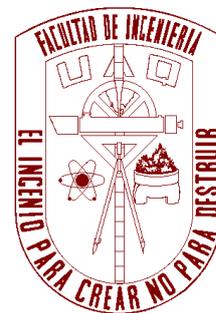
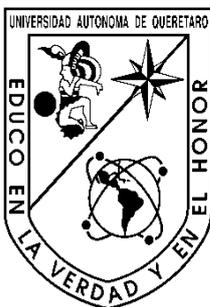


Universidad Autónoma

De

Querétaro



Facultad de Ingeniería
Campus San Juan del Río
Área de Electromecánica

T E S I S

ASIENTO INFLABLE PARA AVIACIÓN

Que para obtener el título de:

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Presenta:

Fernando Olvera Olvera

DIRECTOR: Dr. JOSE ANTONIO ROMERO NAVARRETE

San Juan del Río, a 2 de septiembre de 2011

Presentación

El desarrollo de esta tesis se da en la Facultad de Ingeniería, en el contexto de estudios orientados al desarrollo de sistemas, métodos y dispositivos para un desarrollo sustentable. Otros trabajos comprenden el ahorro de recursos naturales.

Asimismo, los trabajos se enmarcaron en el desarrollo de la materia “Proyecto y Diseño”, correspondiente al octavo semestre de la carrera, siendo el profesor titular de dicho curso el Maestro en Ciencias Ángel Pérez Cruz. Los sinodales para este trabajo fueron Drs. Carlos Santiago López Cajún, Aurelio Domínguez González y Juan Primo Benítez Rangel.

Resumen

Se presenta un modelo experimental de asiento inflable, a usarse en vehículos de transporte aéreo, incluyendo su diseño conceptual y pruebas preliminares. El diseño considera el empleo de una dona ortopédica como cojín de aire, montada en un bastidor de madera, en correspondencia a las técnicas comunes empleadas para este tipo de artefactos. Se emplea como medida de desempeño la distribución del peso en el asiento en las partes delantera y trasera. Para esto, el trabajo incluye entonces el desarrollo de un bastidor de carga instrumentado para medir la distribución del peso del sujeto en el asiento. Este bastidor de carga comprende tres vigas en voladizo, instrumentadas mediante galgas extensométricas. El cojín propuesto es evaluado comparativamente con otro cojín, hecho de hule espuma. El peso del cojín de aire resulta un 15 % menor que el de hule espuma, mientras que los niveles de confortabilidad resultan mayores. Cálculos del trabajo de compresión del aire (370 Joules), sugieren una ventaja del cojín de aire con respecto al convencional de hule espuma, incluso aún si se toma en cuenta el peso de las tuberías de hule que se requieren para la instalación de la alimentación de aire. Se desarrolló asimismo, un sistema de sensado de la presencia de un sujeto, basado en un circuito diseñado con base en amplificadores operacionales. Mientras que el asiento inflable mostró sus bondades por cuanto al ahorro potencial de combustible y confortabilidad, se requiere todavía un análisis más profundo por cuanto a las características y materiales empleados en el cojín, tomando en cuenta una pinchadura intencional o fortuita.

Índice

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	11
1.1. ERGONOMÍA.....	11
1.2. DISEÑO DE ASIENTOS	11
1.3. TRABAJO DE COMPRESIÓN DEL AIRE	12
1.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	14
1.5. SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO EN AVIONES Y AUTOMÓVILES	15
1.6. MEDIDORES DE MICRO DEFORMACIONES.....	16
1.7. EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL, CIRCUITOS DERIVADOS Y APLICACIONES	18
1.8. FLUIDOS.....	23
CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA	24
2.1. TECNOLOGÍA DE ASIENTOS DE AVIACIÓN.....	24
2.2. NORMATIVIDAD AEROSPAZIAL	24
2.3. ESTUDIOS DE RESPUESTA DE LOS ASIENTOS A CARGAS DINÁMICAS DE LOS PASAJEROS	26
2.4. FUENTES DE AIRE COMPRIMIDO EN LOS AVIONES Y ASPECTOS DE SEGURIDAD	28
CAPÍTULO 3 DISEÑO CONCEPTUAL.....	30
3.1. DEFINICIÓN DE NECESIDADES	30
3.2. DEFINICIÓN DE MÓDULOS	30
3.3. DEFINICIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE OPERACIÓN	31
CAPÍTULO 4 FABRICACIÓN Y PRUEBAS PRELIMINARES	34
4.1. FABRICACIÓN.....	34
4.2. PRUEBAS DE CONFORT Y RELACIÓN PRESIÓN/PESO.....	37
4.3. NUEVO SENSOR Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL	41
4.4. NUEVA BASE, CIRCUITO IMPRESO Y TAPIZADO DE COJINES.....	48
4.5. PRUEBAS DE COMPARACIÓN ENTRE LOS COJINES DE ESPUMA Y AIRE.....	52
4.6. CALIBRACIÓN DE LOS MEDIDORES DE DEFORMACIÓN.....	53
4.7. MODELO TEÓRICO DE LAS DEFORMACIONES.....	54
CAPÍTULO 5 DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
5.1. DISEÑO DE PRUEBAS	57
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
5.3. DISCUSIÓN	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	71
ANEXO: PLANOS DE FABRICACIÓN.....	74

Índice de figuras

Figura 1. Configuración básica del puente de <i>Wheatstone</i>	17
Figura 2. Configuración básica del amplificador diferenciador.....	19
Figura 3. Configuración del amplificador de instrumentación.....	20
Figura 4. Arreglo propuesto para un amplificador de instrumentación.	21
Figura 5. Configuración básica del amplificador operacional.	22
Figura 6. Ciclo de una turbina simple.....	29
Figura 7. Interconexión de los módulos.....	31
Figura 8. Diagrama de conexión del sensor de presencia.....	32
Figura 9. Dimensiones del marco de carga.	34
Figura 10. Dimensiones de la viga de carga.	35
Figura 11. Implementación de la galga extensométrica.	36
Figura 12. Diagrama de conexión del circuito neumático.....	36
Figura 13. Galga extensométrica adherido a la conexión “T”.....	37
Figura 14. Variación de presión respecto al ocupante, ensayo 1	38
Figura 15. Variación de presión respecto al ocupante, ensayo 2	39
Figura 16. Variación de presión respecto al peso del ocupante, ensayo 3.....	40
Figura 17. Variación de presión respecto al peso del ocupante, ensayo 4.....	40
Figura 18. Recipiente instrumentado de aluminio de pared delgada.....	41
Figura 19. Configuración básica del puente de <i>Wheatstone</i>	42
Figura 20. Incremento de V_a	43
Figura 21. Amplificador diferenciador conectado al puente de resistores.....	44
Figura 22. Alimentación del circuito de instrumentación.	45
Figura 23. Amplificación del voltaje de entrada.	46
Figura 24. Amplificador comparador con divisor de voltaje; $V_- > V_+$	47
Figura 25. Amplificador comparador de voltaje; $V_+ > V_-$	47
Figura 26. Esquemático de circuito indicador de presencia.	48
Figura 27. Nueva base.	48
Figura 28. Vista de planta de la nueva base a utilizar.	49
Figura 29. Marco de carga colocado en la nueva base.	49
Figura 30. Vista inferior del soporte de los asientos.....	50
Figura 31. “Ruteado” de circuito impreso.....	50
Figura 32. Circuito electrónico.	51
Figura 33. Tapizado de cojines.	51
Figura 34. Gráfica comparativa entre asientos de hule espuma y aire.....	53
Figura 35. Viga en voladizo.....	55
Figura 36. Distancias de la viga.	55
Figura 37. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 1.....	59
Figura 38. Gráfica promedio aire; ocupante 1.	59
Figura 39. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 2.....	60
Figura 40. Gráfica promedio aire; ocupante 2.	60
Figura 41. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 3.....	61
Figura 42. Gráfica promedio aire; ocupante 3.	61

Figura 43. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 4.....	62
Figura 44. Gráfica promedio aire; ocupante 4.	62
Figura 45. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 5.....	63
Figura 46. Gráfica promedio aire; ocupante 5.	63
Figura 47. Led rojo señalizando que no hay deformación.	65
Figura 48. Led azul notificando que hay deformación.	65
Figura 49. Ocupante sentado en el asiento inflable.	66

Índice de tablas

Tabla 1. Ensayo 1; Presión inicial: 5.45 psi.....	38
Tabla 2. Ensayo 2; Presión inicial: 4.45 psi.....	39
Tabla 3. Ensayo 3; Presión inicial: 3.45 psi.....	39
Tabla 4. Ensayo 4; Presión inicial 2.45 psi.....	40
Tabla 5. Diferencia de peso en los asientos de aire y espuma.....	52
Tabla 6. Constantes de calibración de las vigas en voladizo.....	54
Tabla 7. Dimensiones de la viga.....	55
Tabla 8. Sustitución de datos y obtención de M, I y E.	56
Tabla 9. Errores en la medición.....	56
Tabla 10. Matriz de datos para pruebas comparativas.....	58
Tabla 11. Matriz de pruebas para sensor indicador de presencia.....	58
Tabla 12. Niveles de confort.....	64
Tabla 13. Potencial ahorro de peso.....	67

Introducción

La necesidad de las aerolíneas de reducir costos ha fomentado considerablemente las ideas para disminuir el peso propio de los aviones, con objeto de reducir el consumo de combustible por pasajero transportado. Esta necesidad se hace evidente cuando se está hablando de construir secciones en las aeronaves, en las cuales irían pasajeros de pie, sostenidos sólo con un arnés.

Al respecto, se considera que una de las maneras de reducir el peso de los aviones se puede dar a través de la sustitución de los asientos convencionales por asientos inflados con aire. Al respecto, la idea de diseñar y construir un asiento neumático inflable resultaría práctico y a la vez, más barato. Por ejemplo, en una aerolínea comercial, la aeronave Boeing 757, contiene espacio para 200 pasajeros en clase comercial [1] y cada asiento pesa alrededor de 33.5 a 37 Kilogramos; si esta aeronave se traslada a la mitad de su capacidad, llevaría cargando 3,350 kilogramos de sobra, lo cual se ve reflejado en el consumo del combustible, es decir, llevaría 100 pasajeros y 100 asientos vacíos, que multiplicados por 33.5 Kg de cada asiento lleva al total antes mencionado

El asiento neumático inflable cubriría las necesidades de un asiento regular, solo que sería más ligero y más barato. Básicamente, su funcionamiento sería como el de un sistema neumático de ajuste lumbar.

Este tipo de asiento inflable permitiría al pasajero incrementar o decrementar, a ciertos límites, la presión del aire contenido en el asiento, es decir, el sillón del ocupante se puede ajustar al grado de soporte que él requiera.

Mientras que las ventajas de un dispositivo de este tipo son evidentes, también lo son las necesidades de proveer el aire comprimido necesario, así como los controles respectivos. Asimismo, se requiere que estos asientos estén equipados con los sistemas de seguridad pertinentes, como todo aquello

empleado en la muy demandante industria aeroespacial. En particular, los requerimientos para sostener impactos son notables.

Antecedentes

Los asientos están sufriendo una transformación radical, añadiendo todo tipo de controles, sensores y componentes electrónicos; sin embargo, el confort sigue siendo la principal preocupación en el diseño de los asientos. “Nosotros preguntamos a los clientes que numeraran la importancia de 560 aparatos. El confort del asiento bajo cualquier condición estuvo posicionado en el número cinco” [2].

Faurecia ha lanzado su primer asiento usando materiales compuestos de la compañía BASF (*Baden Aniline and Soda Factory*, compañía germana de productos químicos). Estos materiales pueden ser moldeados para que se ajusten lo más posiblemente a las curvas del cuerpo humano, lo cual da la sensación de confort de una silla bien lograda de madera. “Con los compuestos, podemos fabricar los asientos y dar la forma del cuerpo humano, y después usar hule espuma muy delgado” [3]. El hule espuma compuesto puede reducir hasta 175mm el espesor con respecto a los asientos convencionales. Un menor tamaño y menor peso en este material compuesto reduce notablemente el ahorro en el peso del asiento. “Cuando las estructuras compuestas son optimizadas con otros componentes, estamos visualizando un 15% del ahorro en peso” [3].

La compañía estadounidense American Airlines introdujo una campaña llamada “Más espacio“(More room) la cual proponía asientos ultra delgados, con los cuales se reducía el tamaño de los mismo y aumentaba el espacio entre ellos, teniendo más lugar para contener las extremidades inferiores de los pasajeros en clase turista. Los asientos fueron desarrollados por la marca germana Recaro, la cual se especializa y se conoce principalmente por la forma y la fineza de diseño deportivo de sus asientos, principalmente para automóviles. Solo dos años después de la iniciativa, American Airlines añadió 5 asientos más a la clase económica, con lo cual generarían ganancias por más de 60 millones de dólares al año en su aeroplano MD-80 [4].

Objetivo

Diseñar y construir el asiento inflable para aviación (asiento sin respaldo), que represente los mismos niveles de confort para el pasajero, analizando la potencial reducción de costos de combustible al implementar este sistema.

Alcances

Se partirá de una revisión de la literatura, para desarrollar el diseño conceptual del asiento, planeado su fabricación a escala prototipo. Al respecto, se considera que el desarrollar el asiento o el respaldo bajo este esquema, atendiendo los objetivos planteados, sería suficiente para validar la idea propuesta.

Metodología de la investigación

La metodología a seguir en el proyecto consiste del diseño en Ingeniería, el cual parte de la definición de las necesidades, y sigue con el planteamiento del problema, el desarrollo conceptual, la validación de los principios de este diseño conceptual, y en la fabricación de algún modelo prototipo. Se investigarán las propiedades de los materiales posibles a utilizar, tales como piel y tela. Para establecer la confortabilidad del asiento se diseñará un banco de pruebas para verificar la distribución del peso del pasajero en el asiento, como una función de factores tales como el peso, tamaño y edad del pasajero.

Capítulo 1 Generalidades

1.1. Ergonomía

La ergonomía estudia los factores que intervienen en la interrelación hombre – artefacto (operario - máquina), afectados por el entorno [5].

El objetivo de la ergonomía es crear una relación armónica entre hombre y objeto, estudiando el diseño del último, para optimizar el trabajo del operario que se desarrolla en un ambiente físico y social. Cualquier experimento de diseño está teóricamente forzado a usar como base de su estudio la ergonomía, la cual determinará los parámetros limitantes de dicho experimento.

En el contexto de las aeronaves, el diseño de los respaldos y descansabrazos son importantes. Si el pasajero pudiera ajustar este tipo de soportes a un grado de confort que él quisiera (por seguridad definiendo algunos límites) sería bastante interesante, ya que se evitaría la molesta fatiga, la cual reduce el rendimiento del ser humano en cualquier actividad. Acerca de la incomodidad de los asientos actuales, se tiene lo que se conoce como “síndrome del pasajero de clase turista”, que ha provocado severas restricciones en la circulación sanguínea, e incluso la muerte de una pasajera en un recorrido largo (Europa – Australia) [6].

1.2. Diseño de asientos

“El transporte aéreo es uno de los modos más seguros para viajar. Es también una de las industrias que crecen rápidamente” [7]. Una de las preocupaciones de la Unión Europea, era, que esta industria se mantuviera con en una línea fuerte de seguridad y sustentabilidad importante, es ahí donde se crea la EASA (*European Aviation Safety Agency*, Agencia de Seguridad de Aviación Europea).

Desde septiembre del 2003, la Agencia de seguridad de aviación europea (EASA), es responsable por diseñar los estándares de seguridad para la

mayoría de las naves de este continente. El espacio mínimo entre las hileras de asientos es una función del número máximo de asientos de pasajeros permitidos. Los estándares de confort del pasajero, son un factor que le corresponde a las aerolíneas individualmente.

Las regulaciones de seguridad están diseñadas, entonces, para que el pasajero tenga la libertad de ponerse de pie y desplazarse hacia el pasillo sin ningún tipo de problema.

A continuación se mencionarán los procesos generales para obtener el aire comprimido, ya que en su forma pura, no es posible utilizarlo en sistemas automotrices y aeronáuticos.

1.3. Trabajo de compresión del aire

Generación y alimentación del aire comprimido

Para poder asegurar que el aire y el sistema neumático sean confiables y el aire comprimido tenga un cierto nivel de calidad se sugiere considerar los siguientes factores:

- Presión correcta
- Aire seco
- Aire limpio

El principio de generación de aire comienza con la compresión del mismo y pasa en diferentes etapas hasta llegar a su punto de llegada para ser usado. Para que el aire llegue en su forma menos contaminada se recomienda utilizar los siguientes equipos:

- Filtro de aspiración
- Compresor
- Acumulador de aire a presión
- Secador
- Filtro de aire a presión con separador de agua
- Regulador de presión
- Lubricador

- Puntos de evacuación del condensado
- Nivel de presión

Por lo general los sistemas neumáticos trabajan a presiones máximas de 8 a 10 bar, sin embargo, algunas veces, para reducir costos, se implementa una presión de trabajo de 6 bar; las pérdidas de presión no superan los 0.6 bar, por lo tanto, el compresor debe de generar de 6.5 a 7 bar [8].

En la salida del compresor se instala inmediatamente un acumulador, el cual tiene la función de compensar el aire demandado y también de no forzar al compresor cada vez que se requiera aire en el sistema neumático.

Compresores

La elección del compresor depende de la presión de trabajo y de la cantidad de aire necesaria. Los compresores son clasificados según su tipo constructivo.

A grandes rasgos los compresores se clasifican en tres categorías: de émbolo alternativo, de émbolo giratorio y de flujo.

Acumuladores

El acumulador se encarga de almacenar el aire comprimido proveniente del compresor. Su función consiste en estabilizar la alimentación de aire a presión al sistema y procurar que las oscilaciones de la presión se mantengan en niveles mínimos.

La superficie relativamente grande del acumulador provoca que el aire contenido en él se enfríe. Cuando este proceso de enfriamiento se da, el agua deberá de ser evacuada mediante una salida o grifo.

Secadores de aire

Si el aire que se está comprimiendo contiene un alto grado de humedad, este puede reducir considerablemente la vida útil de todo el sistema neumático en general. Por lo tanto es necesario recurrir a alguno de los siguientes procesos de secado:

- Secado por absorción

- Secado por adsorción
- Secado por enfriamiento

Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento tiene la función de acondicionar el aire a presión. Esta unidad se ubica antes del mando neumático.

1.4. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es utilizado para optimizar, mejorar, crear procesos y productos.

Los objetivos primarios del diseño de experimentos son la proyección, optimización y solidez de las pruebas del proyecto. Estos objetivos primarios nos ayudan a identificar en el experimento, los factores principales y determinar el rango de dimensionamiento del mismo, a definir qué factores nos ayudarán a obtener un mejor desempeño del mismo y a ajustar nuestros factores para garantizar la solidez de la prueba respectivamente [9].

Diseño multifactorial y confiabilidad

Los diseños factoriales completos son la base del diseño experimental usados en la proyección, optimización y solidez de pruebas de los experimentos [9].

En este caso, se presentará un diseño factorial, identificándose tres factores, presentando en las pruebas experimentales: presión de inflado – peso del individuo – tipo de cojín.

En cuanto a la confiabilidad (exactitud y precisión) del experimento, se tomarán en cuenta los resultados obtenidos en dichas repeticiones y se compararán las pruebas.

Se trabajará principalmente en el aspecto de confortabilidad y de reducción de peso del asiento inflable de aire. No obstante, se realizarán pruebas de comparación entre un cojín de espuma regular y el cojín inflable de aire, efectuando asimismo pruebas que muestren la distribución del peso de los

ocupantes en los dos tipos de cojines, e implementando un sensor el cual permitirá observar si el asiento inflable de aire está o no, ocupado.

1.5. Sistemas de aire comprimido en aviones y automóviles

EL aire comprimido se produce para proveer diferentes servicios en aviones, automóviles y camiones [10]. Se describe en esta sección de manera sucinta algunos aspectos del servicio de aire comprimido en vehículos, ya que los sistemas asociados proveerán el aire para el inflado de los asientos.

En el caso de los camiones, el servicio de aire comprimido es crítico ya que muchos de los sistemas dependen de este fluido como medio de accionamiento. Tal es el caso de los sistemas de frenos, y otros auxiliares como en el caso de los sistemas “vigía” los cuales mantienen la presión de inflado de las llantas con objeto de disminuir las variaciones de inflado y prolongar la vida de las llantas. Otra aplicación crítica en el caso de los camiones corresponde a aquellas unidades equipadas con suspensión de aire, que sustituyen a las tradicionales suspensiones de hojas.

Por cuanto a los automóviles, el aire comprimido no es un servicio general, si bien en general pueden contarse con algún tipo de compresor para crear el ciclo de refrigeración. Sin embargo, y al igual que los camiones actuales, algunos vehículos poseen también suspensiones de aire, con lo que requieren de alguna alimentación de aire a presión. Tal es el caso de los automóviles de la marca *Citroën*.

Por cuanto a los aviones, los servicios de aire comprimido se proveen para distintos fines, siendo el más importante la presurización de la cabina. El suministro de aire comprimido se da a través de venas de aire comprimido derivadas de las etapas de los compresores de los motores turbo-hélice y turbo-reacción. Esto es, este tipo de motores requieren llevar a cabo la combustión a través de aire comprimido con objeto de aumentar la potencia de entregada por la combustión. De esta manera, una parte del gasto de tales turbocompresores se alimenta a la cabina para mantener dentro de las mismas condiciones de sobrevivencia. De las distintas etapas de compresión de los

motores es que se planea alimentar a los asientos inflables, de manera semejante al sistema de ventilación individual que se proporciona al pasajero en su lugar. Al respecto, es de destacarse algunas aplicaciones adicionales del aire comprimido actualmente en los aviones, que corresponde a los asientos reclinables de los lugares de *business class*.

1.6. Medidores de micro deformaciones

Medición de deformaciones

Para el diseño de componentes de máquinas y estructuras que soportan carga se requiere información sobre la distribución de fuerzas. En un objeto que se somete a cargas, los esfuerzos dentro del material actúan para balancear la carga externa. Los esfuerzos se miden a partir de las deformaciones en alguna parte esforzada. Con frecuencia, esta deformación se reporta en unidades de 10^{-6} in/in ó 10^{-6} m/m, es decir del rango de $\mu\epsilon$ (micro deformaciones).

Medidores de deformación por resistencia

La resistencia de un medidor de deformación cambia cuando se deforma, y ello se relaciona fácilmente con la deformación local. Los materiales metálicos y semiconductores experimentan este cambio en la resistencia eléctrica cuando se someten a una deformación. La cantidad en que cambia la resistencia depende de qué tanto se deforme el medidor, el material del que está hecho y el diseño del mismo. Los medidores pueden ser pequeños para tener buena resolución y poca masa para dar una alta respuesta a la frecuencia. Con cierta inventiva, los efectos ambientales se pueden eliminar o minimizar.

Medidores metálicos

Considere un conductor con un área de sección transversal uniforme AC y una longitud, L , hecho de material con una resistividad ρE . Los cambios en la resistencia se originan por dos efectos básicos: la modificación en la geometría cuando la longitud y el área de la sección transversal varían y el cambio en el valor de la resistividad ρE . La dependencia de la resistividad en deformación mecánica se llama piezorresistencia [11].

Puesto que la deformación por lo común se mide en un punto sobre un componente donde el esfuerzo es máximo y los gradientes del esfuerzo son altos, el medidor de deformación promedia la deformación medida sobre la longitud del medidor. Los medidores de deformación reales son sensibles a las deformaciones laterales en algún grado; para la mayoría de los medidores, la sensibilidad a las deformaciones de corte pueden ser despreciados.

Puente de Wheatstone

“Los puentes eléctricos se emplean para mediciones de resistencia cuando se necesita una determinación muy exacta de una resistencia en particular” [12].

El puente de *Wheatstone* consta o se forma de una fuente de voltaje de corriente directa y cuatro resistores formando los brazos de dicho circuito. Para este proyecto se eligieron resistencias de precisión en tres de los brazos y una última resistencia la cual sería el medidor de micro deformación.

La Figura 1 muestra la configuración básica del puente de *Wheatstone*:

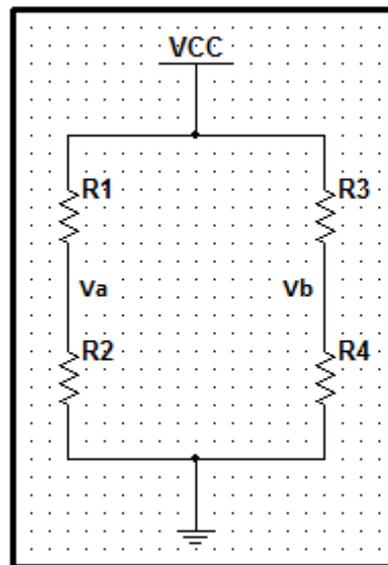


Figura 1. Configuración básica del puente de *Wheatstone*.

Esta configuración se usó en este experimento; dimensionando $R1=R3=R4$ como los mencionados resistores de precisión y R2 siendo el medidor de

deformación. Como se sabe, aplicando leyes de voltaje de Kirchhoff a los respectivos nodos V_a y V_b se obtienen divisores de voltajes en el cual el voltaje V_b será siempre la mitad de V_{CC} (sí y solo sí $R_3=R_4$) y V_a dependerá de la deformación del resistor “variable” y esto dará una diferencia de potencial entre dichos puntos y podrá mandar una señal o una diferencia de voltaje hacia circuitos posteriores.

1.7. El amplificador operacional, circuitos derivados y aplicaciones

Es un componente electrónico que permite construir útiles circuitos que son necesarios para la adquisición de alguna señal que no se podría obtener con las herramientas de medición comerciales. A un amplificador operacional se le “inyecta” una señal de entrada y se obtiene una “amplificación” que no se debe de distorsionar en la salida del mismo [13].

Algunas aplicaciones que se le dan a este tipo de circuito son las siguientes:

- Acondicionamiento de señales
- Control de procesos
- Comunicaciones
- Computadoras
- Fuentes de potencia y señales
- Pantallas de visualización
- Sistemas de prueba y medición.

Amplificador operacional diferenciador

La finalidad de este tipo de circuito es, como lo define su nombre, la de restar o sustraer una diferencia entre el voltaje o señal de la entrada no inversora (+), y el voltaje o señal en la entrada inversora (-), la cual será multiplicada por un factor de ganancia que depende de las resistencias de entrada y las resistencias de retroalimentación [14].

El amplificador diferenciador tiene la configuración que se observa en la Figura 2.

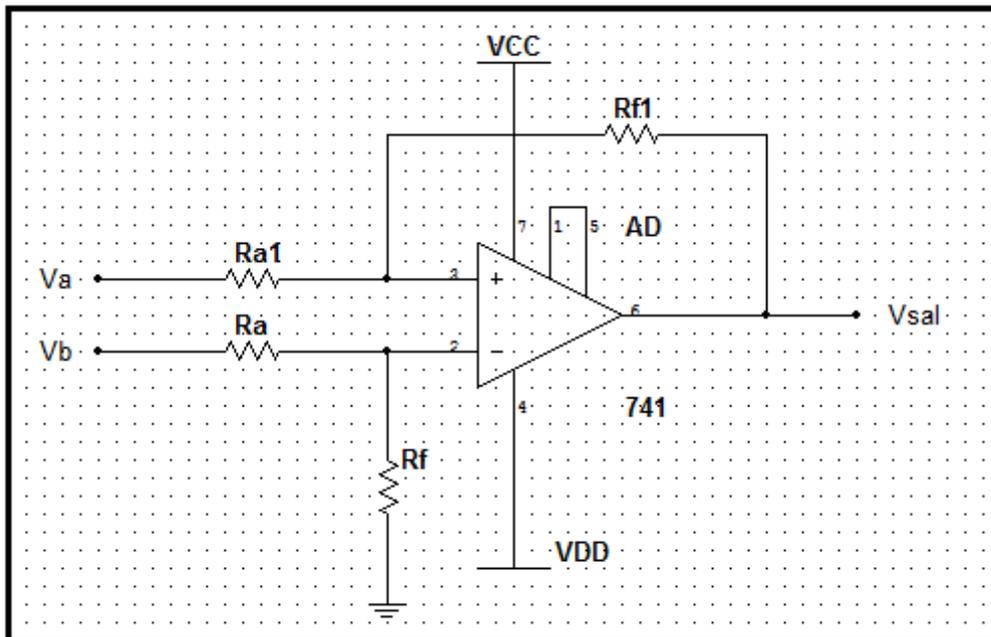


Figura 2. Configuración básica del amplificador diferenciator.

Análisis del circuito diferenciator

Para este circuito se tienen los resistores de entrada R_a y R_{a1} , el resistor R_f para la entrada inversora (-) y el resistor R_{f1} para la entrada no inversora (+), el voltaje V_a que alimenta a R_{a1} y V_b que suministra voltaje al resistor R_a .

Para fines de análisis los resistores $R_f = R_{f1}$ y $R_a = R_{a1}$.

Resolviendo por leyes de corriente de Kirchhoff el voltaje de salida (V_s) del amplificador diferenciator es:

$$V_s = -\frac{R_f}{R_a}(V_b - V_a) \quad \text{ec. (1)}$$

Amplificador de instrumentación

Es uno de los amplificadores más conocidos y usados por sus diferentes características [15]. Este circuito amplifica, al igual que el diferenciator, la sustracción entre dos señales o voltajes. Sin embargo el amplificador de instrumentación contiene 3 circuitos amplificadores, 6 resistores fijos, 1 resistor variable y dos entradas de voltaje o entradas de señales.

Entre las características que debe desempeñar el amplificador de instrumentación están las siguientes:

- Alta resistencia o impedancia de entrada
- Aceptar señales de entrada de sistemas balanceados, flotantes, simétricos o levantados de tierra
- Salida referida a tierra
- Aceptar señales de entrada referidas a tierra
- Alta ganancia en modo diferencial
- Control de ganancia para la señal de entrada diferenciadora
- Errores por desviación cero
- Baja resistencia a la señal de salida
- Bajo ruido.

Este circuito consta principalmente de dos etapas, la etapa de entrada y la etapa de sustracción. La primera parte consta de dos amplificadores los cuales se alimentan de voltaje o de señales por la entrada no inversora (+), 2 resistores fijos y la resistencia variable. La segunda etapa, la etapa de sustracción, es en sí, un amplificador diferenciador. En la Figura 3 se muestra un amplificador operacional de instrumentación.

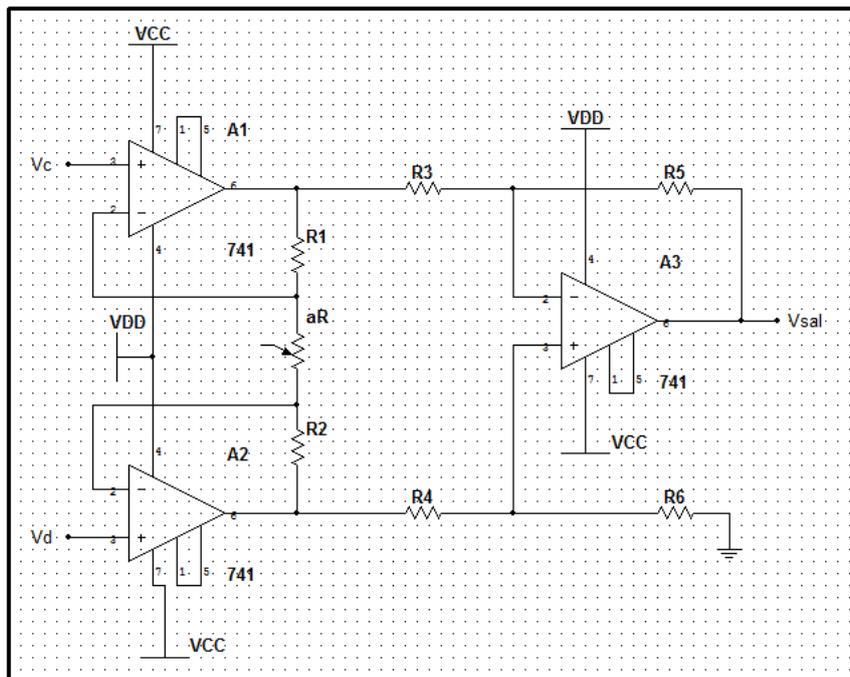


Figura 3. Configuración del amplificador de instrumentación.

Análisis del circuito de instrumentación

Para el análisis del circuito de la Figura 4 se simplificó el mismo y se consideraron las resistencias fijas iguales, es decir, $R_1 = R_2 = R_{a1} = R_a = R_{f1} = R_f = R$. El potenciómetro es la multiplicación de una fracción a por la resistencia R .

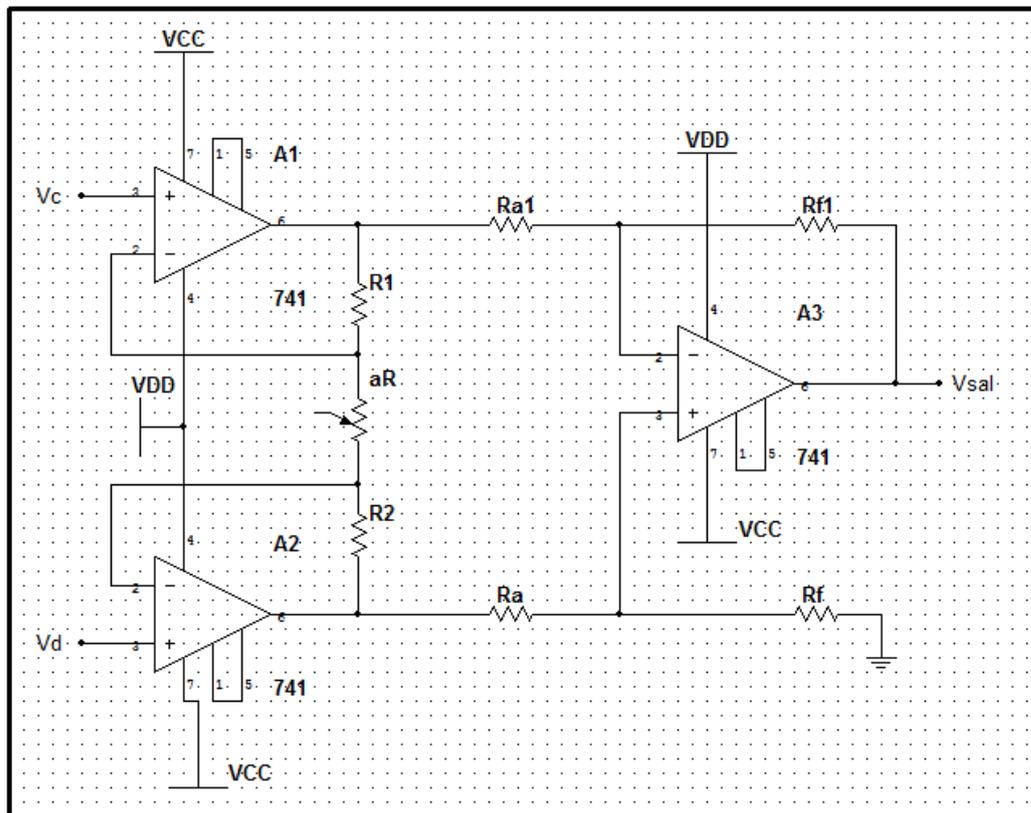


Figura 4. Arreglo propuesto para un amplificador de instrumentación.

El circuito se resolverá aplicando el teorema de superposición analizando la primera parte o etapa del circuito.

El voltaje en el nodo V_a es:

$$V_a = V_d \left[-\frac{R}{aR} \right] + V_c \left[1 + \frac{R}{aR} \right] \quad \text{ec. (2)}$$

El voltaje en el nodo V_b es:

$$V_b = V_c \left[-\frac{R}{aR} \right] + V_d \left[1 + \frac{R}{aR} \right] \quad \text{ec. (3)}$$

Siguiendo a la etapa del amplificador diferenciador se observa que en esta etapa el circuito se alimenta de V_a y V_b respectivamente. Entonces utilizando la ecuación del amplificador diferenciador se obtiene:

$$V_{sal} = (V_d - V_c) \left(1 + \frac{2}{a}\right) \quad \text{ec. (4)}$$

Cabe mencionar que la letra “a” es el cociente de dividir la resistencia R entre el potenciómetro o resistencia variable que se va a colocar en el amplificador de instrumentación.

Amplificador comparador de voltaje: Análisis del circuito

El amplificador operacional comparador de voltaje (Figura 5) se alimenta como cualquier amplificador operacional, sólo que tiene las condiciones que si la entrada inversora (-) es mayor que la entrada no inversora (+), el voltaje de salida es $-V_{DD}$ (Voltaje de alimentación negativa); si el voltaje de la entrada no inversora (+) es mayor que el voltaje de la entrada inversora (-), el voltaje de salida es $+V_{CC}$ (Voltaje de alimentación positiva).

Condiciones del amplificador operacional comparador de voltaje:

- $V_+ > V_-$; $V_{OUT} = +V_{CC}$
- $V_- > V_+$; $V_{OUT} = -V_{DD}$

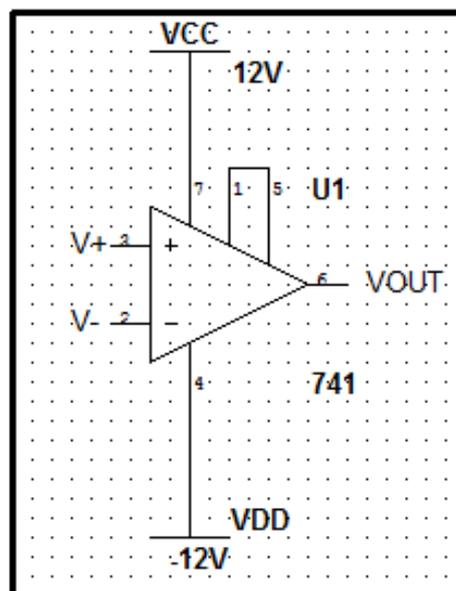


Figura 5. Configuración básica del amplificador operacional.

1.8. Fluidos

Un fluido es una sustancia que se deforma conforme se va aplicando un esfuerzo cortante. Este esfuerzo cortante es la componente de la fuerza tangente a la superficie de contacto [15].

Presión y un gas perfecto

La presión en un punto es ocasionada por una fuerza normal que comprime al fluido en un contenedor definido. La presión en ese punto es una relación de la fuerza entre el área sobre la cual está actuando dicha fuerza, y tiene unidades de fuerza por unidad de área, que pueden ser N/m², Pascales (Pa), libras/ft² (psf) o libras/in² (psi).

Un gas ideal o perfecto satisface la ecuación:

$$PV_s = RT \quad \text{ec.(5)}$$

Donde P es la presión absoluta, V_s es el volumen específico, R es la constante del gas y T es la temperatura absoluta. El gas perfecto tiene viscosidad y se puede comprimir por esto, tiene esfuerzos cortantes.

La ley del gas perfecto contiene la ley de Charles y la ley de Boyle. La ley de Charles explica que si se tiene una presión constante, el volumen de la masa del gas varía proporcionalmente con su temperatura absoluta. La ley de Boyle o ley isotérmica manifiesta que cuando se tiene una temperatura constante la densidad varía directamente con la presión absoluta.

En el caso del experimento realizado, no se aplica directamente la ley de Boyle ya que el volumen del contenedor no está definido, es decir, es un cuerpo elástico que cambia su volumen con respecto al peso del individuo, y como se verá más adelante, el volumen del recipiente elástico disminuye y la presión aumenta.

Capítulo 2 Revisión de la literatura

2.1. Tecnología de asientos de aviación

Los asientos que se encuentran en las aeronaves son estudiados minuciosamente en los aspectos de confort, seguridad y reducción de peso.

SPECTRA, empresa que provee materiales para asientos e interiores en la industria de la aviación, trabaja con nuevas tecnologías basándose en las regulaciones aeroespaciales para los asientos de aviación, por ejemplo, desarrollando pruebas en las cuales se ven involucrados quemaduras e incendios causadas por derivados del petróleo en los cojines de las aeronaves para cubrir con las estrictas regulaciones de la FAA (*Federal Aviation Administration*). En cuanto a la nueva tecnología, han desarrollado una espuma que se ha trabajado exclusivamente para la industria aérea; "AIRFLEX" superó la prueba FAR 25.853(b) debido a quemaduras por derivados del petróleo en el revestimiento de los asientos y cojines sin la necesidad de añadir materiales contra el fuego. La compañía menciona mejoras sustanciales en cuanto a los temas de reducción de pesos, características físicas y durabilidad de este nuevo componente [16].

American Ergonomics Corporation, también estudia nuevas tecnologías aplicadas en los asientos de aviación. Su concepto de asiento lo basan en el movimiento auxiliar para el balance (CBM, *Counter Balanced Motion*), es decir, que el movimiento natural de los pasajeros sentados comprende el propio ajuste del asiento a otras posiciones sin la necesidad de elementos auxiliares neumáticos, hidráulicos o electrónicos. Además por sus diferentes modelos de asientos de aviación se pueden reducir el peso de los mismos [17].

2.2. Normatividad aeroespacial

Uno de los órganos que rigen la normatividad aeroespacial en Europa es la CAA (*Civil Aviation Authority*), por sus siglas en inglés, es la Autoridad de aviación civil del Reino Unido. Esta autoridad tiene responsabilidades tales

como la seguridad aérea, regulaciones económicas, regulaciones aeroespaciales, protección al consumidor, consultoría e investigación ambiental, entre otras, ya que también asegura que los estándares de aviación del Reino Unido estén en regla, regulando a las aerolíneas y a los aeropuertos; promoviendo la competencia entre las industrias de aviación [18].

Dentro de la CAA (*Civil Aviation Authority*) se tiene un grupo el cual se encarga de las regulaciones de la aviación en la unión europea, su nombre es JAA (*Joint Aviation Authorities*), la cual al español su traducción sería las autoridades conjuntas de aviación; es decir, los miembros de la JAA son representantes de la CAA. Dentro de la JAA existen una serie de regulaciones que cubren un total de la aviación que han sido o están siendo implementadas, las cuales se llaman JAR (*Joint Aviation Requirements*), Requerimientos de la unión de aviación [19]. Dentro de estas regulaciones o requerimientos, las siguientes hablan acerca de la seguridad de los asientos de aviación:

- *JAR 21 – Certification procedures for aircraft and related products and parts.*
- *JAR 26 – Additional air worthiness requirements for operations*
- *JAR 26.50 – Seats, berths, safety belts and harnesses*

La Administración Federal de Aviación o FAA (*Federal Aviation Administration*) es un órgano que rige los aspectos de la aviación en los Estados Unidos de Norte América. Esta organización busca conservar la seguridad aeroespacial, así como alcanzar niveles máximos de seguridad, eficiencia, responsabilidad ambiental y liderazgo mundial [20]. En la FAA existen medidas denominadas FAR (*Federal Aviation Regulations*), por sus siglas en inglés, y son regulaciones de aviación federal; estas reglas están prescritas por la FAA y son parte del título 14 del código federal de regulaciones. Estas normas están divididas en partes, lo cual es debido a la organización con el código federal de regulaciones, es entonces la parte 25 “Estándares de aeronavegabilidad: categoría aeronaves de transporte” (*Part 25 Airworthiness standards: transport category airplanes*) en la cual se encuentran algunos temas relacionados a seguridad de asientos de aviación.

Las siguientes sub-partes contienen información que se enfoca en los asientos de aviación:

- FAR 25.1519 – *Weight, center of gravity and weight distribution*: Trata acerca del peso de la aeronave, el centro de gravedad y las limitantes de distribución de peso, las cuales se consideran limitantes de operación.
- FAR 25.853 – *Compartment interiors*: Enuncia que los acabados y superficies de los materiales en los aviones son sometidos a diferentes pruebas y criterios para poder ser utilizados en dicho medio de transporte.
- FAR 25.785 – *Seats, berths, safety belts and harnesses*: Hace mención acerca de cómo deben ocuparse los asientos, a qué edad se puede utilizar un asiento de avión comercial y de ubicación de personal y sobrecargos.
- FAR 25.562 – *Emergency landing dynamic conditions*: En esta parte se exponen las condiciones del asiento y del sistema de restricción en la aeronave en caso de un aterrizaje de emergencia.

Dentro de la parte 25 (*Airworthiness standards transport category airplanes*) existen apéndices de información adicionales y complementarios de acuerdo a materiales utilizados, criterios de aprobación, etc.; el apéndice F contiene información acerca de materiales usados y flamabilidad en asientos de aviación [21].

2.3. Estudios de respuesta de los asientos a cargas dinámicas de los pasajeros

Es importante mencionar los estudios relacionados a los asientos y sus cargas dinámicas en diferentes tipos de pruebas, para entender mejor sus reacciones a condiciones ordinarias y extraordinarias. En el estudio “*A seat ride evaluation method for transient vibrations*”, trabajaron con 3 tipos de asientos

(Asiento “A” cojín de espuma y respaldo de resortes metálicos y espuma, Asiento “B” cojín de espuma más resistente y respaldo de resortes metálicos y espuma, Asiento “C” cojín de espuma y resortes metálicos y respaldo de resortes metálicos y espuma) con propiedades físicas distintas a fin de evaluar la distribución del peso del cuerpo en un camino induciendo vibraciones transitorias, así como el cambio de la presión del cuerpo y los determinantes de las sensaciones no-placenteras durante estas vibraciones. “La vibración es un factor por el cual los pasajeros juzgan si la sensación dinámica del asiento es confortable o no” [22]. Los sensores utilizados fueron instalados en el cojín y el respaldo del asiento, éstos cambian su resistencia eléctrica en proporción al peso que se experimenta. Para las mediciones estáticas, los sujetos tomaron asiento en una posición apropiada y a continuación manejaron sobre un camino de prueba y las mediciones se efectuaron a 100 Hz. Para examinar la correlación entre los datos de la distribución dinámica de la presión del cuerpo se evaluaron las sensaciones no-placenteras durante las pruebas de manejo por medio del método de la evaluación subjetiva, es decir, de la perspectiva de los sujetos que hicieron las pruebas (5 hombres entrenados).

En las pruebas de presión estática y dinámica los 3 tipos de asiento se comportaron de manera similar, siendo el asiento “C” el que mejor rendimiento entrega a la absorción de las vibraciones transitorias. De acuerdo a las pruebas estáticas y dinámicas realizadas los asientos “A” y “B” no tuvieron el soporte adecuado en la zona pélvica siendo el asiento tipo “C”, el que tuvo mejor desempeño debido a su configuración de respaldo y las propiedades físicas de los resortes metálicos y el más confortable según los 5 sujetos entrenados para estos ensayos.

Otro estudio que muestra la importancia de la vibración en los asientos se titula “*Localized vibration at the automotive seat-person interface*”. Este experimento presenta una comparativa del estudio de las vibraciones en un asiento de automóvil usando técnicas estándares y técnicas localizadas, se utilizaron: un asiento de auto, 3 ocupantes, 2 caminos y 3 repeticiones para cada ocupante y camino. “Las características dinámicas del asiento ocupado pueden ser determinadas por medio de la transmisibilidad” [R – N. Mansfield, *Localized vibration at the automotive seat-person interface*]. Es importante

mencionar el factor SEAT (*Seat effective amplitude transmissibility*), que es la transmisibilidad de amplitud efectiva de asiento; este factor es obtenido comparando la frecuencia ponderando la aceleración en la base del asiento contra la frecuencia ponderando la aceleración en la superficie del mismo, el cual ayuda a hacer comparaciones entre diferentes tipos de asientos al comportamiento dinámico de los mismos considerando la excitación del camino. Las características de los experimentos fueron las siguientes: 2 caminos, uno en mal estado con baches y topes el cual se recorrió a una velocidad de 15kph aproximadamente, el otro camino "británico" de clase-A el cual fue recorrido a una velocidad de 100kph, los 3 sujetos pesaban 66.1, 72,1 y 81.2 Kilogramos. La medición en configuración estándar consistía en un disco semi-rígido (SAE pad) el cual contiene acelerómetros "strain-gauge", la medición en configuración localizada utilizó 5 acelerómetros en la superficie del asiento montados sobre pequeños discos rígidos de 5cm de diámetro espaciados a 10cm cada uno. Los resultados arrojaron que la vibración medida en el camino de clase-A con la configuración estándar es menor que cualquier vibración localizada medida en el asiento, además estas últimas mediciones son altas en la parte frontal, bajas en la parte central y medias en la parte trasera del asiento.

Por otra parte también se hizo una comparativa entre las mediciones de los caminos en la cual pareciera hasta cierto punto obvio que las magnitudes medidas de las vibraciones fueron mayores en el camino en mal estado, y el factor SEAT en este camino fue de 118% (medido atrás de la rodilla) lo cual indica que hubiera dado mejores resultados viajar en un asiento rígido. Para el camino clase-A el factor SEAT fue menor al 100% que apunta que el asiento mejoró el viaje en el vehículo.

2.4. Fuentes de aire comprimido en los aviones y aspectos de seguridad

En los aviones el aire se comprime a través de una turbina simple. A continuación se muestran los elementos como son la cámara de combustión, turbina, compresor y así como circuitos o dispositivos auxiliares [23]. El ciclo se ilustra en la Figura 6.

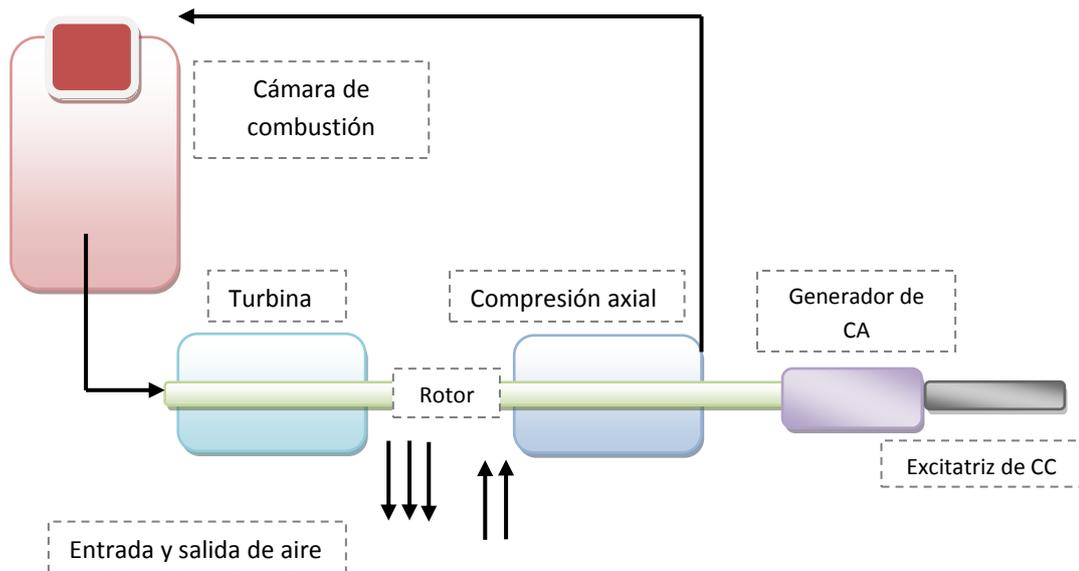


Figura 6. Ciclo de una turbina simple.

En cuanto a los aspectos de seguridad el CFR (por sus siglas en inglés, *Code of Federal Regulations*) ó Código Federal de Regulaciones de los EE.UU., trata en la parte 25, sub-parte E, de los sistemas de ductos de inducción y sistemas de ductos de aire. A continuación se mencionan algunos aspectos de seguridad para los ductos antes mencionados.

Parte 25 Navegabilidad, sub-parte E—Motor, § 25.1103 sistemas de ductos de inducción y sistemas de ductos de aire.(incisos d y f)

(d) *Para el motor de la turbina y la unidad de potencia auxiliar de los sistemas de ductos de aire comprimido, no debe de haber ningún daño si un ducto falla en cualquier punto entre la fuente del ducto del aire y la unida aérea suministrada por aire [24].*

(f) *Cada unidad auxiliar del sistema de inducción debe ser construida de materiales que no han de absorber o atrapar cantidades peligrosas de fluidos flamables que puedan ser encendidos en el caso de una condición de oleada o regreso de flujo [24].*

Además menciona en el inciso E que los ductos deben ser a prueba de fuego y los materiales de los mismos deben de ser de máxima resistencia al calor y las condiciones adversas.

Capítulo 3 Diseño conceptual

3.1. Definición de necesidades

A continuación se mencionaran los conceptos más importantes que tiene como objetivo este documento:

- Conocer el comportamiento estático de los asientos ante la excitación que provoca el peso del ocupante
- Saber la distribución del peso del ocupante en un asiento de hule espuma y en un asiento inflable neumático
- Identificar si un asiento inflable de aire es igualmente confortable que un asiento de hule espuma.

3.2. Definición de módulos

Los módulos se dividen en cuatro partes fundamentales; El módulo bastidor, módulo asiento con bastidor, módulo de instrumentación y módulo neumático y de tuberías.

El bastidor consiste en el esqueleto del asiento, es el soporte para hacer los experimentos con los dos diferentes asientos; el bastidor es en sí, la base de una silla común, esto queda justificado en el proyecto para dimensionar lo más cercano a un asiento normal.

El módulo de asiento con bastidor consiste en una base y un marco de carga, que será el soporte de los asientos, el de aire o el de hule espuma.

El módulo de instrumentación lo forman las vigas en voladizo en conjunto con los medidores de micro deformaciones, los circuitos electrónicos, una tarjeta pcb y un sensor de pared delgada.

El módulo neumático y de tuberías se conforma por tuberías neumáticas o mangueras, conexiones de cobre ("t's" y algunos coples) además de estar en conjunto con el sensor de pared delgada.

La adquisición de datos se obtiene mediante la conjunción del sensor de pared delgada, la tarjeta pcb, los medidores de deformación y el software *Labview*.

La figura 7 muestra el diagrama de conexión de los módulos.

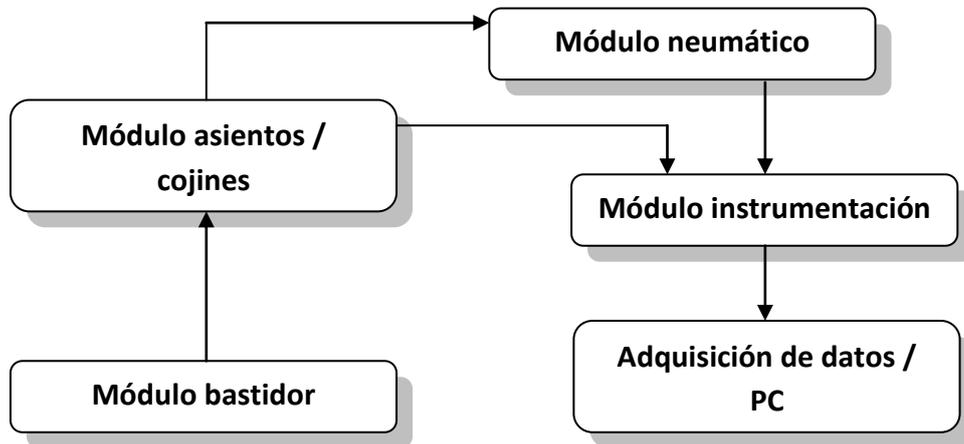


Figura 7. Interconexión de los módulos.

3.3. Definición de los principios de operación

En este apartado del documento se explicarán los principios de funcionamiento de los diferentes módulos del experimento.

Como ya se ha mencionado el bastidor es el esqueleto del asiento, el alma se podría decir.

El módulo de asiento con bastidor tendrá la función de soportar el asiento de hule espuma o el asiento neumático. Con este módulo se realizaron las pruebas de relación presión contra peso, las pruebas de confort y las pruebas de distribución del peso del ocupante; todas estas desarrolladas cuando los ocupantes tomaban asiento y medidas por medio de tres vigas en voladizo las cuales tienen un sensor de deformación adherido a las mismas.

El módulo de instrumentación involucra el asiento inflable neumático, el sensor de pared delgada, los circuitos encapsulados, la tarjeta PCB y también las tres vigas en voladizo que contienen las galgas extensométricas (*strain*

gauge). Por otra parte, dentro del mismo módulo de instrumentación, se generó el sensor indicador de presencia el cual se construyó a partir de un circuito de puente de Wheatstone (tres resistores de precisión y el sensor de pared delgada), un amplificador de ganancia, un amplificador instrumentador, un amplificador comparador de voltaje, un divisor de voltaje, una compuerta lógica negadora y dos diodos emisores de luz. La funcionalidad del circuito se observará en los diodos emisores de luz; cuando el asiento neumático inflable no esté ocupado se encenderá un diodo de color rojo, cuando el asiento esté ocupado, el circuito hará una función lógica y encenderá un diodo azul.

La Figura 8 muestra un diagrama de la conexión electrónica a grandes rasgos.

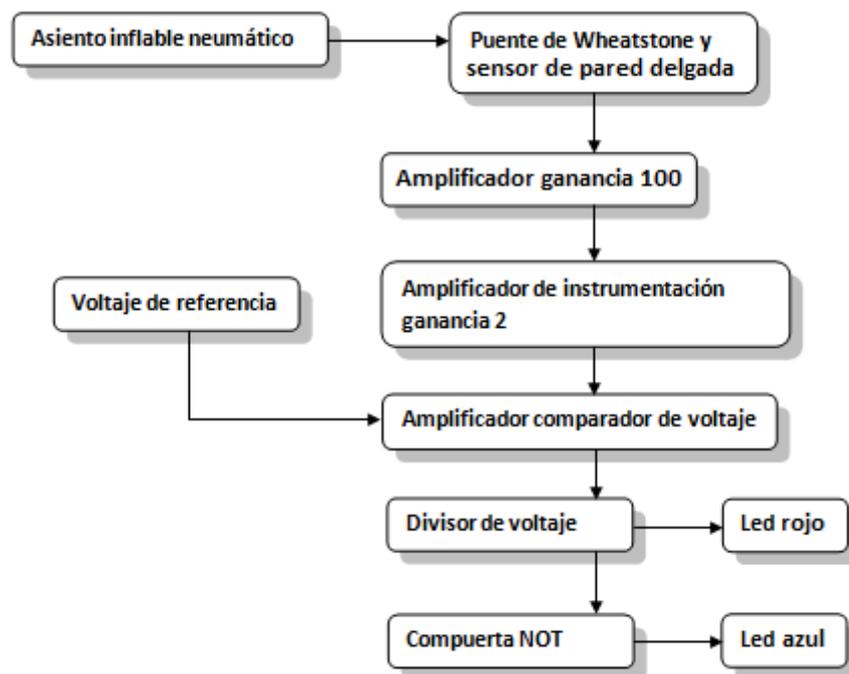


Figura 8. Diagrama de conexión del sensor de presencia.

Más adelante se expondrá a fondo el diseño y la construcción del circuito electrónico.

El módulo faltante es el neumático el cual consta de un manómetro y un par de válvulas neumáticas (anti-retorno y de alivio), su función es solamente la de alimentar el circuito neumático (asiento inflable) y conservar la presión que se suministra.

Los materiales utilizados en el experimento se justifican en el proyecto, por ser versátiles, confiables y económicos; tales son los casos de los accesorios neumáticos, el bastidor, las vigas en voladizo, los “*strain gauges*”, y en el caso del software, el programa *Labview* ya se disponía de este recurso.

Capítulo 4 Fabricación y pruebas preliminares

En este capítulo se explicará el proceso de fabricación de los diferentes módulos y algunas complicaciones que se llegaron a tener de acuerdo al plan de trabajo establecido inicialmente.

4.1. Fabricación

Fabricación Módulo banco de pruebas.

Este módulo ayudará a cubrir las necesidades experimentales de este proyecto, por tanto, se necesitará de una base, un marco de carga, tres soleras o vigas en voladizo y tres medidores de deformación. Se inició construyendo el marco de carga, consistente en un doble marco soldado de PTR (Perfil Tubular Rectangular) de 25.4 mm (una pulgada). El marco tiene una magnitud exterior de 19.2" x 19.2" y 2" de ancho e igualmente de alto, la Figura 9 muestra las dimensiones. La construcción se realizó mediante soldadura de cuatro perfiles por costado, con objeto de dar la mayor rigidez al marco de carga.

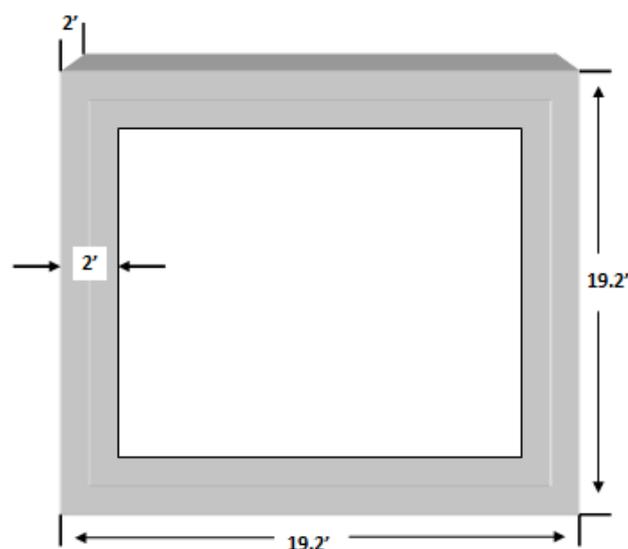


Figura 9. Dimensiones del marco de carga.

Una vez elaborado el marco de carga se atornillaron las tres vigas en voladizo; la solera que se localiza en la parte delantera del marco quedó justamente a la mitad del mismo. Las soleras que se colocaron en la parte trasera, se ubicaron a 4.8" de los extremos del marco. Se hicieron tres barrenos (con una broca de 3/8") a tres distancias diferentes en las soleras de acero; los dos primeros barrenos funcionan para sujetarse al marco de carga y están posicionados a 0.5" y 1.5" de la parte superior de la solera, el último barreno, posicionado a 6" de la parte superior de la solera, permite colocar un tornillo el cual evita que el soporte de los cojines dañe los medidores de deformación.

La Figura 10 muestra las dimensiones de la viga.

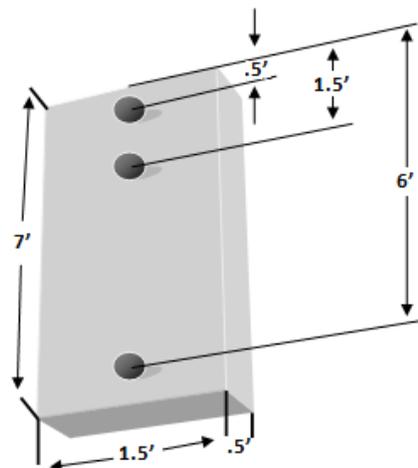


Figura 10. Dimensiones de la viga de carga.

Habiendo acabado de maquinar en las soleras, el último paso fue instrumentarlas con los medidores de micro-deformación, estos se ubicaron a 2.5" de la parte superior de la solera como se observa en la Figura 11.

La base inicial para el marco de carga de este módulo fueron tres polines unidos por tres pernos roscados; un polín en la parte delantera (justo debajo de la viga en voladizo) y los dos restantes en la parte trasera del marco de carga (debajo de las vigas en voladizo).

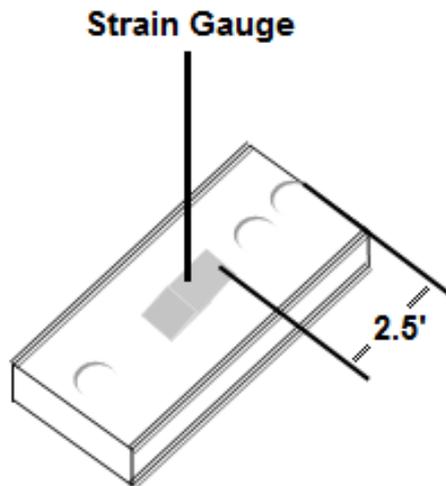


Figura 11. Implementación de la galga extensométrica.

Fabricación módulo neumático

La función de este módulo es inyectar aire al cojín inflable y mantener la presión en el circuito. La construcción de este módulo consiste en un cojín de aire, dos conexiones "T", una válvula anti-retorno, un manómetro (0-15 psi), una válvula de alivio y quince centímetros de manguera neumática. En el diagrama de la Figura 12 se muestra un pequeño esquema de las conexiones neumáticas.

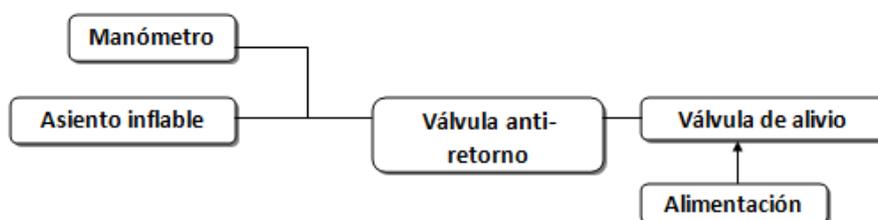


Figura 12. Diagrama de conexión del circuito neumático.

Para el sensor de presencia se implementó un medidor de deformación en una conexión "T", con el propósito de obtener un cambio en la resistencia del mismo y poder convertir esta información en una entrada analógica para

responder al peso que se está ejerciendo en el cojín de aire. Esta pieza se desbastó con una máquina fresadora, dejando todos sus perfiles mucho más delgados de lo que eran originalmente. La Figura 13 muestra el “strain gauge” adherido a la conexión “T”.

Más adelante, se mostrará el circuito neumático en su uso de pruebas de confort y relación presión / peso.

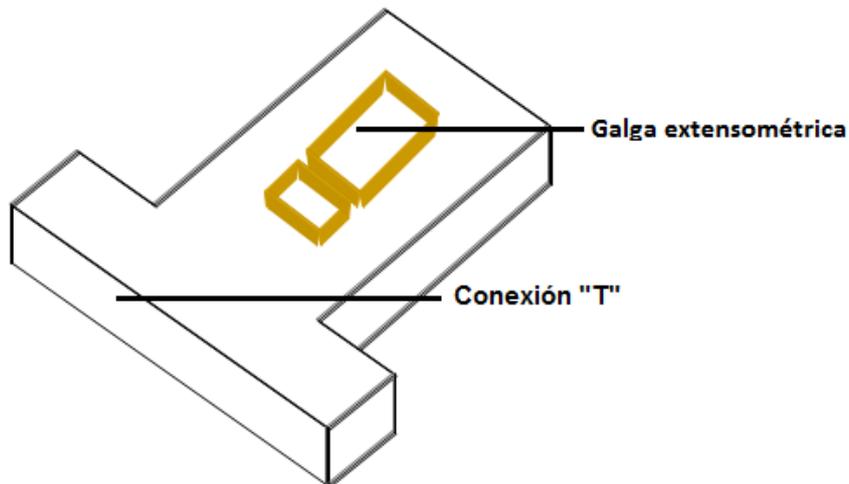


Figura 13. Galga extensométrica adherido a la conexión “T”.

Fabricación Módulo electrónico

Este módulo permite observar que los asientos inflables pueden ser “inteligentes”, es decir, un asiento ordinario de hule-espuma no permite obtener señales de algún tipo, sin embargo la neumática abre una amplia gama de posibilidades, por ejemplo, este tipo de sensor. Se utilizaron circuitos encapsulados que son comerciales tales como amplificadores operacionales y compuertas lógicas, implementándose también resistores de precisión, diodos emisores de luz, alambre y una tabla de pruebas electrónicas.

4.2. Pruebas de confort y relación presión/peso

El protocolo de las pruebas fue el siguiente: cuatro ensayos (con el mismo número de ocupantes con peso desigual) con cuatro diferentes presiones en el inflado del asiento neumático y cada ensayo con un par de repeticiones. Con estos experimentos se midió la diferencia de presión cuando los individuos

tomaron asiento con respecto a la presión indicada en el manómetro antes de que ocuparan el asiento inflable.

Como se ilustra en las Figuras 14, 15, 16 y 17 (de los ocupantes 1, 2, 3 y 4, respectivamente) los datos obtenidos en estas mediciones tienden a ser lineales ya que el peso de los ocupantes ejercido en el asiento inflable, se verá reflejado en el volumen del recipiente y la presión del mismo.

A continuación se muestran las gráficas promedio de cada ocupante, y se muestra la variación de presión con respecto al peso del individuo.

Ocupante 1

Tabla 1. Ensayo 1; Presión inicial: 5.45 psi.

Peso del ocupante (Kg)	Promedio presión final (psi)
95	6.05
85	5.95
82	5.925
70.6	5.825

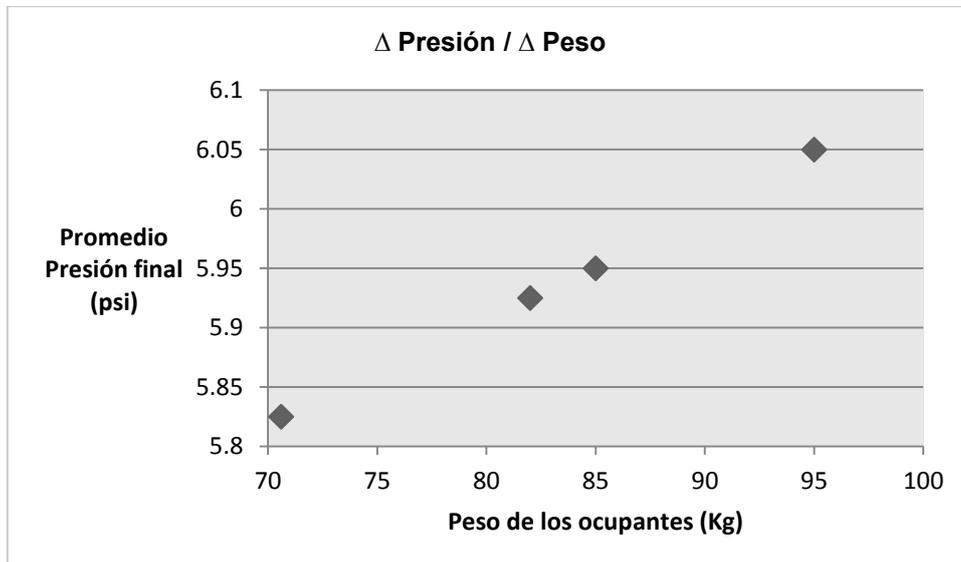


Figura 14. Variación de presión respecto al ocupante, ensayo 1

Ocupante 2

Tabla 2. Ensayo 2; Presión inicial: 4.45 psi

Peso del ocupante (Kg)	Promedio presión final (psi)
95	5.1
85	5.025
82	5
70.6	4.925

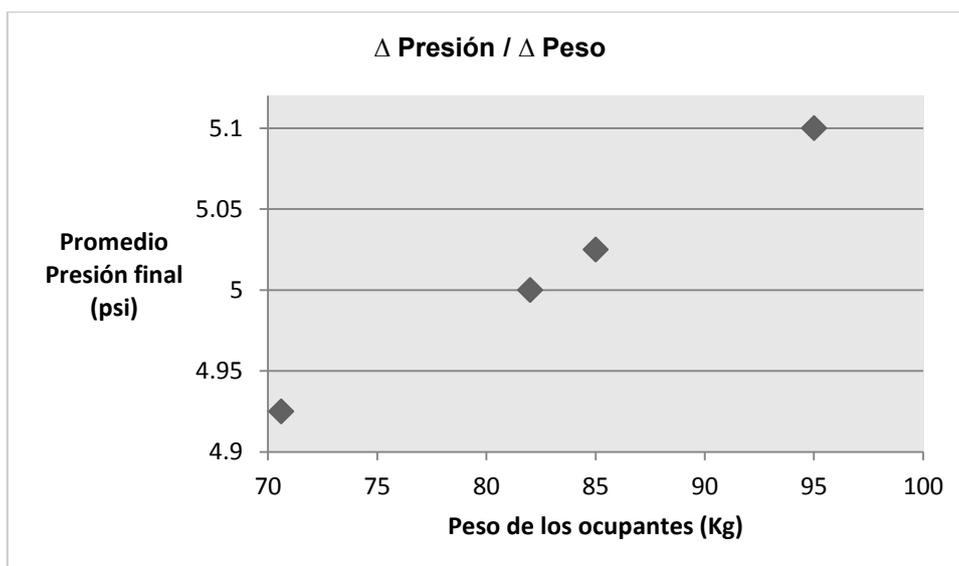


Figura 15. Variación de presión respecto al ocupante, ensayo 2

Ocupante 3

Tabla 3. Ensayo 3; Presión inicial: 3.45 psi

Peso del ocupante (Kg)	Promedio presión final (psi)
95	4.5
85	4.3
82	4.25
70.6	4.2

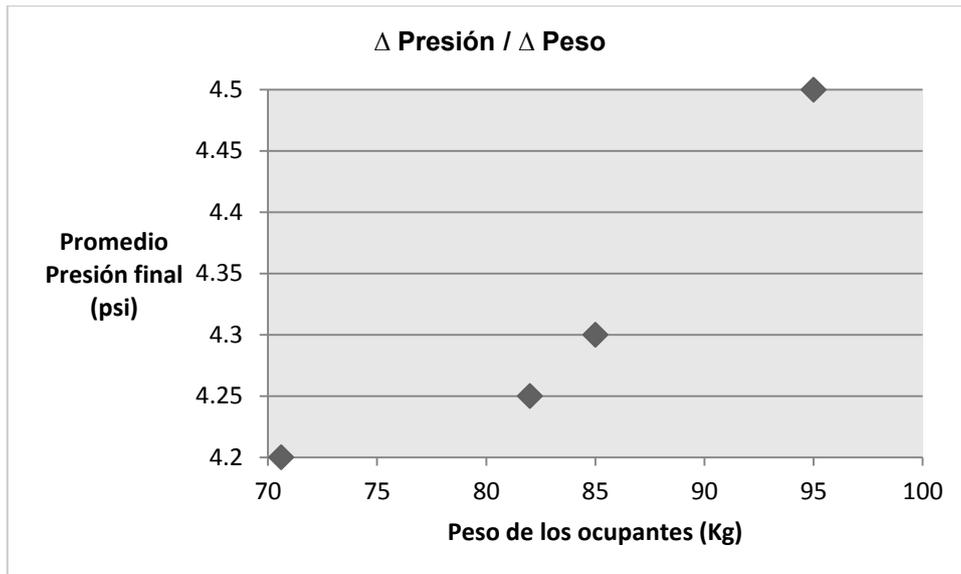


Figura 16. Variación de presión respecto al peso del ocupante, ensayo 3.

Ocupante 4

Tabla 4. Ensayo 4; Presión inicial 2.45 psi

Peso del ocupante (Kg)	Promedio presión final (psi)
95	3.625
85	3.55
82	3.5
70.6	3.25

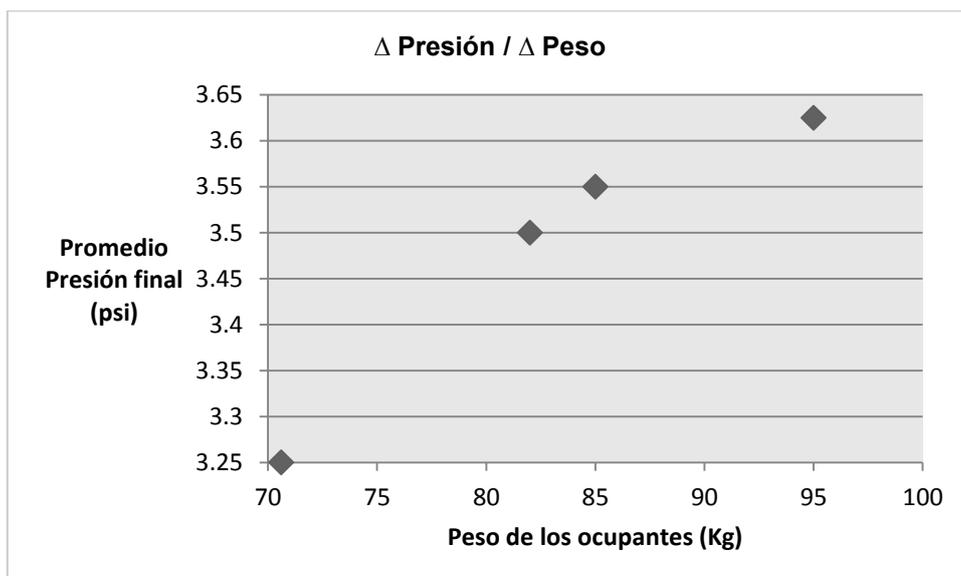


Figura 17. Variación de presión respecto al peso del ocupante, ensayo 4.

Una conclusión casi obvia en estos ensayos fue que se puede apreciar que a mayor peso aplicado al asiento de aire, la presión aumenta en esa área. Es por este factor que se puede innovar en la “inteligencia” del asiento a responder al peso de cada ocupante.

En cuanto a las pruebas de confort, se les preguntó a los cuatro ocupantes qué presión del asiento inflable se habían sentido más confortables, respondiendo tres de ellos a la presión de inflado más baja (2.45 psi) y el otro individuo a la presión inmediata superior (3.45 psi).

En la parte de análisis de resultado se ahondará más en este tema.

4.3. Nuevo sensor y acondicionamiento de la señal

Nuevo sensor

En diversos experimentos realizados con el medidor de deformación adherido a la conexión “T” no se obtuvo un cambio significativo en la resistencia de la pieza, la cual nos indicaría el grado de deformación que se estaba llevando a cabo en ese instante de tiempo, a pesar de haber reducido al mínimo las paredes de la misma. Es entonces cuando se tiene la idea de construir un sensor que fuera mucho más débil y perceptivo, así que se instrumentó un recipiente de aluminio para obtener mejores resultados. La Figura 18 muestra el sensor de deformación en el recipiente de aluminio de pared delgada.

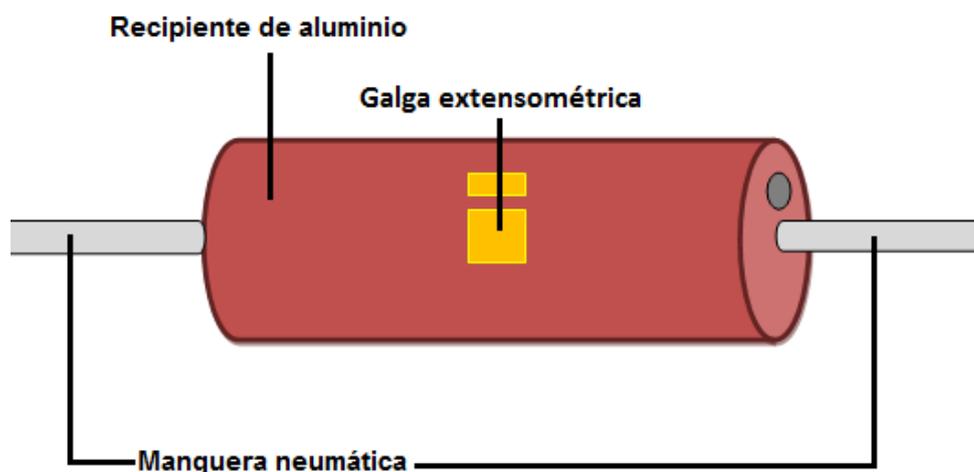


Figura 18. Recipiente instrumentado de aluminio de pared delgada.

El circuito neumático sólo se modificó en insertar este sensor de pared delgada entre la conexión del asiento inflable y el manómetro.

Acondicionamiento de la señal

Para construir el puente de Wheatstone se utilizaron tres potenciómetros de precisión (Trim pots 10 K Ω - 20 vueltas) y la resistencia de la galga (350 Ω). La resistencia de la galga extensométrica se colocó en la rama inferior del puente de resistores como se muestra en la Figura 19.

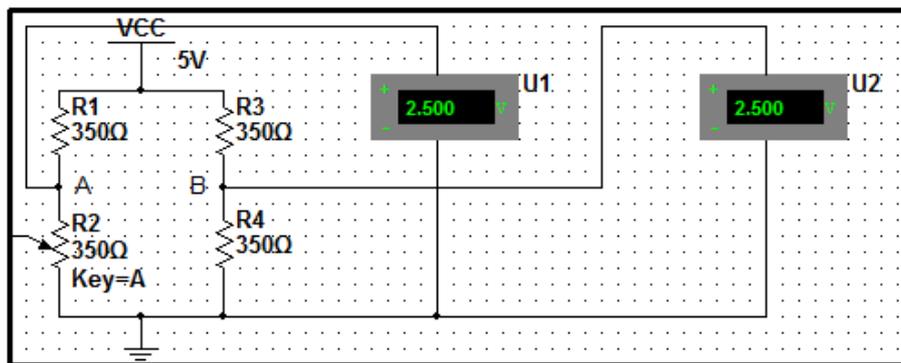


Figura 19. Configuración básica del puente de Wheatstone.

Suponiendo que la resistencia de la galga no está deformada y es igual en teoría a las otras resistencias que se ajustaron a 350 Ω , se alimenta el puente a 5V en la parte superior del mismo y en la parte inferior se coloca a tierra, entre los nodos A y B la diferencia de potencial es cero.

El circuito del puente de resistencias se puede explicar de la siguiente manera. Tanto el voltaje del nodo A y del nodo B son el resultado de un divisor de voltaje. Cabe mencionar que en las ecuaciones 6 y 7 los denominados Trimpot_1, Trimpot_2 y Trimpot_3 son R1, R3 y R4 en la figura 19 respectivamente. El voltaje en el nodo A y el voltaje en el nodo B son:

Voltaje en el nodo A

$$V_a = \left[\frac{R_{galga}}{R_{galga} + Trimpot_1} \right] [5V] \quad \text{ec.(6)}$$

$$V_a = 2.5V$$

Voltaje en el nodo B

$$V_b = \left[\frac{Trimpot_3}{Trimpot_3 + Trimpot_2} \right] [5V] \quad \text{ec.(7)}$$

$$V_b = 2.5V$$

Entonces, cuando se deforma la resistencia del sensor, el voltaje V_a incrementará de acuerdo a la deformación de la galga y habrá una diferencia de potencial mínima pero que se puede amplificar. A continuación se muestra en la Figura 20 el incremento ya mencionado en la resistencia de la galga.

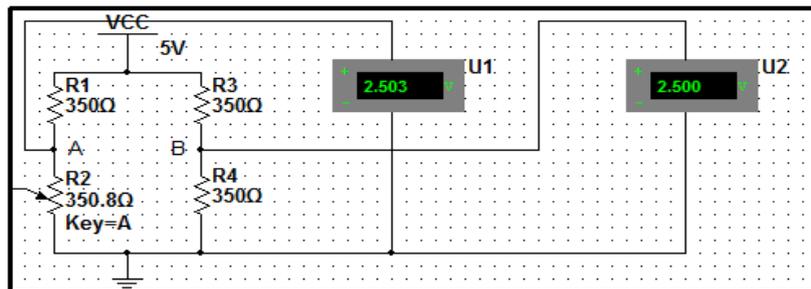


Figura 20. Incremento de V_a .

Ahora que se tiene la diferencia de potencial, es posible amplificarla con un circuito encapsulado, el LM741, que es un amplificador operacional de uso básico. Para la siguiente etapa del circuito se construirá un amplificador diferenciador de voltaje, el cual permitirá encontrar esa diferencia del nodo A con respecto al nodo B. Para esta aplicación se utilizó un LM741, dos resistores de 100 KΩ y dos resistores de 1 KΩ.

La configuración del siguiente circuito es la de un amplificador operacional diferenciador. Este amplificador permite hacer la diferencia de voltajes entre la entrada inversora (-) y la entrada no inversora (+), además de una ganancia que se puede ajustar con la ayuda de los resistores de entrada y de realimentación. La diferencia de voltaje se amplificará 100 veces ya que $R_4 = R_3 = 100 \text{ K}\Omega$ y $R_1 = R_2 = 1 \text{ K}\Omega$, el siguiente circuito se muestra en la Figura 21.

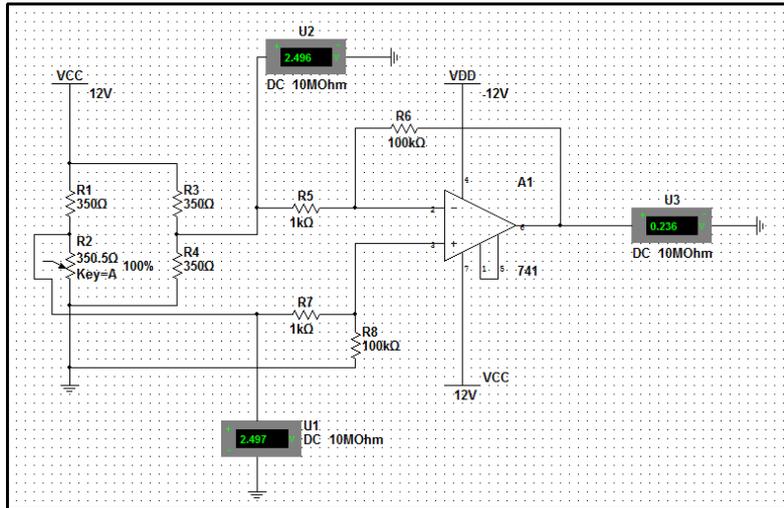


Figura 21. Amplificador diferenciador conectado al puente de resistores.

En el voltímetro U1 se tiene la lectura de 2.497V mientras que en el voltímetro U2 se muestra una lectura de 2.496V, entonces la diferencia de voltaje es aproximadamente uno o dos milivolts y la salida del amplificador diferenciador es de 0.236V gracias a que se amplificó 100 veces.

En la siguiente etapa del circuito se colocó el amplificador de instrumentación, el cual disminuye las fuentes de ruido y además permite amplificar la entrada o entrada de voltajes que le suministren. A continuación se muestra la configuración de este amplificador, el cual consta de un arreglo de resistencias con dos amplificadores operacionales y un amplificador diferenciador. La Figura 22 muestra las conexiones del circuito de instrumentación

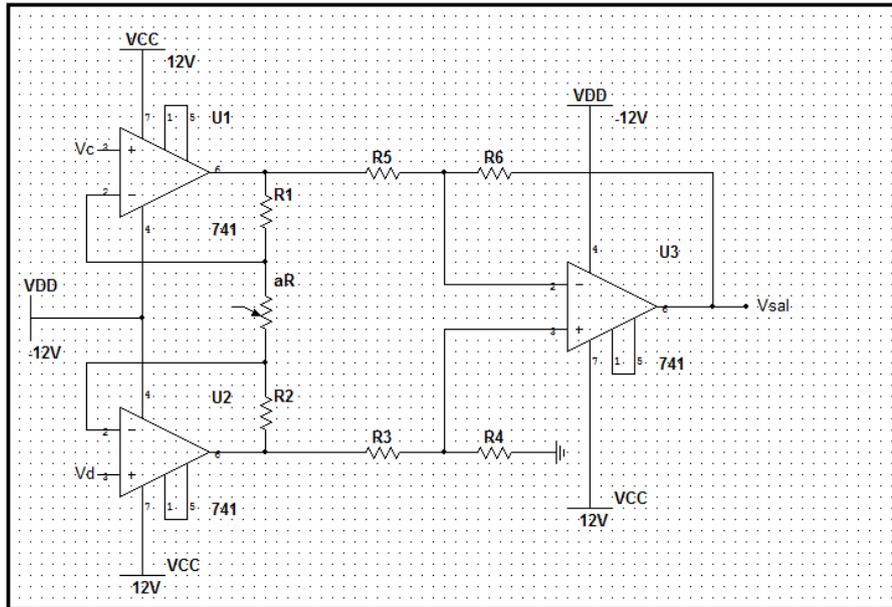


Figura 22. Alimentación del circuito de instrumentación.

Para esta aplicación en específico las resistencias R1, R2, R3, R4, R5 y R6 son de 330Ω y el potenciómetro se ha ajustado a 660Ω , como se muestra en la Figura 23, para que la salida del amplificador diferenciador sea dos veces mayor. También se utilizaron los siguientes parámetros para este circuito de instrumentación:

- $a = 2$
- $V_c = 0$ (Voltaje a tierra)
- $V_d = V_s$ (Salida del amplificador diferenciador conectado al puente de resistores).

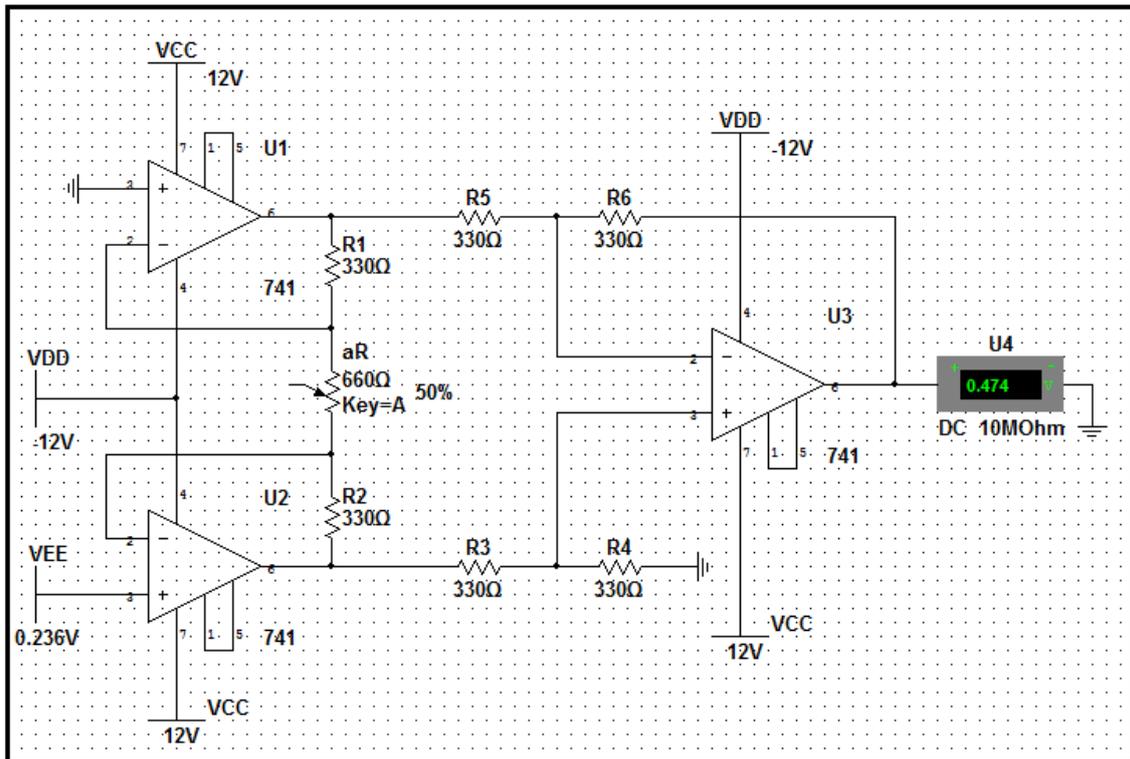


Figura 23. Amplificación del voltaje de entrada.

Una vez que toda la etapa del amplificador de instrumentación concluye, se necesita un indicador en el circuito el cual nos informe si el asiento inflable se está deformando o no. Para este circuito se empleó un amplificador operacional comparador de voltaje.

Para este circuito comparador las entradas de voltaje serán en $V +$, el voltaje de salida del amplificador de instrumentación, y en $V -$, un voltaje de referencia (V_{REF}) el cual deberá estar en el umbral cercano al voltaje $V +$, pero siempre un poco mayor. Esto debe ser para cuando se deforme el asiento inflable, el voltaje $V +$ supere al voltaje $V -$ indicándolo con un diodo emisor de luz, y cuando esta condición no se cumpla se iluminará otro diodo emisor de luz de color diferente.

En el instante que el medidor de deformación y el asiento inflable no están deformados, el voltaje de la entrada inversora ($V -$ ó V_{REF}) será mayor que el voltaje de la entrada no inversora ($V +$ ó V_s), por lo tanto el voltaje de salida del amplificador comparador es de -12 Volts. Este voltaje negativo pasa a un divisor de voltaje, el cual lo fracciona a la mitad, lo que da como resultado

aproximadamente -5 Volts; este voltaje entra a una compuerta lógica negativa (LM7404) y toma este voltaje como un voltaje aterrizado, el cual a su salida de la compuerta dará un uno lógico o 5 Volts. Esta salida de voltaje se conecta a un diodo emisor de luz rojo como lo muestra la Figura 24.

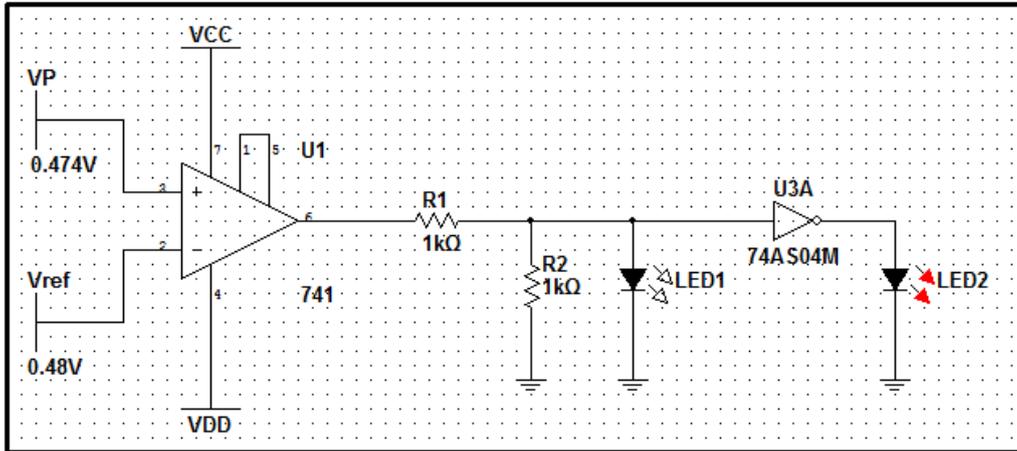


Figura 24. Amplificador comparador con divisor de voltaje; $V^- > V^+$.

Al momento que el asiento inflable y la galga se deforman, el voltaje de la entrada no inversora (V^+ ó V_s) incrementará y será mayor que el voltaje de referencia del circuito, por lo tanto, el voltaje de salida del circuito comparador será la alimentación positiva del amplificador comparador (+12 Volts). Este voltaje se divide a la mitad y alimenta al diodo emisor de luz azul indicando que alguien ocupó el asiento. La Figura 25 muestra este instante de tiempo.

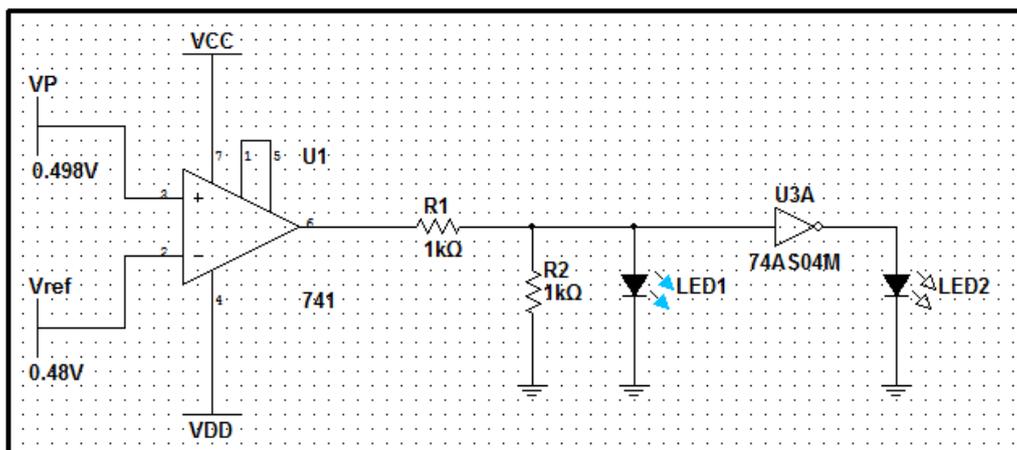


Figura 25. Amplificador comparador de voltaje; $V^+ > V^-$.

De esta manera se acondicionó la señal para poder dar lugar al circuito indicador de presencia, basándose en principios de electrónica y un sensor de pared delgada. En la figura siguiente se muestra un esquemático completo del circuito.

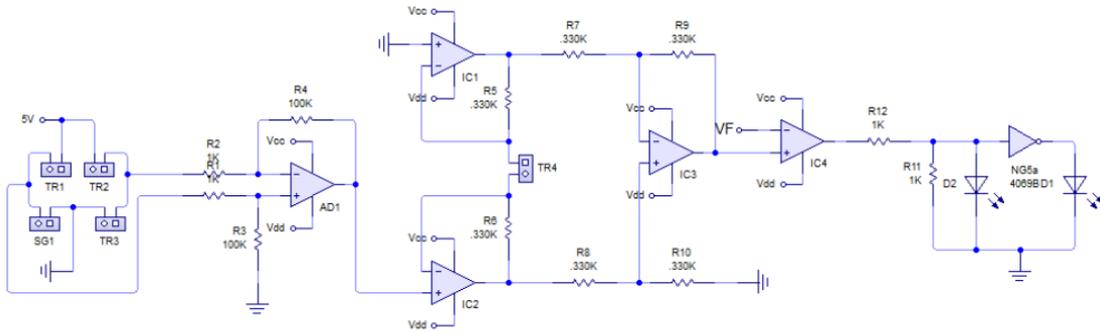


Figura 26. Esquemático de circuito indicador de presencia.

4.4. Nueva base, circuito impreso y tapizado de cojines

Nueva base

Para las pruebas de comparación, se decidió tomar la base de una silla ordinaria, con el fin de que los experimentos siguientes fueran acordes a los asientos comerciales. Las Figuras 27 y 28 muestran la nueva base del marco de carga.



Figura 27. Nueva base.



Figura 28. Vista de planta de la nueva base a utilizar.

A esta base se le soldaron dos pequeñas soleras a los costados, las cuales fueron barrenadas con una broca de 3/8" con la finalidad de que el marco de carga se atornillara a esta base para trasladarla con más facilidad. Asimismo, se barrenó también el marco de carga a una distancia de 9.24" tomando como referencia la parte posterior del marco, para atornillar este marco de carga a la nueva base. La Fig. 29 muestra el marco de carga sentado en la nueva base.



Figura 29. Marco de carga colocado en la nueva base.

Una vez que quedó impreso el circuito se removió el exceso de cobre en la tarjeta con un ácido especial y se barrenó la tablilla con la ayuda de un taladro de banco y una broca de 1/32". A continuación se soldaron todos los componentes y se limpió el circuito con removedor de pintura. El circuito físico se observa en la Figura 32.

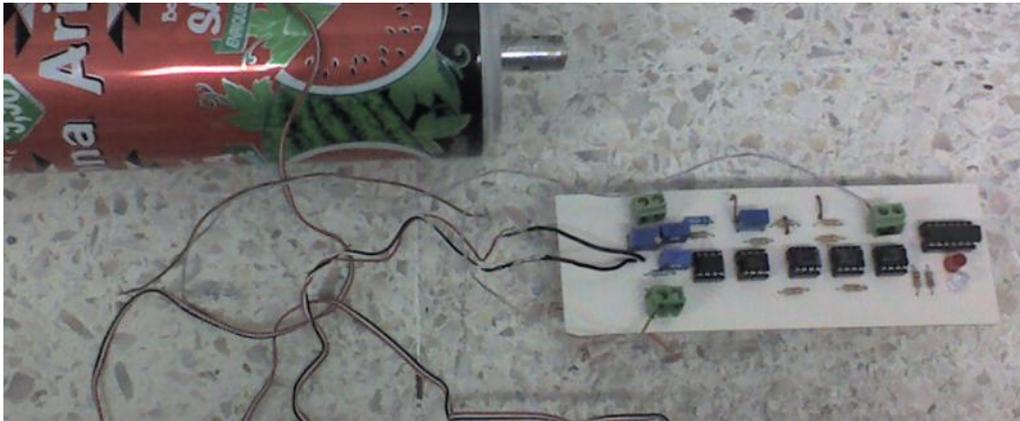


Figura 32. Circuito electrónico.

Tapizado de cojines

La importancia de que los cojines estén en igualdad de condiciones para los ensayos de comparación es que el ocupante vea cojines similares, y su respuesta acerca de la confortabilidad no se base en una experiencia visual. Es entonces, que se tapizaron los dos tipos de asientos con la misma madera en la base y la misma alfombra en la parte superior de los cojines. En la Figura 33 se observan los dos cojines tapizados.



Figura 33. Tapizado de cojines.

Una vez tapizados de la misma forma, se pesaron con ayuda de una báscula electrónica. Los pesos se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Diferencia de peso en los asientos de aire y espuma

Tipo de asiento	Peso (Kg)
Hule-espuma	1.875
Aire	1.600

El asiento inflable de aire es 275 gramos más ligero que el asiento de hule-espuma, es entonces, una diferencia considerable, alrededor de 15% más liviano.

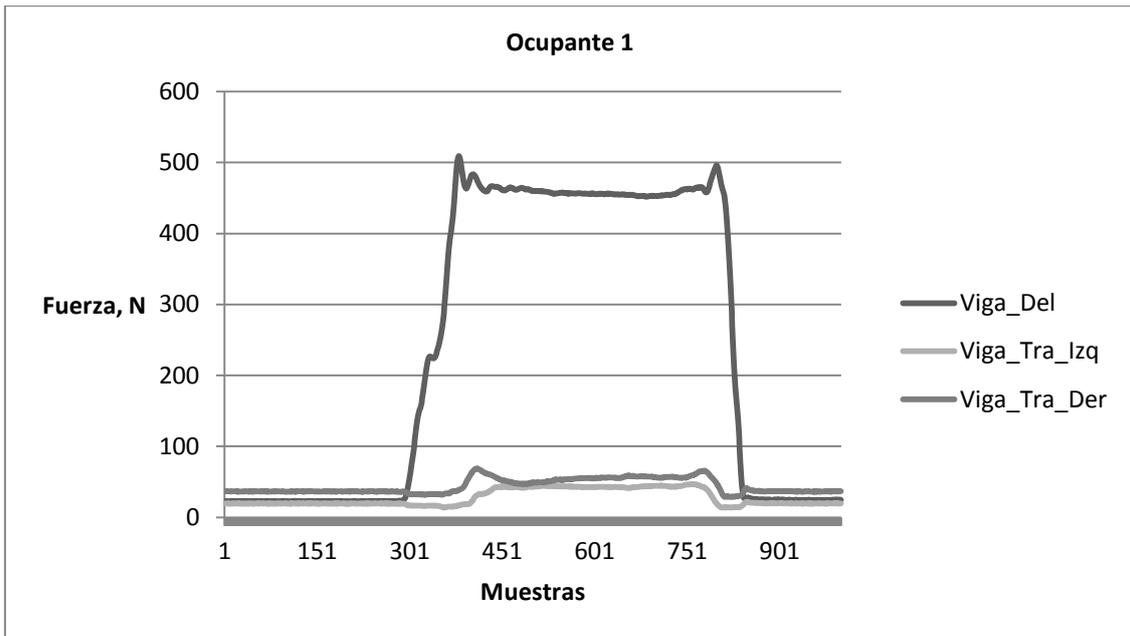
4.5. Pruebas de comparación entre los cojines de espuma y aire

Se realizaron cinco pruebas con dos repeticiones para cada prueba, cada ensayo con un individuo diferente e intercambiando los cojines. El asiento inflable de aire se dispuso a una presión de 2.5 psi (presión en la cual se encontró mayor confortabilidad).

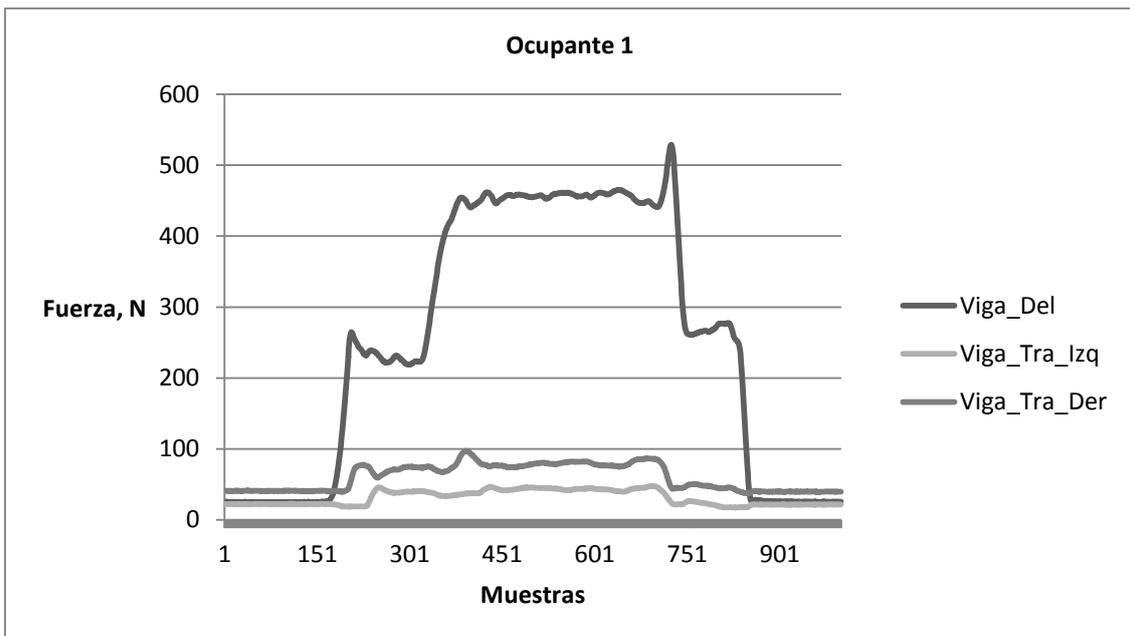
El tiempo de muestreo fue de 10 segundos con la ayuda del software *Labview*, para lo cual en el siguiente capítulo se explicará a detalle el protocolo de las pruebas, así como la discusión de los resultados y se mostrarán las gráficas faltantes de los otros cuatro ocupantes. A continuación se muestran dos gráficas promedio: una gráfica utilizando el asiento de hule-espuma y la restante utilizando el asiento inflable de aire, del primer ocupante.

Como se puede observar en la Figura 34-(A), las vigas traseras no tienen el peso o fuerza que se refleja en la viga delantera, en la figura 34-(B), se tiene el mismo comportamiento, sin embargo, se puede apreciar que las vigas traseras reciben más peso que en asiento de hule espuma, es decir, el peso trasero del asiento es mayor en el cojín de aire que en el de hule espuma.

Como se verá en el capítulo siguiente, se calcularon 1000 muestras por cada experimento del ocupante, esto para cada cojín o asiento utilizado en dicho experimento.



A) Gráfica promedio del asiento hule espuma.



B) Gráfica promedio del asiento inflable de aire.

Figura 34. Gráfica comparativa entre asientos de hule espuma y aire.

4.6. Calibración de los medidores de deformación

Para la calibración de los medidores de deformación se utilizó el módulo de banco de pruebas, un perno roscado de un cuarto de pulgada y cuatro masas de 1.765 Kg cada una, el perno roscado se atornilló en el orificio de soporte de

una de las vigas en voladizo y se colocaron las cuatro masas conocidas: las masas conocidas tienen una perforación en la parte central la cual ayuda a que se inserten en el perno roscado. Con la ayuda del software *Labview* se calibraron los canales de los sensores de deformación, se ajustaron los parámetros apropiados para que el tiempo de muestreo fuera de un lapso de diez segundos, y se removieron los pesos conocidos uno por uno, esto para revisar la deformación que tiene cada masa. La Tabla 6 muestra la lectura de las deformaciones en las diferentes vigas.

Tabla 6. Constantes de calibración de las vigas en voladizo

Viga Delantera	Viga Trasera Izquierda	Viga Trasera Derecha
5,5μϵ	9,75 μϵ	6,24 μϵ

Con estas lecturas, tomando la viga delantera como la solera que más peso carga, se hará el dimensionamiento de la teoría. En sí. Para el primer ocupante se calculó el promedio de las dos gráficas, (de hule espuma y de aire) aproximadamente se observa que la solera de enfrente carga alrededor de 47.40 Kg, entonces se deformaría de acuerdo a la constante de calibración de 5,5μϵ alrededor de 184μ

4.7. Modelo teórico de las deformaciones

Para el modelado teórico se partió de la Ley de Hooke. “La relación entre esfuerzo y deformación se puede decir que es lineal para todos los materiales” [25]. Es decir, que el esfuerzo aplicado a un material es directamente proporcional a la deformación del mismo, siendo la constante de proporcionalidad el módulo de Young E:

$$\sigma = \epsilon E \quad \text{ec. 8}$$

El esfuerzo en vigas se calcula como:

$$\sigma = \frac{M C}{I} \quad \text{ec. 9}$$

Donde M es el momento flexionante, I el momento de inercia y C la mitad de la altura de la viga. Entonces igualando la ec. 8 con la ec. 9 se obtiene la

fórmula para obtener las deformaciones dado el peso del ocupante en el asiento.

$$\epsilon = \frac{M C}{I E} \quad \text{ec. 10}$$

La viga en voladizo se muestra en la Figura 35.



Figura 35. Viga en voladizo.

Para realizar el cálculo de las deformaciones, para el ocupante número uno de 47.40 Kg de peso en la viga delantera, se midieron las distancias requeridas para el mismo. La Figura 36 muestra las distancias necesarias.

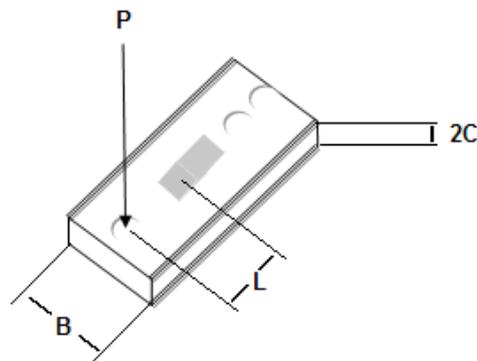


Figura 36. Distancias de la viga.

Tabla 7. Dimensiones de la viga.

B (m)	2C (m)	L (m)
.095	.014	.095

Siendo M el momento flexionante, I el momento de inercia y E el módulo de Young, se muestran a continuación la obtención de dichos valores.

Tabla 8. Sustitución de datos y obtención de M, I y E.

$M = PL$	$M = [(47,40Kg)(9.81m/s^2)(.095m)]$	$M = 44,17 Nm$
$I = \frac{(B)(2C)^3}{12}$	$I = \frac{(.039m)(.014m)^3}{12}$	$I = 8x10^{-9} m^4$
E	<i>Módulo de Young</i>	$E = 2.1x10^{11} \frac{N}{m^2}$

Ahora sustituyendo los datos obtenidos en la ec. 10 se obtiene la deformación en la viga en voladizo: $\epsilon = 184\mu$. Es decir, calculando las deformaciones se obtuvieron 184μ y con respecto a la calibración de los medidores de deformación se obtuvieron 147μ .

Ahora se calculará el error absoluto y el error relativo; el error absoluto sería la resta de las deformaciones calculadas menos las medidas o experimentales. El error relativo sería el cociente de dividir el error absoluto entre las deformaciones calculadas.

La Tabla 9 muestra los valores de los errores relativo y absoluto.

Tabla 9. Errores en la medición

Tipo de error	Operación	Resultado
Absoluto	$184\mu\epsilon - 147\mu\epsilon$	$37\mu\epsilon$
Relativo	$37\mu\epsilon / 184\mu\epsilon$	0.20

Es entonces el error relativo en las mediciones experimentales del 20%. Este valor es aceptable ya que hay incertidumbre en las propiedades de los materiales, en la orientación de la galga a la hora de colocarla en la solera y además en el ruido eléctrico que recibía el software de las demás PC's y la tierra física (No era la óptima para el desempeño del equipo).

Capítulo 5 Desarrollo de pruebas y análisis de resultados

Hasta este punto se ha descrito la fabricación y el diseño del experimento, incluyendo los módulos y sus funciones, materiales utilizados, acondicionamiento de la señal, y la modelado teórica de las deformaciones.

En este capítulo se mostrarán los resultados de las pruebas de comparación entre los dos asientos y los cinco ocupantes, así como las imágenes del sensor indicando presencia y discutir temas de confort, vandalismo, entre otros.

5.1. Diseño de pruebas

Protocolo de las pruebas comparativas, lapso de muestreo e identificación de vigas

Los experimentos de comparación entre los asientos de hule-espuma y el asiento inflable siguieron un protocolo teniendo como parte central y primordial el tiempo de muestreo de diez segundos. Los ocupantes debían estar de pie justo antes de sentarse, una vez que el tiempo de muestreo comenzaba, se contabilizaban de dos a tres segundos para que tomaran asiento, y se incorporaran a los siete u ocho segundos de haber comenzado el lapso de medición. La postura física comprendía que los pies no dejaran de tocar el suelo y mantener la espalda recta. Además, se hicieron dos pruebas por cada asiento de cada ocupante.

Parámetros del tiempo de muestreo:

- 100 Hz
- 1000 muestras
- 10 segundos.

Identificación de las vigas (en las gráficas de comparación):

- Viga_Del : Viga delantera (Línea continua)
- Viga_Tra_Izq : Viga trasera izquierda vista desde el frente del módulo de banco de pruebas (Línea discontinua de puntos)
- Viga_Tra_Der : Viga trasera derecha vista desde el frente del módulo de banco de pruebas (Línea discontinua de guiones)

En la Tabla 10 se muestran las condiciones del experimento de las pruebas comparativas. El factor de la presión inicial ya no fue determinante en estas pruebas, ya que como se explicó anteriormente, los ocupantes se sintieron más confortables con un inflado inicial de presión de 2.5 psi.

Tabla 10. Matriz de datos para pruebas comparativas

Tipo de Asiento	Ocupantes	Número de repeticiones por asiento
Hule espuma	5	2
Aire	5	2

Protocolo de pruebas del sensor indicador de presencia.

Para estas pruebas se diseñó el experimento con un sólo ocupante y dos repeticiones. Se mostrarán los resultados gráficamente de estos experimentos. En la matriz mostrada en la Tabla 11 se plasman las repeticiones del experimento.

Tabla 11. Matriz de pruebas para sensor indicador de presencia

Tipo de Asiento	Ocupantes	Número de repeticiones por asiento
Aire	1	2

5.2. Análisis de resultados

Ensayos comparativos entre asientos y resultado de confortabilidad

En este apartado se mostrarán las gráficas de resultados de las pruebas de comparación entre los dos asientos, usando el diseño de pruebas anteriormente descrito. Las Figuras 37 a 46 se muestran las gráficas de salida del sistema de adquisición de datos *Labview*.

Individuo 1. [1.76m – 86 Kg]

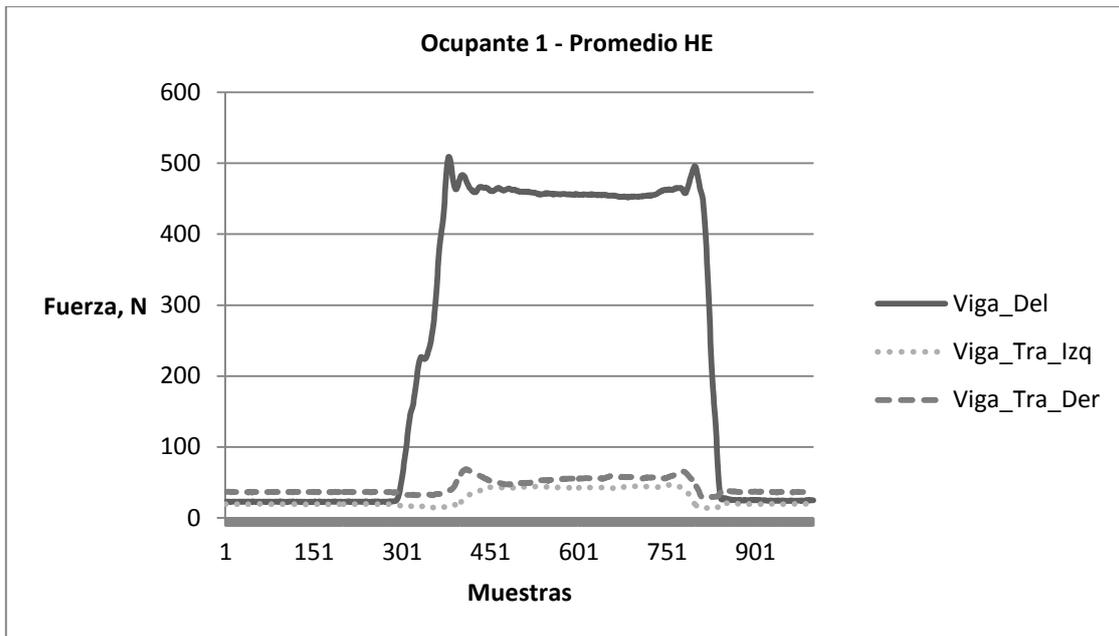


Figura 37. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 1.

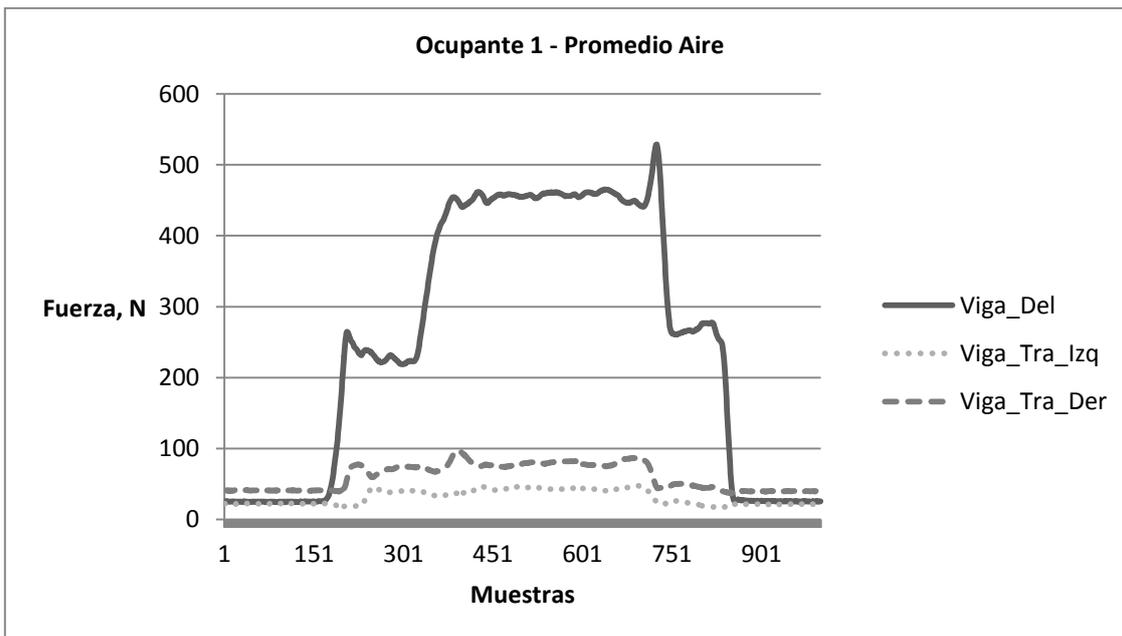


Figura 38. Gráfica promedio aire; ocupante 1.

Individuo 2. [1.81m – 78.5 Kg]

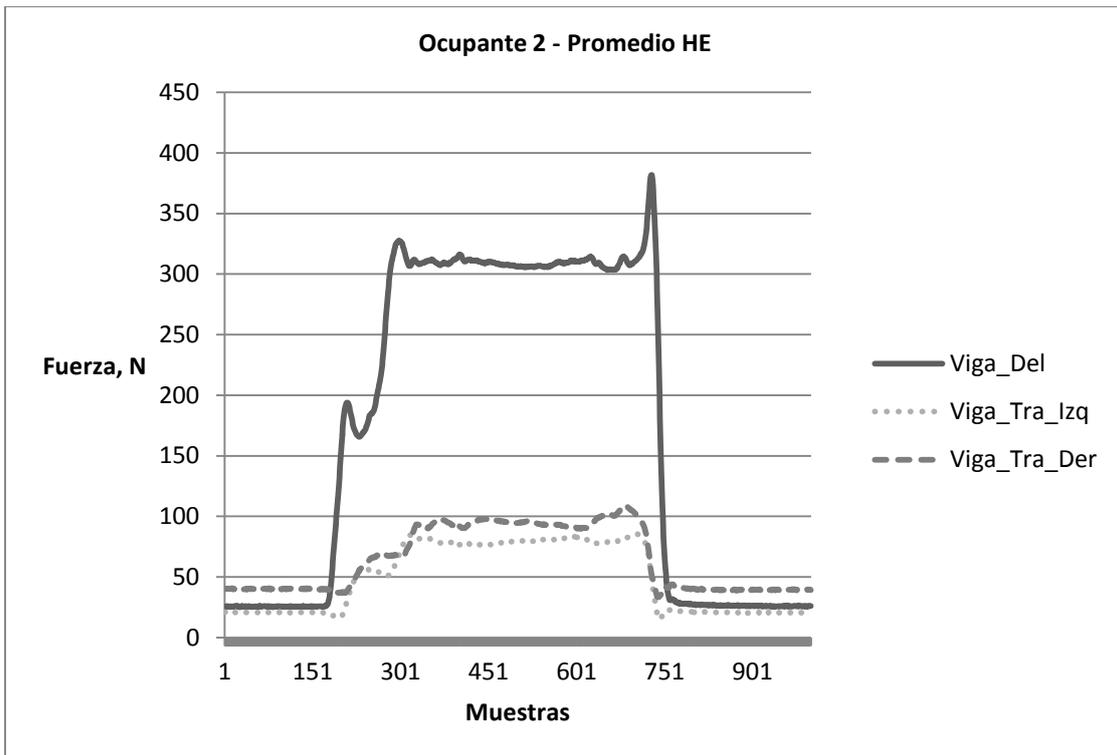


Figura 39. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 2.

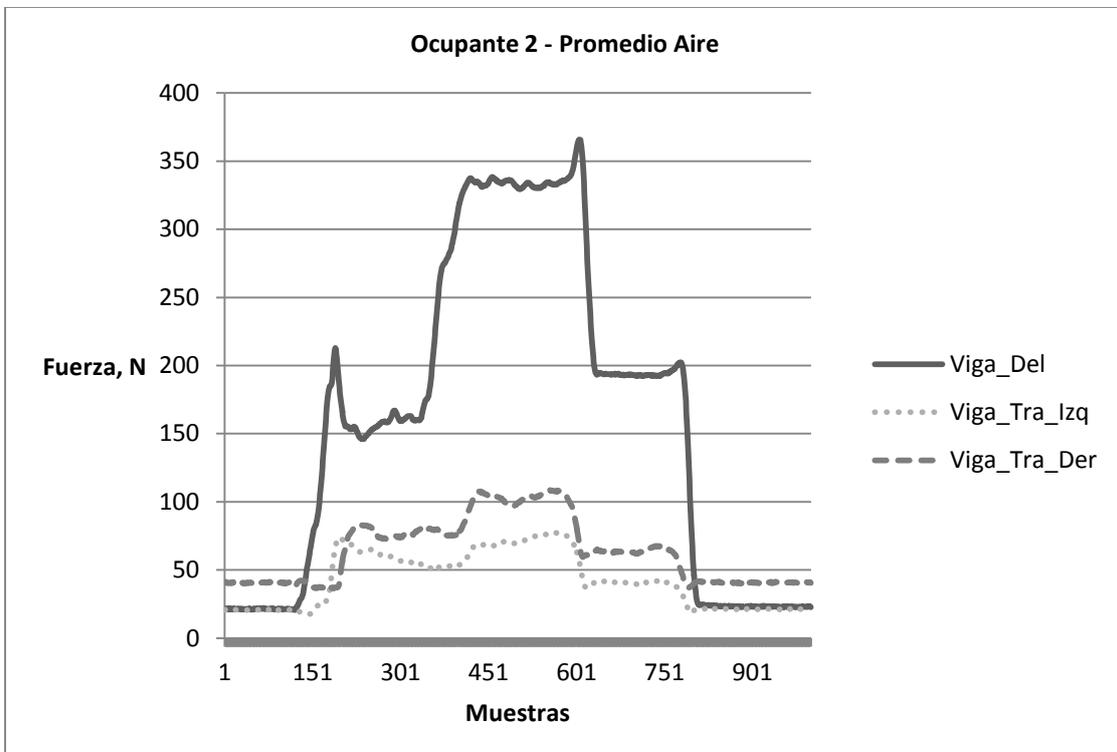


Figura 40. Gráfica promedio aire; ocupante 2.

Individuo 3. [1.74m – 72 Kg]

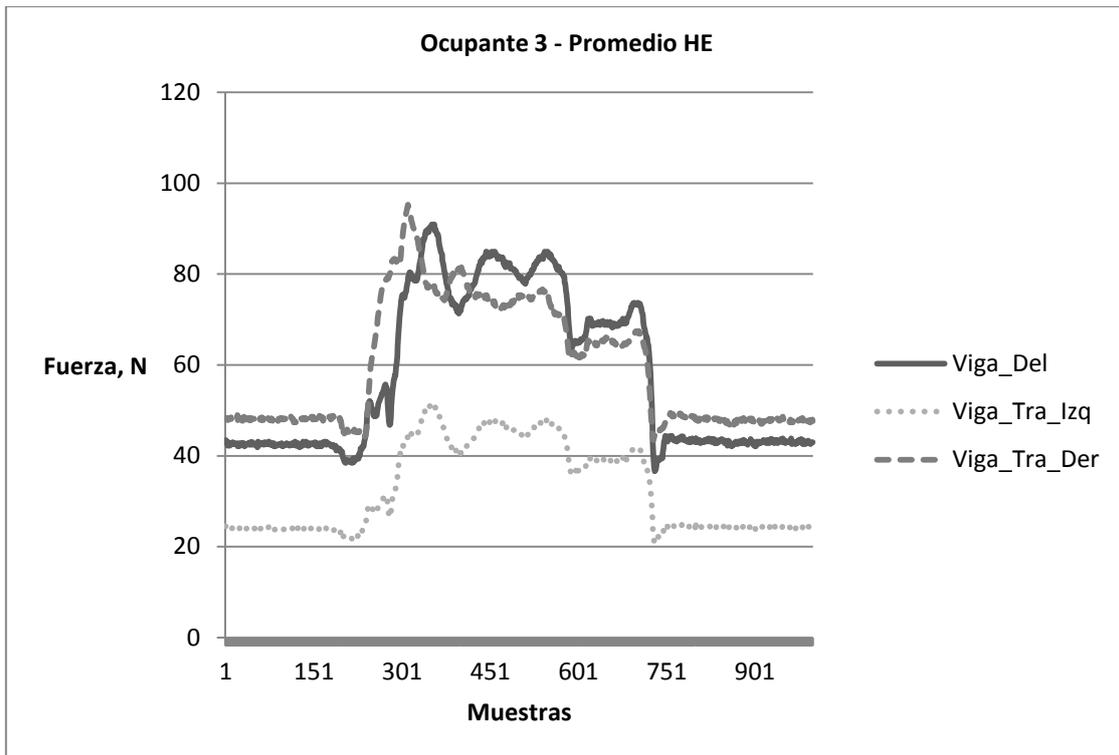


Figura 41. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 3.

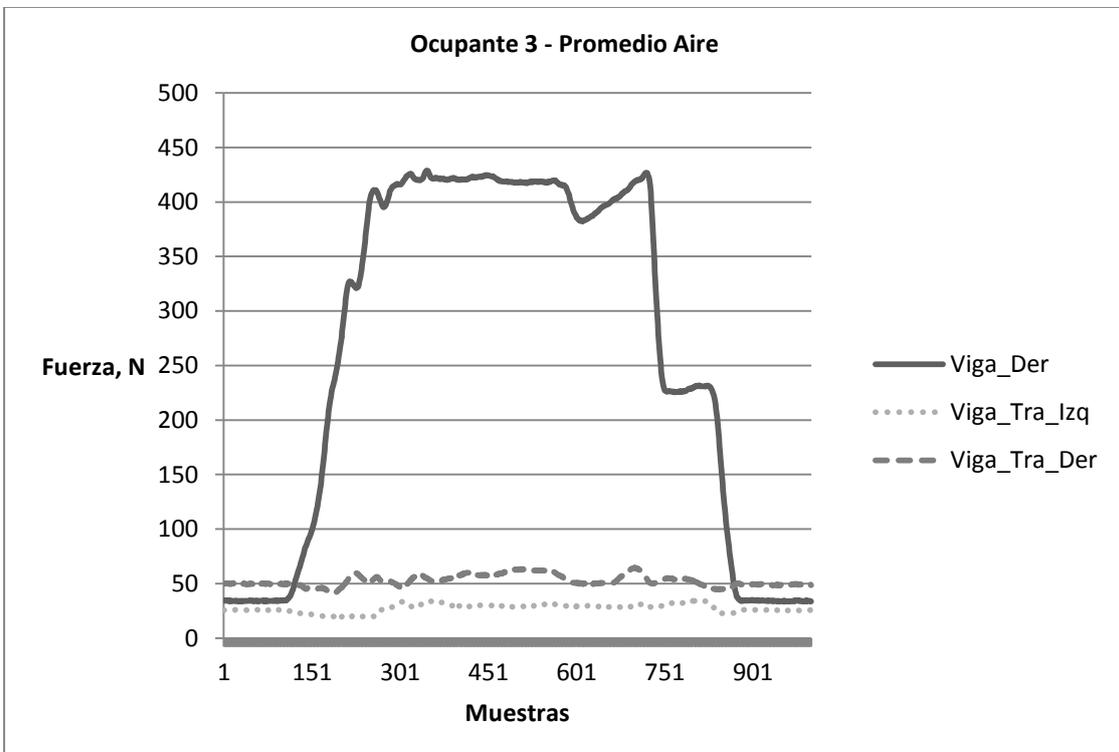


Figura 42. Gráfica promedio aire; ocupante 3.

Individuo 4. [1.71m – 82.7 Kg]

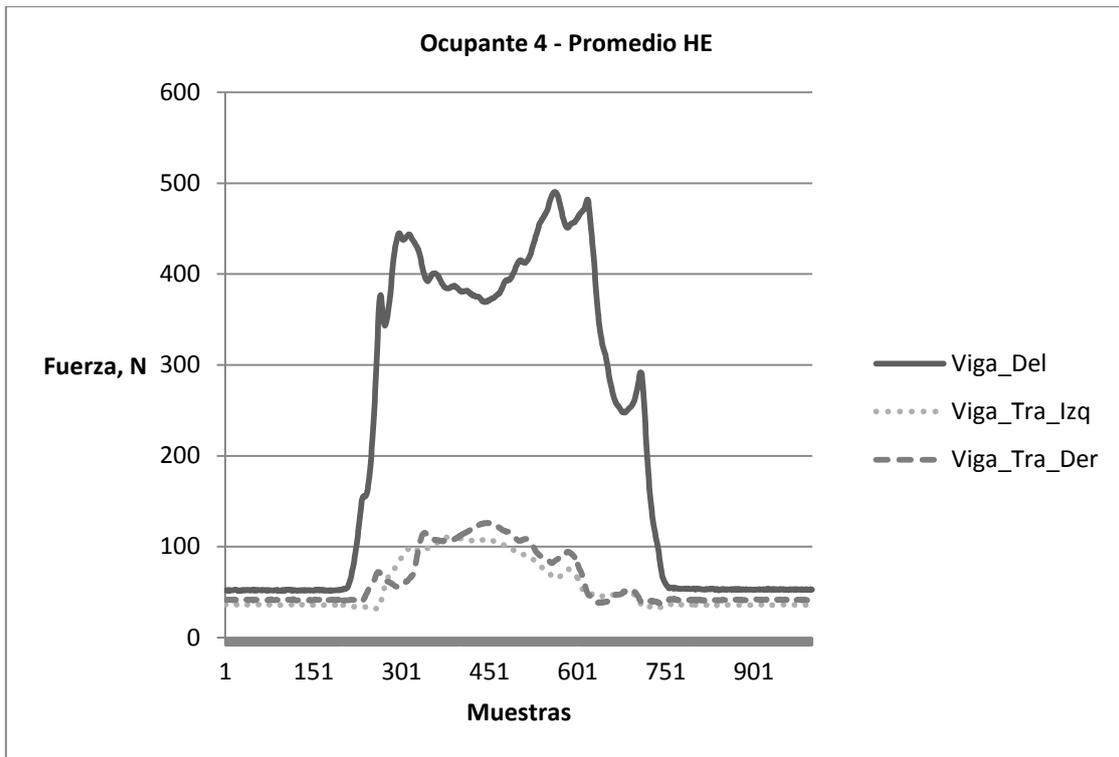


Figura 43. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 4.

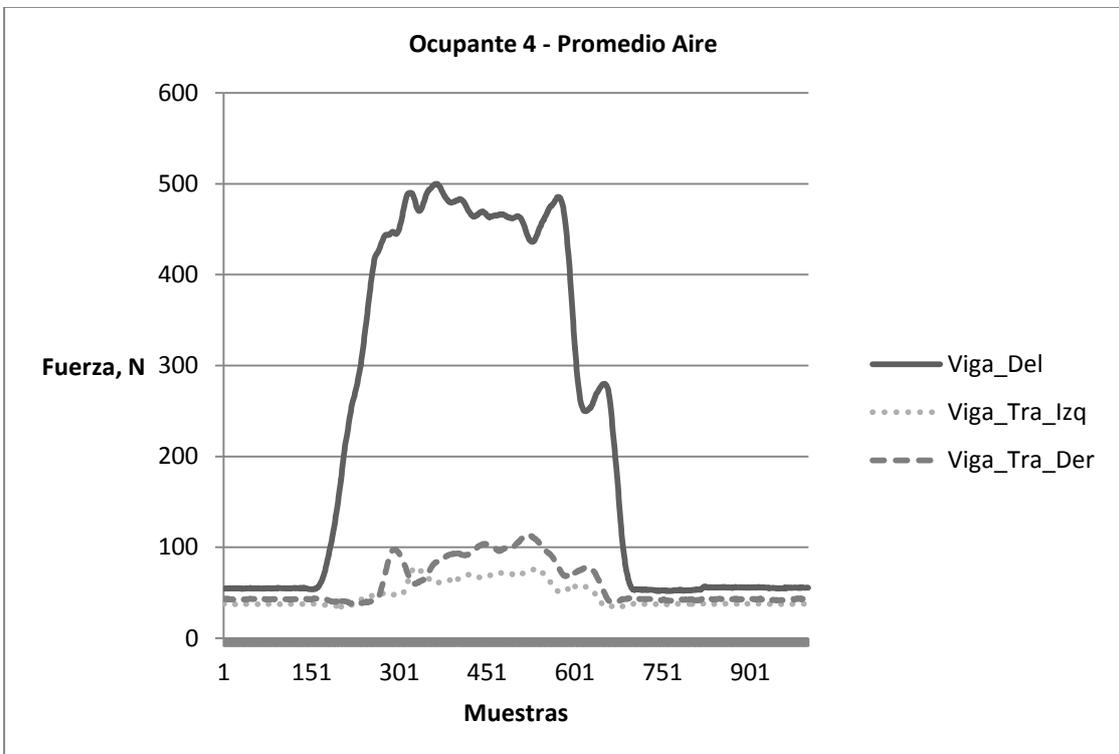


Figura 44. Gráfica promedio aire; ocupante 4.

Individuo 5. [1.80m – 80.2 Kg]

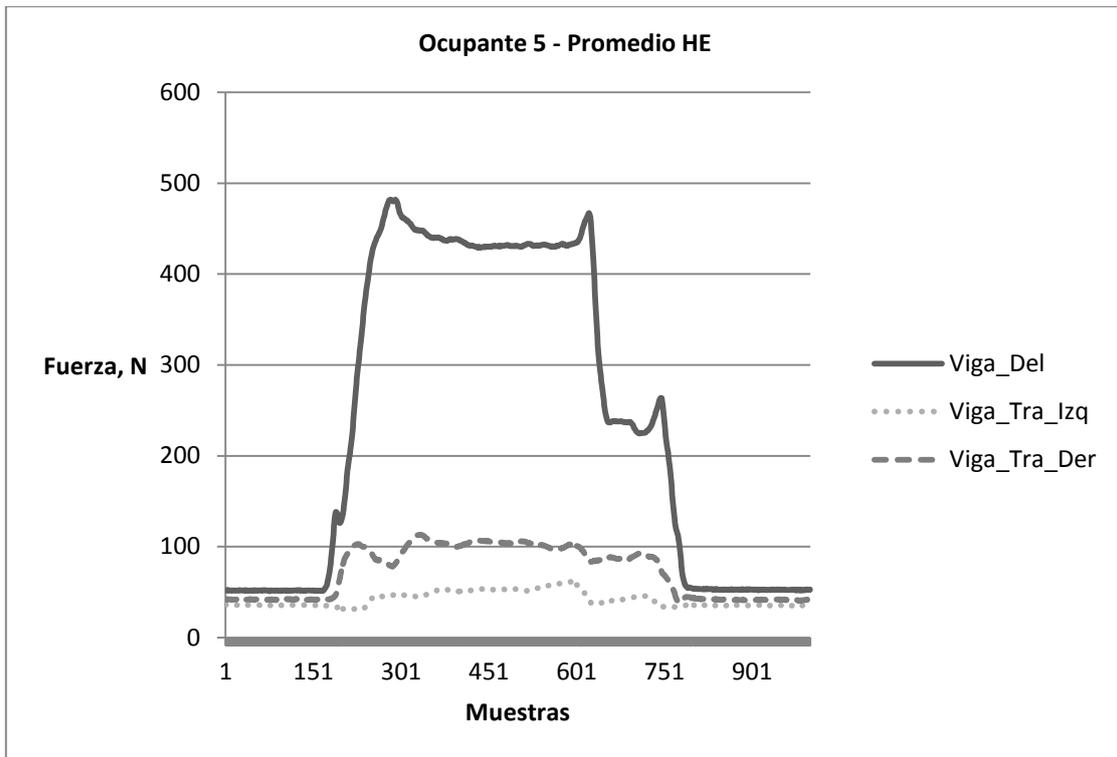


Figura 45. Gráfica promedio hule espuma; ocupante 5.

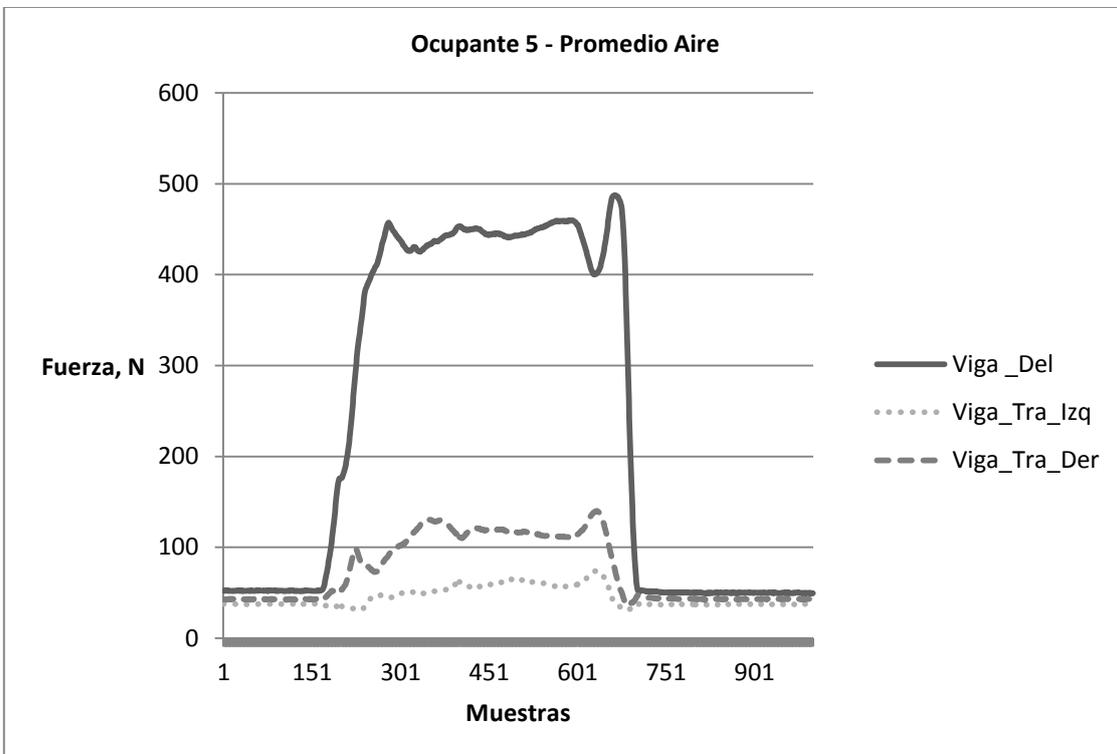


Figura 46. Gráfica promedio aire; ocupante 5.

Como se observa en las gráficas incluidas en las Figuras 37 a 46, existe una distribución muy parecida en los dos asientos. Sin embargo, se puede observar de manera preliminar que un asiento de aire se asemeja al comportamiento de un asiento común de hule espuma por cuando a la distribución espacial del peso del sujeto usuario.

Como medida de desempeño se calculará la distribución del peso trasero en el asiento. Este se dimensiona restando los pesos traseros y dividiéndolos entre el peso total del ocupante, denominando esta medida DPT.

Entonces, para el ocupante uno, observando las dos gráficas promedio (de hule espuma y de aire) se obtuvieron los siguientes datos:

- Sustracción de los pesos traseros: 5.09 Kg
- Peso total (de acuerdo a la gráfica): 62.69 Kg

La DPT es igual a un 8.12%. Es entonces, este porcentaje, lo que carga las soleras traseras y el resto distribuyéndose entre la solera frontal y la parte media del asiento. Para conocer la respuesta subjetiva de confortabilidad de los ocupantes que ensayaron en los dos asientos, se les proporcionó una hoja en la cual describirían qué tan comfortable les parecieron los cojines en una escala del 1 al 5, siendo el número 1 lo menos comfortable y el número 5 lo más comfortable; en la Tabla 12 se muestran los resultados.

Tabla 12. Niveles de confort.

Individuo	Estatura [m]	Peso [kg]	Espuma	Aire [2.5 psi]
1	1.76	82	3	3
2	1.81	78.5	2	3
3	1.74	72	3	4
4	1.71	82.7	3	3
5	1.8	80.2	4	3

Ensayos de sensor indicador de presencia

En esta sección se mostrarán los resultados del circuito electrónico indicador de presencia, con un sólo ocupante y repitiendo la prueba dos veces. En las Figuras 47 a 49 se muestran los dos estados del asiento inflable.

Cuando el sensor no está deformado, el diodo emisor de luz rojo está activo (Figura 47); cuando alguien ocupa el asiento, el diodo azul se polariza e indica deformación en el asiento, es decir, que está ocupado (Figuras 48 y 49).

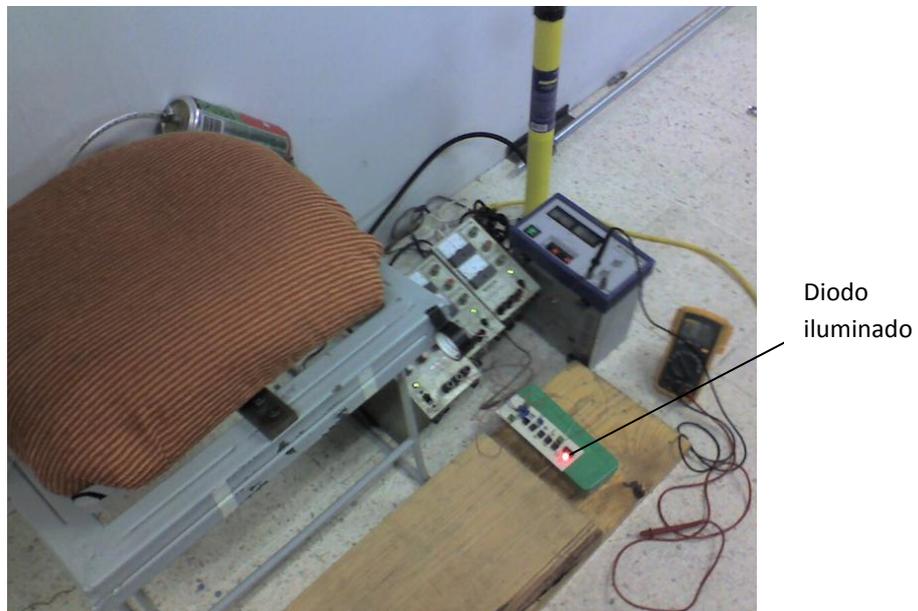


Figura 47. Led rojo señalizando que no hay deformación.

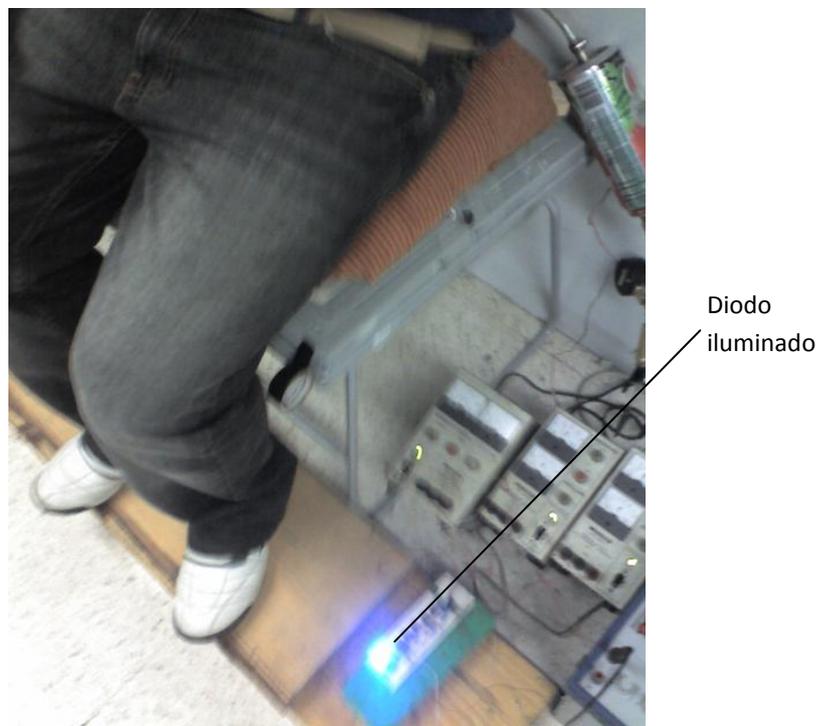


Figura 48. Led azul notificando que hay deformación.



Figura 49. Ocupante sentado en el asiento inflable.

Este ensayo involucró alimentación del circuito neumático como del circuito electrónico. Esta señal que se obtiene al final del circuito se podría traducir en futuras propiedades del mismo asiento.

Ensayos relación presión contra peso.

Las pruebas de relación presión contra peso fueron estructuradas utilizando cuatro ocupantes y el asiento inflable de aire. Sabiendo que a mayor peso ejercido en el asiento mayor sería la presión contenida en el mismo, estos ensayos fueron tal vez, los más importantes, ya que dio lugar a la definición de confortabilidad en cuanto a la presión inicial del asiento; es decir, las pruebas de variación definieron los parámetros subjetivos de confortabilidad de acuerdo a los diferentes ocupantes del asiento. Tres ocupantes opinaron que el asiento inflable fue muy confortable a la presión inicial de 2.5 psi, el ocupante restante mencionó que la presión a la que se sintió más cómodo fue de 3.5 psi.

En cuanto a las pruebas de comparación entre los asientos de hule-espuma y el asiento neumático, es importante mencionar que la diferencia de pesos es de 275 gramos, una diferencia significativa en cuestión de ligereza y ahorro de combustible.

Tomando como ejemplo la aeronave Boeing 757, la cual tiene capacidad de trasladar alrededor de un promedio de 200 pasajeros en un vuelo chárter [1] se puede realizar un ejercicio en el cual se puede plasmar el ahorro de peso en un aeroplano de este tipo. El ahorro potencial en la aeronave del peso se muestra a continuación:

Tabla 13. Potencial ahorro de peso

Peso (Kg)	Pasajeros	Total (Kg)
Asiento Hule-espuma: 33.5	200	6,700.0
Asiento Aire: 33.225	200	6,645.0

La diferencia de peso del asiento de aire con respecto al asiento de hule-espuma: 55 Kg. Si aplicamos la normatividad de Volaris para vuelos nacionales la cual cita: “Si sobrepasa el peso permitido según la tarifa adquirida, se cobrará por kilo extra hasta un máximo de 50 kgs por pieza” y el costo será “\$100 MXN + IVA* por kg adicional” [26], es decir, $55 \text{ kg} * \$100 \text{ MXN} + \text{IVA}$ es igual a \$6,380.0 MXN; la aerolínea podría salvar esta cantidad de dinero.

Como referencia American Airlines obtiene cargos por sobrepeso del monto de \$60 USD para equipajes que oscilen entre los 23 hasta los 32 kg [27]. Por su parte Continental Airlines cita que “el equipaje que exceda desde las 50lb (23 kg) y hasta las 70 lb (32 kg) se les cobrará una tarifa de \$50 USD (por pieza) [28].

Por otro lado, la diferencia en cuanto a la distribución de pesos de los ocupantes para un asiento y otro, parece mínima, sin embargo, cabe resaltar que en el asiento de hule-espuma las vigas traseras no cargan la misma cantidad de peso que en los ensayos con el asiento inflable; el aire hace que el peso se distribuya de manera más uniforme.

5.3. Discusión

Confortabilidad

Es un tema delicado y a la vez subjetivo, ya que para algunos ocupantes lo que es confortable para otros no lo es, sin embargo, se puede obtener una media de lo que se está proponiendo como referencia. En este documento se presenta la Tabla 12 la cual arroja un promedio en el rubro del asiento de espuma de 3 y un promedio en el asiento de aire de 3,2; siendo así un proyecto donde se cumple uno de los objetivos: que el asiento inflable de aviación sea mayor o igualmente confortable que un asiento típico de hule espuma.

Es obvio hasta cierto punto que la confortabilidad mejoraría con un diseño estudiado y a conciencia de lo que se está proponiendo, y que sería tal vez, un tema en donde se podría desarrollar fácilmente otro documento.

Vandalismo

En cuestiones de seguridad, los aspectos normativos internacionales acerca de los asientos de aviación, como ya se mencionaron algunos, son bastos, sin embargo, la creación de nuevos materiales y la aplicación de diferentes sustancias parecen ser algún tipo de solución en esta sección, ya que un pasajero, incluso sin intención, puede dañar un asiento inflable de aire.

Se han desarrollado varias tecnologías que se pueden aplicar para proteger el vandalismo en estos asientos inflables, una, por ejemplo, sería la de un sellador similar al que se usa para proteger las llantas de los transportes terrestres a base de caucho, agua o glicol; este último es el más seguro ya que no es inflamable, no es tóxico y es biodegradable. Estos selladores funcionan insertándose la mezcla de componentes líquidos por la entrada de aire de la llanta y cubriendo toda la superficie a proteger, si algún objeto llega a penetrar el material de la misma, este sella rápidamente empujando el líquido hacia afuera. Es decir, se pueden aplicar los principios de estas nuevas tecnologías a el asiento inflable para aviación.

Conclusiones y recomendaciones

Como principales conclusiones está que se cumplieron los objetivos principales del proyecto: confortabilidad y ahorro de peso. Además se logró obtener una señal análoga a partir de la deformación generada en el sensor de pared delgada cuando un individuo tomaba asiento.

La confortabilidad es una cuestión totalmente subjetiva, muy importante, como se menciona en el documento, se sufren lesiones y muertes por viajes largos e incómodos. Las empresas automotrices y aeronáuticas están conscientes de la importancia de este tema para mejorarlo y tratar de hacer un viaje, ya sea largo o corto, lo más satisfactorio posible.

En cuanto al ahorro de peso, se observó el ahorro alrededor de un 15% y tal vez con mejores materiales, parece ser que se pudiera lograr un avance considerable en este aspecto.

El circuito indicador de presencia se construyó a base de componentes puramente comerciales, de bajo costo y también se cree que se puede mejorar la salida de la señal para implementar un circuito inteligente, el cual pueda incrementar o disminuir la cantidad de aire en el asiento de acuerdo a la variable del peso del ocupante. La programación, los circuitos lógicos y las tarjetas *PCB* podrían llegar a ser el camino para lograr esto. Asimismo, se logró disminuir el ruido del circuito electrónico, añadiendo el amplificador de instrumentación y migrándolo de una tabla de prueba a un circuito impreso en tablilla de cobre. Cabe mencionar que entre las primeras experiencias con el sensor de pared delgada, el amplificador comparador de voltaje, la compuerta lógica negadora y los diodos emisores de luz, no se alcanzaba una señal fija de voltaje, sino que variaba siempre incrementando y decrementando el mismo haciendo muy difícil la relación entre los componentes ya mencionados.

En las gráficas comparativas entre asientos se puede observar que, los ocupantes número dos y cinco (los dos individuos más altos de las pruebas), distribuyen más su peso en las vigas traseras, es decir, mientras más alto el sujeto sea, mayor será el peso y fuerza trasera que se ejerza sobre el asiento.

Es importante mencionar los aspectos de seguridad en los asientos de aviación. Son estrictos en cuanto a la composición de los materiales utilizados en la aeronave, ya que deben cumplir, con regulaciones nacionales e internacionales.

Las recomendaciones que se obtuvieron por experiencia a lo largo del proyecto fueron las siguientes:

- Mejora en la calidad de los materiales;
- Eliminar, en la medida de lo posible, el ruido dentro del circuito de sensado de presencia, así como del software a utilizar;
- Finalmente, para trabajos futuros se podría desarrollar un respaldo para el asiento inflable de aviación.

Referencias

- [1] Boeing, (2009) “Commercial Airplanes”, http://www.boeing.com/commercial/757family/pf/pf_200back.html, fecha de consulta: agosto de 2009.
- [2] J. Thomas (2009) “Sitting comfortably”, Automotive Engineering, Número 1, Volúmen 117, pp: 54-57.
- [3] R. Huber (2009) “Sitting comfortably”, Automotive Engineering, Número 1, Volúmen 117, pp: 54-57.
- [4] R. Yu (2009) “Airlines target lighter, thinner seats to save” http://www.usatoday.com/travel/flights/2009-05-11-airlines-modify-seats_N.htm, fecha de consulta: octubre, 2009.
- [5] J.A. Cruz, G.A. Garnica (1995) “Principios de ergonomía”, 1era edición, pp: 21-31.
- [6] M. Balin (2008) “El síndrome de la clase turista, un grave problema de salud”, <http://www.eldiariomontanes.es/20080329/sociedad/panorama-salud/sindrome-clase-turista-grave-20080329.html>, fecha de consulta: octubre, 2009
- [7] EASA (2003) “What we do”, <http://www.easa.eu.int/what-we-do.php>, fecha de consulta: Septiembre, 2009.
- [8] P. Croser (1991) “FESTO - Neumática nivel básico TP101, manual de estudio”, 2da edición.
- [9] L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettanch-Wold, C. Wikstrom, S. Wold (2008) “Design of experiments, principles and applications”, 3era edición, pp: 7-8, 53-56
- [10] W. Stoecker (1977) “Refrigeración y acondicionamiento de aire” pp: 237.
- [11] S. Figliola, D. Beasley (2003) “Mediciones mecánicas, teoría y diseño”, Alfaomega, pp: 585.
- [12] S. Wolf, R. Smith (1992) “ Guía para las mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio”, 2da edición.
- [13] J. Forcada (1996) “El amplificador operacional”, Editorial: Alfaomega.
- [14] F. Coughlin, F. Driscoll (1999) “Amplificadores operacionales y circuitos

integrados lineales”, 5ta edición.

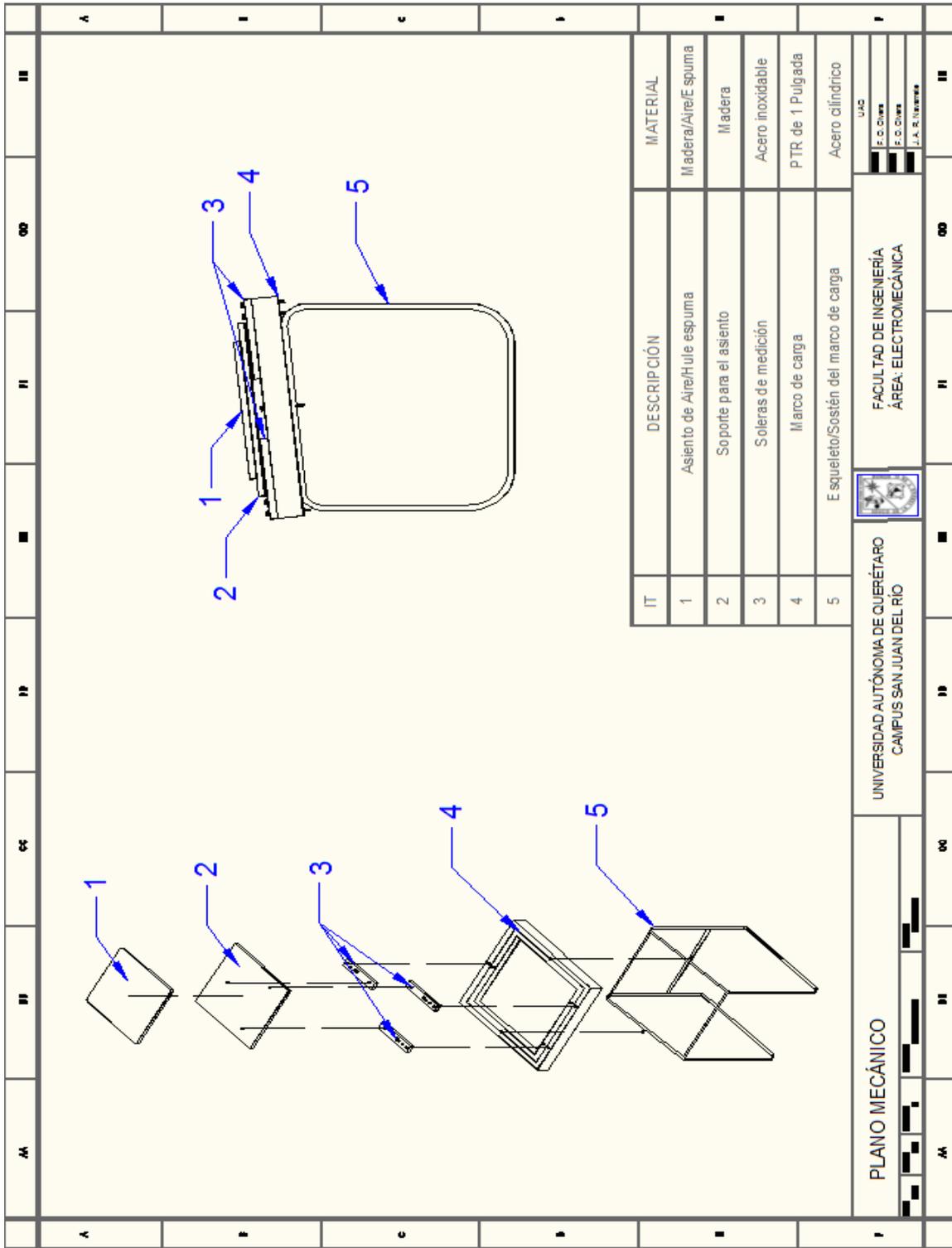
- [15] Streeter, Wylie, Bedford (2000) “Mecánica de fluidos”, 9na edición.
- [16] Spectra (2005) “Spectra product line”, http://www.spectra-ip.com/spectra_products.html, fecha de consulta: Noviembre, 2009.
- [17] AEC (2006) “CBM Dynamic seat for aircraft main cabin”, <http://americanergonomics.com/?page=air-designs>, fecha de consulta: Noviembre, 2009.
- [18] Civil Aviation Authority “About CAA”, <http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=286>, Fecha de consulta: Noviembre, 2009.
- [19] Civil Aviation Authority “General information on JAA requirements”, <http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=49&pagetype=90&pageid=526>, fecha de consulta: Noviemnre, 2009.
- [20] Federal Aviation Administration “Mission”, <http://www.faa.gov/about/mission/>, fecha de consulta: Enero, 2010
- [21] GPO Access “Electronic code of federal regulations”, <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=86c055cf40db24cc071a4f4c004c1471&rgn=div9&view=text&node=14:1.0.1.3.11.8.201.18.22&idno=14>, fecha de consulta: Enero, 2010.
- [22] K. Uenishi, K. Fujihashi, H. Imai (2000) “A seat ride evaluation method for transient vibrations”, paper number: 2000-01-0641.
- [23] H. Severns, E. Degler, J. Miles (2007) “Energía mediante vapor, aire o gas”, edición en español, pp: 392.
- [24] GPO Access “Title 14, Aeronautics and space”, <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=5139d68e958fea92bf9a2828cd68b8e5&rgn=div8&view=text&node=14:1.0.1.3.11.5.188.52&idno=14>, fecha de consulta: Enero 2010.
- [25] P. Popov (1992) “Mecánica de materiales”, Ed. Limusa.
- [26] Volaris “Exceso de equipaje”, <http://www.volaris.com.mx/InformacionParaTuViaje.aspx>, fecha de consulta: Marzo, 2010.

- [27] American Airlines “Baggage allowance”,
<http://www.aa.com/i18n/travelInformation/baggage/baggageAllowance.jsp?anchorEvent=false&from=Nav>, fecha de consulta: Abril, 2010.
- [28] Continental Airlines “Exceso de equipaje”,
<https://www.continental.com/CMS/es/travel/Pages/BaggageExcess.aspx>,
fecha de consulta: Abril, 2010.

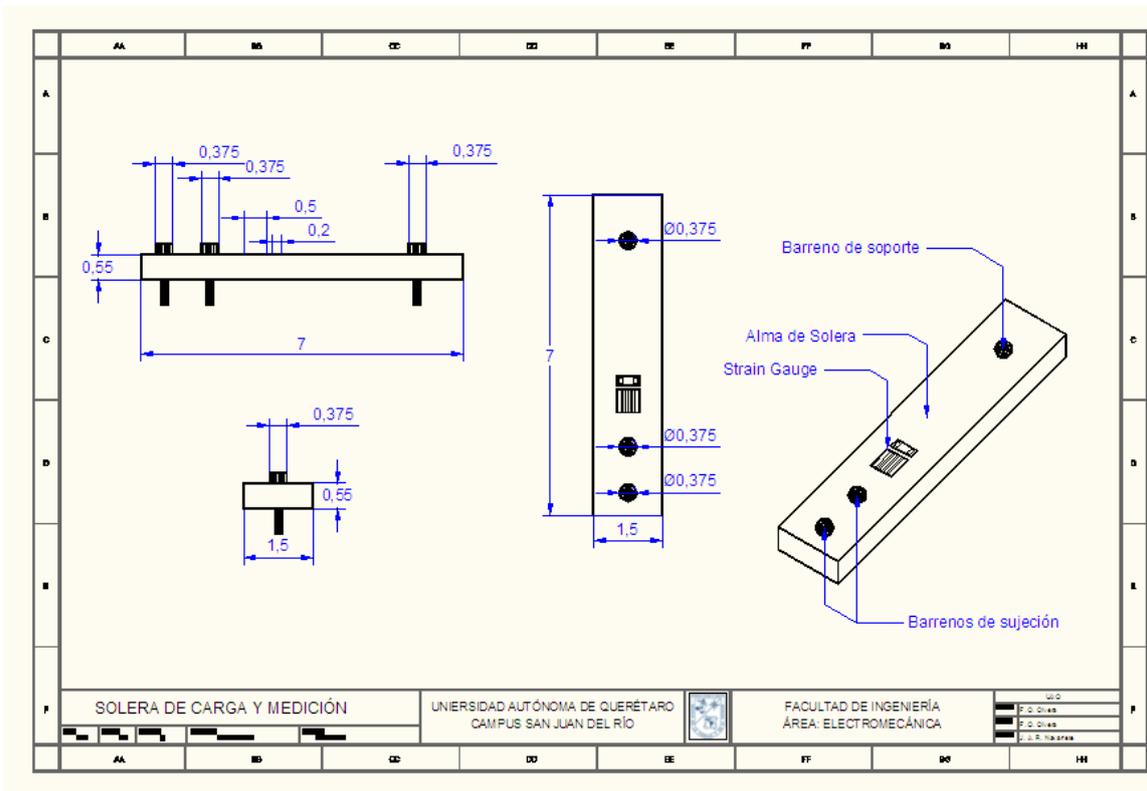
Anexo: Planos de fabricación

Anexo:

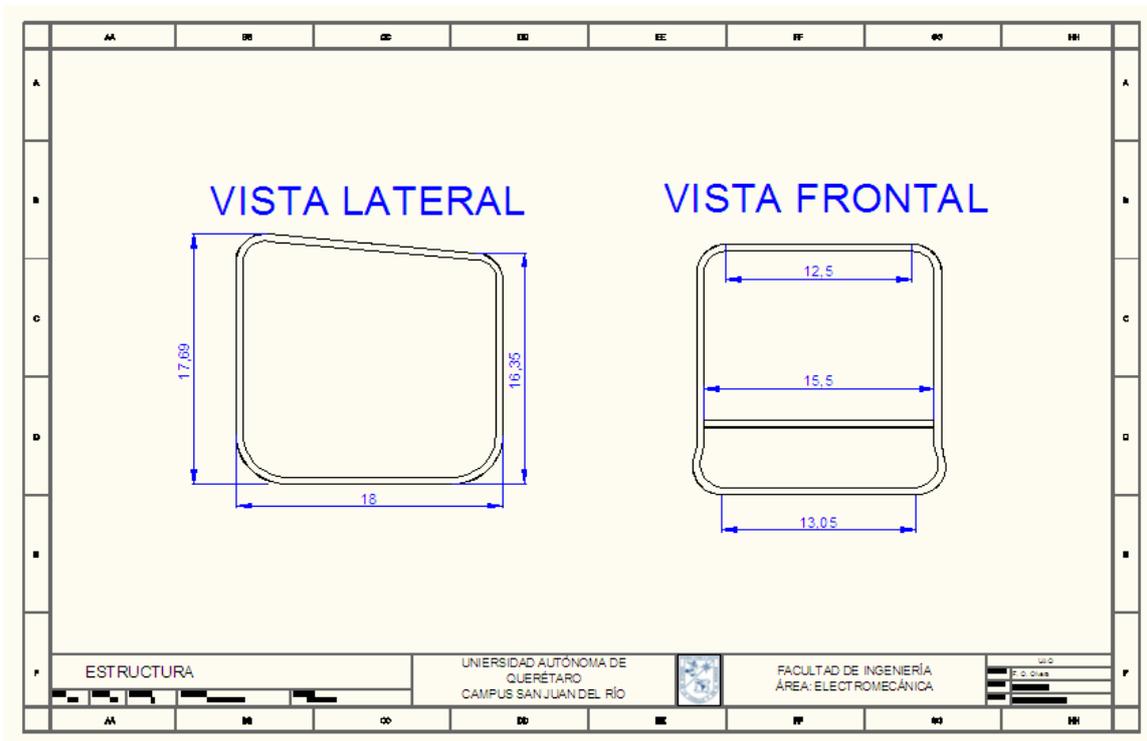
- Plano mecánico
- Plano solera de carga y medición
- Plano de base del asiento
- Plano de estructura de PTR



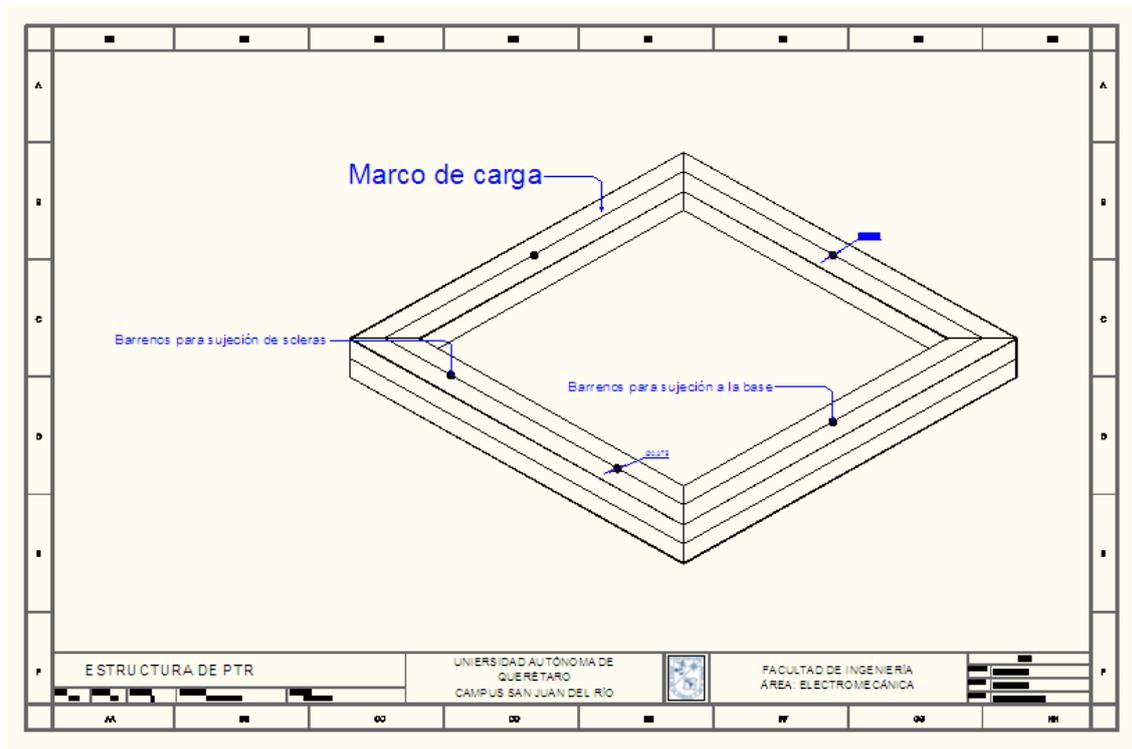
Anexo: Plano Mecánico.



Anexo: Solera de carga y medición.



Anexo: Plano de estructura.



Anexo: Plano de estructura de PTR.