organizaciones (NCAPs) (LATINNCAP, s.f.; GLOBAL NCAP, s.f.; SAFECAR, s.f., EURONCAP, s.f.) y mercados establecen, ya que las piezas que se fabrican suelen tener ligeras variaciones. Además, al desarrollar piezas nuevas que cumplan con las especificaciones de dichas organizaciones, se suelen realizar mediante prueba y error, lo que implica un gasto enorme para los proveedores.

La principal motivación surge al momento de aplicar conocimientos nuevos en procesos tradicionales, rutinarios y establecidos que tienen todas las empresas cuando fabrican piezas que satisfagan las necesidades de protección de los ocupantes del vehículo.

Mediante el uso de componentes electrónicos (como sensores) se ahorró semanas de investigación y los resultados fueron obtenidos en un menor tiempo, ya que los resultados arrojados por los sensores suelen ser datos fáciles de manipular e interpretar, lo que permite que cualquier persona entienda claramente el funcionamiento de las piezas individuales al momento de tener interacción con el sistema completo.

Finalmente, al apreciar cómo la tecnología facilita el entendimiento de las piezas cuando se les realizan pruebas de impacto, podemos comprender con claridad la parte del proceso que se necesita optimizar para tener un mejor comportamiento en futuras pruebas.

## 2.1 Conceptos y definiciones

El saco de aire es un componente del sistema de retención del auto. Al encender el generador de gas, éste se llena de gas y garantiza una protección de los ocupantes más elevada en caso de colisión del vehículo.

BT	Baja temperatura ( $-35 \pm 2,5$ ) °C.
TA	Temperatura ambiente ( $23 \pm 5$ ) °C
TE	Temperatura elevada ( $85 \pm 2,5$ ) °C
TTFG	<i>Time to first gas</i>
OEM	Fabricante automovilístico (mandante)
Proveedor	Fabricante de componente (contratante)

Componentes:

- Gas generador
- Saco de la bolsa de aire
- Carcaza

### 2.1.1 Gas generador

#### Definición y descripción

El generador de gas del airbag forma parte del sistema de retención de seguridad del auto. Los generadores de gas del airbag sirven para poner un airbag en estado de funcionamiento al encenderse mediante un sensor. Además, deben estar fabricados de manera que, suponiendo un manejo adecuado, no pongan en peligro a personas ni bienes durante el montaje en fábrica ni durante los trabajos de

reparación en el laboratorio de prueba, es decir, sin dispositivos de seguridad especiales adicionales.

### **Requisitos de fabricación de un gas Generador**

Para medir la potencia de un generador de gas (Deutsches Institut für Normung e.V., 1980) se realiza un ensayo en un recipiente cerrado y a una temperatura específica. Es preciso que el punto de referencia para la medición de la temperatura se sitúe en el interior del generador de gas. Para ello, se toman en cuenta los puntos de medición de temperatura en el combustible del gas. Las temperaturas del ensayo son:

BT  $(-35 \pm 2,5)$  °C.

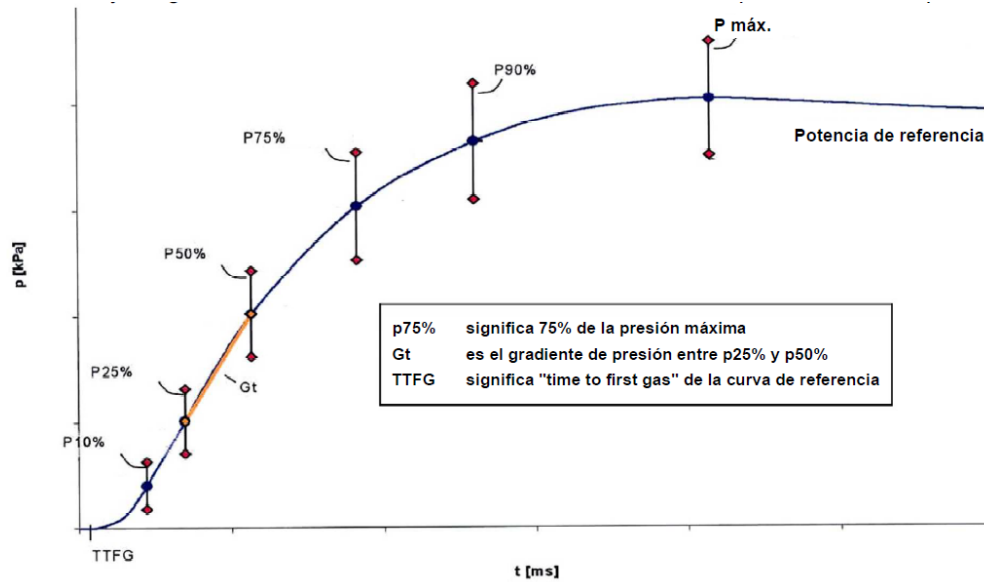
TA  $(23 \pm 5)$  °C

TE  $(85 \pm 2,5)$  °C

La temperatura del recipiente, la temperatura del aire dentro del recipiente y la temperatura ambiente deben ser de  $(23 \pm 5)$  °C inmediatamente antes del encendido. La curva de presión medida en el recipiente debe encontrarse dentro de los límites de tolerancia especificados a continuación en la Figura 9. Además, no debe producirse un encendido posterior indefinido de la segunda etapa del generador de gas por efecto térmico del encendido de la primera etapa. En caso de que no pueda garantizarse la protección contra un encendido incontrolado, deberá acreditarse adecuadamente la seguridad de los ocupantes.



Esta prueba puede omitirse si la unidad de mando del airbag ejecuta antes un encendido de neutralización del sistema definido en el tiempo. En la Tabla 1 y la Figura 9 se describen los límites de tolerancia del campo característico permitido.



**Figura 9.** Especificación de tolerancias de las curvas de presión en recipiente tomado de VW 80151 Sistemas de retención pirotécnicos en el vehículo.

Fuente: EURONCAP (2016).

**Tabla 1. Especificación de tolerancias de las curvas de presión en recipiente tomado de VW 80151 Sistemas de retención pirotécnicos en el vehículo.**

Especificación		Se aplica a		
Magnitud de medición	Tolerancia máxima	Lugar de montaje	Número de etapas	Temperatura
$p_{m\acute{a}x.}$	$\pm 13,3\%$	Airbag del conductor. Airbag del acompañante. Airbag lateral. Airbag de cabeza. Airbag de rodillas.	Generadores de una etapa. Generadores de dos etapas: tanto <b>1.ª etapa</b> sola como <b>1.ª + 2.ª etapa</b> juntas ( <i>full output</i> ).	BT, TA y TE
$p_{90\%}$	$\pm 16,7\%$			
$p_{75\%}$	$\pm 16,7\%$			
$p_{50\%}$	$\pm 20\%$			
$p_{25\%}$	Sin			
$p_{10\%}$	Sin			
Gradiente $G_t$ ( $p_{50\%} - p_{25\%}$ )	$\pm 20\%$	Sólo airbag del conductor y del acompañante	Generadores de una etapa. Generadores de dos etapas: <b>sólo 1.ª etapa.</b>	Sólo TA
<i>Time to first gas</i>	$< TTFG + 1 \text{ ms}$	Airbag lateral, de cabeza y de rodillas	Generadores de una etapa. Generadores de dos etapas: <b>sólo 1.ª etapa.</b>	Sólo TA
	$< TTFG + 1,5 \text{ ms}$	Airbag del conductor		
	$< TTFG + 2 \text{ ms}$	Airbag del acompañante		

La curva de referencia de cada temperatura de ensayo se determina en el desarrollo del producto:

- El TTFG nominal se determina también en el desarrollo del producto.
- El instante de cada umbral de presión ( $p_{m\acute{a}x.}$ ,  $p_{90\%}$ ...) se define mediante la curva de referencia.
- Las curvas de presión en recipiente se registran siempre desde el encendido ( $t = 0 \text{ s}$ ).

En el control de serie han de cumplirse los límites de tolerancia (sin evaluación estadística). Si se superan, deberán acordarse medidas preventivas con el OEM,

las cuales se garantizarán en el marco de una comprobación de recepción de lote ampliada.

### **Dispositivo de ensayo**

Para realizar el ensayo se necesita un recipiente de prueba que corresponda al volumen de potencia del generador de gas. Para construirlo se utilizarán preferiblemente los siguientes recipientes de prueba como guía (Tabla 2):

**Tabla 2. Datos del recipiente**

<b>Contenido:</b>	60 l	146 l	1 ft <sup>3</sup> (28.3 l)
<b>Diámetro:</b>	370 mm	477 mm	12,00" (304.80 mm)
<b>Longitud:</b>	565 mm	820 mm	17,78" (451.61 mm)

El sensor de medición y la cadena de medición deben cumplir las siguientes especificaciones:

Principio de medición: Sensor de presión absoluta.

Margen de calibrado: 0 ... 5 bar.

Gama de frecuencias útil: 0 ... 2 kHz.

Errores: Linealidad e histéresis  $\leq \pm 1\%$ .

Filtro de señales digital: 100 Hz.

Punto de medición: Pared del recipiente situada frente al generador de gas.

Canal de medición: CAC: 0 ... 5 bar.

CFC: Clase 1000 de acuerdo con SAE J211.

Errores:  $\leq 2,5\%$ .

Además, se requiere un registrador de datos de medición. Por último, el sensor de medición no debe estar ubicado dentro del flujo de gas directo con el generador de gas.

### **Realización del ensayo**

Una vez extraído del armario térmico, el generador de gas debe atornillarse herméticamente al recipiente correspondiente de manera que los gases y las partículas de combustible sólido queden recogidos en el recipiente al producirse el encendido. Cuando se haya montado el gas generador, éste deberá encenderse mediante una fuente de corriente constante (corriente de encendido: 1.75 A). Durante el ensayo se determinarán los siguientes parámetros:

Antes del encendido:

- Resistencia del cebo.
- Temperatura de la superficie interior del recipiente.
- Temperatura del aire en el recipiente.
- Temperatura ambiente.

Durante el encendido:

- Momento de encendido.
- Curva de la corriente de encendido en función del tiempo  $A(t)$ .
- Recorrido de la presión del recipiente en función del tiempo  $P(t)$ .
- Retraso de encendido (en el caso de los generadores de gas de varias etapas).

### **Presión de reventón**

Este ensayo hidráulico sirve para comprobar la resistencia del cuerpo del gas generador.

## **Requisitos de ensayo**

La seguridad contra el reventón (presión de reventón/máx. presión de la cámara de combustión del ensayo del recipiente a 85 °C) para cada etapa o bien para el sistema completo debe ser > 1.7 kPa.

## **Dispositivo de ensayo**

Se requieren piezas apropiadas para cerrar el orificio de salida de gas del generador de gas. Un generador de gas debe estar provisto de una conexión hidráulica. Para esta prueba se requiere una instalación hidráulica o una pirotecnia apropiada.

## **Condiciones del ensayo**

El ensayo se realiza a una temperatura ambiente de  $(23 \pm 5)$  °C.

## **Realización del ensayo (prueba hidráulica)**

Los orificios de salida de gas del gas generador se cierran por dentro con las piezas intercaladas apropiadas de forma que resulten desmontables. El generador de gas se ensambla seguidamente sin combustible. Mediante una conexión apropiada a la caja del gas generador se carga la cámara de combustión hidráulicamente.

## **Ensayo pirotécnico**

Alternativamente a la prueba hidráulica, también puede realizarse el ensayo con pirotecnia. Se enciende la pirotecnia colocada.

## **Ensayo *bonfire***

### **Introducción**

Este ensayo sirve para verificar que el generador de gas no se fragmente a causa del calor de un fuego.

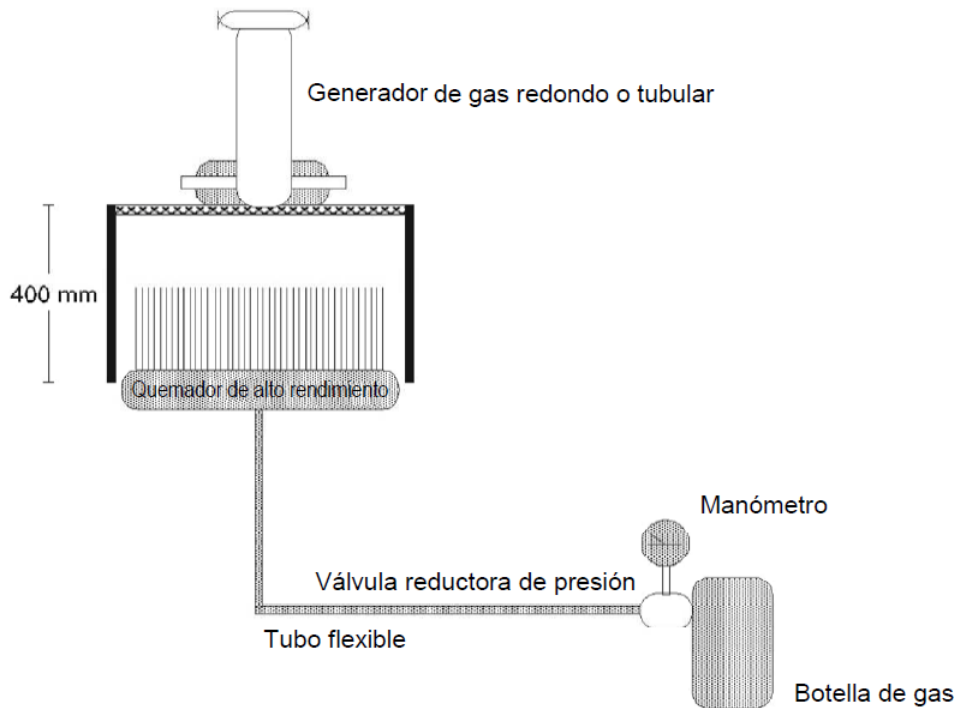
### **Requisito de ensayo *bonfire***

El cuerpo del generador de gas no debe fragmentarse.

### **Dispositivo de ensayo**

Se requieren los siguientes aparatos para realizar los ensayos de *bonfire* (Figura 10):

- Botella de gas propano
- Válvula reductora de presión
- Tubo flexible
- Quemador de gas con mango
- Quemador de precalentamiento de propano de alta potencia
- Diámetro 60 mm
- Dispositivo de fijación
- Encendedor de gas
- Cronómetro



**Figura 10.** *Dispositivo de ensayo.* Fuente: EURONCAP (2016).

## 2.2 Condiciones del ensayo

Temperatura inicial del generador de gas:  $(23 \pm 5)$  °C. Están previstas tres posibles posiciones del generador de gas respecto al fuego:

- 1) Posición del dispositivo de encendido de cara al fuego.
- 2) Posición del dispositivo de encendido de espaldas al fuego.
- 3) En ángulo recto respecto a uno o dos.

Si el diseño del generador de gas muestra una posición de ensayo más crítica, ésta debe comprobarse adicionalmente. El número y la disposición de los quemadores debe seleccionarse de tal manera que toda la superficie de apoyo del generador de gas esté rodeada de llamas.

## Realización del ensayo

Procedimiento de calibrado: El dispositivo de ensayo se calibra al determinar la velocidad de calentamiento de un cubo de acero con una longitud de cantos de 5x5x5 cm y un peso de aproximadamente 1 kg, en lugar de calibrar el generador de gas. Para este fin, se coloca en el centro del cubo un elemento térmico apropiado (por ejemplo, NiCrNi, 1.0 mm). El registro de la curva de temperatura se realiza con un registrador de temperatura apropiado.

El índice de calentamiento en el cubo se ve influido por la modificación de la presión inicial de gas y, por lo tanto, está condicionado por el caudal de gas. La presión inicial de gas alcanzada con un índice de calentamiento de  $(80 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ , en un margen de medición de (20 a 200)  $^\circ\text{C}$ , es el valor de calibrado del dispositivo de ensayo. El calibrado debe realizarse antes de cada serie de ensayos.

Para la preparación del dispositivo de ensayo se regula la presión de gas determinada en el procedimiento de calibrado con flujo de gas, y enseguida se cierra la llave situada en el mango del quemador. La llave principal de la botella de gas debe estar completamente abierta. A continuación, se monta el generador de gas en el dispositivo de ensayo. Hay que tener en cuenta la posición requerida. Con el dispositivo de encendido de gas se enciende la llama, el grifo del quemador está totalmente abierto y, al mismo tiempo, se pone en marcha el cronómetro. Es preciso abandonar inmediatamente la sala de pruebas una vez encendida la llama.

En caso de una inflamación espontánea del generador de gas, es preciso usar el cronómetro para leer el tiempo transcurrido hasta ese momento. Simultáneamente al encendido espontáneo del generador de gas, se cierra la llave principal de la botella de gas.



### **2.2.1 Sacos de aire**

El saco de aire es un componente del sistema de retención. Al encenderse el generador de gas, éste se llena de gas y garantiza, en caso de colisión, una protección más elevada de los ocupantes.

En el saco de aire debe haber una identificación perfectamente legible, que dure toda la vida útil y que permita la trazabilidad de los componentes y los parámetros del fabricante. En todos los componentes del caso de aire, relevantes para la funcionalidad (cintas de sujeción, pieza de revestimiento, cubierta, etc.), debe figurar la dirección de la urdimbre sin codificar y perfectamente legible e identificable. Las desviaciones sólo son en previo acuerdo con el OEM.

#### **Volumen**

El volumen del saco de aire ha de determinarse mediante el método de medición descrito a continuación. Cabe recalcar que este ensayo sirve para determinar el volumen del saco de aire después de su confección.

## Dispositivos de ensayo

Para realizar el ensayo se necesita un recipiente correspondiente al volumen del saco de aire para el alojamiento de esferas huecas (véanse, por ejemplo, Tabla 3 y Tabla 4). Al dimensionar el recipiente hay que tener en cuenta el volumen aparente de las esferas huecas utilizadas.

**Tabla 3.** *Recipiente 1, dimensiones para los dispositivos de ensayo*

	Medidas interiores en mm			Volumen
	Anchura	Profundidad	Altura	En litros
Recipiente de base:	300	500	375 - 545	69 ± 0,5
Recipiente de medida:	200	100	500	10 ± 0,1

**Tabla 4.** *Recipiente 2, dimensiones para los dispositivos de ensayo*

	Medidas interiores en mm			Volumen
	Anchura	Profundidad	Altura	En litros
Recipiente de base:	600	500	370 - 543	138 ± 0,5
Recipiente de medida:	200	100	500	10 ± 0,1

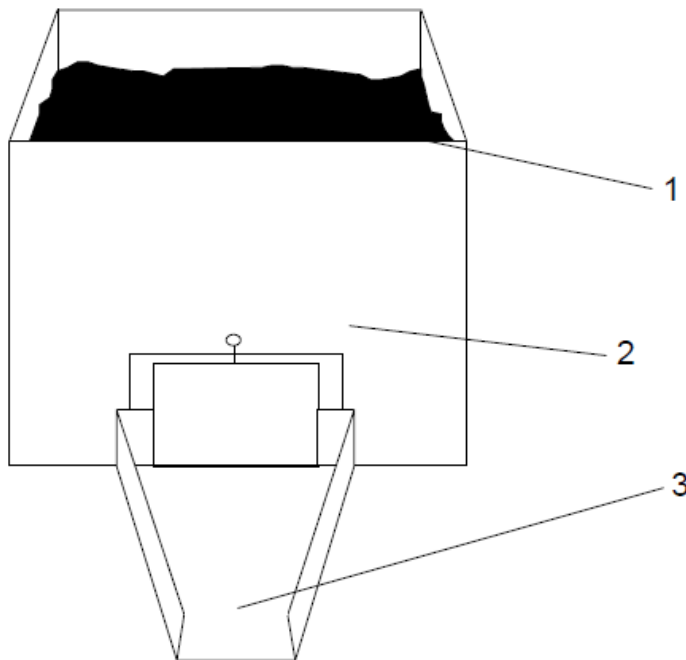
## Condiciones de ensayo

Temperatura de ensayo:	TA
Esferas huecas, sin bordes:	∅ (20 ± 0.2) mm
Material:	PP
Grosor de la pared:	0.5 mm
Disposición de medición:	Figura 11

## Realización del ensayo

El volumen del saco de aire se determina mediante una medición de esferas huecas. Las aberturas del saco de aire deberán cerrarse de tal manera que no puedan salirse las esferas huecas. La boca del saco de aire se ajusta suspendida al embudo. Después, se llena el saco de aire con esferas huecas procedentes del depósito de almacenamiento hasta que no se puedan introducir más esferas huecas en él. Las esferas huecas que hayan quedado en el depósito de almacenamiento se introducen en el recipiente de medición y se mide el volumen residual.

**Volumen del saco de aire** = volumen de partida – volumen restante.



### Leyenda:

- 1 Esferas huecas
- 2 Recipiente de almacenamiento
- 3 Embudo

**Figura 11.** *Dispositivo para medición del volumen.* Fuente: EURONCAP (2016).

## **Permeabilidad del aire a alta presión**

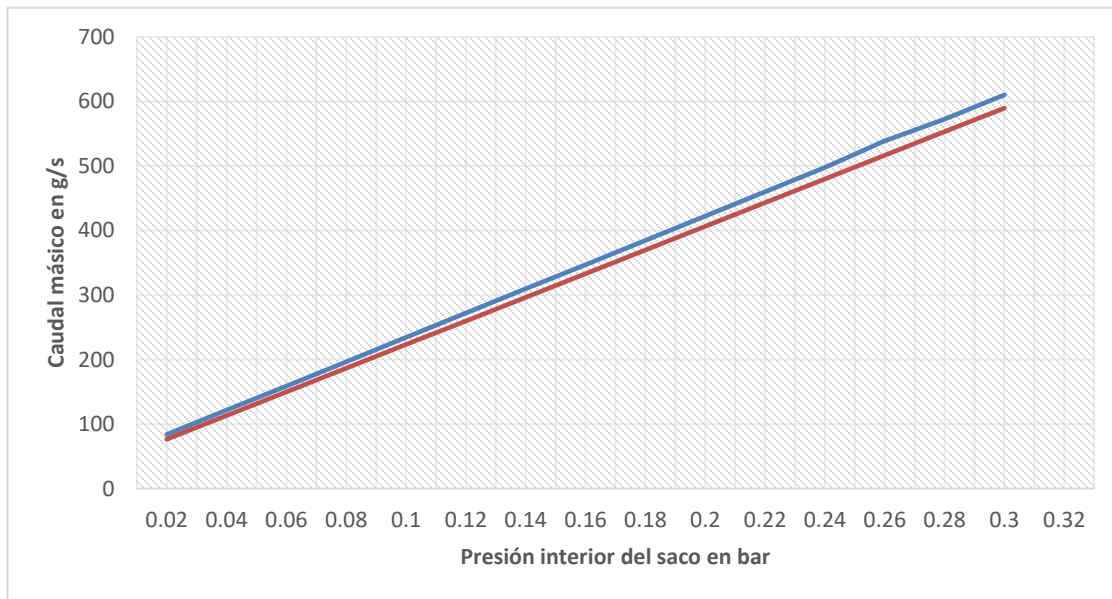
Este ensayo sirve para determinar el caudal volumétrico de un saco de aire una vez que esté confeccionado (Deutsches Institut für Normung e.V., 2009). El ensayo solamente debe realizarse en lo referente al requisito especial, ya que puede servir de herramienta para el cálculo.

### **Requisitos**

Es preciso determinar el caudal volumétrico del saco de aire y fijar con ayuda de métodos estadísticos un campo de tolerancia (ver Tabla 5).

**Tabla 5.** Pares de valores del campo de tolerancia en el ejemplo de un modelo de saco de aire

Presión interior del saco en bar	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30
Límite superior en g/s	83.9	121.5	159.1	196.7	234.3	271.9	309.5	347.1	384.7	422.3	459.9	497.5	539.1	572.7	610.3
Límite inferior en g/s	76.5	113.2	149.8	186.5	223.3	259.8	296.5	333.1	369.8	406.5	443.1	479.8	516.5	553.5	589.8

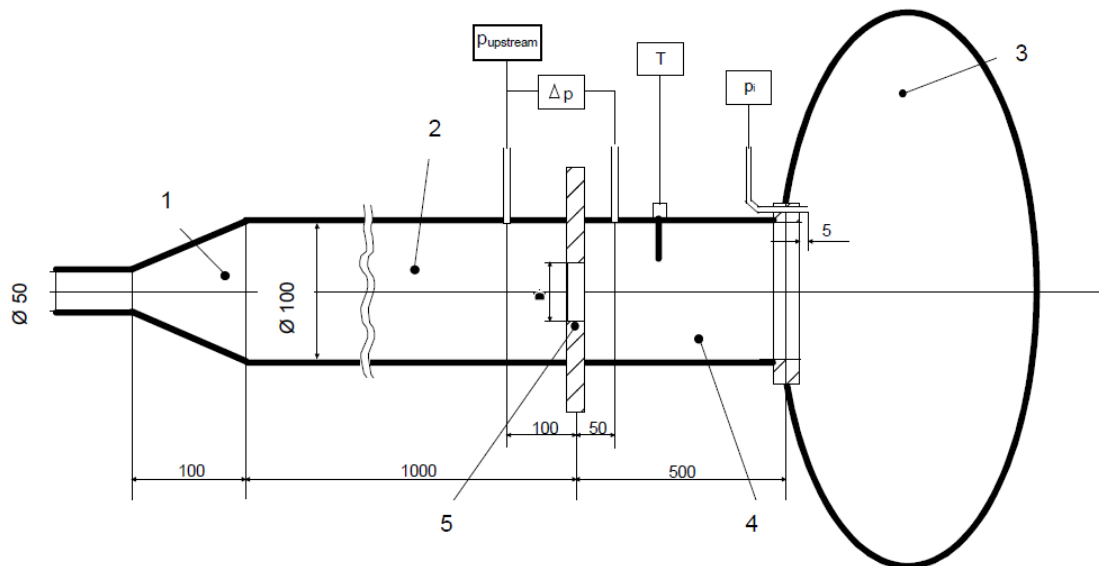


**Figura 12.** Campo de tolerancia de la permeabilidad al aire a alta presión

Otros campos de tolerancia deben extraerse del plano de la Figura 12. Es preciso que los requisitos visuales se cumplan antes y después del ensayo de permeabilidad del aire a alta presión.

## Dispositivos de ensayo

Para realizar el ensayo se requiere una instalación, según la Figura 13.



\*Todas las medidas son en milímetros

### Siendo:

$p_{upstream}$  Presión previa del diafragma de medición.  
 $\Delta p$  Diferencia de presión en el diafragma de medición.  
 $T$  Temperatura tras el diafragma de medición.  
 $p_i$  Presión interior del saco de aire.

$D_i$  Diámetro interior.

### Legenda:

1 Difusor.  
 2 Tramo de apaciguamiento.  
 3 Airbag (saco de aire).  
 4 Tramo de funcionamiento en vacío.  
 5 Diafragma de medición.

**Figura 13.** *Instalación para la medición del flujo volumétrico.* Fuente: EURONCAP (2016).

## Condiciones del ensayo

Temperatura de ensayo: TA

## Realización del ensayo

El saco de aire se debe comprobar conforme al estado del plano. El saco de aire que se medirá se fija en una instalación, según la Figura 5. La instalación se abastece con aire a presión de una instalación de aire comprimido. La sobrepresión  $p_i$  que se forma en el saco de aire se mide con respecto a la presión atmosférica. Al mismo tiempo, se mide el caudal másico  $Q_m$  del aire circulante con ayuda de un método de diafragma de medición según DIN EN ISO 5167.

Para el dispositivo de medición se aplica:

Diámetro interior diafragma de medición ( $D_i$ ) 50 mm

Durante el ensayo se registran las siguientes magnitudes por medio de instrumentos de registro apropiados:

- Presión previa del diafragma de medición (presión absoluta) *pupstream*.
- Diferencia de presión en el diafragma de medición  $\Delta p$ .
- Temperatura tras el diafragma de medición  $T$ .
- Presión interior del saco de aire  $p_i$ .

A través de los pares de valores determinados, de la presión interior del saco de aire y del caudal másico debe trazarse una recta de compensación lineal con un coeficiente de correlación  $> 0.995$ . La recta de compensación debe estar dentro del campo de tolerancia definido según la Tabla 5 (ejemplo, Figura 12).

## Requisitos visuales

Este ensayo sirve para identificar defectos visibles en el saco de aire.

## **Requisitos**

El saco no debe presentar roturas en el tejido y los tejidos no deben presentar defectos detectables a simple vista o que afecten su funcionamiento. El tejido del saco de aire debe estar exento de defectos de fabricación de cualquier tipo que puedan perjudicar a las características de mecanizado y de uso.

## **Condiciones de ensayo**

Temperatura de ensayo: TA

## **Realización de ensayo**

El ensayo se realiza a simple vista y, en caso de que aparezcan pliegues, se deberá comprobar si existen roturas o grietas con una lupa de seis aumentos.

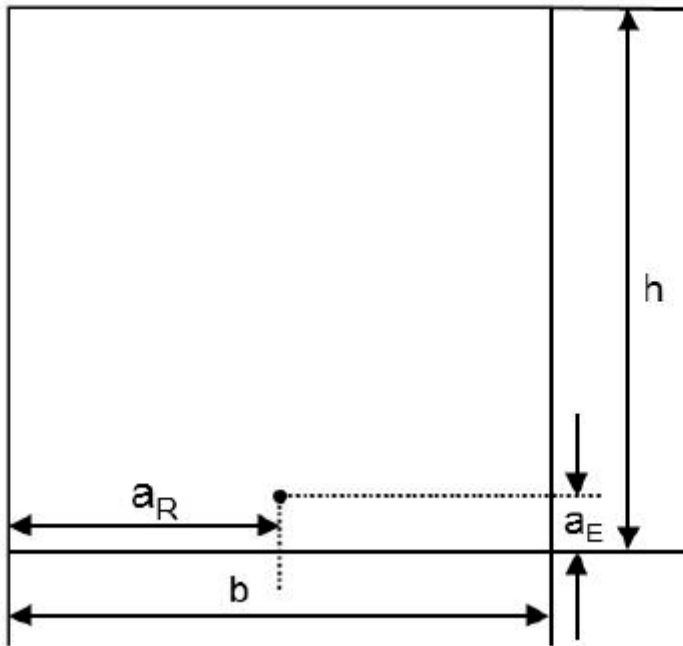
## **Requisitos del tejido y sus condiciones de ensayo**

Los ensayos sirven para determinar los parámetros característicos de los tejidos utilizados para confeccionar los sacos de aire.

## **Fuerza de desgarro iniciado por aguja / Fuerza de extracción del peine**

Mediante este ensayo se determina la fuerza máxima que aparece perpendicularmente a la dirección de las puntadas al arrancar una aguja de una probeta (Figura 14). Para el ensayo se requiere un dispositivo de prueba especial (Figura 15). El ensayo se realiza en el sentido de la urdimbre y la trama.





Siendo

$h$	Altura de la probeta	50.0 mm
$b$	Anchura de la probeta	50.0 mm
$a_E$	Distancia entre puntadas	5.0 mm
$a_R$	Distancia al borde	25.0 mm

**Figura 14. Probetas.** Fuente: EURONCAP (2016).

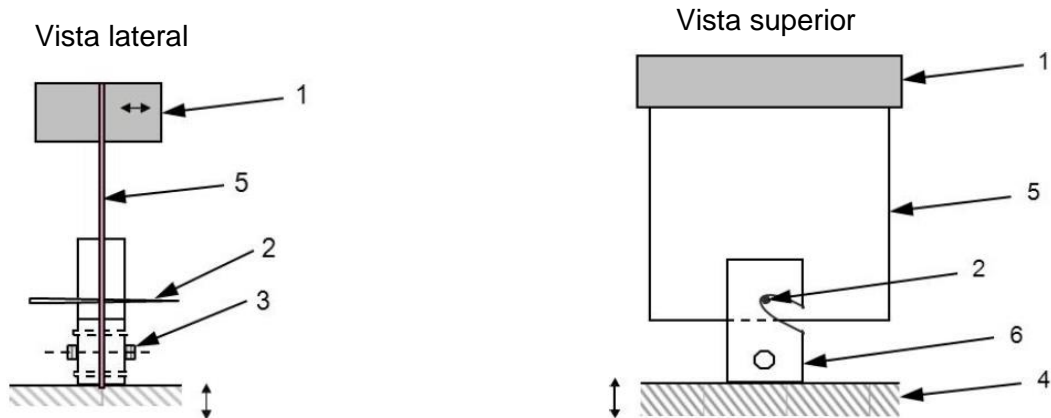
Teniendo en cuenta los requerimientos mínimos, deben extraerse, en sentido longitudinal y transversal, al menos diez probetas en cada caso. Las probetas deben acondicionarse al menos veinticuatro horas en clima normalizado antes de los ensayos.

## Características de la aguja

Material: acero inoxidable

Diámetro: 1.0 mm con punta cónica

Dispositivo de ensayo



## Descripción

1. Cabeza de sujeción
2. Aguja
3. Tornillo de ajuste
4. Travesaño
5. Probeta
6. Apoyo de la aguja

**Figura 15.** *Dispositivo de ensayo.* Fuente: EURONCAP (2016).

## Ejecución

El ensayo debe realizarse con clima normalizado. La probeta se perfora en el lugar especificado (ver Figura 14) lo más perpendicularmente posible. No debe realizarse con antelación un taladrado ni una perforación. Debe evitarse dañar las fibras. La probeta con la aguja se suspende o sujeta en el dispositivo de ensayo.

Con una velocidad de 100 mm/min se retira la probeta y se mide la fuerza máxima que aparece al arrancar la aguja.

### **Variación dimensional con influencia térmica**

Complementariamente a esta norma, se aplica:

Temperatura: 105 °C.

Duración: 60 minutos.

Aparato: Armario de secado de aire circulante (cámara de clima).

Disposición de la probeta: Tumbada encima de una rejilla sin tensión.

Dimensiones de la probeta: 600 mm x 600 mm.

## **2.3 Sistema de airbag**

### **Módulos de airbag (lugar de montaje: volante, tablero de instrumentos)**

El módulo de airbag es una unidad de montaje de componentes de un sistema de retención. Está formado por los siguientes componentes: generador de gas, bolsa de aire y cubierta, o de otros componentes según el dibujo técnico. El ensamble del módulo de airbag debe estar confeccionado de tal manera que, suponiendo una manipulación adecuada, no corran peligro personas ni objetos durante el montaje, así como durante la fabricación y los trabajos de reparación en los talleres. Además, el módulo es un componente cuyas propiedades funcionales deberán estar garantizadas durante la vida útil del vehículo.

Es preciso que se garantice una vinculación entre bolsa de aire/generador/cubierta. La identificación debe ser perfectamente legible e indeleble. El funcionamiento del módulo no debe verse afectado por la identificación.

El módulo debe identificarse de acuerdo con la autorización legal de explosivos del BAM (*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung*). También es necesaria una autorización legal de acuerdo con la normativa sobre mercancías peligrosas. Para ello, debe garantizarse una clasificación según la directriz de la ONU en la clase 9 (SAE International, 2002; SAE International, s.f.).

### **Comportamiento de hinchamiento / ensayo estático**

El ensayo de hinchamiento sirve para comprobar la funcionalidad del módulo airbag.

### **Requisitos**

Es preciso que durante y después del ensayo de hinchamiento estático no haya piezas del módulo airbag, de la cubierta o de los revestimientos que sean peligrosos o puedan dañar a la persona que se encuentre sentada en una posición

recomendada. También es importante que, durante el ensayo de hinchamiento estático, la zona superficial de la bolsa de aire no se desgarre ni se quemé, así como que después del ensayo de hinchamiento la bolsa de aire no se suelte (ni siquiera parcialmente) del ensamble (por ejemplo, a causa de una combustión) (Verband der Automobilindustrie, s.f.)

Las costuras de la bolsa de aire (excepto las costuras de rotura y las costuras de sacrificio) deben mantenerse cerradas y no deben separarse. En función de la temperatura del ensayo, deben mantenerse los distintos tiempos de hinchamiento en estado nuevo y después de la simulación ambiental. No debe producirse un encendido posterior indefinido de la segunda etapa del generador de gas por efecto térmico del encendido de la primera etapa.

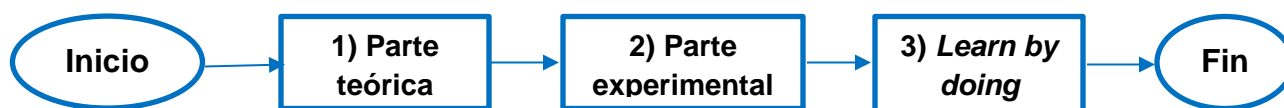
Definición: El tiempo de hinchamiento es el tiempo que pasa desde el impulso de encendido del cebo hasta llenar una bolsa de aire con capacidad protectora. La bolsa de aire se considera llena cuando, después de proyectarse fuera del volante, se vuelve a mover hacia él y la primera flexión de la bolsa de aire empieza a partir del volante. La evaluación se realiza en el diámetro grande de la bolsa de aire (ecuador).

La bolsa de aire se considera llena por el lado del tablero de instrumentos cuando ha adoptado el contorno predeterminado por el diseño.

## Capítulo 3: Desarrollo del proyecto

### 3.1 Normas y Descripción de las pruebas

Para el desarrollo de este proyecto se dividió el periodo de ejecución en tres secciones (Figura 16), las cuales serán descritas a continuación:



**Figura 16.** Diagrama de flujo basado en el desarrollo del proyecto

En la parte teórica se fijó el estudio de las normas y leyes que rigen a los autos de la marca, así como los criterios para poder ser exportados a otros países. Esta actividad resultó de gran utilidad, ya que, una vez comprendidos los requerimientos de cada país, se pueden seleccionar correctamente los componentes que se utilizarán (componentes con un grado mayor de exactitud) y así evitar infringir la ley de cada país. Además, facilitó la comprensión de los componentes que tiene la bolsa de aire del pasajero con base en el mercado al que se distribuyen los autos. De esta forma, se acota el experimento a una sola versión, que resultaba ser la más vendida, la más crítica en términos de seguridad pasiva y con más reclamos en el mercado. Esto ayudó posteriormente a ahorrar tiempo y a organizar mejor las actividades, ya que sólo se enfocó este trabajo a una versión de bolsa de aire, que resulta ser una de las más importantes para la marca.

Durante la parte experimental, se acompañó y se dio soporte a la realización de pruebas de bolsas de aire en tableros de serie (airbag *deployments*) para los distintos modelos que se producen actualmente en la planta de VW, con el fin de tener un espectro completo sobre el funcionamiento del sistema del tablero con la interacción de la bolsa de aire y de las partes por separado (estas pruebas son

llamadas *Module-Only-Tests*). Esto beneficiará al momento de seleccionar las partes que se probarán (ya que se seleccionarán sólo los componentes necesarios para la prueba) y permitirá ahorrar dinero que se asignó para el proyecto.

Otro beneficio es la correcta selección de las condiciones climáticas al momento de la ejecución de las pruebas, además de la correcta selección de tomas (video de registros en Figura 17) para obtener la mayor información posible después de haber realizado la explosión de la bolsa de aire del pasajero en la cámara climática. De esta forma, es posible preparar un expediente completo que contenga toda la información en caso de que se requiera reproducir esta prueba en cualquier otro laboratorio interno o externo, y así confirmar los datos obtenidos.



**Figura 17.** Tomas seleccionadas para la grabación evidencia

Finalmente, es importante mencionar que se contó con todos los recursos económicos, laboratorios, materiales, etc., para realizar de manera empírica las diferentes propuestas que ayudarían a comprender mejor la interacción de la bolsa de aire con el tablero. Durante la tercera fase, se planearon y utilizaron las configuraciones óptimas de cámaras de video (definidas exclusivamente para este proyecto) para la obtención precisa de datos, además de la configuración de cada tablero y los componentes que se montarían y utilizarían, con el fin de obtener sólo

el mejor resultado al momento de la detonación del sistema de airbag. Con esto se facilitó la interpretación y segregación de datos, los cuales se pueden adaptar a cualquier otro modelo de la marca para identificar alternativas de optimización en el producto durante futuros lanzamientos.

Durante la parte teórica se requirió leer las condiciones de prueba de acuerdo con la Ley AK-LV 01:2005-05 (esta norma define de manera precisa los requerimientos mínimos y las propiedades con las que deben cumplir los módulos de bolsas de aire para asegurar la calidad del producto y su funcionamiento en conjunto con todo el sistema del automóvil. Esta norma también describe los procedimientos para realizar las pruebas de validación, así como los requerimientos y comportamientos que debe presentar cada una de las versiones de airbags.

Además, describe cómo se debe de realizar la prueba en cuanto a condiciones climáticas. Esta especificación generalmente se encuentra en los dibujos técnicos de las piezas y esta norma aplica a todas las versiones de bolsas de aire que quieran ser introducidas en cualquier mercado. Esto incluye las normas de pruebas PV 3545, VW 82511, VW 01155 y VW 91101.

La norma PV 3545 debe ser ocupada para la producción estandarizada de módulos de airbag. Su propósito es asegurar uniformemente la calidad y el desempeño de los ensambles de las bolsas de aire, junto con los correspondientes componentes que involucran cada bolsa de aire, los cuales garantizan la protección del ocupante, por ejemplo, la guantera, las ventilas de aire, las partes decorativas, los paneles de puerta, etc. Este principio aplica para todos los sistemas de airbag.

La norma VW 82511 define los estándares ambientales que deben cumplir las piezas de un automóvil, en particular aquellas que son fabricadas con material pirotécnico, para asegurar la protección del medio ambiente. En cuanto a la norma VW 01155, describe las especificaciones y estándares que los proveedores deben cumplir para la distribución de sus productos, en particular aquellos que tienen material pirotécnico, así como sus cadenas de suministros y los cambios de calidad



o ingeniería en las partes que afecten directamente a los componentes del automóvil.

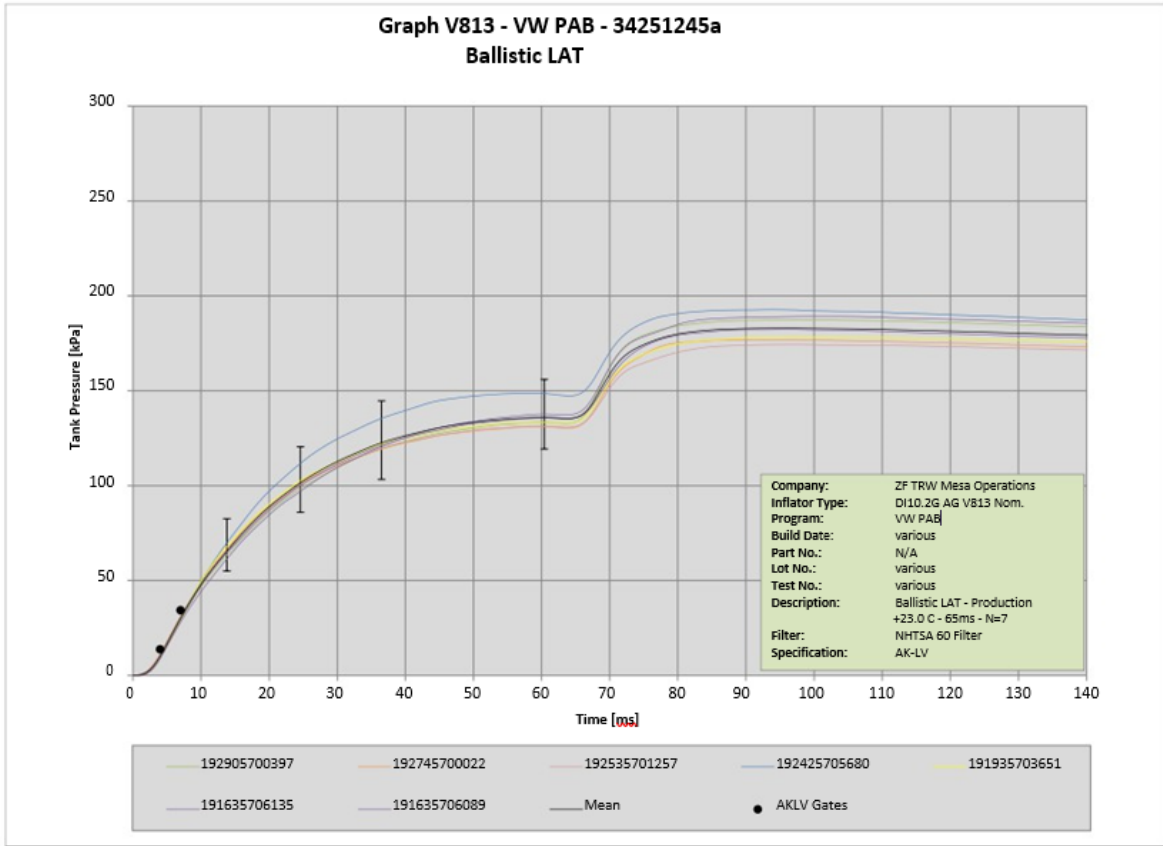
Por último, la norma VW 91101 define los estándares que deben cumplir las bolsas de aire de acuerdo con los mercados de venta del grupo VW, referente a las sustancias, productos y fluidos que son utilizados en la producción de un vehículo o en una parte del vehículo. Esto incluye todos los productos, sustancias y fluidos que se utilicen durante la reparación y mantenimiento de un vehículo, con el fin de cumplir las normas internacionales para el comercio de automóviles.

También fue importante tener una inducción general del sistema con el que se iba a trabajar (BAB & Itafel) y de los componentes principales del sistema, así como conocer los materiales con los que fueron fabricados y los procesos de fabricación para tener un panorama más claro de lo que se requería.

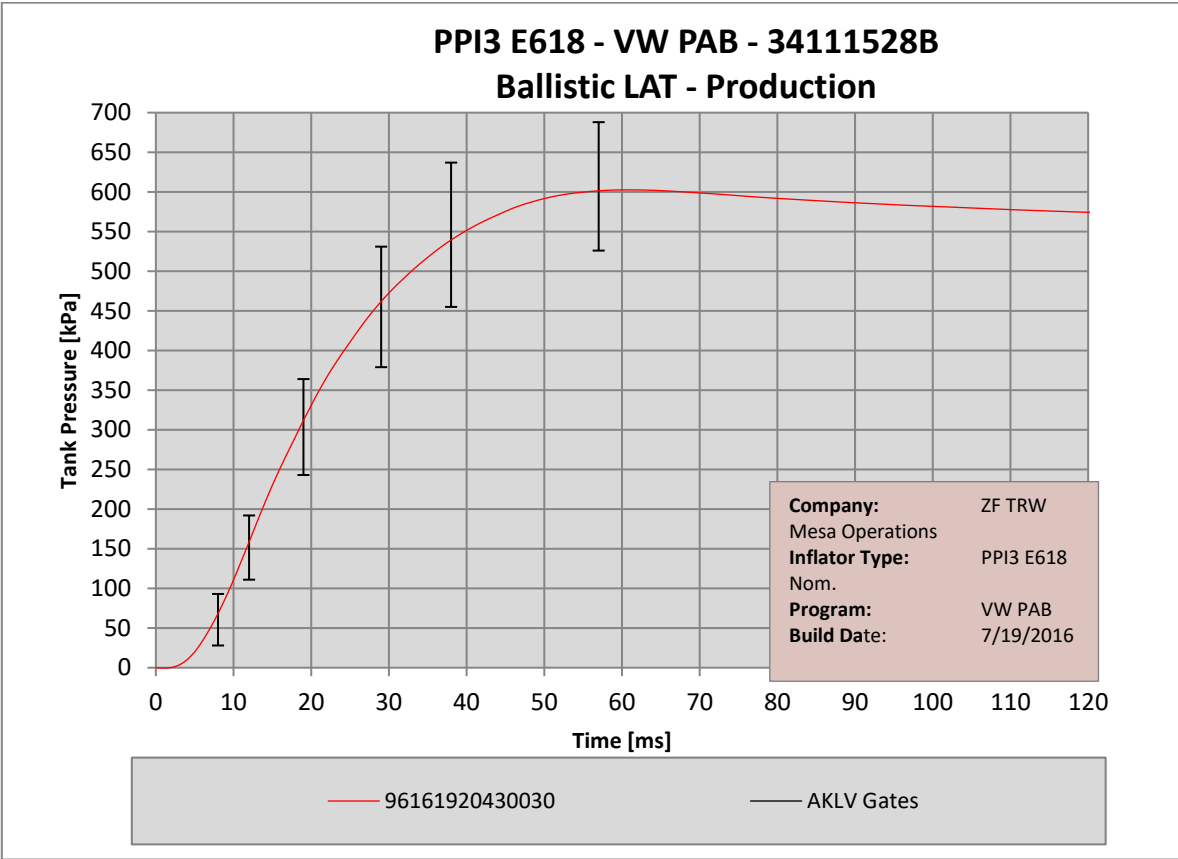
### **3.2 Pruebas experimentales**

Durante las siguientes semanas se realizó la tarea de comparar las medidas de los dibujos técnicos de las piezas de airbag con las piezas físicas, con el fin de comprender mejor las dimensiones de la pieza y su ubicación en el sistema, para poder determinar el espacio necesario y la zona de instrumentación que se realizaría. Una vez concluida esa parte, se llevó a cabo un análisis detallado de las gráficas del tanque (Figura 18, TA), (Figura 19, HT), (Figura 20, NT) y (Figura 21, RT), de los videos del doblado de la bolsa del pasajero y de la manipulación física de un *mockup* de tablero de auto y especímenes de observación BAB (2St inertes), para definir el punto crítico (tiempo) y la presión de impacto (kPa) de la zona que se instrumentaría, así como medir con exactitud el área de contacto.

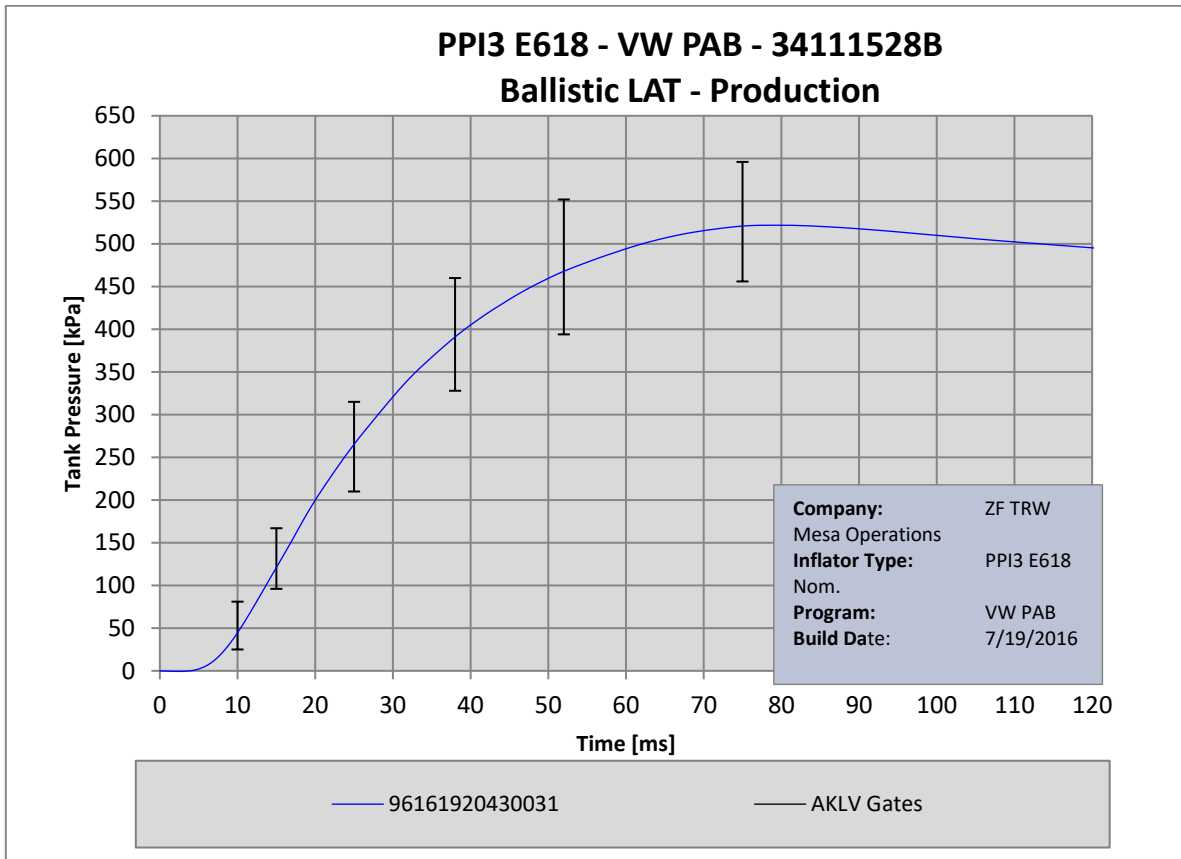
En las gráficas siguientes, las leyendas, son los números seriales de cada uno de los infladores utilizados durante la prueba, esto para tener una correcta documentación y trazabilidad desde que la pieza es fabricada hasta que es detonada.



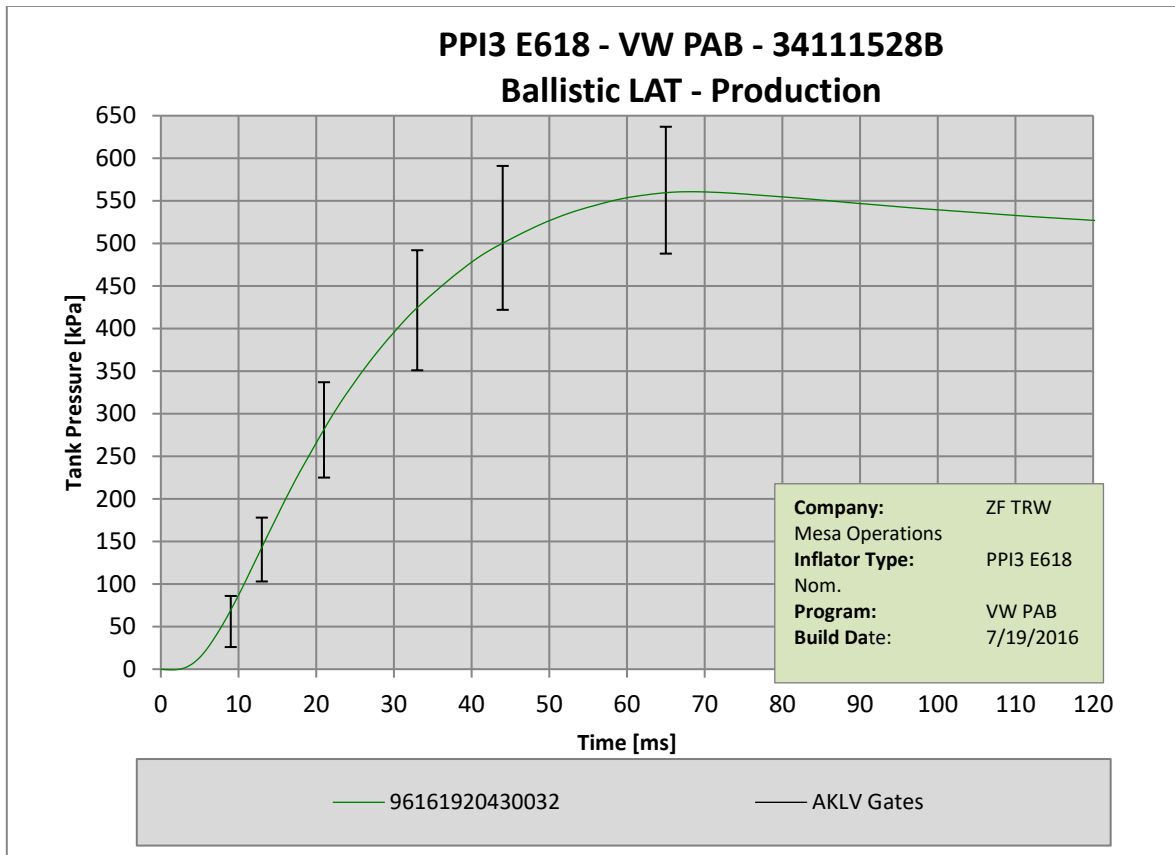
**Figura 18.** Gráfica del comportamiento de la bolsa de aire del pasajero en TA



**Figura 19.** Gráfica del comportamiento de la bolsa de aire del pasajero en HT



**Figura 20.** *Gráfica del comportamiento de la bolsa de aire de pasajero en NT*



**Figura 21.** Gráfica del comportamiento de la bolsa de aire del pasajero en RT

Para la parte experimental, durante la ejecución de pruebas de airbags en el laboratorio de airbag de VWM se tuvo una interacción constante con las piezas probadas para formular posteriormente una hipótesis que pudiera llevar a un mejor entendimiento del sistema. Ayudó mucho hacer una lluvia de ideas, así como un filtro, ponderación y jerarquización de cada una de ellas.

Durante la tercera parte, llamada *learn by doing*, se realizó una planeación y ejecución de veinte pruebas con bolsas de aire de pasajero activas en veinte tableros de serie, cada una con una configuración particular, con el fin de corroborar las propuestas hechas y seleccionar la configuración que nos suministre la mayor cantidad de información posible para tener una mejor comprensión del sistema de

la bolsa de aire y de las interacciones que tiene cada uno de los elementos por separado y en conjunto. Finalmente, se tuvo como evidencia video-registros, bases de datos, gráficas y las muestras de sacos de airbags después de cada prueba.

## Capítulo 4: Análisis y pruebas realizadas

### 4.1 Desarrollo de la solución

Lo primero que se realizó fue un análisis e identificación de la causa del problema. Es importante entender por completo el modo de la falla para ser capaces de reproducirlo y evitarlo, mediante una contramedida temporal, para tener tiempo suficiente e idea con un cambio robusto en la pieza.

Al utilizar herramientas de calidad, como diagramas de Ishikawa y 5W, fue posible encontrar un punto débil en común que tenían los diferentes modelos de la marca durante la fase de desarrollo del proyecto. Para ser más claro, en la siguiente figura (Figura 22) se ejemplifica el problema que se presenta al tener un mal diseño de una bolsa de aire. Es por eso que el correcto desarrollo de este componente de seguridad pasiva es fundamental para evitar que los ocupantes de vehículos sufran lesiones o para reducir sus consecuencias una vez que ha surgido el accidente. Es decir, debe cumplir con su principal función, que es la de proteger al pasajero del habitáculo.



**Figura 22.** *Parabrisas rotos por bolsas de aire del pasajero*



Posteriormente, se realizó un análisis con base en las mediciones hechas al observar la apertura de la tapa del tablero. Todos estos datos se colocaron en la Tabla 6, lo que da como resultado un gráfico de dispersión (Figura 23) del comportamiento genérico o nominal de la bolsa de aire al interactuar con la tapa a 100 °.

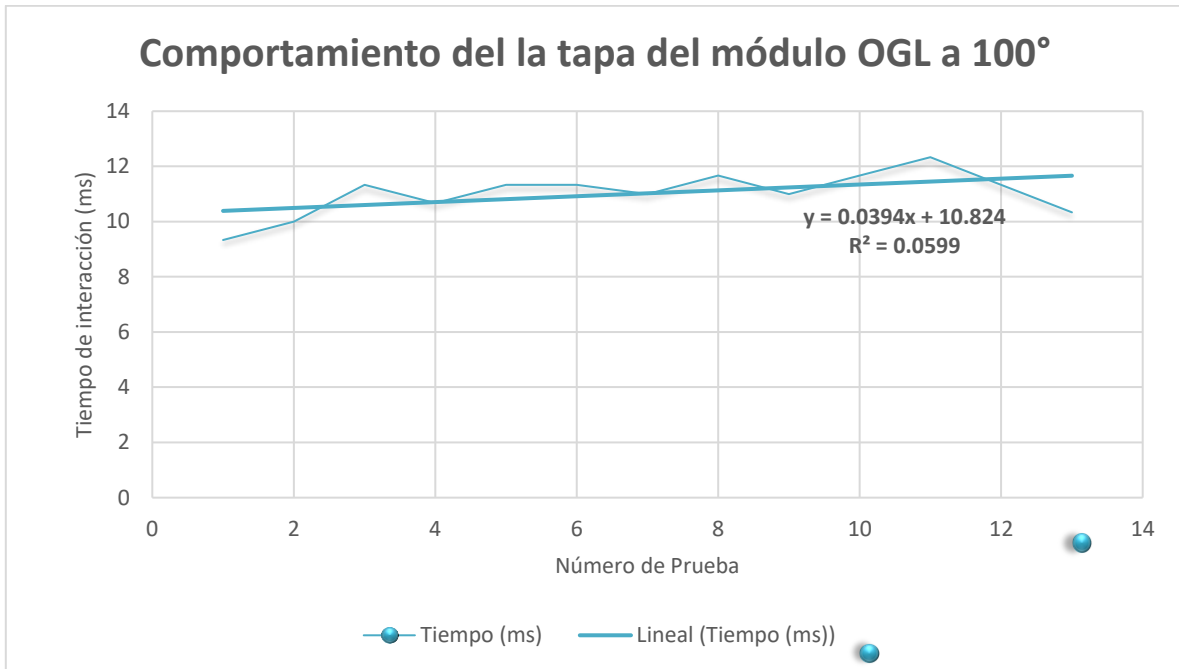
**Tabla 6.** *Tiempo de interacción bolsa/tapa*

**Comportamiento de la tapa del módulo de pasajero  
Nominal a 100°**

<b>No.</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
1	9.333
2	10
3	11.333
4	10.666
5	11.333
6	11.333
7	11
8	11.666
9	11
10	11.666
11	12.333
12	11.333
13	10.333

Menor Tiempo: 9.333 ms

Mayor Tiempo: 12.333 ms

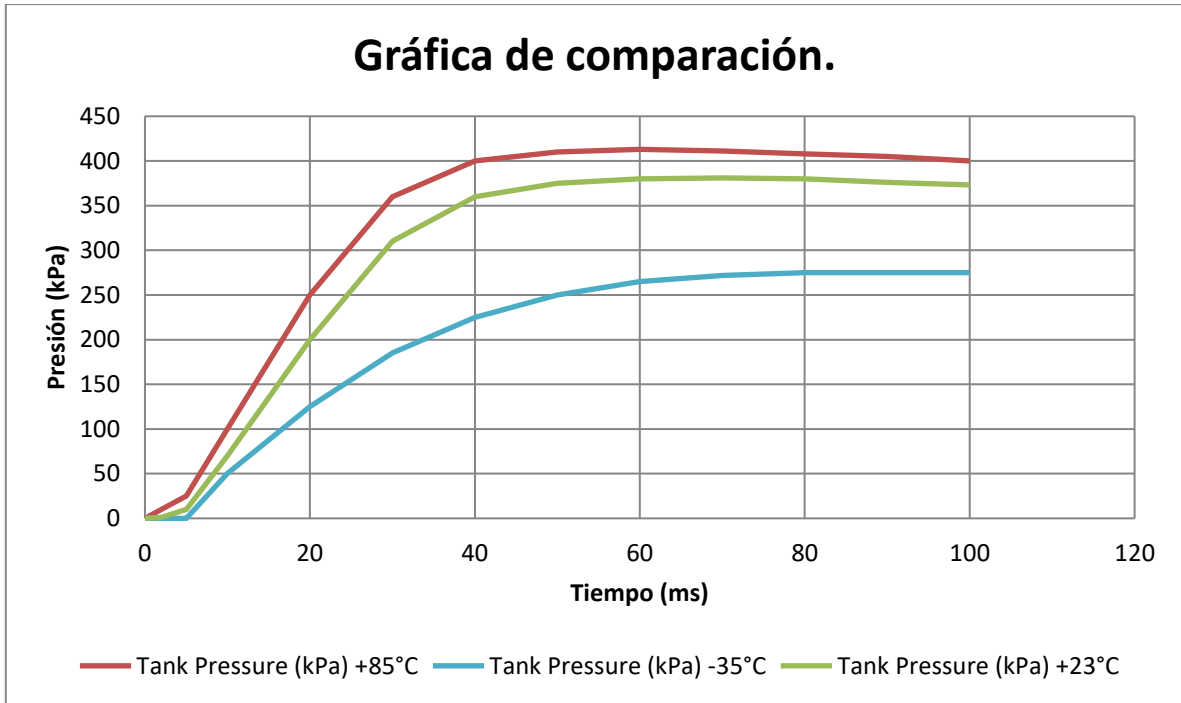


**Figura 23.** *Gráfico de dispersión bolsa/tapa*

Después, se hizo un análisis numérico comparativo de las gráficas del tanque, las cuales son elaboradas y validadas por el fabricante del producto para tener el comportamiento genérico del desenvolvimiento de las bolsas de aire (Tabla 7 y Figura 24).

**Tabla 7. Datos de curva de tanque para módulos de 2 St. BAB**

<b>2 Steps Calor</b>		<b>2 Steps Frío</b>		<b>2 Steps Ambiente</b>	
<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Tank Pressure (kPa) +85°C</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Tank Pressure (kPa) -35°C</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Tank Pressure (kPa) +23°C</b>
0	0	0	0	0	0
2	10	2	0	2	1
5	25	5	0	5	10
10	100	10	50	10	70
20	250	20	125	20	200
30	360	30	185	30	310
40	400	40	225	40	360
50	410	50	250	50	375
60	413	60	265	60	380
70	411	70	272	70	381
80	408	80	275	80	380
90	405	90	275	90	376
100	400	100	275	100	373



**Figura 24.** *Curvas de tanque a diferentes temperaturas*

Como evidencia de este análisis se hicieron video-registros de cada prueba para observar con detalle cada momento del desenvolvimiento de la bolsa de aire del pasajero (Figura 25).



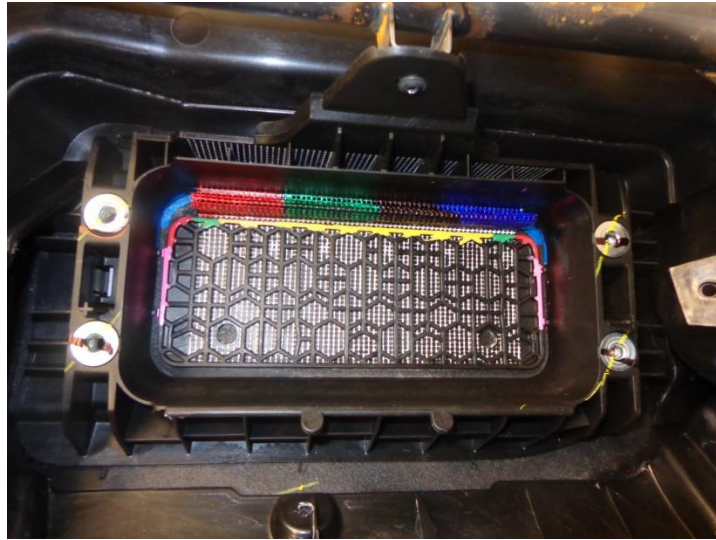
**Figura 25.** *Ejemplo de video-registros de la prueba estática de la bolsa de aire del pasajero*

Después de realizar las pruebas, se hizo un vaciado de datos en Excel para detectar las variables involucradas –variables tanto conceptuales como operacionales– y generar las preguntas de investigación. Por último, al tener una repetitividad en cuanto a variables importantes para el desempeño de esta pieza, se elaboraron y construyeron instrumentos de medición electrónicos y manuales, que al aplicarlos ayudaron a calcular la validez y confiabilidad de la propuesta hecha, a corroborar los datos obtenidos experimentalmente con los datos codificados por el sensor, y a crear un archivo para documentación de cada prueba.

La tercera parte, *learn by doing*, permitió que, después de haber planteado las hipótesis, pudiese comprobarlas utilizando como bases los medios descritos anteriormente y varios conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera, como la programación e instrumentación de dispositivos y sistemas electrónicos. A continuación, se muestran algunas imágenes en las que se aprecia la tapa del tablero, como normalmente se produce (Figura 26), y otra imagen de la tapa con colores, donde los colores ejemplifican las zonas instrumentadas (Figura 27 a), b)).



**Figura 26.** Tapa de tablero producción serie

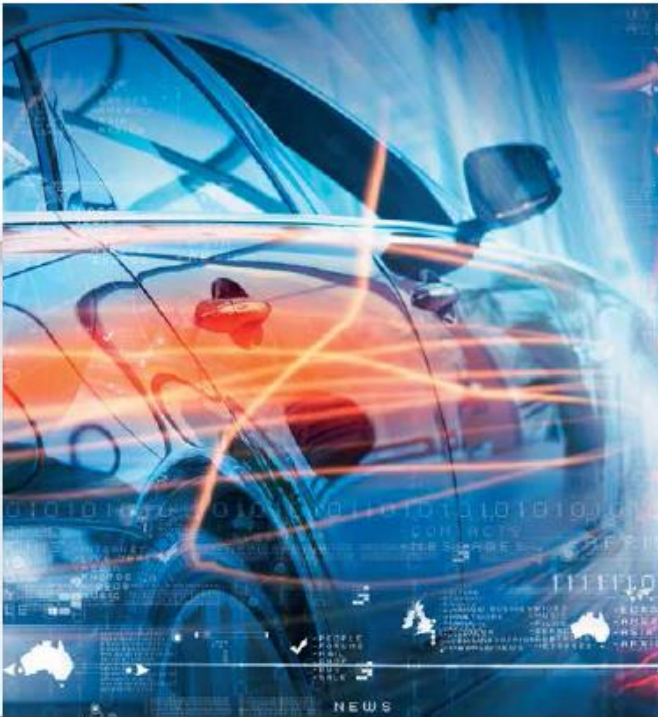


**Figura 27.** a) Tapa de tablero que ejemplifica las zonas instrumentadas;  
b) Tablero sin instrumentar producción serie

Una vez elaborada la propuesta de las zonas a instrumentar, se buscó el contacto de proveedores extranjeros para obtener sensores especiales para *crash* y acelerómetros (Figura 28) que ayudaran al correcto desarrollo del proyecto y a entregar resultados que fueran favorables para ambas partes –tanto para el proveedor como para el cliente VWM–, ya que los resultados que se obtuvieran se pondrían a disposición de ambas partes para continuar en un futuro con las mejoras de la instrumentación planteada.

La particular elección de utilizar estos sensores fue la rapidez de respuesta y confiabilidad de datos que se puede obtener de ellos. Es bien sabido que los acelerómetros (ver Anexo 1) de alta precisión son indispensables en numerosas aplicaciones de prueba y medición, por ejemplo, para el monitoreo de alguna condición o para el monitoreo en pruebas de estabilidad operativa de todo tipo de vehículos.

***We are in touch  
with your challenges!***



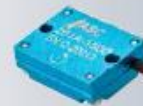
Capacitive  
accelerometers



Piezoresistive  
accelerometers



Gyros



IMUs



**ASC Sensors**  
*for active and passive driving safety*

**Figura 28.** *Sensores utilizados en el proyecto.* Fuente: ASC Sensors (s.f.)



A continuación, se presenta el diagrama de flujo del programa utilizado para la programación de los sensores (Figura 29).

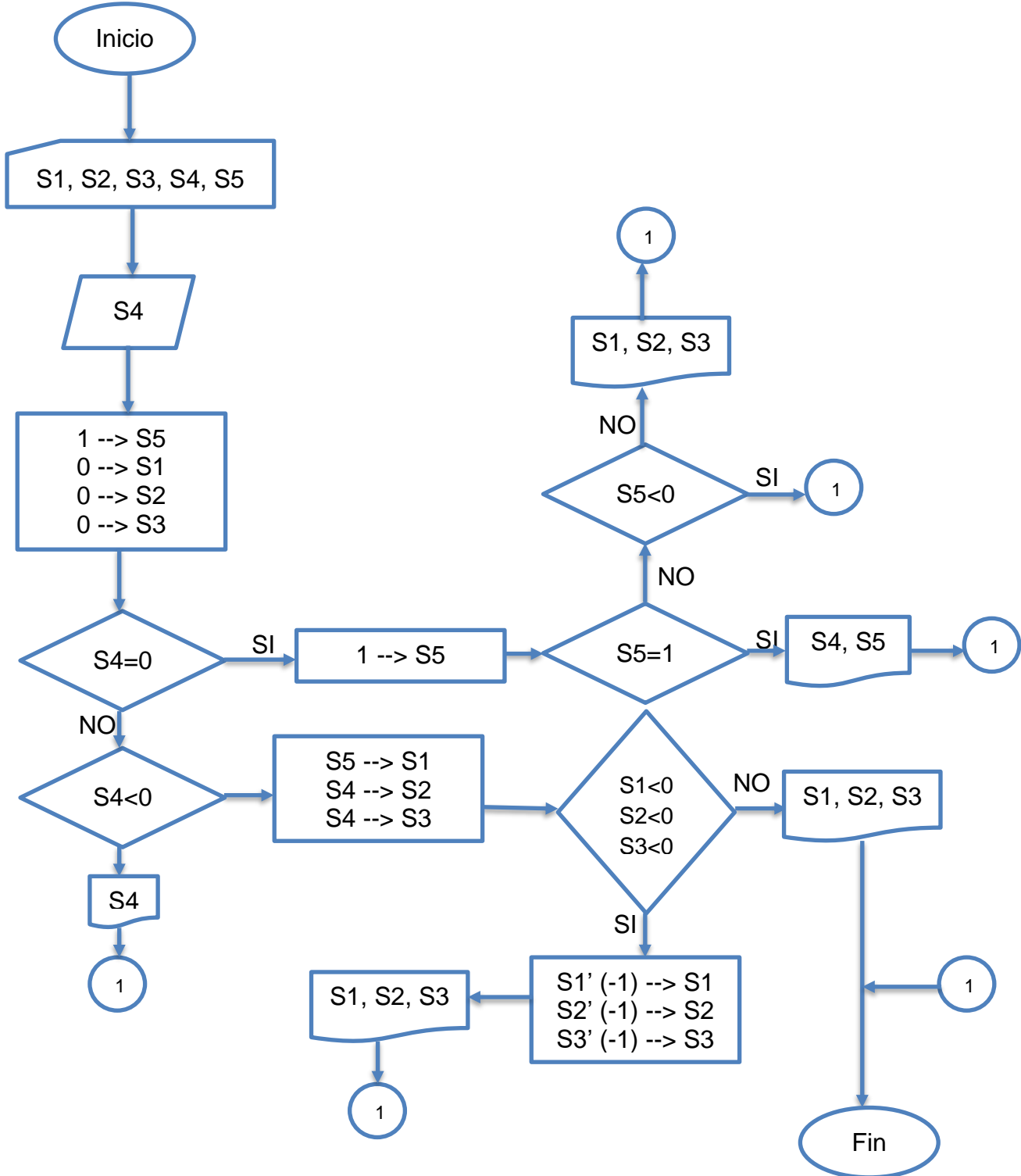


Figura 29. Diagrama de flujo para la programación de los sensores utilizados

El diagrama de flujo anterior es una representación gráfica del código de programación utilizado para la recolección de datos al momento de la detonación de la bolsa de aire de pasajero y la interacción del saco de aire con la tapa del tablero de instrumentos.

Donde los sensores S1, S2, S3 son acelerómetros ASC 61C1 y los sensores S4 y S5 son acelerómetros ASC 62C1.

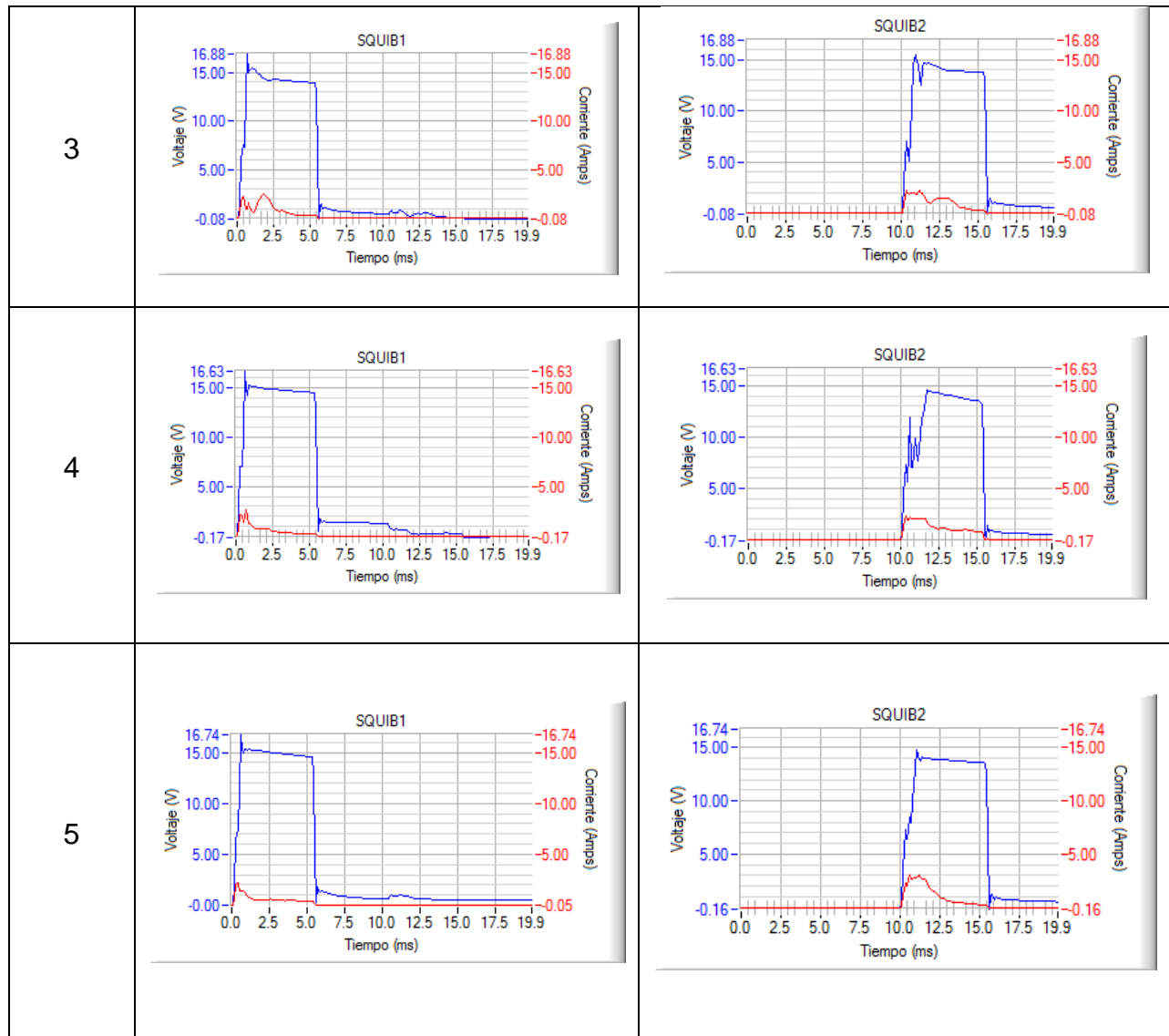
El diagrama de flujo muestra una lógica básica de programación realizada en Arduino, donde todos los sensores recolectan voltajes al momento de tener movimiento ó impacto con algún componente, teniendo un rango de medición de 0 a 30 ms como máximo. A lo largo de toda la trayectoria los sensores recolectan todos los datos en un rango de 0 V a 17 V.

Con toda esta información podemos detectar las zonas de contacto que presentan mayor voltaje lo que nos indicará las zonas de mayor impacto ó contacto de la bolsa de aire con la tapa del tablero.

## 4.2 Análisis de resultados

Al utilizar el programa anterior en lenguaje Arduino (ver Anexo 2), se pudieron obtener datos que fueron muy útiles para la comprensión del desdoblado de la bolsa del pasajero. Se puede observar claramente cuáles son los primeros milisegundos donde sucede el primer impacto con el tablero y en qué sensor se generó el mayor impacto (relación voltaje vs. tiempo) (Figura 30).

No. Prueba	Resultados Puerto 1	Resultados Puerto 2
1	<p>SQUIB1</p> <p>Voltaje (V)</p> <p>Corriente (Amps)</p> <p>Tiempo (ms)</p>	<p>SQUIB2</p> <p>Voltaje (V)</p> <p>Corriente (Amps)</p> <p>Tiempo (ms)</p>
2	<p>SQUIB1</p> <p>Voltaje (V)</p> <p>Corriente (Amps)</p> <p>Tiempo (ms)</p>	<p>SQUIB2</p> <p>Voltaje (V)</p> <p>Corriente (Amps)</p> <p>Tiempo (ms)</p>



**Figura 30.** Datos de resultados de efectividad de modificación en bolsa de aire del pasajero

Con toda la información disponible después de estas pruebas, fue sencillo indicarle al proveedor qué cambios debía realizar en su producto para optimizar el tiempo de apertura de la bolsa de aire del pasajero y así evitar daños al tablero de instrumentos y al parabrisas. Es decir, al aplicar los cambios sugeridos al producto, el desenvolvimiento de la bolsa de aire resultaría ahora ser el correcto para este diseño de tablero.

# Capítulo 5: Conclusiones

## 5.1 Conclusiones generales

El objetivo planteado al inicio del proyecto se cumplió satisfactoriamente, ya que se aplicaron los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, como programación, instrumentación y circuitos. La implementación de la mecatrónica en el área donde se desarrolló el proyecto tuvo un impacto positivo de más de un 30% (Figura 31) en la mejora de la bolsa de aire del pasajero, pues entender su comportamiento permite una mejora o cambio sólo en las áreas de doblado específicas que causan anomalías al desenvolvimiento de la bolsa. Es decir, al utilizar el sistema propuesto anteriormente podemos encontrar con facilidad las áreas de interacción de la bolsa de aire del pasajero con el tablero de instrumentos, así como la fuerza de impacto en la zona.

Lo anterior le permite no sólo a la OEM, sino también al proveedor detectar las áreas de oportunidad de su producto, optimizar tiempos y mejorar el área afectada para tener un mejor desempeño del producto en futuras pruebas de airbag. De esta forma, se obtendrá como resultado un producto robusto y funcional para los requerimientos de seguridad de los diferentes mercados.

Además de desarrollar nuevas habilidades y aptitudes, trabajar en equipo resultó fundamental para que el proyecto se consumara. Al interactuar con distintas áreas, como interiores y eléctricos, se aprende a buscar la mejor manera para que todos los colaboradores y afectados trabajen en conjunto por una meta en común.

## 5.2 Conclusiones específicas

Durante el periodo de pruebas de la propuesta se tuvo que validar la efectividad de las medidas sugeridas, las cuales implicaban cambios en el proceso de fabricación de las bolsas de aire y aseguramiento de la calidad de los materiales utilizados para su construcción. Es importante recalcar que la validación final se realizó durante una pequeña corrida de liberación de piezas, lo que incluía un total de 38 pruebas sujetas a distintas condiciones para validar la propuesta hecha. A continuación, se presenta un breve resumen de las 38 pruebas realizadas (ver Tabla 8).

**Tabla 8.** *Datos de resultados de efectividad de modificación en bolsa de aire del pasajero*

Temperatura de Prueba	Tipo de bolsa de aire	Resultado de prueba
+23°C	NOM	5/5 OK
+23°C	OGL/UGL	5/5 OK
+85°C	NOM	5/5 OK
+85°C	OGL/UGL	4/5 OK
-35°C	NOM	5/5 OK
-35°C	OGL/UGL	4/5 OK
-35°C → 85°C	NOM	8/8 OK

Con la información anterior se puede ver claramente que la propuesta realizada arrojó resultados altamente satisfactorios, lo que significa que el análisis realizado fue el correcto. Además, las mediciones hechas con los sensores otorgaron un mejor panorama para identificar la zona correcta que se debe mejorar, invertir el dinero de manera adecuada y evitar en el futuro reclamos o accidentes de campo.

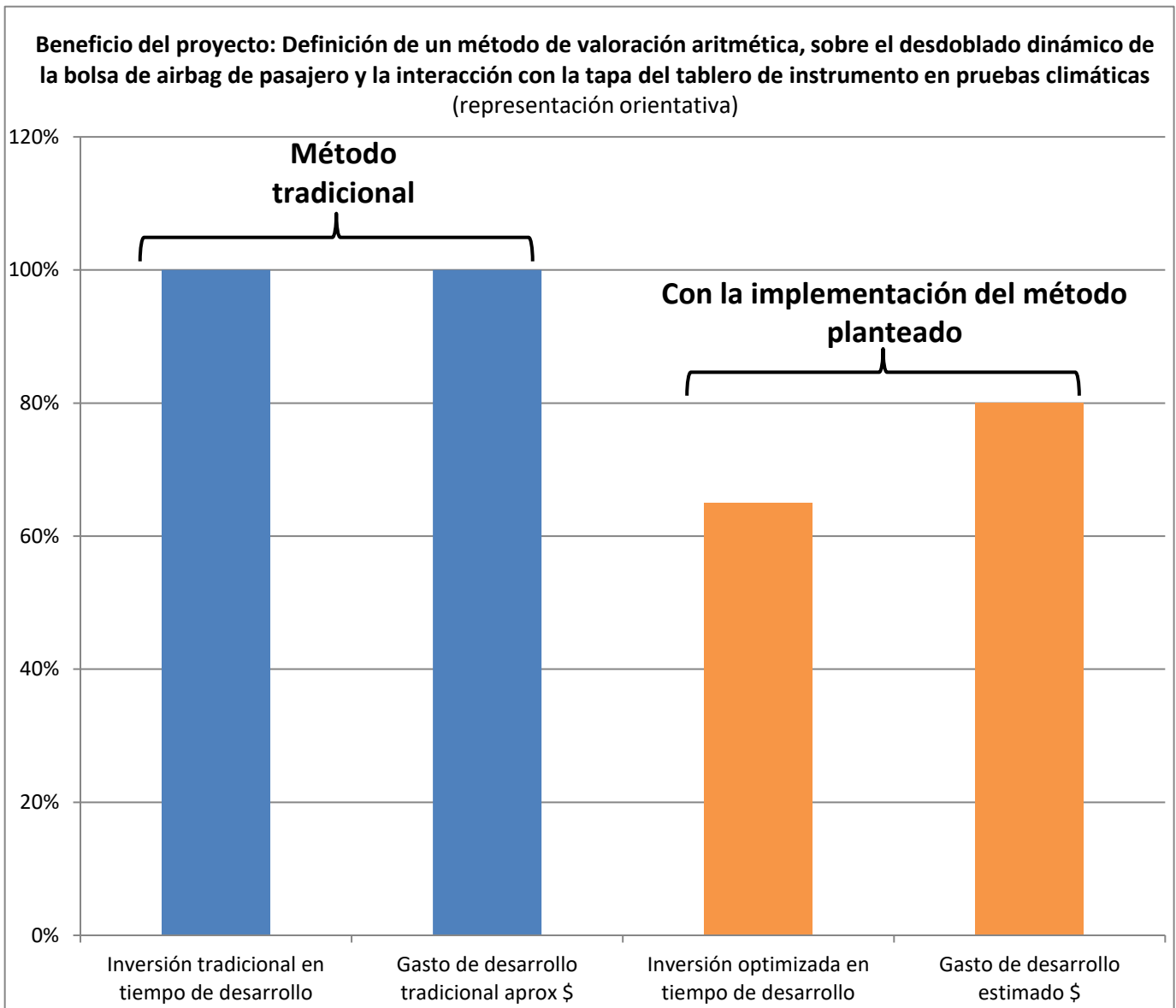
Finalmente, para validar al 100% que esta medida es la correcta, se produjeron partes NOK (fuera de los límites especificados en el programa) con el fin de corroborar que todas las piezas que estén fuera de ese rango tendrían un comportamiento no adecuado al momento de detonar la bolsa de aire.

En la siguiente tabla (ver Tabla 9) se encuentra un breve resumen de esas pruebas.

**Tabla 9.** *Datos de resultados con bolsa de aire del pasajero fuera de los límites especificados*

<b>Temperatura de Prueba</b>	<b>Tipo de bolsa de aire</b>	<b>Resultado de prueba</b>
+23°C	NOM fuera límite superior	4/5 NOK
+23°C	NOM fuera límite inferior	3/5 NOK
+85°C	NOM fuera límite superior	5/5 NOK
+85°C	NOM fuera límite inferior	3/5 NOK
-35°C	NOM fuera límite superior	4/5 NOK
-35°C	NOM fuera límite inferior	4/5 NOK
-35°C → 85°C	NOM	6/8 NOK

Como conclusión, al observar los datos obtenidos, se nota claramente que la medida sugerida e implementada es altamente funcional para el producto y para el fabricante, ya que se conocen las especificaciones correctas, los rangos y los límites en los que las piezas fabricadas deben producirse para asegurar al 100% la protección de los usuarios del auto y su correcta funcionalidad en el vehículo. Con toda esta información y documentación interna, el departamento de desarrollo utilizará las bases y fundamentos para futuros proyectos.



**Figura 31.** *Beneficio del proyecto realizado en Volkswagen de México*



En la figura anterior se ven claramente los beneficios que la empresa Volkswagen de México tuvo al momento de la conclusión de este proyecto. El departamento de seguridad pasiva MGEKS/3 continuará teniendo ahorro constante y considerable tanto en tiempo como en dinero si continúa con este tipo de LeLe (*Lessons Learned*), ya que poco a poco las industrias automotrices tienden cada vez a utilizar más tecnología e instrumentación durante las fases de lanzamiento de proyectos para generar ahorros reales tanto al proveedor como a la empresa.

Cabe mencionar que al realizar este proyecto no sólo benefició económicamente directamente al departamento de interiores, sino también al vehículo que estaba en lanzamiento en ese momento, que logró alcanzar las cinco estrellas en las evaluaciones de NCAP. Es importante recalcar esta última parte, ya que, al ir aplicando este mismo concepto del proyecto a los vehículos de serie, los especialistas que trabajan con esos vehículos lograron un mejor entendimiento del comportamiento de sus piezas y productos. Por lo tanto, esto ayudará a conseguir una mejor calificación en las revalidaciones del producto.

Es importante resaltar también que para las OEMs (*Original Equipment Manufacturer*) lo más importante es generar ahorros durante fases de lanzamiento, ya que con eso no sólo mejoran sus KPIs (*Key Performance Indicators*), sino que también pueden lograr los diversos hitos del proyecto sin contratiempos y asegurar un producto válido y confiable antes de la fase oficial de lanzamiento.

Dicho todo lo anterior, los gerentes y asesores del proyecto quedaron muy complacidos con toda la inversión que realizaron para entender mejor el comportamiento de la bolsa de aire del pasajero.

## Referencias

- Acosta, C. (2020). *Estos son los tipos de airbags que encontramos en un vehículo en la actualidad*. Nitro. <https://www.nitro.pe/seguridad/estos-son-los-tipos-de-airbags-que-encontramos-en-un-vehiculo-en-la-actualidad.html>
- Arduino store (s.f.). *Arduino mega 2560 rev3*. <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3?queryID=undefined>
- Arduino PRO (s.f.). *Platform*. <https://www.arduino.cc/pro/> “Revisión de la normatividad sobre los requerimientos de seguridad en automóviles”
- ASC Sensors (s.f.). *Sensor Portfolio*. <https://www.asc-sensors.de/en/home/>  
<https://www.arduino.cc/pro/>
- Churchill, Z. (2020). *Brake Assist System (BAS)*. Spokane Hyundai <https://blog.spokanehyundai.net/brake-assist-system-bas/>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (1980). *Determinación del comportamiento de combustión de materiales del equipamiento interior del vehículo* DIN 75200. [https://global.ihs.com/doc\\_detail.cfm?document\\_name=DIN%2075200&items\\_key=00117547](https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=DIN%2075200&items_key=00117547)
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2009). *Influencias ambientales - Parte 2-31: Método de ensayo - Ensayo Ec: Choques por manejo brusco DIN EN 60068-2-31*. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-60068-2-31/116386216>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2010). *Ensayos ambientales - Parte 2: Ensayos; ensayo Ea y manual: Choques DIN EN 60068-2-27*. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-60068-2-27/122336084>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2017). *Requisitos generales en cuanto a la competencia de laboratorios de ensayo y de calibrado DIN EN ISO/IEC 17025*. <https://www.normadoc.com/spanish/din-en-iso-iec-17025-2018-03.html>
- EURONCAP (s.f.). *Criterios, normas y legislaciones de NCAPs*. <http://www.euroncap.com/es>

- EURONCAP (2016). *CARHS EuroNCAP und weltweite Verbraucherschutz Test der aktiven und passiven Sicherheit 2016*. <http://www.euroncap.com/es>
- GLOBAL NCAP (s.f.). *Criterios, normas y legislaciones de NCAPs*. <http://www.globalncap.org/>
- Grupo Fame (2016). *¿Qué son las zonas de deformación programada en un coche y por qué pueden salvarnos la vida?* AutoFAME. <http://autofameblog.blogspot.com/2016/07/que-son-las-zonas-de-deformacion.html>
- HRVP27 (2019). *Interior*. <https://volkswagen2018polo.wordpress.com/2019/01/10/interior/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (s.f.). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/transporte/acidentes.asp>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2016). *Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito terrestres en zonas urbanas y suburbanas 2016* [Archivo PDF]. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825087999>
- Jiménez, G. (2015). *Qué es el sistema ISOFIX y cómo se usa*. Auto10 <https://www.auto10.com/reportajes/que-es-el-sistema-isofix-y-como-se-usa/6764>
- Lanka 77 (2016). *What do you know about seat belt?* <https://lanka77.weebly.com/tips--advices/what-do-you-know-about-seat-belt>
- LATINNCAP (s.f.). *Criterios, normas y legislaciones de NCAPs*. <http://www.latinncap.com/es/inicio>
- Mi Automóvil (s.f.). *¿Por qué está encendida la luz ABS de tu auto y qué significa?* <https://miautomovil.info/por-que-esta-encendida-la-luz-abs-de-tu-auto-y-que-significa/>
- Organización Panamericana de la Salud (2013). *México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en muertes por accidentes de tránsito OPS*. [http://www.paho.org/mex/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5](http://www.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=5)

[52:mexico-ocupa-septimo-lugar-nivel-mundial-muertes-accidentes-transito-ops&catid=859:imesevi6-noticias](https://www.ineciv.org/mexico-ocupa-septimo-lugar-nivel-mundial-muertes-accidentes-transito-ops&catid=859:imesevi6-noticias)

Race Sim Online (s.f.). *Sistema de control de estabilidad*.  
<http://www.racesimonline.com/articulos/ESP.php>

SAE International (2002). *Air Cleaner Test Code (Código de ensayo de filtros de aspiración de aire)*. [https://www.sae.org/standards/content/j726\\_198105/](https://www.sae.org/standards/content/j726_198105/)

SAE International (s.f.). *Equipos de medición para ensayos de choque. Parte 1: Equipos de medición electrónicos*. <https://www.sae.org>

SAFECAR (s.f.). *Criterios, normas y legislaciones de NCAPs*.  
<https://www.safercar.gov/>

Vázquez, D., Hernández, J. R., Fabela, M. J., Flores, Ó., Sánchez, L. G., y Molano, M. (2017). *Revisión de la normatividad sobre los requerimientos de seguridad en automóviles* [Archivo PDF].  
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt491.pdf>

Verband der Automobilindustrie (VDA) (s.f.). *Determinación del comportamiento de olor de materiales del equipamiento interior de vehículos VDA 270*.  
<https://www.vda.de/de>

# Anexos

## Anexo 1

Los sensores utilizados durante este proyecto fueron de dos tipos: sensores de *crash* (para impacto frontal) y acelerómetros. Los sensores de choque ASC incluían acelerómetros piezoresistivos basados en MEMS, que son ideales para aplicaciones de impacto y choque con rangos de medición de hasta 6.000 g. Los sensores uniaxiales de tipo ASC 61C1 (Figura 32) y ASC 62C1 (Figura 33) son los más comunes en la industria automotriz para realizar pruebas de impacto lateral y frontal. Además estos sensores son utilizados en las pruebas de validación de crash de LatinNCAP, por lo que su fiabilidad en cuestión de obtención de datos es altamente confiable.

### Product Information



**Sensor type:** Accelerometer  
**Sensor technology:** Piezoresistive  
**Number of sensitive directions:** Uniaxial  
**Output signal:** Voltage  
**Measurement range [g]:** 500, 1000, 2000

**Technology:**

These piezoresistive accelerometers are based proven MEMS technology, in which four variable resistors are configured as a Wheatstone bridge. The uniaxial ASC 61C1 features a wide dynamic range from 0 Hz to 2.5 kHz and outstanding impact resistance up to 5,000 g. In addition, the lightweight design allows its use in applications where the mass load of the test structures has to be minimized.

**Housing:**

The accelerometers feature a lightweight, reliable aluminum housing with protection class IP67 and an integrated cable with configurable length and connectors.

**Applications:**

Piezoresistive accelerometers are used in high-impact and shock applications such as side and frontal impact tests in the automotive sector. With a measuring range of up to 2,000 g they therefore belong to the category of ASC crash sensors, which can be configured with TEDS and EOX data.

**Figura 32.** Sensor ASC 61C1. Fuente: ASC Sensors (s.f.).

## Product Information



**Sensor type:** Accelerometer  
**Sensor technology:** Piezoresistive  
**Number of sensitive directions:** Uniaxial  
**Output signal:** Voltage  
**Measurement range [g]:** 1000, 2000

### Technology:

These piezoresistive accelerometers are based proven MEMS technology, in which four variable resistors are configured as a Wheatstone bridge. The uniaxial ASC 62C1 features a wide dynamic range from 0 Hz to 2.5 kHz and outstanding impact resistance up to 5,000 g. In addition, the lightweight design allows its use in applications where the mass load of the test structures has to be minimized.

### Housing:

The accelerometers feature a lightweight, reliable aluminum housing with protection class IP67 and an integrated cable with configurable length and connectors.

### Applications:

Piezoresistive accelerometers are used in high-impact and shock applications such as side and frontal impact tests in the automotive sector. With a measuring range of up to 2,000 g they therefore belong to the category of ASC crash sensors, which can be configured with TEDS and EOX data.

**Temperature:** -20°C to +80°C   **Protection class:** IP67   **Housing material:** aluminum

**Figura 33.** Sensor ASC 62C1. Fuente: ASC Sensors (s.f.).

Las pruebas de automóviles, camiones, vehículos utilitarios y motocicletas requieren sensores inerciales de alta resolución, así como un diseño robusto y compacto. Además de la capacidad de medir frecuencias y amplitudes muy bajas, deben ser resistentes a vibraciones y golpes al tiempo que ocupan un pequeño espacio de instalación. Tanto los acelerómetros como los giroscopios y las unidades de medida inercial (IMU) de ASC cumplen perfectamente con estos exigentes requisitos. Los fabricantes de automóviles los han utilizado durante mucho tiempo en el desarrollo de medidas de seguridad activas y pasivas, como las mediciones del confort de conducción y las pruebas de durabilidad o en el control de vibraciones y el análisis de la dinámica del vehículo.

Ambos sensores se utilizan generalmente en laboratorios de prueba, específicamente para la liberación de los componentes prototipos. Por lo que el uso de estos sensores en el experimento nos permite tener mediciones certeras y la obtención de datos es mucho más amplia y precisa.

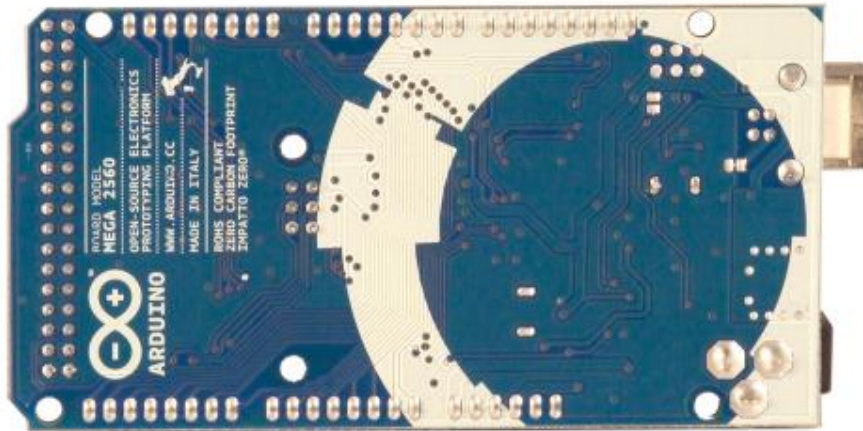
## Anexo 2

Para facilitar la programación se utilizó la versión de Arduino MEGA (Figura 34), el cual cuenta con 54 pines digitales que funcionan como entrada y salida, 16 entradas analógicas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reinicio y una entrada para la alimentación de la placa.



**Figura 34.** *Arduino Mega* Fuente: Arduino store (s.f.).

## Datasheet Arduino MEGA 2560 (Figuras 35 y 36):



### Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

**Figura 35.** *Arduino Mega 2560 Datasheet*



## Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

**Figura 36.** *Arduino Mega 2560 Datasheet*

Para facilitar y agilizar la programación se eligió el Arduino MEGA, ya que es bien sabido que es bastante sencillo y tiene varios códigos en la web, lo que facilita el aprendizaje mediante ejemplos gratuitos, y la adaptación del código y las funciones son bastante amigables. Además, es mucho más sencillo y rápido que en cualquier otro tipo de programador. También se eligió porque esta placa se utiliza cuando Arduino UNO no llega a cubrir las necesidades de un proyecto. Y en este caso, al querer obtener datos en tiempo real es necesario utilizar un Arduino con mayor capacidad de procesamiento.

## Hoja de firmas de conformidad

---

Vo.Bo. Alumno: Emanuel Raziel Muñoz García

---

Vo.Bo. Asesor: Germán Ardul Muñoz Hernández