

1. Datos personales:

Alumna: Tania Lizet Aguilar García. **Institución:** IIM-UNAM Morelia.

Asesor: Dr. Alberto Beltrán Morales

Título del proyecto: Caracterización experimental de un fluido de metal líquido usando velocimetría por efecto Doppler.

Materias cursadas:

Actividad académica	Grupo	Calificación
SEMESTRE 2018-2		
FUNDAMENTOS DE MATEMÁTICAS PARA MATERIALES	0405	10
TERMODINÁMICA DE LOS MATERIALES	0405	10
MECÁNICA DE FLUIDOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR	0405	10
SEMESTRE 2019-1		
MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS	0405	10
PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES	0405	10
TEMAS SELECTOS DE MATERIALES COMPLEJOS DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL	T068	10
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	0400	10

Obteniendo un promedio de 10.

2. ANTECEDENTES.

Es posible generar movimiento en un fluido conductor mediante fuerzas electromagnéticas; en particular, al hacer circular una corriente eléctrica a través de un fluido conductor y en presencia de un campo magnético, se genera una fuerza de Lorentz capaz de agitar al fluido, lo anterior está presente en un amplio campo de aplicación tales como agitación o frenado de fluidos, procesamiento electromagnético de materiales entre otros.

Aplicaciones recientes para el almacenamiento estático de energía a gran escala como las baterías de metal líquido (BML) (AMBRI, 2013), se ven también afectadas por la fuerza de Lorentz. Dicha tecnología se compone de tres capas, dos electrodos de metal líquido (ánodo y cátodo) y un electrolito fundido, usado como medio permitiendo el paso de corriente entre el cátodo y ánodo. Estas capas se estratifican por diferencia de densidad. Las BML tienen grandes ventajas, como mayor capacidad para almacenar energía, pero existe una desventaja importante debido a que la fuerza de Lorentz provoca que las capas de fluidos se puedan llegar mezclar y cortocircuitar.

Trabajar con electrodos de metal líquido en las baterías, representa varios obstáculos al momento de estudiar el movimiento generado en el fluido, algunos de estos obstáculos son: altas temperaturas debido a los puntos de fusión del metal, actividad química, conductividad eléctrica y que son fluidos opacos. (Kelley, 2014).

La actividad química se controla eligiendo cuidadosamente los materiales con los que se trabajará, las rutas eléctricas involuntarias se previenen cuidando el contacto del metal líquido con los materiales conductores que puedan existir en el entorno.

2.1 Velocimetría ultrasónica Doppler.

La agitación electromagnética generada en sistemas relacionados a las BML ha sido poco estudiada dado que se trata de fluidos opacos donde las técnicas ópticas no funcionan, tal como la técnica de velocimetría por imagen de partícula (PIV por sus siglas en inglés). Por otro lado, la velocimetría de ultrasonido por efecto Doppler (UDV por sus siglas en inglés) se puede usar para medir la velocidad de un fluido opaco, no solo en puntos aislados, sino a lo largo de una línea con una buena resolución temporal.

La técnica UDV, se aplicó originalmente en el campo médico y se remonta a más de 30 años. El uso de emisiones pulsadas ha extendido esta técnica a otros campos y ha abierto el camino a nuevas técnicas de medición en dinámica de fluidos y magnetohidrodinámica.

En el ultrasonido Doppler pulsado, un emisor envía periódicamente una ráfaga ultrasónica corta y un receptor recoge continuamente ecos de los objetivos que pueden estar presentes en la trayectoria del haz ultrasónico. Al muestrear los ecos entrantes al mismo tiempo en relación con la emisión de las ráfagas, se puede calcular la velocidad de las partículas, la Figura 2.1.1 ejemplifica el método de ultrasonido Doppler pulsado.

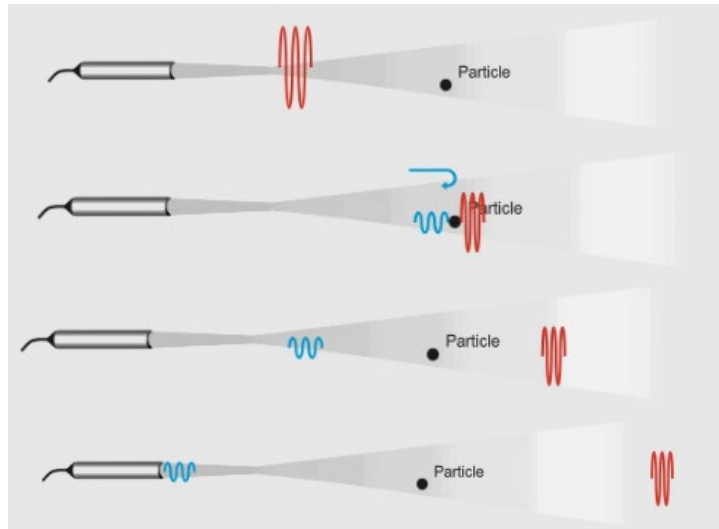


Figura 2.1.1. Método de ultrasonido Doppler pulsado.

2.2 Metal líquido GaInSn.

Como ya se mencionó anteriormente, en las BML uno de los principales inconvenientes es tener que trabajar con altas temperaturas para poder mantener en estado líquido los metales usados como electrodos, para este estudio una forma de eliminar ese inconveniente es usando un metal líquido a temperatura ambiente.

Como posible opción para realizar este proyecto, fue usar mercurio debido a que es líquido a temperatura ambiente, pero a diferencia del mercurio, el GaInSn no presenta propiedades tóxicas de acuerdo a la literatura, por lo tanto se considera amigable con el medio ambiente así como no representa peligro para su manipulación, en la Figura 2.2.1 se muestra como es el GaInSn físicamente.



Figura 2.2.1. GaInSn.

El GaInSn es una aleación eutéctica de galio, indio y estaño cuya concentración no es específica, pero para nuestro estudio manejamos una concentración de Ga 68.5%, In 21.5% y Sn 10% en peso. Abreviado como (GaInSn).

Algunas de las propiedades del GaInSn se encuentran representadas en la Tabla 2.2.1. (Changsha Santech Materials Co., 2017), cabe resaltar que la conductividad eléctrica para esta aleación líquida tiene seis órdenes de magnitud de diferencia en relación con un electrolito débil.

Propiedades del GaInSn a 20°C	
Calor específico	370 $J/kg K$
Conductividad eléctrica	$3.46 \times 10^6 S/m$
Conductividad térmica	31 $W/m K$
Densidad	6440 kg/m^3
Electronegatividad	N/A
Punto de ebullición	Mayor a 1300 °C
Punto de fusión	6-10 °C
Resistividad	0.289 $n\Omega/m$
Viscosidad	0.0024 $Pa s$

Tabla 2.2.1. *Propiedades del GaInSn a una temperatura de 20°C.*

En el presente trabajo y con objeto de contribuir al entendimiento de los patrones de flujo en configuraciones relacionadas a los EML, se plantea medir el movimiento que se presenta en el metal líquido GaInSn, como función de los campos electromagnéticos, permitiendo explicar el comportamiento del flujo de acuerdo a los perfiles de velocidad del fluido, usando velocimetría por efecto Doppler y variando algunos parámetros encontrados en las BML, por ejemplo la corriente eléctrica y distintas configuraciones de campo magnético.

3. OBJETIVO GENERAL.

Medir perfiles de velocidad de un flujo generado electromagnéticamente del metal líquido GaInSn y caracterizar el patrón de flujo en función de parámetros como la magnitud de corriente eléctrica y la presencia de distintas distribuciones de campos magnéticos externos.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Medir los perfiles de velocidad del sistema de GaInSn, mediante la técnica UDV, usando el equipo DOP 4000, con probetas localizadas en tres puntos a lo largo de la cavidad.
- Tomar mediciones del perfil de velocidades en el sistema de GaInSn, usando corrientes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 A.
- Usar imanes de neodimio (NdFeB) con dimensiones de 2.54 x 2.54 x 1.27 cm y 5.08 x 5.08 x 1.27 cm con intensidades de campo magnético que van desde 0.01 a 0.4 T aproximadamente, para generar el campo magnético, tanto con un imán, así como en configuraciones de par de imanes.

4. HIPÓTESIS.

- La diferencia de potencial en terminales del sistema está relacionada con la distribución del flujo de GaInSn.
- La tendencia de flujo a ser bidimensional está influenciada por la presencia de campos magnéticos uniformes (imanes grandes), mientras que la tridimensionalidad dominará para campos magnéticos localizados (imanes pequeños).
- Mediante las mediciones UDV es posible cuantificar la agitación del fluido del metal líquido GaInSn confinado en el contenedor.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL (Modelo físico).

5.1 Diseño asistido por computadora (CAD).

Como primer paso se realizó el diseño del prototipo experimental en el programa Solidworks 2017, en el cual se diseñaron cada una de las piezas del prototipo en base al cuerpo de la cavidad, con medidas necesarias para que la cavidad del prototipo donde es confinado el GaInSn tenga una longitud de 5.1 cm por cada lado, provocando con esto una cavidad cúbica como se muestra en la Figura 5.1.1, también podemos ver las tapas y los soportes para tapa que fueron diseñados con un orificio para colocar el electrodo de cobre de forma que este quede en contacto directo con el GaInSn. Tanto en las tapas como en las bases de las tapas se creó una ranura donde sería colocado un oring de caucho para evitar posibles fugas del fluido en la cavidad.

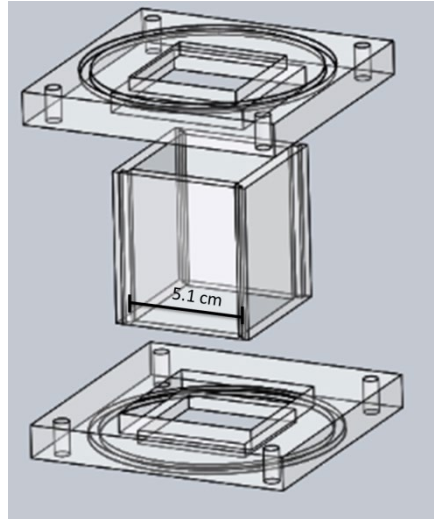


Figura 5.1.1. *Ensamble del diseño de la cavidad con las bases para tapa del prototipo experimental.*

En la Figura 5.1.2. a) se observa el ensamble de todo el diseño del prototipo experimental con una altura total de 12.1 cm y ancho de 12 cm, incluyendo la cavidad, tapas y bases de las tapas con los electrodos de cobre y los orings, así como los tornillos que al igual que los electrodos, son de cobre, los cuales se usarán para ajustar las tapas y que no haya fugas, se decidió usar cobre en electrodos y tornillos, debido a que no es ferromagnético y no produce interferencia en el campo magnético.

Las medidas de cada una de las piezas con que contará el prototipo experimental real, se pueden apreciar en la Figura 5.1.2. b).

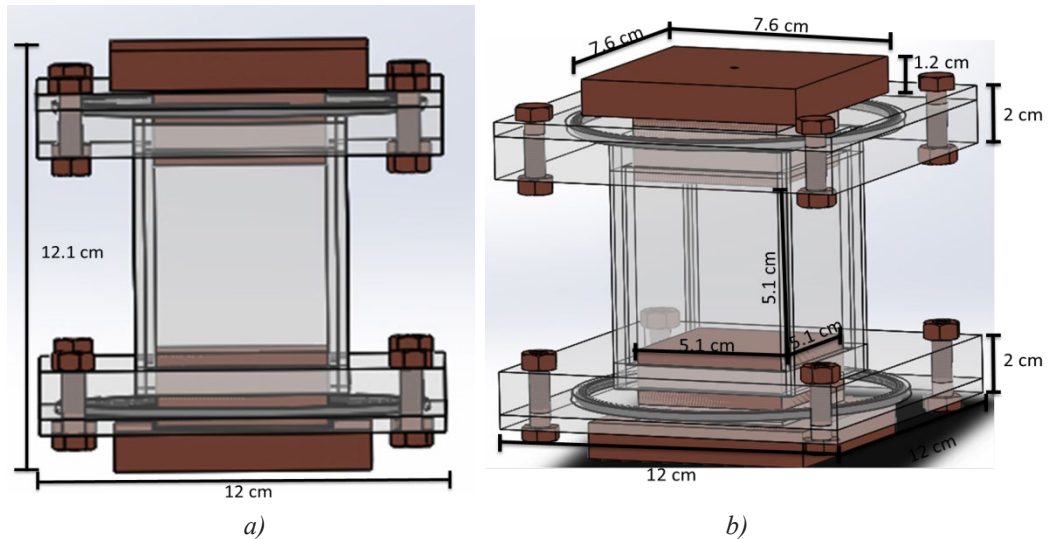


Figura 5.1.2. *Diseño del prototipo experimental, a) vista frontal con medidas de altura y ancho totales, b) vista lateral con todas las medidas prototipo real.*

También es posible bosquejar el prototipo incluyendo los imanes a usar para las mediciones. En un primer estudio se contempla colocar un imán en una de las caras y hacer un estudio paramétrico en función de la corriente eléctrica inyectada del electrodo inferior al electrodo superior, midiendo perfiles de velocidad en puntos definidos para cada uno de los valores de corriente, Figura 5.1.3. a). En un estudio posterior se contempla la presencia de un segundo imán colocado en la cara paralela al primero con objeto de intensificar el mezclado del flujo, Figura 5.1.3. b). En este caso se simula el imán de 5.08 cm x 5.08 cm x 1.27 cm lado positivo, que cubre completamente la cavidad confinada con GaInSn, cabe mencionar que estas no serán las únicas configuraciones de imanes, más es solo una representación del acomodo y la posición de los imanes en el prototipo experimental, en capítulos posteriores se hará mención específica de los imanes a usar, así como sus medidas y caracterización.

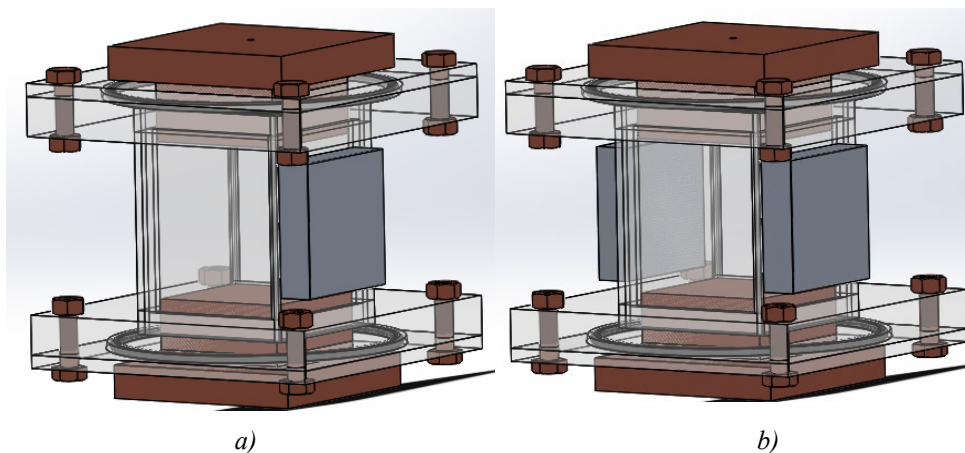


Figura 5.1.3. Prototipo experimental a) montaje con un imán, b) montaje con par de imanes.

5.2 Prototipo experimental

Tal como se mostró en la sección anterior el prototipo experimental real que se muestra en la Figura 5.2.1, cuenta con las mismas medidas que se muestran en la Figura 5.1.2. b), así como las mismas piezas. Está construido de acrílico, se seleccionó este material debido a que para este proyecto no es necesaria una superficie libre de ralladuras o completamente limpia como para técnicas ópticas de medición, además de que éste es aislante y no conductor eléctrico.

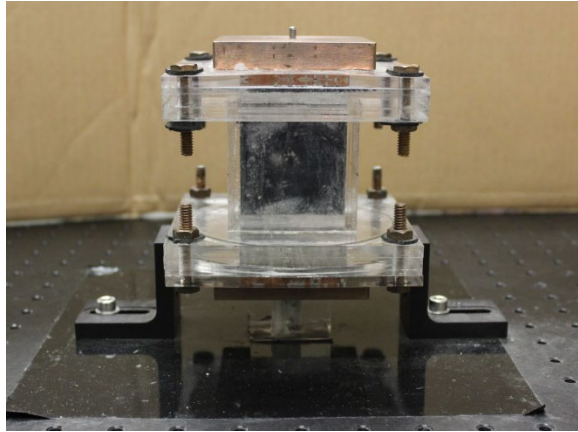


Figura 5.2.1. *Prototipo experimental confinado con GaInSn.*

El prototipo experimental está montado sobre una mesa óptica, ver Figura 5.2.2, con el fin de que se encuentre nivelada la superficie y por tanto poder obtener mediciones con menos porcentaje de error, se encuentra sujeto con dos soportes que están atornillados a la mesa óptica para no permitir el movimiento del prototipo y estar seguros de que medimos en los puntos específicos, para esto también se cuenta con dos mesas de posicionamiento 3D mostradas en la Figura 5.2.3, con los cuales podemos asegurar la posición específica en que los transductores del equipo UDV están midiendo, pues ya que son equipos con sistemas milimétricos .

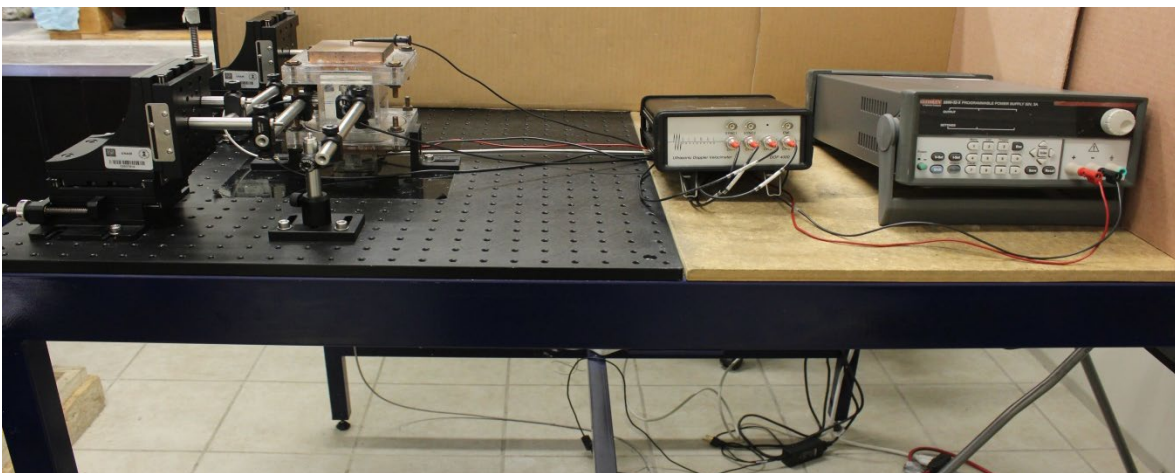


Figura 5.2.2. *Montaje del prototipo y los equipos a usar en las mediciones de perfiles de velocidad.*

La Figura 5.2.2 muestra el acomodo de cada uno de los equipos a utilizar como lo son la fuente de poder y el equipo DOP 4000 que más adelante serán descritos, así como la posición de los transductores, de los cuales 3 se colocan justo en la mitad de la cavidad pegados a una pared de la cavidad de forma perpendicular en profundidades de 0.6 cm, 3.1 cm y 5.6 cm, a lo largo de la pared.

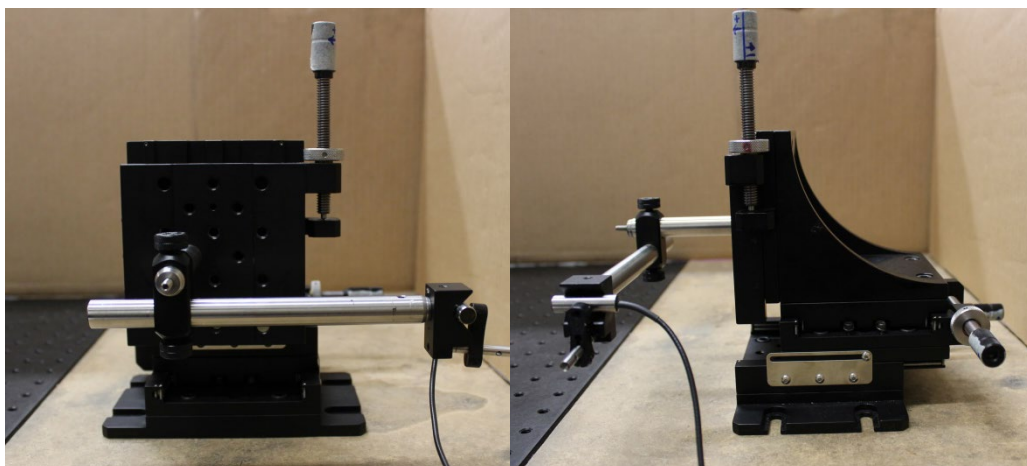


Figura 5.2.3. Mesa de posicionamiento 3D.

6. PARTE EXPERIMENTAL.

6.1 Campos magnéticos

El campo magnético juega un papel muy importante en el desarrollo de este proyecto dado que en conjunto con la corriente son los responsables de generar la fuerza Lorentz que provocar el movimiento del fluido, y cuanto más intenso el campo magnético se espera mayor fuerza, por tanto mayor movimiento.

En este proyecto en particular, se contempla usar pares de imanes de neodimio (NdFeB), Figura 6.1.1, con dimensiones de 2.54 x 2.54 x 1.27 cm y 5.08 x 5.08 x 1.27 cm, estas medidas se especifican en la Tabla 6.1.1 de acuerdo con el sistema de referencia para los imanes que se muestra en la Figura 6.1.2, también cuentan con intensidades de campo magnético que van desde 0.01 a 0.4 T aproximadamente, los campos magnéticos máximos en la componente x sobre la superficie de cada imán se muestran en la Tabla 6.1.1 de igual manera. Se contemplan cuatro configuraciones la primera con un solo imán C1 lado positivo, la segunda es un par de imanes C1 paralelos con polos opuestos, la tercera un solo imán C2 lado positivo y por últimos la cuarta con un par de imanes C2 de igual manera paralelos con polos opuestos.

Se designan C1 y C2 como tipos de imanes con el fin de diferenciar entre dos tamaños de éstos.

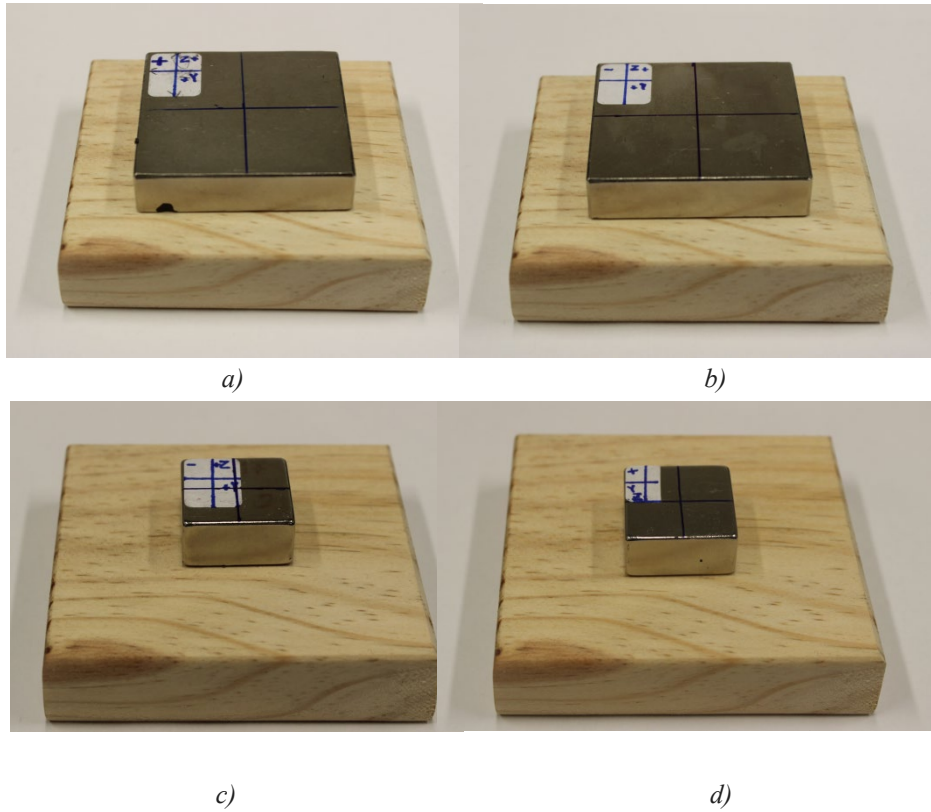


Figura 6.1.1. Imanes de neodimio (NdFeB), a) imán tipo C1 lado positivo, b) imán tipo C1 lado negativo, c) imán tipo C2 lado positivo, d) imán tipo C2 lado negativo.

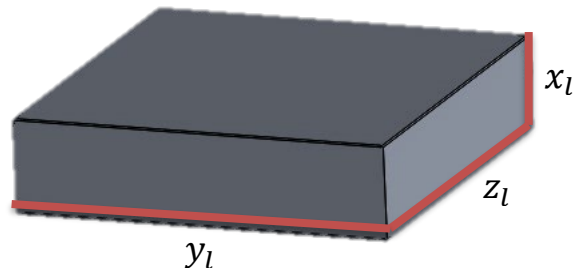


Figura 6.1.2. Eje de referencia para imanes.

Imán	x_l [cm]	y_l [cm]	z_l [cm]	$B_{X_{Max}}$ positivo [T]	$B_{X_{Max}}$ negativo [T]
C1	1.27	5.08	5.08	0.2317	-0.2329
C2	1.27	2.54	2.54	0.3498	-0.3211

Tabla 6.1.1. Dimensiones y campo magnético de imanes de neodimio (NdFeB) sobre su superficie.

Para medir el campo magnético de los imanes se usó el equipo Gauss/Tesla meter 8030 de la marca F. W. Bell, así como la sonda tridimensional (Z0A83-3208-10-T) de la misma marca, mostrados en la Figura 6.1.3.

Para poder hacer mediciones, es necesario identificar un eje de referencia, simulando la cavidad, en función del eje de referencia del imán, ver Figura 6.1.4, para que sean consistentes las mediciones en cada uno de los imanes y poder identificar con claridad que parte del imán y en qué posición será colocado en la cavidad.

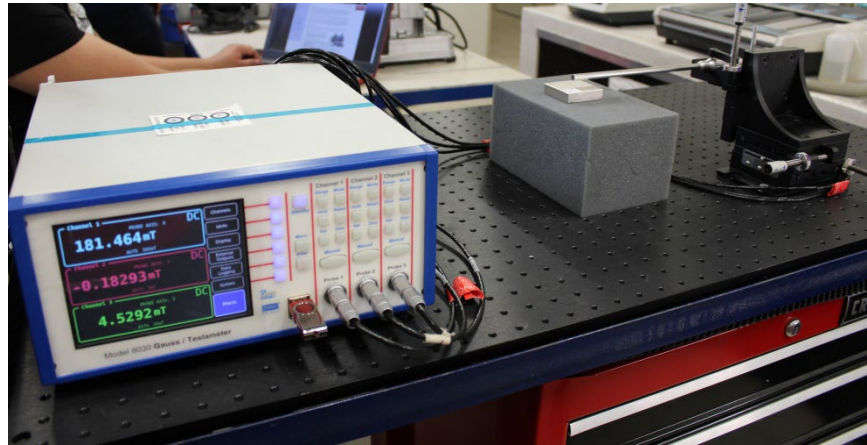


Figura 6.1.3. Equipo Gauss/Tesla meter 8030 montado para la medición de campos magnéticos.

Se hicieron mediciones en tres planos a lo largo del eje x el primero a 0.6 cm del imán esto simulando el espesor de la pared de la cavidad, el segundo a 3.15 cm lo que nos posiciona en el centro de la cavidad, y el último a 5.6 cm del imán, que corresponde a la otra pared de la cavidad.

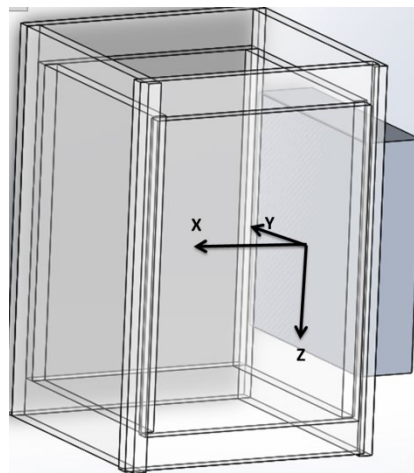


Figura 6.1.4. Eje de referencia para la cavidad a partir del eje de referencia del imán.

En la medición del campo magnético de los tres planos elegidos sobre el eje x del imán se obtuvieron los resultados mostrados en la Gráfica 6.1.1, para el imán C1 lado positivo donde la línea roja representa la intensidad del campo magnético en la componente x, que para nuestro estudio es la más relevante pues ya que nos muestra como decae el campo magnético conforme la profundidad de la cavidad aumenta, se observa que se tiene un campo magnético de alrededor de 0.18 T en el primer plano que es a 0.6 cm de la superficie del imán, lo que nos indica que ha caído un 20% aproximadamente desde la superficie, para el caso del segundo plano estudiado que es a 3.1 cm se observa un campo magnético de aproximadamente 0.05 T que corresponde a una caída del 78% de la intensidad del campo y por último para el plano a 5.6 cm de la superficie se registra un campo magnético de 0.01 T con una caída del 95% aproximadamente, las líneas de color verde y azul representan la magnitud de campo magnético en las componentes y y z, respectivamente, se observa que son muy constantes y de valores muy bajos lo que indica que el campo es muy uniforme. Caso similar se presenta en el lado negativo para el imán tipo C1, podemos observar en la Gráfica 6.1.2, que para este imán estaremos trabajando con una intensidad de campo magnético de -0.19 T en el plano a 0.6 cm de la superficie, -0.05 T para el centro de la cavidad y -0.01 T para la otra pared de la cavidad que se encuentra más alejada de la posición del imán.

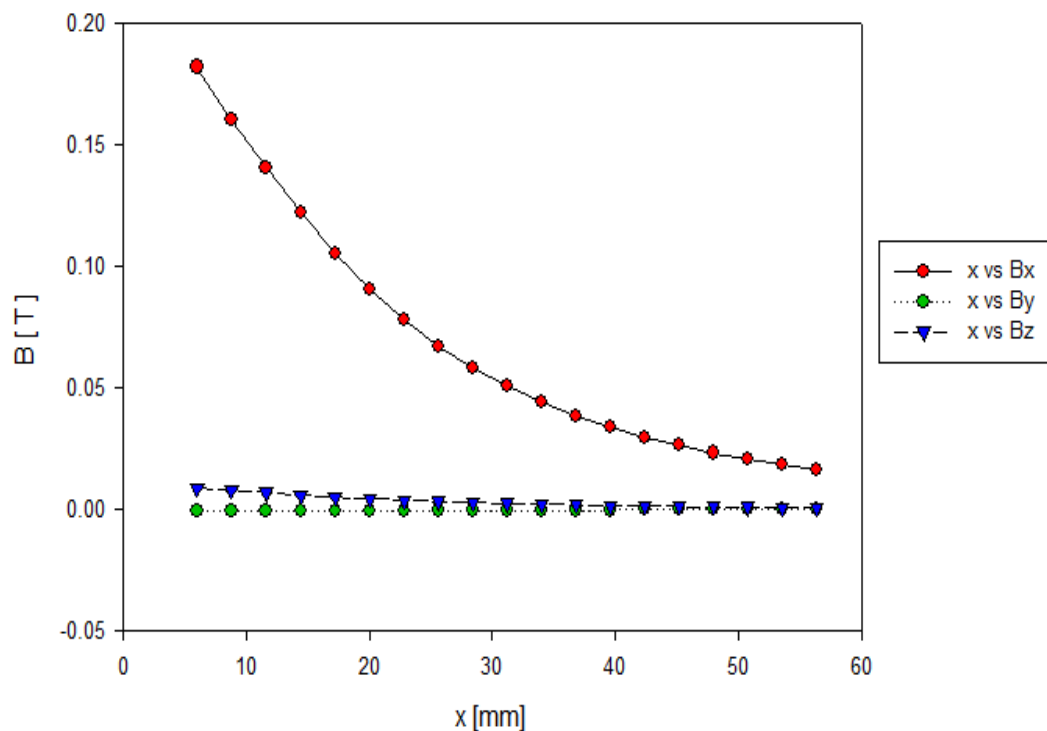


Gráfico 6.1.1. Intensidad de campo magnético para el imán tipo C1 lado positivo.

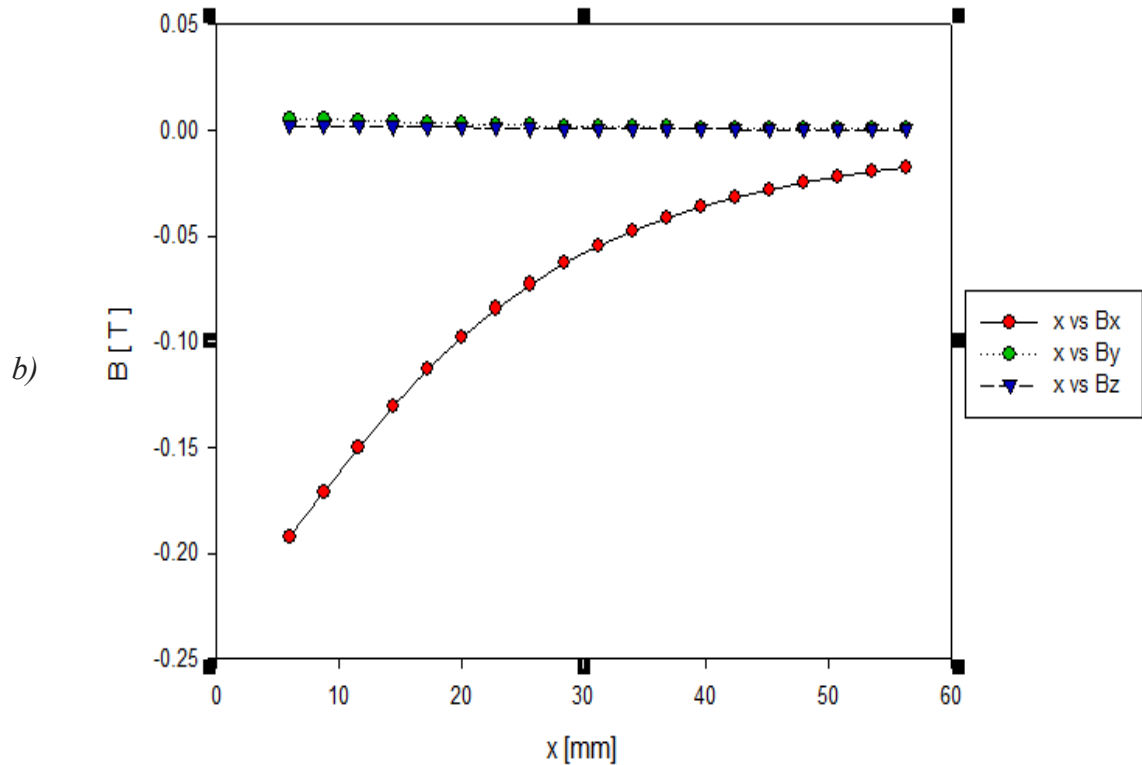


Gráfico 6.1.2. Intensidad de campo magnético para para el imán tipo C1 lado negativo.

De manera análoga se analiza la intensidad de campo magnético de los imanes tipo C2 a lo largo del eje x y en los 3 planos, obteniendo campos magnéticos que se muestran en la Tabla 6.1.2.

Imán	Plano 1 [0.6 cm]	Plano 2 [3.1 cm]	Plano 3 [5.6 cm]
C2 positivo	0.16 T	0.02 T	0.005 T
C2 negativo	-0.13 T	-0.016 T	-0.005 T

Tabla 6.1.2. Campo magnético de imanes tipo C2 a lo largo del eje x en los planos para 0.6 cm, 3.1 cm y 5.6 cm de la superficie del imán.

Para cada plano también se midieron los campos magnéticos a lo largo de los ejes y y z para cada tipo de imán, en las Gráficas 6.1.3, 6.1.4 y 6.1.5, se observa la comparación de los campos magnéticos de las componentes x, y y z para los imanes tipo C1 lado positivo contra lado negativo, de acuerdo a los colores de las líneas en cada gráfica se especifica la componente del campo magnético que se representa. Los imanes son muy simétricos en los

resultados de campo magnético de acuerdo a estas gráficas, para por lo que se espera una fuerza muy simétrica en el caso de estos ejes.

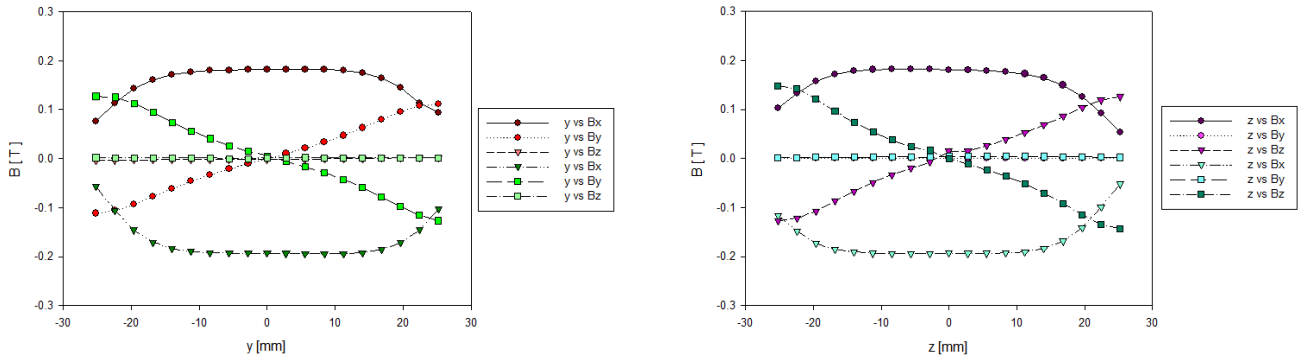


Gráfico 6.1.3. Comparación de la intensidad de campo magnético entre el lado positivo y negativo de las imanes tipo C1 en el plano a 0.6 cm, a) eje y , b) eje z .

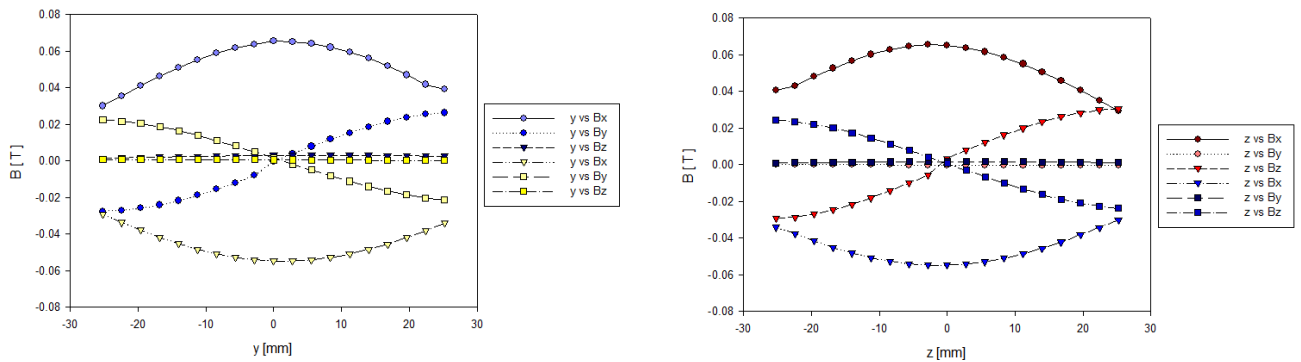


Gráfico 6.1.4. Comparación de la intensidad de campo magnético entre el lado positivo y negativo de las imanes tipo C1 en el plano a 3.1 cm, a) eje y , b) eje z .

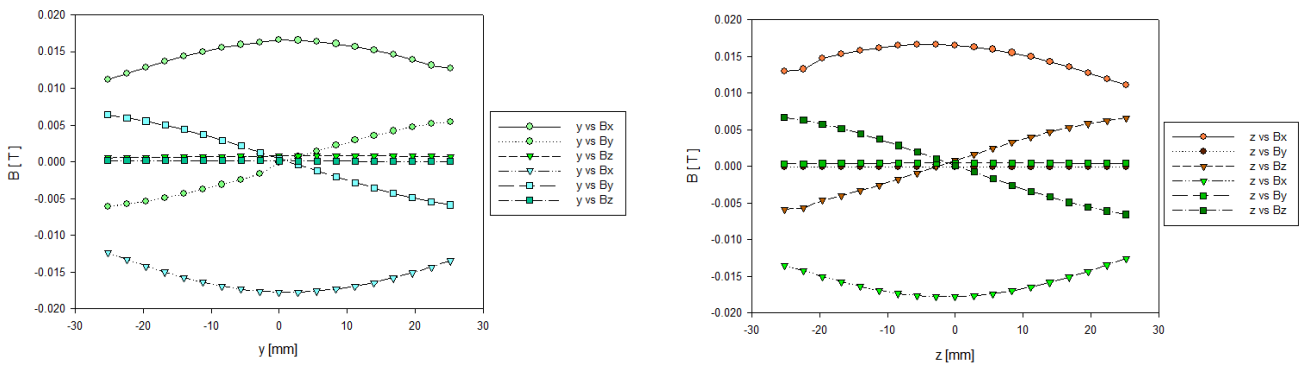


Gráfico 6.1.5. Comparación de la intensidad de campo magnético entre el lado positivo y negativo de las imanes tipo C1 en el plano a 5.6 cm, a) eje y , b) eje z .

6.2 Corriente eléctrica

Como ya se hizo mención la corriente eléctrica juega un papel importante al igual que el campo magnético pues en conjunto y en presencia de un fluido conductor podemos generar movimiento del fluido debido a la fuerza de Lorentz.

Como suministro de corriente eléctrica usaremos la fuente de poder modelo 2200-32-3 de la marca KEITHLEY, la cual tiene una capacidad de corriente en el intervalo de 1 mA hasta 3 A y de 0 a 32 V.

6.2.1 Mediciones de corriente, voltaje y resistencia.

Para poder medir el voltaje, se utilizará una interfaz realizada en el programa Labview 2015, esto con la finalidad de poder manipular la fuente de manera automática mediante una PC o laptop, posteriormente se calculará la resistencia.

En la Figura 6.2.1 podemos observar la ventana de la interfaz en la que se especifican los parámetros con que la fuente trabajará, como son: tiempo de emisión de corriente, periodo de tiempo entre el que estará guardando mediciones de voltaje y por último donde será guardado el archivo.

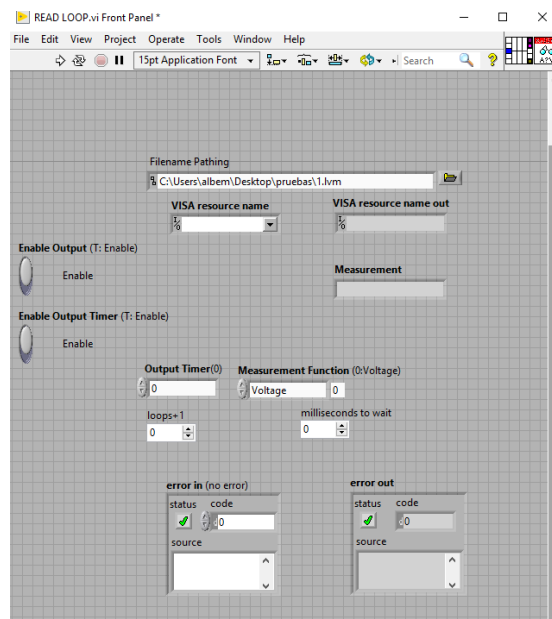
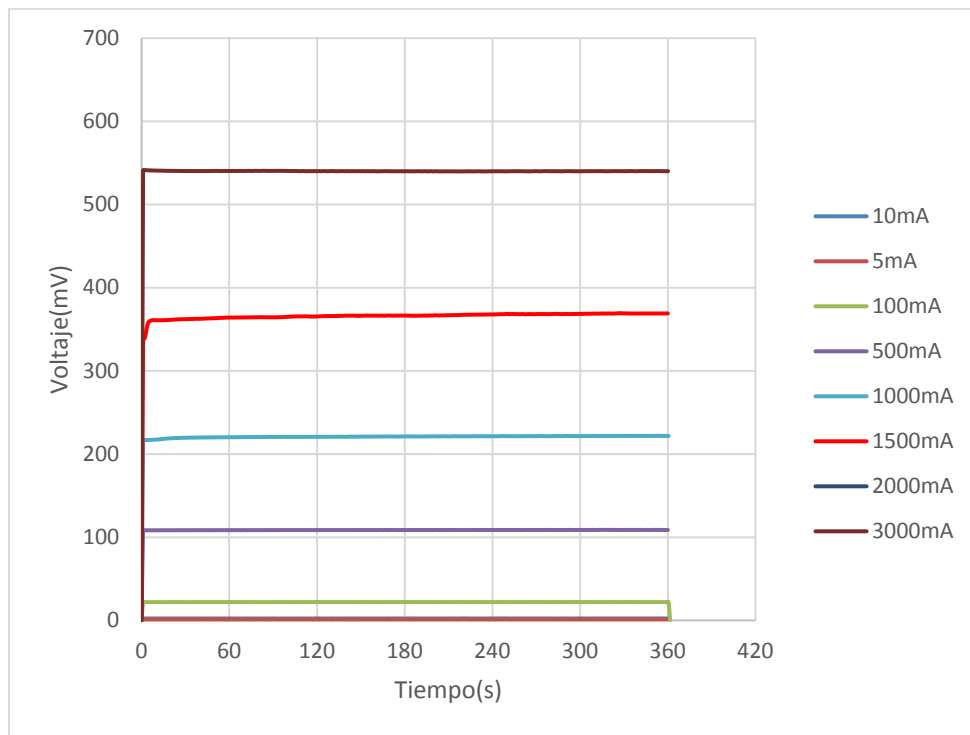


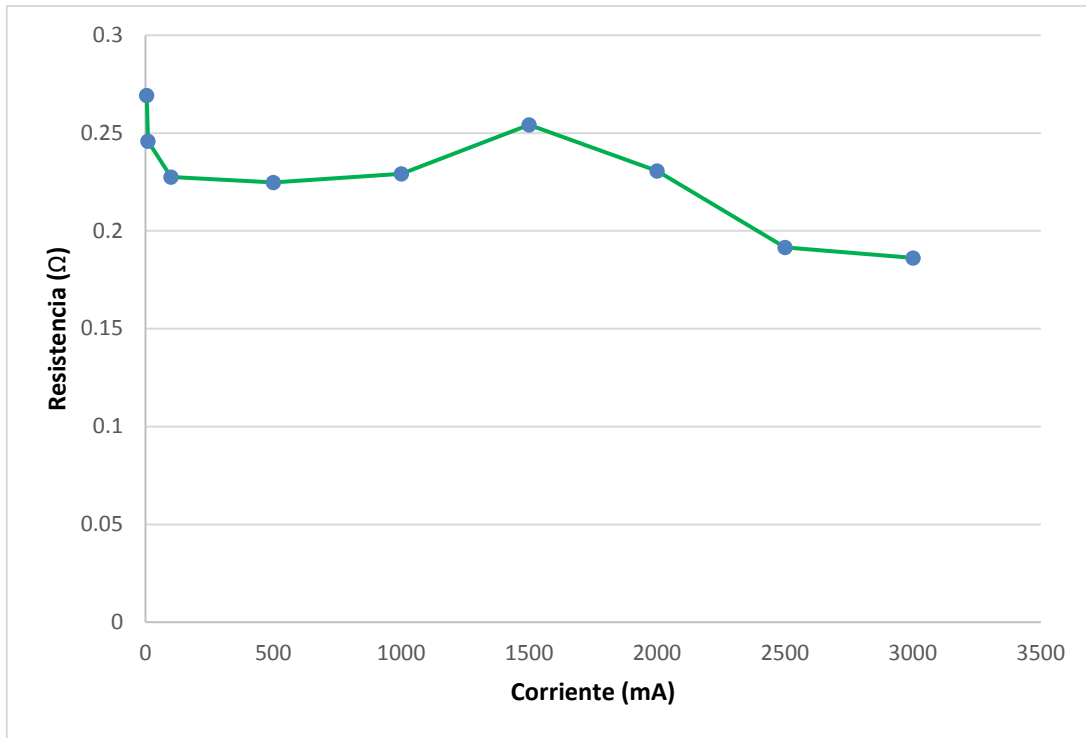
Figura 6.2.1. Pantalla de interfaz de Labview para medición automática de voltaje.

Se estará trabajando con corrientes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 A. Se han realizado algunas pruebas previas con estas corrientes para conocer un rango de voltajes y resistencias esperados para nuestro sistema experimental, bajo la influencia del campo magnético provocado por el imán C1 positivo, como se observa en la Gráfica 6.2.1 que muestra el voltaje en función del tiempo para diferentes corrientes, a mayor corriente hay mayor voltaje pero este es constante a lo largo del tiempo.



Gráfica 6.2.1. Voltaje bajo la influencia del imán C1 lado positivo.

La resistencia para estos casos la podemos ver en la Gráfica 6.2.2, observamos que hay cierta variación en la resistencia esto puede ser adjudicado a que el fluido se encuentra en movimiento o a las partículas suspendidas en el fluido, ya que éste no es puro y puede presentar partículas de óxido.



Gráfica 6.2.2. Resistencia bajo la influencia del imán C1 lado positivo.

6.3 Velocímetro ultrasónico Doppler.

Las mediciones se realizan utilizando el dispositivo Doppler DOP 4000 (Signal Processing SA), mostrado en la Figura 6.3.1, equipado con transductores de 4, 8 y 10 MHz de frecuencia ultrasónica y con un diámetro piezoeléctrico de 5 mm.



Figura 6.3.1. Dispositivo Doppler DOP 4000

El equipo DOP 4000 cuenta con su propio software para la manipulación y obtención de datos, en la Figura 6.3.2 se muestra el software UDOP 604_2.

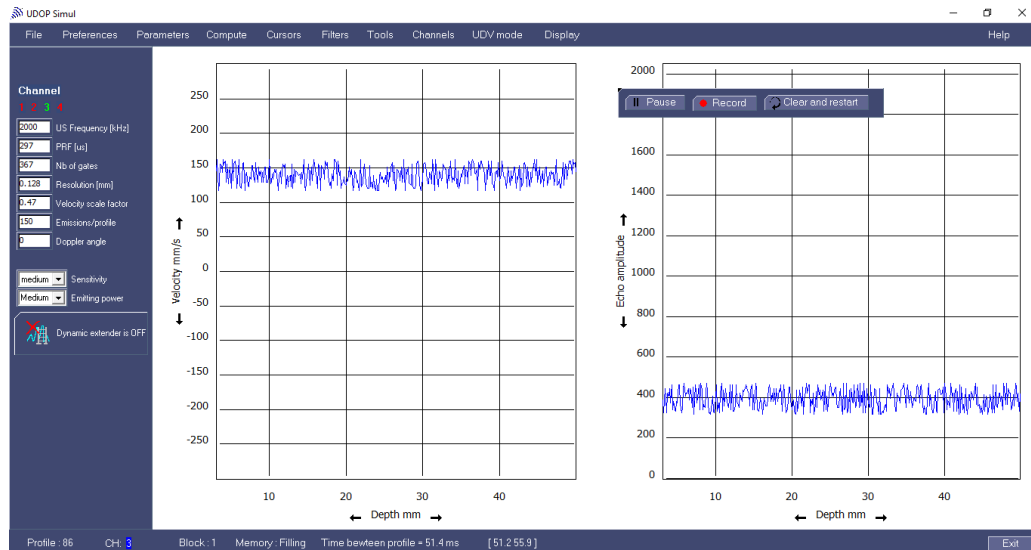


Figura 6.3.2. Software UDOP 604_2.

Para realizar un primer acercamiento con el equipo DOP 4000, se realizó la medición del perfil de velocidad para el caso en que se usaron dos transductores colocados a la misma distancia pero en caras paralelas del prototipo experimental (en la pared del prototipo, cerca del imán y a la mitad de la cavidad) ver Figura 6.3.3, esto con el fin de corroborar que cuando el fluido se aleja de los transductores se muestra un perfil de velocidad positivo y caso contrario, cuando se acerca a los transductores el perfil de velocidad es negativo, sabiendo esto, se debe obtener un gráfico donde se muestre los dos perfiles de velocidad en la misma magnitud de velocidad pero en sentido contrario.

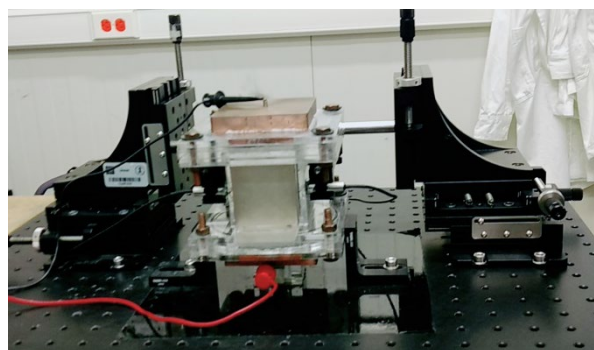


Figura 6.3.3. Prototipo experimental con dos transductores bajo la influencia del imán C1 lado positivo.

También se consideró una corriente de 3 A, simulando el proceso de carga de la batería, y para el campo magnético, se colocó el imán C1 con una intensidad de campo magnético aproximado de 0.2T.

Se logró observar que el comportamiento de los perfiles de velocidad fue exactamente el esperado, como se puede ver en la Figura 6.3.4, y obtuvimos que bajo esas condiciones se presenta un perfil de velocidad aproximadamente de 4 mm/s, usando transductores de 8 MHz.

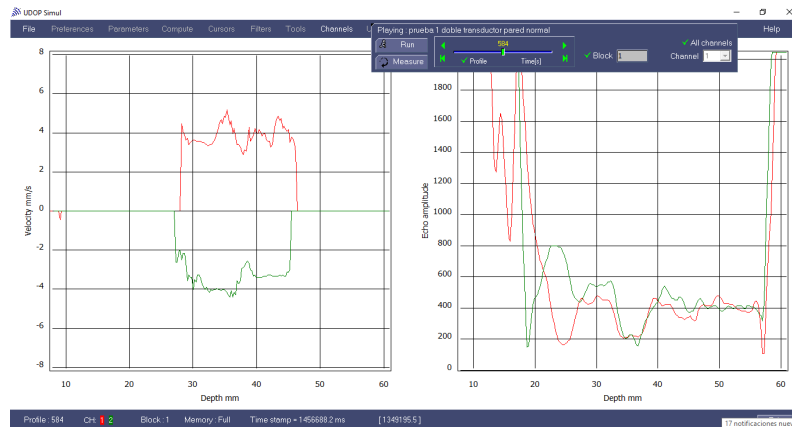


Figura 6.3.4. Perfil de velocidad y eco usando dos transductores en el prototipo experimental de GaInSn.

6.4 Mediciones de UDV.

Una vez teniendo conocimiento de cómo realizar mediciones con el equipo DOP 4000, se analizó como primer caso la medición del perfil de velocidad para una corriente de 3 A, simulando el proceso de carga de una batería, es decir la corriente se inyectó de manera axial al prototipo y bajo la influencia del campo magnético del imán C1 lado positivo colocado en una de las caras del prototipo experimental, ver Figura 6.4.1.

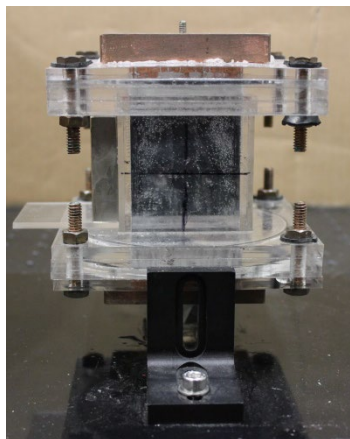


Figura 6.4.1. Imán C1 lado positivo en una cara del prototipo experimental.

Se usaron 4 transductores de 8 MHz de frecuencia ultrasónica como se muestra en la Figura 6.4.2, tres en una cara perpendicular a la cara donde se colocó el imán y un último transductor en la cara paralela al imán, ver Figura 6.4.3. Esto con el fin de poder tener un mayor ángulo de visión del movimiento dentro de la cavidad, para comprender mejor el fenómeno, para que no haya interferencia en las mediciones es necesario colocar gel conductivo en los transductores, ya que no hacen contacto directo con el fluido (Figura 6.4.4).



Figura 6.4.2. *Transductor de 8 MHz de frecuencia ultrasónica y 5 mm de diámetro piezoeléctrico*

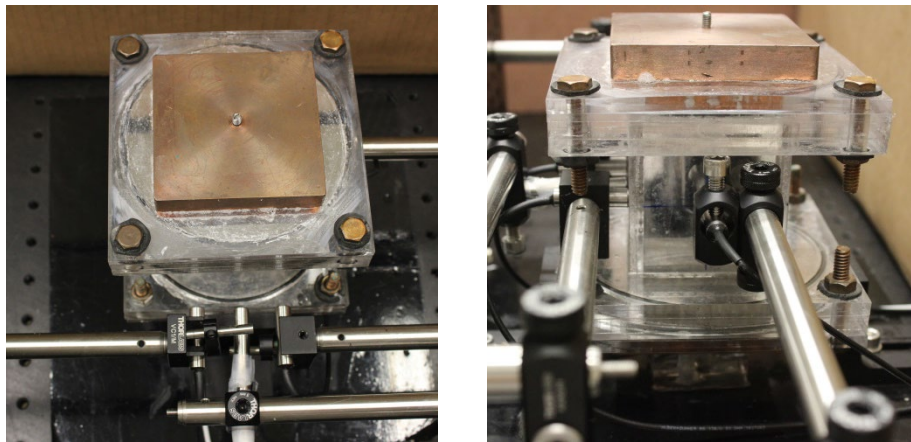


Figura 6.4.3. *Posición de los transductores en las caras de la cavidad experimental.*

Una vez colocados los transductores con la ayuda del software UDOP 406_2 se ajustan los parámetros para cada transductor y se procede a realizar la medición de los perfiles de velocidad, encendiendo la fuente de poder con la ayuda del interfaz de Labview y de manera simultánea se mide el voltaje. En la Figura 6.4.5 podemos observar todo el montaje experimental sobre la mesa óptica y todo el equipo necesario.



Figura 6.4.4. *Gel conductivo.*

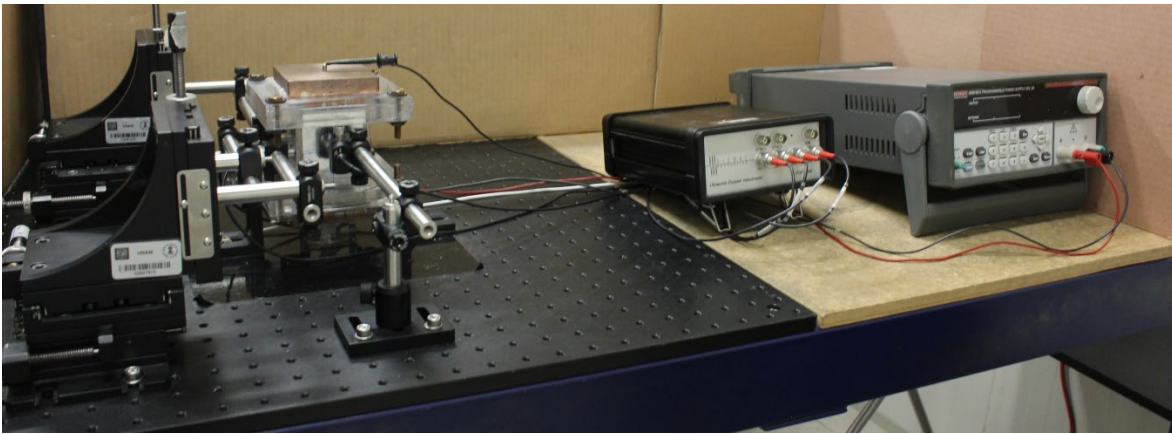


Figura 6.4.5. *Montaje experimental en una mesa óptica.*

Se mide por 6 minutos, cuidando que no haya vibraciones cerca que puedan perturbar la medición, una vez obtenidos los datos de los perfiles de velocidad se procede a analizarlos y de igual forma se grafican los voltajes obtenidos y la resistencia.

7. RESULTADOS PRELIMINARES

De este primer caso de estudio podemos concluir que el perfil de velocidad que reporta el transductor más pegado al imán en la parte central de la cavidad es de 4 mm/s aproximadamente y como esta es positiva nos indica que la recirculación se aleja del transductor, ver Gráfica 7.1.1, el perfil que reporta el transductor más alejado del imán es un perfil el cual presenta vórtices como se puede ver en la Gráfica 7.1.2, debido a que da un cambio de perfiles de positivos a negativo. Podemos apreciar en la Gráfica 7.1.3 cómo se comporta el perfil de velocidades a lo largo del tiempo y en cada punto de la cavidad, se muestra un comportamiento muy uniforme. También observamos en el Gráfica 7.1.4 los voltajes obtenidos y presentan un comportamiento muy similar al esperado.

Cabe señalar que aún faltan muchas mediciones pero esto nos da una idea de los perfiles que podremos estar obteniendo y el comportamiento dentro del fluido.

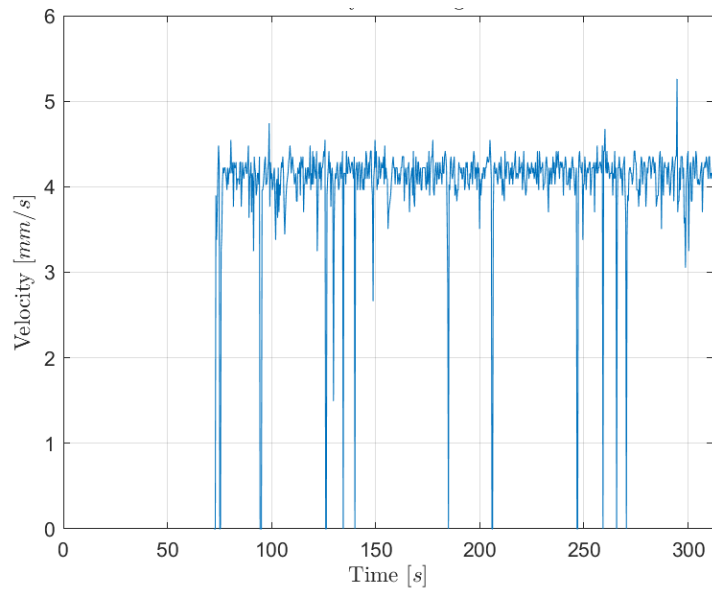


Gráfico 7.1.1. Perfil de velocidad para transductor 1 en el caso de estudio 1 dependiente del tiempo y en la parte central de la cavidad.

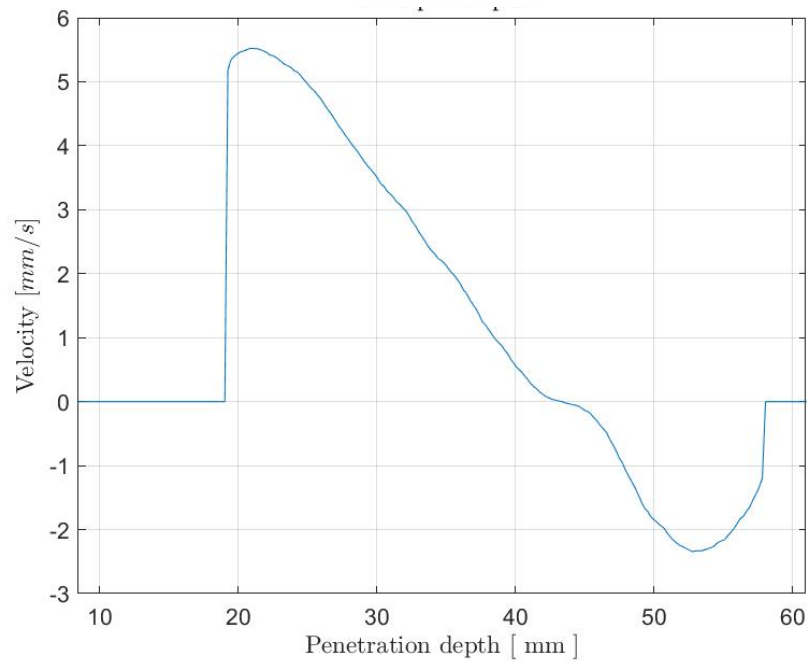


Gráfico 7.1.2. Perfil de velocidad para caso de estudio 1 dependiente de la profundidad, transductor 3.

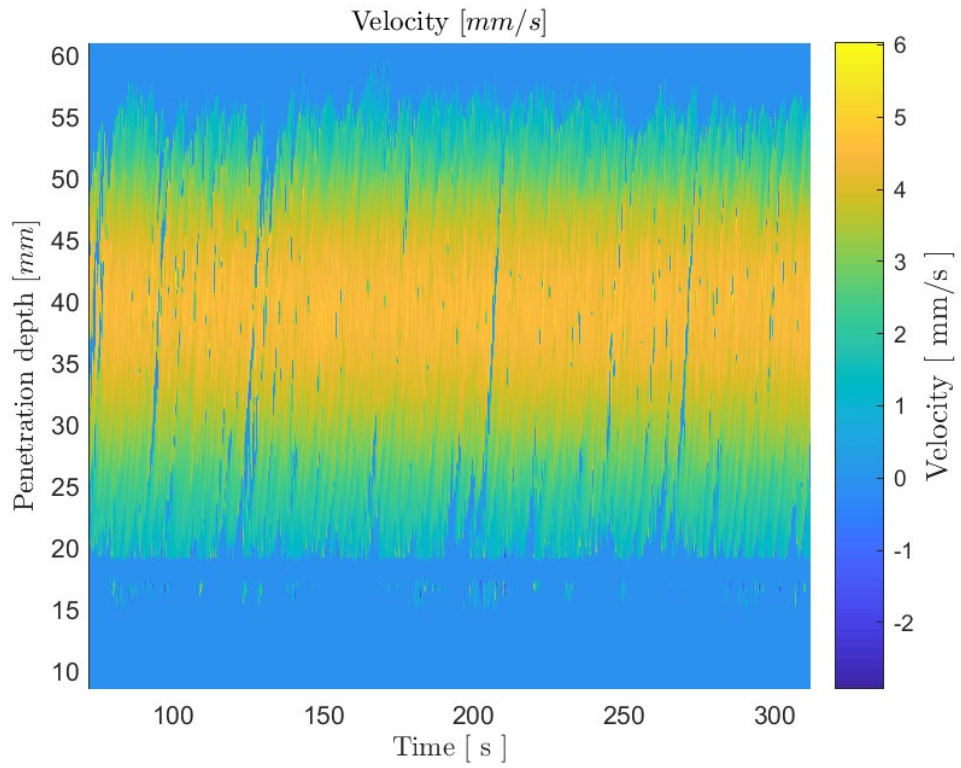


Gráfico 7.1.2. Perfil de velocidad para caso de estudio 1 dependiente del tiempo y la profundidad, transductor 1.

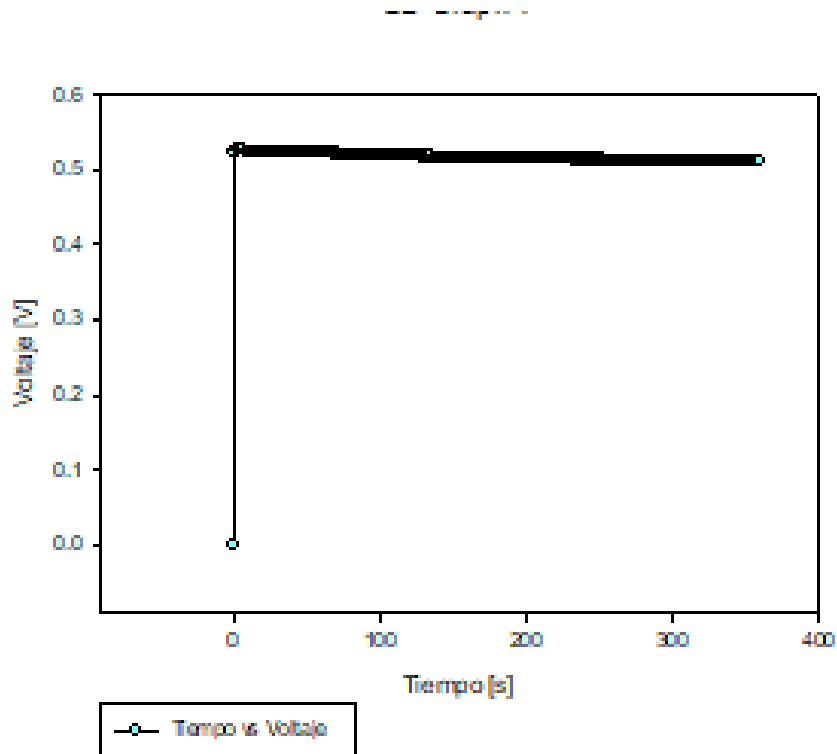


Gráfico 7.1.2 Voltajes para el caso 1.

Cronograma de actividades

Febrero	<ul style="list-style-type: none">• Ajuste de los transductores al prototipo experimental.• Identificación de parámetros para los transductores del UDV.• Mediciones de perfiles de velocidad para un imán C1 lado positivo a 3 A de corriente usando 4 transductores.• Análisis de datos del UDV y voltaje.• Redacción de tesis.
Marzo <u>Etapa actual</u>	<ul style="list-style-type: none">• Mediciones de perfiles de velocidad con el imán C1 usando 4 transductores y corrientes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 A• Análisis de datos de UDV, voltaje y resistencia.• Mediciones de perfiles de velocidad con par de imanes C1 usando 3 transductores y corrientes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 A• Análisis de datos• Redacción de tesis
Abril	<ul style="list-style-type: none">• Realizar mediciones anteriores en caso de ser requerido• Mediciones de perfiles de velocidad con el imán C2 usando 4 transductores y corrientes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 A• Análisis de datos de UDV, voltaje y resistencia.• Redacción de tesis• Asistencia al 7º simposio de estudiantes asociados al IIM y la 5ta reunión del capítulo estudiantil IIM-SMM
Mayo	<ul style="list-style-type: none">• Realizar mediciones anteriores en caso de ser requerido• Mediciones de perfiles de velocidad con par de imanes C2 usando 3 transductores y corrientes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 A• Análisis de datos• Comparación entre mediciones de perfiles de velocidad obtenidas con UDV y PIV.
Junio	<ul style="list-style-type: none">• Realizar mediciones anteriores en caso de ser requerido• Reportar resultados en la tesis• Análisis de datos• Comparación entre mediciones de perfiles de velocidad obtenidas con UDV y PIV.
Julio	<ul style="list-style-type: none">• Reportar todos los resultados y parte experimental a la tesis.
Agosto	<ul style="list-style-type: none">• Asistir a la escuela de materiales en el IIM-UNAM, Morelia.• Asistencia al XXVIII International Materials Research Congress• Redacción de tesis
Septiembre	<ul style="list-style-type: none">• Redacción de tesis
Octubre	<ul style="list-style-type: none">• Borrador final de tesis
Noviembre	<ul style="list-style-type: none">• Solicitud de titulación

Bibliografía.

Ambri. (2013). Liquid metal battery cell technology.

Changsha santech materials co., l. (2017). *Gallium indium tin alloy*. China.

Kelley, d. H. (2014). Mixing in a liquid metal electrode.

Schumacher, j. (2017). Local lorentz force and ultrasound doppler velocimetry in a vertical convection liquid metal flow.



Dr. Alberto Beltrán Morales

Tutor principal