



TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MAGNÉTICO DE
ESPIRAS RECTANGULARES PARA LA TRANSMISIÓN
DE INFORMACIÓN DE CORTO ALCANCE EN
SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE**

AUTOR:

JOSÉ HUMBERTO ARROYO NÚÑEZ



DIRECTOR:

DR. ANTONIO MOCHOLÍ SALCEDO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS DOCTORAL

**Estudio del comportamiento magnético de espiras
rectangulares para la transmisión de información de
corto alcance en sistemas inteligentes de transporte**

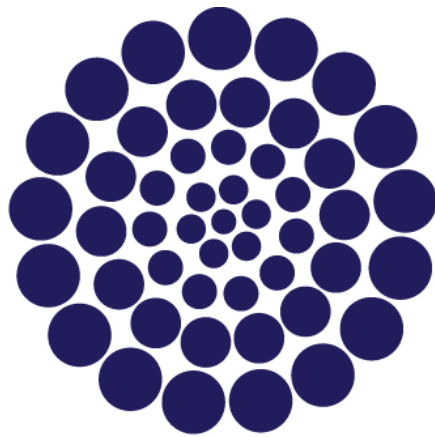
Autor:

José Humberto Arroyo Núñez

Director:

DR. ANTONIO MOCHOLÍ SALCEDO

Enero 2016



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

A la memoria de:

Dalia Constantino Espinoza

“Gracias por tus bendiciones y tu amor”

Agradecimientos:

Sistema de Control de Tráfico del Instituto ITACA

Al Dr. Antonio Mocholí Salcedo líder de investigación, quien me permitió ser parte de su grupo. Dentro de este grupo a Alexander Arroyo Núñez, Amalia García Amorós, Anna Betlem Tortajada Celda, Raymundo Barrales Guadarrama, Miguel Menéndez Carrión y Víctor Milián Sánchez, que me apoyaron en el desarrollo del trabajo de investigación y sobre todo por su solidaridad y amistad.

A Don Germán De Huertas Tarrazaga y Marivi Villalba Cebría, quienes nos adoptaron en Valencia como su familia Mexicana.

A mis padres Humberto Arroyo Constantino y Loli Núñez Ramírez, por todo su cariño y sabias enseñanzas que son parte de mí.

A mis hermanos Alex, Aní y Lupita por todo su cariño, respeto y ayuda que siempre me han brindado.

A Germán de Huertas Villalba por todo su apoyo y respaldo durante mi estancia en España.

A mis abuelos que han partido pero dejaron en mí un legado de valores que están siempre en mi corazón.

A mis tesoros más preciados mi hija Ainara y mi hijo Humberto.

Y a mi esposa Argelia González Coatl, quien me ha brindado su apoyo incondicional para poder concluir este trabajo.

Resumen

Estudio del comportamiento magnético de espiras rectangulares para la transmisión de información de corto alcance en sistemas inteligentes de transporte

El conjunto de aplicaciones informáticas y sistemas tecnológicos creados para mejorar la seguridad y eficiencia en el transporte terrestre (carreteras y ferrocarriles), facilitando la labor de control, gestión y seguimiento por parte de los responsables se conoce como Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS por sus siglas en inglés). Los ITS se han convertido en una necesidad, debido al crecimiento en el tráfico de vehículos que obliga a desarrollar estrategias para hacer mejor uso y sobre todo brindar seguridad a las personas que se desplazan por cualquier medio de transporte terrestre.

Los sistemas ITS incorporan las nuevas tecnologías para el control y la gestión de la circulación, que integran los sistemas de información y comunicación de los usuarios con la infraestructura, con los vehículos y con el resto los actores del tráfico (peatones, autoridades, empresas concesionarias de servicios,...). Estos sistemas ayudan a compartir información entre todos los elementos que involucran el sistema de transporte, logrando mayor seguridad vial, mejorando los tiempos de desplazamiento y por ende reduciendo el impacto ambiental.

Para poder desplazarse de manera eficiente a través de cualquier vía de comunicación terrestre, es necesario un sistema integral. Este sistema requiere identificar el tipo de vehículos que se encuentran sobre la vía y compartir información entre dichos vehículos y la infraestructura.

Para establecer la comunicación entre vehículos e infraestructura, es necesaria una comunicación inalámbrica. Incorporar como medio de comunicación los sistemas móviles, implica un coste relativamente alto debido al cobro del tiempo aire. La otra posibilidad es la utilización de sistemas de comunicación de corto alcance dedicados, que están exentos del cobro de tiempo aire, pero que requieren una inversión inicial relativamente alta en la instalación del sistema.

Este trabajo de tesis plantea una alternativa de comunicación entre infraestructura y vehículos, utilizando como antenas las espiras magnéticas. Las espiras magnéticas son

dispositivos ampliamente utilizados en el mundo para la detección de vehículos, debido a su bajo coste de mantenimiento y su gran durabilidad.

La primera etapa del trabajo plantea el estudio del campo magnético generado por espiras rectangulares y su validación con datos experimentales. Para este análisis se desarrolló un simulador que permite conocer la distribución del campo magnético generado por una espira magnética.

La segunda etapa consistió en analizar y plantear un modelo que permitiría calcular el nivel de tensión que podría transmitirse entre dos espiras, una emisora y la otra receptora. La simulación fue comparada con valores experimentales.

Con los resultados antes expuestos se tiene una herramienta para el diseño de espiras, teniendo control de variables como su dimensión, número de vueltas, corriente de alimentación, separación entre espiras y frecuencia de la señal. Esta herramienta ayuda a predecir el nivel de señal captada y con este dato establecer el diseño del circuito de recepción.

En la tercera etapa, basados en los resultados de la simulación se diseñó un sistema de comunicación de corto alcance, utilizando la inducción magnética como medio para la transferencia de información, entre dos espiras. Con lo que se comprobó que es posible la comunicación de corto alcance, en un área restringida y sin radiar señal que interfiera con otros sistemas.

Las espiras magnéticas son dispositivos que se encuentran instalados en muchas autovías, por lo que una comunicación de corto alcance utilizando estos dispositivos no requiere de mayor inversión en su instalación, salvo el circuito de comunicación, que se añade a la funcionalidad existente hoy día en los controladores de espiras magnéticas. Al mismo tiempo en la tesis, también se analizó la utilización de espiras magnéticas hechas con cable plano, lo que abre la posibilidad de utilizar espiras móviles.

La comunicación de corto alcance utilizando espiras magnéticas, plantea una solución de comunicación entre vehículos e infraestructura de bajo coste. Esta característica permite que sea fácil de implementar en un mayor número de puntos. Asimismo, debido a que la

comunicación se hace por acoplamiento de campo magnético, las condiciones climatológicas no tendrían un efecto significativo en la transmisión.

De los resultados de esta investigación se han publicado y presentado los siguientes trabajos:

- “Magnetic Field Generated by the Loops Used in Traffic Control Systems”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Enviado Noviembre 2015. (Aceptado para publicación).
- “Traffic Control Magnetic Loops Electric Characteristics Variation Due to the Passage of Vehicles Over Them”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Enviado Enero 2016.
- Data transmission between magnetic loops. (ITACA-WIICT 2015). España ISBN 978-84-608-4139-5.
- Levels of induced voltage between rectangular magnetic loops. (ITACA-WIICT 2014). España. ISBN: 9788469711668.
- Voltaje inducido entre espiras magnéticas rectangulares. (7° Encuentro de Investigación Congreso Internacional de Ciencia, Innovación y Tecnología). 2014. México.
- Comunicación Inalámbrica de corto alcance. (5° Encuentro de Investigación). 2012. México. ISBN: 978-607-95742.
- Campo magnético generado por líneas conductoras de corriente eléctrica. (4° Encuentro nacional de investigación). 2011. ISBN: 978-607-95742-0-8.
- Communication Between Magnetic Loops. (16th World Road Meeting). 2010. Portugal. Proceedings.
- Estudio Teórico del Campo Magnético y Perfil Magnético Real de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico. (SAAEI 08). España ISBN: 978-84-96997-05-9
- Estudio Teórico y Práctico del Comportamiento de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico. (Ciencia y Tecnología en la Frontera). 2008. México. ISBN: 1665-9775.
- Aplicación del RFID para la identificación de vehículos. (Jornada CRIA: TICs Y LOGÍSTICA EN EL SECTOR DEL AUTOMÓVIL). 2008. España.

- Sistemas Sensores Empleados en ITS. (VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte). 2007. España.
- Los Sistemas RFID y WAVE para Comunicaciones en Entornos ITS. (VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte). 2007. España.

Resum

Estudi del comportament magnètic d'espines rectangulars per a la transmissió d'informació de curt abast en sistemes intel·ligents de transport

El conjunt d'aplicacions informàtiques i sistemes tecnològics creats per millorar la seguretat i eficiència en el transport terrestre (carreteres i ferrocarrils), per tal de facilitar la tasca de control, gestió i seguiment per part dels responsables, es coneix com a Sistemes Intel·ligents de Transport (ITS per les seues sigles en anglès). Els ITS s'han convertit en una necessitat, a causa del creixement en el trànsit de vehicles que obliga a desenvolupar estratègies per fer-ne un millor ús i sobretot per brindar seguretat a les persones que es desplacen per qualsevol mitjà de transport terrestre.

Els sistemes ITS incorporen les noves tecnologies per al control i la gestió de la circulació, les quals integren els sistemes d'informació i comunicació dels usuaris amb la infraestructura, amb els vehicles i amb la resta dels actors del tràfic (vianants, autoritats, empreses concessionàries de serveis...). Aquests sistemes ajuden a compartir informació entre tots els elements que involucren el sistema de transport, aconseguint major seguretat vial, millors temps de desplaçament i per tant, un menor impacte ambiental.

Per poder desplaçar-se de manera eficient a través de qualsevol via de comunicació terrestre, és necessari un sistema integral. Aquest sistema requereix identificar el tipus de vehicles que es troben sobre la via i compartir informació entre aquests vehicles i la infraestructura.

Per a establir la comunicació entre vehicles i infraestructura, és necessària una comunicació sense fil. Incorporar com a mitjà de comunicació els sistemes mòbils, implica un cost relativament alt com a conseqüència del cobrament del temps aire. L'altra possibilitat és la utilització de sistemes de comunicació de curt abast dedicats, què estan exempts del cobrament de temps aire, però que requereixen una inversió inicial relativament alta en la instal·lació del sistema.

Aquest treball de tesi planteja una alternativa de comunicació entre infraestructura i vehicles, utilitzant com a antenes les espines magnètiques. Les espines magnètiques són

dispositius àmpliament utilitzats en el món per a la detecció de vehicles, a causa del seu baix cost de manteniment i la seua gran durabilitat.

La primera etapa del treball planteja l'estudi del camp magnètic generat per espines rectangulars i la seua validació amb dades experimentals. Per aquesta anàlisi es va desenvolupar un simulador que permet conèixer la distribució del camp magnètic generat per una espira magnètica.

La segona etapa va consistir a analitzar i plantejar un model que permetria calcular el nivell de tensió que podria transmetre's entre dues espines, una emissora i l'altra receptora. La simulació va ser comparada amb valors experimentals.

Amb els resultats abans exposats es té una eina per al disseny d'espines, tenint control de variables com la seua dimensió, nombre de voltes, corrent d'alimentació, separació entre espines i freqüència del senyal. Aquesta eina ajuda a predir el nivell de senyal captat i amb aquesta dada establir el disseny del circuit de recepció.

En la tercera etapa, basant-se en els resultats de la simulació, es va dissenyar un sistema de comunicació de curt abast, utilitzant la inducció magnètica com a mitjà per a la transferència d'informació entre dues espines, i es va comprovar que és possible la comunicació de curt abast, en una àrea restringida i sense radiar senyal que pugui interferir amb altres sistemes.

Les espines magnètiques són dispositius que es troben instal·lats en moltes autopistes, per la qual cosa una comunicació de curt abast utilitzant aquests dispositius no requereix major inversió en la seua instal·lació, excepte el circuit de comunicació, que s'afegeix a la funcionalitat existent avui dia als controladors d'espines magnètiques. Al mateix temps en la tesi, també es va analitzar la utilització d'espines magnètiques fetes amb cable pla, la qual cosa obri la possibilitat d'utilitzar espines mòbils.

La comunicació de curt abast utilitzant espines magnètiques, planteja una solució de comunicació entre vehicles i infraestructura, de baix cost. Aquesta característica permet que siga fàcil d'implementar en un major nombre de punts. Així mateix, a causa que la comunicació es fa per acoblament de camp magnètic, les condicions climatològiques no tindrien un efecte significatiu en la transmissió.

Dels resultats d'aquesta recerca s'han publicat i presentat els següents treballs:

- “Magnetic Field Generated by the Loops Used in Traffic Control Systems”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Enviado Noviembre 2015. (Aceptado para publicación).
- “Traffic Control Magnetic Loops Electric Characteristics Variation Due to the Passage of Vehicles Over Them”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Enviado Enero 2016.
- Data transmission between magnetic loops.(ITACA-WIICT 2015). España ISBN 978-84-608-4139-5.
- Levels of induced voltage between rectangular magnetic loops.(ITACA-WIICT 2014).España. ISBN: 9788469711668.
- Voltaje inducido entre espiras magnéticas rectangulares. (7° Encuentro de Investigación Congreso Internacional de Ciencia, Innovación y Tecnología). 2014. México.
- Comunicación Inalámbrica de corto alcance. (5° Encuentro de Investigación). 2012. México. ISBN: 978-607-95742.
- Campo magnético generado por líneas conductoras de corriente eléctrica. (4° Encuentro nacional de investigación). 2011.ISBN: 978-607-95742-0-8.
- Communication Between Magnetic Loops. (16th World Road Meeting). 2010. Portugal. Proceedings.
- Estudio Teórico del Campo Magnético y Perfil Magnético Real de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico.(SAAEI 08). EspañaISBN: 978-84-96997-05-9
- Estudio Teórico y Práctico del Comportamiento de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico. (Ciencia y Tecnología en la Frontera). 2008. México.ISBN: 1665-9775.
- Aplicación del RFID para la identificación de vehículos. (Jornada CRIA: TICs Y LOGÍSTICA EN EL SECTOR DEL AUTOMÓVIL). 2008. España.
- Sistemas Sensores Empleados en ITS. (VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte). 2007. España.
- Los Sistemas RFID y WAVE para Comunicaciones en Entornos ITS. (VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte). 2007. España.

Abstract

Study of the magnetic behavior of rectangular coils for the information transmission of short range in intelligent transport systems

The set of applications and technological systems created to improve safety and efficiency in land transport (road and rail), that facilitate the control, management and monitoring are known as Intelligent Transport Systems (ITS). ITS have become a necessity due to the growth in vehicle traffic that requires developing strategies to increase levels of security in people who move in any land transport system.

ITS systems incorporate the new technologies for traffic control and management, which integrate information and communication systems between users and infrastructure, vehicles and others (pedestrians, authorities, concessionaire's service ...). These systems help to share information between all the elements involved in the transport systems, getting greater road safety, improving travel times and reducing the environmental impact.

To move efficiently through any mode of land communication one needs an integrated system. This system requires to identify the type of vehicles which are on the road and to share information between these vehicles and infrastructure.

To establish communication between vehicles and infrastructure, wireless communication is required. But incorporating a mobile communication system is expensive. Another possibility is using a dedicated short-range communication system, which is exempted from service payment but requires a high initial investment for the installation.

This thesis presents a communication system between infrastructure and vehicles, using magnetic coils as antennas. Magnetic coils are world-wide used devices for vehicles detection due to its low maintenance and high durability.

In the first part of this work the study of the magnetic field generated by rectangular coils and their validation with experimental data is proposed. For this analysis a simulating software was developed. It allows to know the distribution of the magnetic field generated by a magnetic loop.

The second part consists in analyzing and proposing a model to calculate the voltage level that could be transmitted between two coils; the first coil is a transmitter and the other coil is a receiver. The simulation results were compared with experimental values.

The mentioned results are used for the design of coils. This tool allows handling variables such as size, number of turns, supply current, separation distance between coils and signal frequency. This tool also helps to predict the level of the sensed signal and to build the receiver circuit design.

In the third stage and based on the simulation results, a system of short-range communication was designed. For this purpose, magnetic induction, as a medium for transferring information between two magnetic loops was used. By this means it was noticed that the short-range communication, in a restricted area and without emitting radio signals that could interfere with other systems, is possible.

Magnetic loops are devices that are installed on many highways, so a short-range communication using these devices do not require further investment in its installation, except the communication circuit, which is currently added in magnetic loops controllers. In this thesis, the use of magnetic coils made of flat cable is also discussed, which opens the possibility of using mobile coils.

Short-range communication using magnetic loops proposes a low-cost solution for communication between vehicles and infrastructure. This feature is easy to implement in a greater number of points. Also, because the communication is achieved by means of magnetic fields coupling, the weather conditions would not have a significant effect on the transmission.

The results of this research have been published and presented in the following works:

- “Magnetic Field Generated by the Loops Used in Traffic Control Systems”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Enviado Noviembre 2015. (Aceptado para publicación).
- “Traffic Control Magnetic Loops Electric Characteristics Variation Due to the Passage of Vehicles Over Them”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Enviado Enero 2016.
- Data transmission between magnetic loops. (ITACA-WIICT 2015). España. ISBN 978-84-608-4139-5.
- Levels of induced voltage between rectangular magnetic loops. (ITACA-WIICT 2014). España. ISBN: 9788469711668.
- Voltaje inducido entre espiras magnéticas rectangulares. (7° Encuentro de Investigación Congreso Internacional de Ciencia, Innovación y Tecnología). 2014. México.
- Comunicación Inalámbrica de corto alcance. (5° Encuentro de Investigación). 2012. México. ISBN: 978-607-95742.
- Campo magnético generado por líneas conductoras de corriente eléctrica. (4° Encuentro nacional de investigación). 2011. ISBN: 978-607-95742-0-8.
- Communication Between Magnetic Loops. (16th World Road Meeting). 2010. Portugal. Proceedings.
- Estudio Teórico del Campo Magnético y Perfil Magnético Real de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico. (SAAEI 08). España ISBN: 978-84-96997-05-9
- Estudio Teórico y Práctico del Comportamiento de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico. (Ciencia y Tecnología en la Frontera). 2008. México. ISBN: 1665-9775.
- Aplicación del RFID para la identificación de vehículos. (Jornada CRIA: TICs Y LOGÍSTICA EN EL SECTOR DEL AUTOMÓVIL). 2008. España.
- Sistemas Sensores Empleados en ITS. (VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte). 2007. España.
- Los Sistemas RFID y WAVE para Comunicaciones en Entornos ITS. (VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte). 2007. España.

Índice

RESUMEN	viii
RESUM	xii
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 <i>EL PROBLEMA DE LA SEGURIDAD EN EL TRÁFICO DE VEHÍCULOS</i>	1
1.2 <i>DEFINICIÓN Y PROPÓSITO DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE (ITS)</i>	2
1.3 <i>LA NECESIDAD DE IDENTIFICAR Y COMPARTIR INFORMACIÓN ENTRE VEHÍCULOS E INFRAESTRUCTURA</i>	3
1.4 <i>EL PROBLEMA DE LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE VEHÍCULOS E INFRAESTRUCTURA</i>	3
1.5 <i>PROPUESTA GENERAL PARA EL DISEÑO DE UN MEDIO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE</i>	4
1.6 <i>COMUNICACIÓN INALÁMBRICA</i>	5
1.6.1 <i>Sistemas de comunicación utilizados en la modalidad V a I de largo alcance</i>	6
1.6.2 <i>Sistemas de comunicación utilizados en la modalidad V a I de corto alcance</i>	9
1.6.3 <i>Iniciativa para normalizar la modalidad DSRC en ITS</i>	11
REFERENCIAS	15
2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS	17
2.1 <i>ESPIRAS MAGNÉTICAS</i>	17
2.1.1 <i>Espiras magnéticas aplicadas en sistemas ITS</i>	17
2.1.1.1 <i>Introducción</i>	17
2.1.1.2 <i>Aplicación de las espiras magnéticas en la detección de vehículos</i>	20
2.1.1.3 <i>Clasificación de vehículos utilizando el perfil magnético detectado por las espiras</i>	21
2.1.2 <i>Sistemas de comunicación V2I e I2V mediante espiras magnéticas</i>	21
2.1.2.1 <i>Sistemas RFID</i>	22
2.2 <i>PROBLEMAS ENCONTRADOS</i>	28
2.3 <i>DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS</i>	28
2.4 <i>ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TESIS</i>	29
REFERENCIAS	31
3 MATERIALES, MÉTODOS Y RESULTADOS	33
3.1 <i>ANÁLISIS DE ESPIRAS MAGNÉTICAS DE GRANDES DIMENSIONES</i>	33
3.1.1 <i>Análisis teórico del campo magnético generado por espiras magnéticas rectangulares</i>	33
3.1.2 <i>Análisis del campo magnético en un punto debido a una espira rectangular doble</i>	42
3.1.3 <i>Relación de ensayos para la verificación del modelo del campo magnético generado por espiras magnéticas de grandes dimensiones</i>	48
3.1.3.1 <i>Espiras rectangulares</i>	48
3.1.3.2 <i>Espira doble</i>	48

3.1.3.3	<i>Espiras rectangulares hechas con cable plano</i>	49
3.1.4	<i>Materiales y métodos para la verificación del modelo teórico</i>	50
3.1.4.1	<i>Espiras rectangulares</i>	52
3.1.4.2	<i>Espira doble</i>	53
3.1.4.3	<i>Espiras rectangulares hechas con cable plano</i>	54
3.1.5	<i>Resultados</i>	56
3.1.5.1	<i>Espiras rectangulares</i>	56
3.1.5.2	<i>Espiras doble</i>	60
3.1.5.3	<i>Espiras rectangulares hechas con cable plano</i>	62
3.1.6	<i>Conclusiones</i>	113
3.2	<i>ANÁLISIS DEL ACOPLAMIENTO ENTRE ESPIRAS MAGNÉTICAS</i>	115
3.2.1	<i>Análisis teórico del acoplamiento magnético entre espiras rectangulares</i>	116
3.2.2	<i>Relación de ensayos para la verificación del modelo de acoplamiento entre espiras magnéticas</i>	127
3.2.3	<i>Materiales y métodos para la verificación del modelo teórico</i>	128
3.2.4	<i>Resultados</i>	129
3.2.5	<i>Conclusiones</i>	137
	REFERENCIAS	139
4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	141
4.1	<i>MODELO TEÓRICO DEL CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR ESPIRAS RECTANGULARES</i>	141
4.1.1	<i>Análisis de los resultados</i>	141
4.2	<i>ACOPLAMIENTO ENTRE ESPIRAS MAGNÉTICAS</i>	144
4.2.1	<i>Análisis de los resultados</i>	144
4.3	<i>DISCUSIÓN ACERCA DEL USO DE LAS ESPIRAS MAGNÉTICAS COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN, EN APLICACIONES ITS</i>	146
4.3.1	<i>Transmisión de datos para la implementación en sistemas ITS</i>	147
4.3.2	<i>Envío de datos alfanuméricos simulando la matrícula de vehículos</i>	153
	REFERENCIAS	157
5	CONCLUSIONES FINALES	159
5.1	<i>MODELO TEÓRICO DEL CAMPO MAGNÉTICO DE UNA ESPIRA RECTANGULAR</i>	159
5.2	<i>MODELO DE LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA ENTRES DOS ESPIRAS RECTANGULARES</i>	160
5.3	<i>DISEÑO DE ESPIRAS</i>	160
5.4	<i>SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE CORTO ALCANCE</i>	161
6	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	163
	REFERENCIAS	165
7	APORTACIONES	167

7.1	TRABAJOS COLATERALES DESARROLLADOS	167
7.2	PUBLICACIONES, TESIS Y PROYECTOS DE FIN DE CARRERA.....	167
7.2.1	Publicación en Revistas.....	168
7.2.2	Publicación en Memorias.....	169
7.2.3	Tesis Dirigidas Nivel Maestría.....	171
7.2.4	Proyectos de Fin de Carrera dirigidos	172
	REFERENCIAS	173

Índice de Figuras

Fig. 1.1 Perfil magnético de distintos vehículos detectado mediante espiras.	5
Fig. 1.2 Diagrama de bloques de los sistemas de comunicación ITS.	6
Fig. 1.3 Modos de comunicación aplicados en ITS.	9
Fig. 1.4 Aplicaciones donde se utiliza DSRC.....	10
Fig. 1.5 Arquitectura del ITS de Estados Unidos [22].....	12
Fig. 2.1 Campo magnético alrededor de una espira.....	17
Fig. 2.2 Flujo magnético para un solenoide (bobina).	18
Fig. 2.3 Circuito equivalente de una espira ubicada en la calzada.	20
Fig. 2.4 Valor inductivo vs. Frecuencia de medida.	20
Fig. 2.5 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento por retrodispersión.....	23
Fig. 2.6 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento cerrado.	24
Fig. 2.7 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento eléctrico.....	24
Fig. 2.8 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento inductivo.....	25
Fig. 3.1 Espira magnética y punto de análisis del campo magnético.	34
Fig. 3.2 $ B $ en un área de 4 x 4 metros a una altura de 0.50m.....	41
Fig. 3.3 $ B $ en un área de 1 x 1 metros a una altura de 0.50m.	42
Fig. 3.4 $ B $ en un área de 4 x 4 metros a una altura de 0.10m.....	42
Fig. 3.5 Espira magnética doble y punto de análisis del campo magnético.	44
Fig. 3.6 Exposure level tester ELT-400.	50
Fig. 3.7 Configuración del ELT-400.	51
Fig. 3.8 Valores de $ B $ para el ensayo 1, considerando el error del instrumento.	58
Fig. 3.9 Valores de $ B $ para el ensayo 2, considerando el error del instrumento.	60
Fig. 3.10 Valores de $ B $ para el ensayo 3, considerando el error del instrumento.	62
Fig. 3.11 Valores de $ B $ para el ensayo 4, considerando el error del instrumento.	64
Fig. 3.12 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.10m$	65
Fig. 3.13 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.10m$	66
Fig. 3.14 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	67
Fig. 3.15 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.10m$	68
Fig. 3.16 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.10m$	69
Fig. 3.17 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	70
Fig. 3.18 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.10m$	71
Fig. 3.19 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.10m$	72
Fig. 3.20 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	73
Fig. 3.21 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y $z = 0.10m$	74
Fig. 3.22 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y $z = 0.10m$	75
Fig. 3.23 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	76
Fig. 3.24 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.20m$	77
Fig. 3.25 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.20m$	78

Fig. 3.26 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	79
Fig. 3.27 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.20m.	80
Fig. 3.28 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.20m.	81
Fig. 3.29 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	82
Fig. 3.30 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.20m.	83
Fig. 3.31 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.20m.	84
Fig. 3.32 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	85
Fig. 3.33 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.20m.	86
Fig. 3.34 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.20m.	87
Fig. 3.35 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	88
Fig. 3.36 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.50m.	89
Fig. 3.37 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.50m.	90
Fig. 3.38 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	91
Fig. 3.39 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.50m.	92
Fig. 3.40 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.50m.	93
Fig. 3.41 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	94
Fig. 3.42 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.50m.	95
Fig. 3.43 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.50m.	96
Fig. 3.44 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	97
Fig. 3.45 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.50m.	98
Fig. 3.46 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.50m.	99
Fig. 3.47 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	100
Fig. 3.48 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 1m.	101
Fig. 3.49 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 1m.	102
Fig. 3.50 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	103
Fig. 3.51 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 1m.	104
Fig. 3.52 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 1m.	105
Fig. 3.53 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	106
Fig. 3.54 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 1m.	107
Fig. 3.55 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 1m.	108
Fig. 3.56 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	109
Fig. 3.57 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 1m.	110
Fig. 3.58 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 1m.	111
Fig. 3.59 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	112
Fig. 3.60 espira emisora y receptora.	115
Fig. 3.61 Ubicación de los puntos para realizar la integración doble sobre la espira receptora.	117
Fig. 3.62 Sección dentro de la espira receptora.	117

Fig. 3.63 Voltaje inducido con una altura de 0.50m.	122
Fig. 3.64 Voltaje inducido con una altura de 0.50m en un área central de 0.20 x 0.20m.	122
Fig. 3.65 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 1m.	123
Fig. 3.66 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje x.	124
Fig. 3.67 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 0.50m.	124
Fig. 3.68 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje x.	125
Fig. 3.69 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 0.10m.	125
Fig. 3.70 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje x.	126
Fig. 3.71 Osciloscopio TEKTRONIX modelo TDS 1012B.	128
Fig. 3.72 Generador de funciones modelo RIGOL DG4062.	128
Fig. 3.73 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.10m de separación entre las espiras.	131
Fig. 3.74 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.10m de separación entre las espiras.	131
Fig. 3.75 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.20m de separación entre las espiras.	132
Fig. 3.76 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.20m de separación entre las espiras.	133
Fig. 3.77 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.50m de separación entre las espiras.	134
Fig. 3.78 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.50m de separación entre las espiras.	134
Fig. 3.79 Comparación de los valores de voltaje inducido a 1m de separación entre las espiras.	136
Fig. 3.80 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 1m de separación entre las espiras.	136
Fig. 4.1 Comparación del porcentaje de error en función de la distancia.	143
Fig. 4.2 Variación del error promedio a una distancia de 1m en función de la corriente.	143
Fig. 4.3 Variación del porcentaje de error en el voltaje inducido a diferentes alturas.	145
Fig. 4.4 Modulación ASK [6].	148
Fig. 4.5 Etapa de emisión.	148
Fig. 4.6 Etapa de recepción.	148
Fig. 4.7 Esquema del circuito de emisión.	149
Fig. 4.8 Esquema del circuito de recepción.	149
Fig. 4.9 Circuito de emisión.	150
Fig. 4.10 Circuito de recepción.	150
Fig. 4.11 Nivel de voltaje inducido en la espira receptora.	151
Fig. 4.12 Señal del puerto serie.	151
Fig. 4.13 Señal portadora.	152
Fig. 4.14 Señal modulada.	152
Fig. 4.15 Señal desmodulada.	153
Fig. 4.16 Datos transmitidos por el microcontrolador.	154
Fig. 4.17 Espiras emisora y receptora.	154
Fig. 4.18 Datos recibidos por el puerto serie del ordenador.	155

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Diferencias principales entre los sistemas DSRC en Estados Unidos.....	12
Tabla 2.1 Frecuencias para sistemas RFID.....	27
Tabla 3.1 Valores correspondientes al ensayo 1.....	57
Tabla 3.2 Valores correspondientes al ensayo 2.....	59
Tabla 3.3 Valores correspondientes al ensayo 3.....	61
Tabla 3.4 Valores correspondientes al ensayo 4.....	63
Tabla 3.5 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m.....	65
Tabla 3.6 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m.....	66
Tabla 3.7 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m.....	67
Tabla 3.8 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m.....	68
Tabla 3.9 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m.....	69
Tabla 3.10 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m.....	70
Tabla 3.11 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m.....	71
Tabla 3.12 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m.....	72
Tabla 3.13 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m.....	73
Tabla 3.14 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.10m.....	74
Tabla 3.15 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.10m.....	75
Tabla 3.16 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.10m.....	76
Tabla 3.17 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m.....	77
Tabla 3.18 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m.....	78
Tabla 3.19 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m.....	79
Tabla 3.20 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m.....	80
Tabla 3.21 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m.....	81
Tabla 3.22 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m.....	82
Tabla 3.23 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.20m.....	83
Tabla 3.24 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.20m.....	84
Tabla 3.25 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.20m.....	85
Tabla 3.26 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.20m.....	86
Tabla 3.27 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.20m.....	87
Tabla 3.28 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.20m.....	88
Tabla 3.29 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m.....	89
Tabla 3.30 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m.....	90
Tabla 3.31 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m.....	91
Tabla 3.32 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m.....	92

Tabla 3.33 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m	93
Tabla 3.34 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m	94
Tabla 3.35 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.50m	95
Tabla 3.36 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.50m	96
Tabla 3.37 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.50m	97
Tabla 3.38 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.50m	98
Tabla 3.39 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.50m	99
Tabla 3.40 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.50m.....	100
Tabla 3.41 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 1m	101
Tabla 3.42 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 1m	102
Tabla 3.43 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 1m	103
Tabla 3.44 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 1m	104
Tabla 3.45 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 1m	105
Tabla 3.46 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 1m	106
Tabla 3.47 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 1m	107
Tabla 3.48 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 1m	108
Tabla 3.49 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 1m	109
Tabla 3.50 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 1m	110
Tabla 3.51 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 1m	111
Tabla 3.52 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 1m.....	112
Tabla 3.53 Diferencia entre valores medidos y calculados en el centro de la espira	113
Tabla 3.54 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.10m entre espiras.....	130
Tabla 3.55 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.10m entre espiras.....	130
Tabla 3.56 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.10m. 130	
Tabla 3.57 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.20m entre espiras.....	132
Tabla 3.58 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.20m entre espiras.....	132
Tabla 3.59 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.20m. 132	
Tabla 3.60 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.50m entre espiras.....	133
Tabla 3.61 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.50m entre espiras	133
Tabla 3.62 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.50m. 134	
Tabla 3.63 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 1m entre espiras.....	135
Tabla 3.64 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 1m entre espiras.....	135
Tabla 3.65 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 1m	135
Tabla 3.66 Comparación de errores a diferentes distancias entre espiras emisora y receptora	137
Tabla 4.1 Comparación del error promedio calculado a diferentes alturas y diferentes corrientes de alimentación.....	142
Tabla 4.2 Porcentaje de error de los niveles de voltaje entre valores calculados y medidos a diferentes alturas.....	145
Tabla 4.3 Porcentaje de error promedio de los niveles de voltaje entre valores calculados y medidos a diferentes alturas	146
Tabla 4.4 Errores al transmitir a 9600 baudios.....	155

1 Introducción

1.1 El problema de la seguridad en el tráfico de vehículos

El crecimiento de las zonas urbanas ha provocado también un aumento en el uso de vehículos para el desplazamiento de personas y el transporte de diversos productos. Este incremento de vehículos se puede observar tanto en las ciudades como en las autovías, pero esta expansión en el número de vehículos, no tiene una relación directa con el incremento de calles, avenidas o autovías que mejoren el tráfico. Por tanto, es necesario hacer uso de los medios existentes de una forma más eficiente y segura.

El parque vehicular crece cada año. En 2014 el total de vehículos en España fue de 30,976,047. Durante ese año se reportaron 91,570 accidentes con víctimas. La necesidad de mejorar la seguridad vial en España, se ha plasmado en un documento que lleva por título “Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020”, donde destacan objetivos como el de bajar las cifras de fallecidos a 37 por millón de habitantes y reducir el número de heridos graves en un 35%, tomando como referencia las cifras 2009, lo que implica que para el 2020 la meta sea reducir el número de personas lesionadas a 9,050 [1].

La seguridad vial es un tema de interés mundial, desde el año 2004, cuando la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó una resolución que exhortaba a todos los países a mejorar la seguridad vial [2].

En 2004 la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Banco Mundial publicaron de manera conjunta un informe donde exponen la preocupación por la forma en que cada día millones de personas se exponen al tráfico vehicular, que son de los sistemas más complejos y peligrosos. Este informe recoge datos mundiales, donde se estima que al año mueren 1.2 millones de personas a causa de colisiones en la vía pública y hasta 50 millones resultan heridas. Las proyecciones indican que estas cifras aumentarían entorno al 65% en los próximos años, sino se ponen en marcha nuevas estrategias de prevención. Dentro de los planes para mejorar la seguridad vial, que plantea el documento está: “disponer de la capacidad de realizar investigación científica en los propios sistemas de tráfico y determinar las tecnologías conocidas que podrían ser adecuadas y las adaptaciones que se necesitarían. Además, las características particulares del tránsito nacional y local probablemente exijan desarrollar nuevas tecnologías” [3].

1.2 Definición y propósito de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

El conjunto de aplicaciones informáticas y sistemas tecnológicos creados para mejorar la seguridad y eficiencia en el transporte terrestre (carreteras y ferrocarriles), facilitando la labor de control, gestión y seguimiento por parte de los responsables se conoce como Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS por sus siglas en inglés) [4]. Los ITS se han convertido en una necesidad, debido al crecimiento en el tráfico de vehículos que obliga a desarrollar estrategias para hacer mejor uso y sobre todo brindar seguridad a las personas que se desplazan por cualquier medio de transporte terrestre.

Dentro de las áreas donde se desarrollan las aplicaciones ITS cabe citar [5]:

- Mejora de la seguridad y vigilancia.
- Ayuda para aliviar la congestión.
- Vigilancia y protección del medio ambiente.
- Incremento de la productividad y eficiencia operacional.
- Puesta en marcha de nuevos factores de confort.

Los diferentes proyectos desarrollados en ITS tienen relevancia en el marco económico, tecnológico y social a nivel mundial. Esto ha llevado a la creación de organizaciones alrededor del mundo que apoyan su desarrollo. Dentro de estos organismos destacan, en Europa “Ertico”; en América “ITS USA”; en Asia pacífico “ITS Japan”, por citar algunos.

Los ITS tienen un espacio global donde se presentan los proyectos desarrollados en este ámbito. Este marco es el congreso mundial de ITS, que en 2015 tiene su 22 edición [6]. Además, en IEEE se ha creado una rama exclusiva para el sector ITS, que organiza sus propios eventos y congresos [7].

Los sistemas ITS incorporan las nuevas tecnologías para el control y la gestión de la circulación, que integran las tecnologías de la información, la comunicación con la infraestructura, con los vehículos y los usuarios. Estos sistemas ayudan a compartir información entre todos los elementos que involucran el sistema de transporte, logrando mayor seguridad vial, mejorando los tiempos de desplazamiento y por ende reduciendo el impacto ambiental.

1.3 La necesidad de identificar y compartir información entre vehículos e infraestructura

Para poder desplazarse de manera eficiente a través de cualquier vía de comunicación terrestre, es necesario un sistema integral. Este sistema requiere identificar el tipo de vehículos que se encuentran sobre la vía y compartir información entre dichos vehículos y la infraestructura.

Para ello es necesario contar con diferentes sensores que sean capaces de medir en tiempo real lo que sucede en las vías y tener un medio de comunicación que transmita los datos a los gestores de tráfico y a los usuarios de la vía.

Este tipo de sensores se pueden clasificar por la forma de instalación en intrusivos y no intrusivos. Los intrusivos son instalados en la propia calzada, por debajo o en la superficie del asfalto. Dentro de estos sensores se encuentran las espiras magnéticas, piezoeléctricos, sondas de presión, etc. En el caso de no intrusivos, los sensores son ubicados en postes, báculos, señales, semáforos, puentes o incluso edificios. Dentro de los sensores no intrusivos se tienen los sistemas láser escáner, infrarrojo pasivo, radares de microondas, visión artificial, etc [8] [9].

Otro punto relevante es establecer el medio de comunicación. En este sentido el criterio para las aplicaciones ITS incluye la capacidad del envío de datos (ancho de banda), la distancia máxima o cobertura donde los datos son transmitidos de forma fiable, la direccionalidad y los requisitos de movilidad [5].

1.4 El problema de la selección de la tecnología adecuada para la comunicación entre vehículos e infraestructura

Para establecer la comunicación entre vehículos e infraestructura, es necesaria una comunicación inalámbrica. Incorporar como medio de comunicación los sistemas móviles, implica un coste relativamente alto debido al cobro del tiempo aire. La otra posibilidad es la utilización de sistemas de comunicación de corto alcance dedicados, que están exentos del cobro de tiempo aire, pero esto requiere una inversión inicial relativamente alta en la instalación del sistema.

La elección concreta del sistema de comunicación depende de la aplicación específica del ITS. El coste en la comunicación se encuentra en función del volumen de datos que

se van a transmitir, ya que esto implica aumentar el ancho de banda. La transmisión de los datos provenientes de sensores de tráfico convencionales no requieren de un ancho de banda amplio, pero si los datos que se quieren transmitir incluyen imágenes en tiempo real, el ancho de banda requerido debe ser incrementado notablemente [5].

1.5 Propuesta general para el diseño de un medio de comunicación inalámbrico para Sistemas Inteligentes de Transporte

Uno de los sistemas sensores más utilizados en el mundo para la detección de vehículos es el sistema de espira magnética, debido a su bajo coste de mantenimiento y su gran durabilidad.

El principio de funcionamiento del equipo consiste en la detección de una masa metálica por medio de las variaciones de inductancia de una espira magnética que forma parte de un circuito oscilador.

Cuando un vehículo se detiene o pasa sobre la espira magnética, es decir, cuando atraviesa su umbral de detección, se produce la disminución de su inducción y se aumenta así la frecuencia de oscilación. Esta variación en la frecuencia es detectada por un microprocesador que determina, según la configuración del equipo, si debe generar, o no, la señal de salida [10].

Dentro del grupo de Sistemas de Control de Tráfico (SCT) de la Universidad Politécnica de Valencia, se ha desarrollado un sistema que adiciona una utilidad a las espiras magnéticas, que hasta ahora solo detectaban el paso de vehículos. El sistema desarrollado detecta el perfil magnético de los vehículos que pasan sobre una espira (ver Fig. 1.1).

Aprovechando el efecto que tiene el metal sobre el valor inductivo de la espira, al pasar el vehículo sobre ella, el sistema recoge un perfil magnético. Este perfil magnético cambia en función del tipo de vehículo, debido a la distribución del metal del chasis, con lo cual es posible clasificar los vehículos [11].

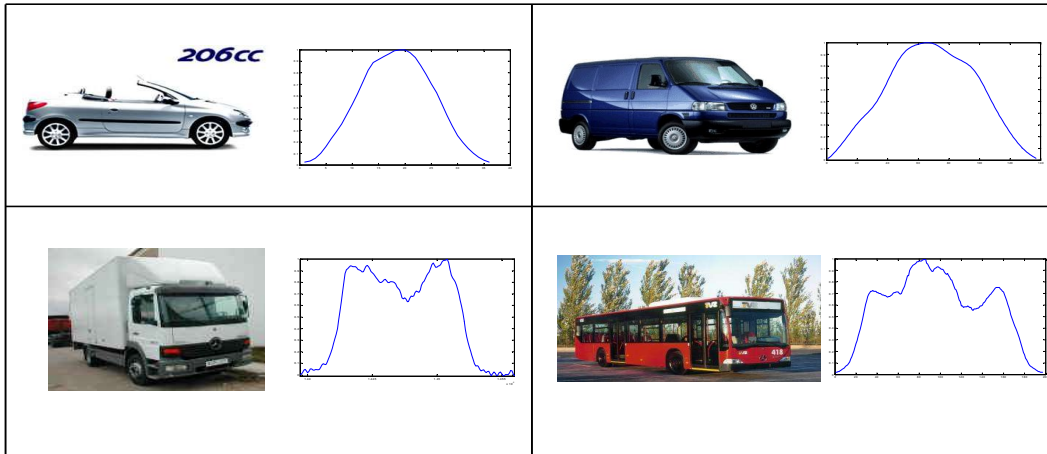


Fig. 1.1 Perfil magnético de distintos vehículos detectado mediante espiras.

Las espiras, al generar un campo magnético que puede variar en función de la corriente de alimentación, podrían inducir un voltaje sobre otra espira que se encuentre en su área de influencia. De esta forma a través de la inducción magnética se podrían transmitir datos y establecer un medio de comunicación inalámbrico de corto alcance. La ventaja de esta propuesta es utilizar una infraestructura existente. El fenómeno físico para establecer la comunicación sería por inducción magnética. Las señales emitidas estarían en una frecuencia diferente a las frecuencias de los dispositivos ya instalados, evitando interferir con otros medios de comunicación, además, el campo magnético generado decae rápidamente conforme se aleja del emisor [12]. Esto acota la comunicación a un área específica. La tasa en la transferencia de datos sería baja, enviado códigos que serán interpretados por el dispositivo receptor.

1.6 Comunicación Inalámbrica

La gama de tecnologías de comunicaciones es amplia y variada. Muchas de estas tecnologías pueden ser empleadas en sistemas ITS, con el objetivo de dar solución a un problema de tráfico. Para tener una visión general y clara sobre el tipo de comunicación más apropiado para cada problema, es necesario clasificarlos en función de la aplicación ITS (ver Fig.1.2).

Esta clasificación fue propuesta en base a estudios realizados inicialmente en Japón con el programa JSK (en la década de los 80s) y con los sistemas PATH en USA y Chauffeur en la UE (en la década de los 90s), que en la actualidad tienen propuestas

estables en la orientación de las tecnologías de comunicación aplicadas a ITS [13] [14] [15].

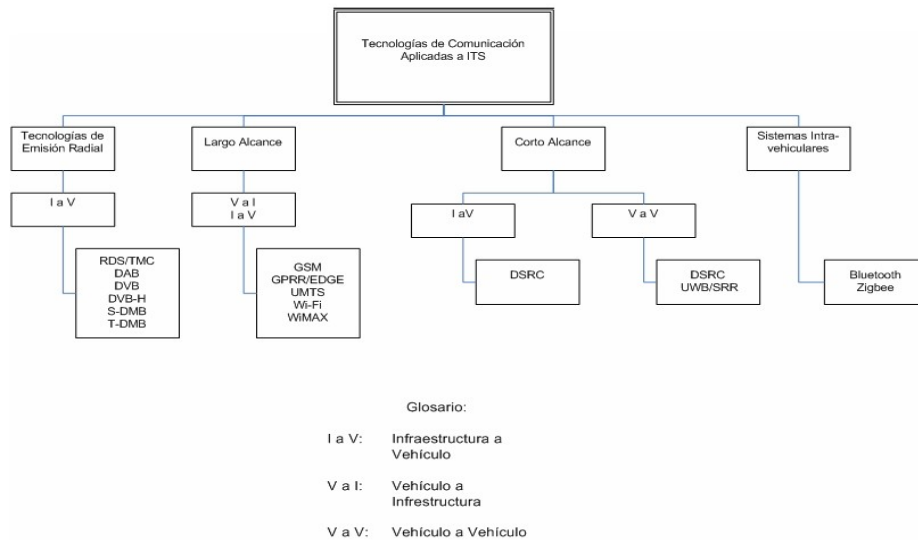


Fig. 1.2 Diagrama de bloques de los sistemas de comunicación ITS.

En la clasificación de los sistemas se observa que existe, en la mayoría de los casos, un elemento móvil (el vehículo) que condiciona el tipo de tecnología a utilizar. En algunas aplicaciones la comunicación puede establecerse entre elementos fijos (infraestructura), pero para los elementos móviles, los sistemas de comunicación adecuados son los inalámbricos. Un ejemplo de ello se encuentra en la comunicación entre el vehículo en movimiento y los nodos estáticos de la red en la calzada.

Dentro de la clasificación antes mencionada, se puede tomar como ejemplo una comunicación V a I, donde se pretende tener un sistema de señalización dinámica aplicado a vehículos prioritarios. En los siguientes apartados se describirá en detalle este tipo de sistemas.

1.6.1 Sistemas de comunicación modalidad V a I de largo alcance

A principios de la década de los 80s, se generó la expansión comercial de las primeras redes de comunicación telefónica móvil a nivel mundial. Este tipo de redes permiten la comunicación simultánea de voz, entre los usuarios. Este tipo de red estaba estructurada por células. La célula consiste en una estación fija de comunicación que cubre un área

determinada y que tiene una capacidad finita de teléfonos móviles que puede atender. La comunicación entre células es coordinada por una estación fija adicional.

La primera red desplegada en Estados Unidos y Canadá se llamó “Advanced Mobile Phone System” (AMPS), considerada la primera generación (1G). Estas redes utilizaban señales analógicas con frecuencia modulada como señal de transmisión.

La segunda generación (2G) de redes móviles de telefonía, se caracterizó por la utilización de sistemas de transmisión digital tal como el TDMA (Time Division Multiple Acces) [16].

Basados en la técnica TDMA, se encuentran algunos estándares como, TDMA D-AMPS (Digital-Advanced Mobile Phone System), TDMA D-AMPS-1900, PCS-1900 (Personal Communication Services), GSM (Global System for Mobile Communication), DCS-1800 (Digital Communications System) y PDC (Personal Digital Cellular).

La generación conocida como 2.5G, es una red inalámbrica asociada con el sistema GPRS (General Packet Radio Services) que es utilizada en varios países. Esta se caracteriza por brindar altas velocidades de transferencia de datos (necesario para conectarse a Internet).

El sistema GPRS utiliza la misma red GSM, la variante entre estas dos es la forma en que se transmiten los datos. En el sistema GSM el circuito está permanentemente reservado durante la comunicación, aunque no se envíe información. En el GPRS la información se envía en paquetes de datos, basado en demanda. Esto significa que si no existe transferencia de datos, las frecuencias se liberan y pueden ser utilizadas por otros usuarios [17].

La tercera generación (3G) de redes móviles, proporciona la posibilidad de transferir tanto voz (llamada telefónica) y datos (descarga de programas, mensajería instantánea, etc). Esta generación tecnológica, surge como respuesta a las especificaciones del comité IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, que ha propuesto estándares como el UMTS (Universal Mobile Telephone System) basado en la tecnología W-CDMA [18].

La cuarta generación (4G) está basada totalmente en IP (protocolo de internet), esta generación no es una tecnología o estándar definido, sino que es conjunto tecnologías y protocolos que permiten el máximo rendimiento de procesamiento. Esta combinación

reduce el coste en la transmisión de los datos y aumenta significativamente la velocidad de acceso. Esta velocidad se encuentra dentro de un rango de 100 Mbps en movimiento y hasta 1 Gbps en reposo [19].

Otro sistema de comunicación inalámbrica de largo alcance es el de Redes inalámbrica de área local (Wireless Local Area Network “WLAN”).

WLAN es otro tipo de red de comunicación inalámbrica muy popular dada su versatilidad. Es empleada en instalaciones de difícil acceso o cuando la instalación por cable supone una gran inversión.

En una WLAN, un nodo estacionario llamado “access point” (AP) o punto de acceso coordina la comunicación que se realiza entre los nodos de la LAN. Las normas principales para WLANs son IEEE 802.11 y la HIPERLAN de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Las WPANs (Wireless Personal Area Networks) son redes inalámbricas de corta distancia que han sido específicamente diseñadas para la interconexión entre dispositivos de cómputo móvil y portátil como laptops, teléfonos móviles, pagers (beepers), asistentes digitales personales (PDAs) y otros. La norma IEEE 802.15 define las especificaciones de la capa de control de acceso al medio (MAC) y de la capa física para dispositivos WPAN. Bluetooth es un tipo de WPAN.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.MAN) proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa (NLOS).

WiMAX se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de largo alcance y ofrece velocidad de banda ancha para un área metropolitana.

WiMAX Forum está formado por empresas dedicadas a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, además de estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados [20].

1.6.2 Sistemas de comunicación utilizados en la modalidad V a I de corto alcance

Los DSRC (Dedicated Short Range Communications), se localizan en la clasificación original de los sistemas de comunicación aplicados a ITS. Este tipo de tecnología es emergente y se trata de definir los protocolos necesarios para aplicaciones ITS de corto alcance. Las aplicaciones ITS que involucran elementos móviles y la comunicación entre estos elementos (V a V, I a V), no requiere forzosamente de una estructura fija, por tanto es necesario un sistema autónomo de nodos móviles conectados a través de enlaces inalámbricos. Este tipo de sistemas se conocen como redes ad-hoc inalámbricas, que se basan en la norma 802.11 y no requieren un punto de acceso (Access Point “AP”). En la Fig. 1.3 se muestra los modos de comunicación aplicados en ITS, donde se observa que los DSCR se encuentran en comunicaciones de uso exclusivo, dejando abierto la opción de hacer propuestas en estos sistemas.

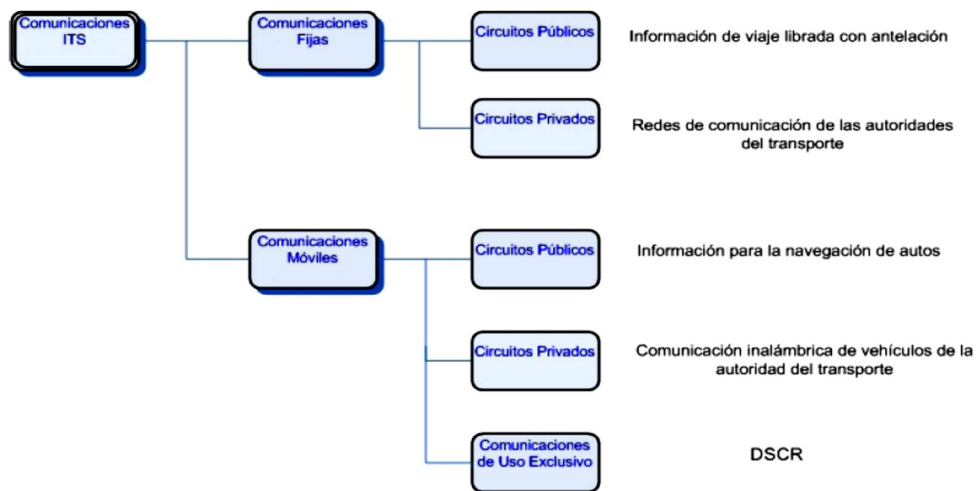


Fig. 1.3 Modos de comunicación aplicados en ITS.

Las aplicaciones DSCR, se muestra en la Fig. 1.4.

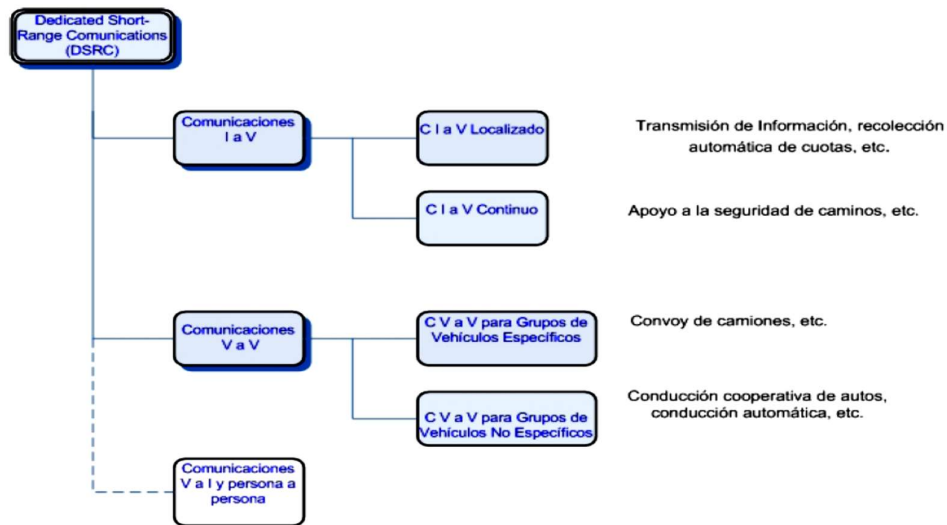


Fig. 1.4 Aplicaciones donde se utiliza DSRC.

Las comunicaciones I a V localizadas dentro de modalidad DSRC, se pueden clasificar en términos del área cubierta y la dirección de la comunicación. A continuación se mencionan los diferentes sistemas de esta modalidad.

Emisión radial. Transmisión FM amplia de varios tipos de datos como en la emisión FM multiplexada.

Transmisión localizada. Transmisión de información local a través de canales de comunicación de un solo sentido en un área limitada.

Comunicaciones individuales de área amplia. Son medios de comunicación duplex de área amplia para la obtención de información de tráfico en carreteras, su procesamiento y retroalimentación.

Comunicaciones individuales localizadas. Son comunicaciones duplex localizadas y pueden ser intermitentes o continuas.

En la actualidad, este tipo de sistemas es implementado con transmisores de emisión FM multiplexada y desde los años 80s en Japón, radio-balizas y opto-balizas.

Generalmente, todos estos sistemas proporcionan información estática (indicación de ubicación y guías de caminos) y dinámica (tiempo de recorrido y disponibilidad de estacionamiento).

1.6.3 Iniciativa para normalizar la modalidad DSRC en ITS

A finales de 2001 los organismos ITS observaron la necesidad de definir las normas de los sistemas de comunicación de corto alcance, aplicados a transporte. La dificultad en el desarrollo de estas normas, es la selección de una frecuencia de radio única debida a las diferencias de una región a otra. En ese tiempo, en Europa, se concertaba la adopción de la frecuencia de radio de 5.8 GHz, con una longitud de onda de 850 nm para las aplicaciones ópticas, mientras que en Japón y Norte América se inclinaban por un sistema diferente [21].

En Norte América, antes de cualquier normalización, ya existían aplicaciones particulares DSRC en la frecuencia de 915 MHz, principalmente en dispositivos de cobro automático.

Diferentes organismos iniciaron trabajos para la definición de la norma DSRC en ITS. En Norte América, ASTM, IEEE, ISO, SAE, AASHTO e ITS-A; en Japón, ARIB T75. Brasil y Corea también han realizado trabajos importantes en la materia. En 2003, el Departamento de Transporte de los Estados Unidos definió la arquitectura de su ITS (ver Fig. 1.5) [22].

Para responder a la definición de los sistemas DSRC de esta arquitectura, en Julio de 2003 la ASTM y el IEEE definieron la norma ASTM E 2213-03 cuyo objetivo es proporcionar capacidad de comunicación inalámbricas a aplicaciones de transporte en un rango de 1000 m a velocidades típicas de una autopista, dentro de los 7 canales alrededor de la banda de 5.9 GHz concedida por la FCC de los Estados Unidos. Debido a esto, en Norte América llega a haber dos sistemas DSRC coexistiendo: el sistema a 915 MHz y el sistema a 5.9 GHz, donde se espera que al final todo emigre al segundo sistema, para establecerla como norma única. Las diferencias entre los dos sistemas se resumen en la tabla 1.1.

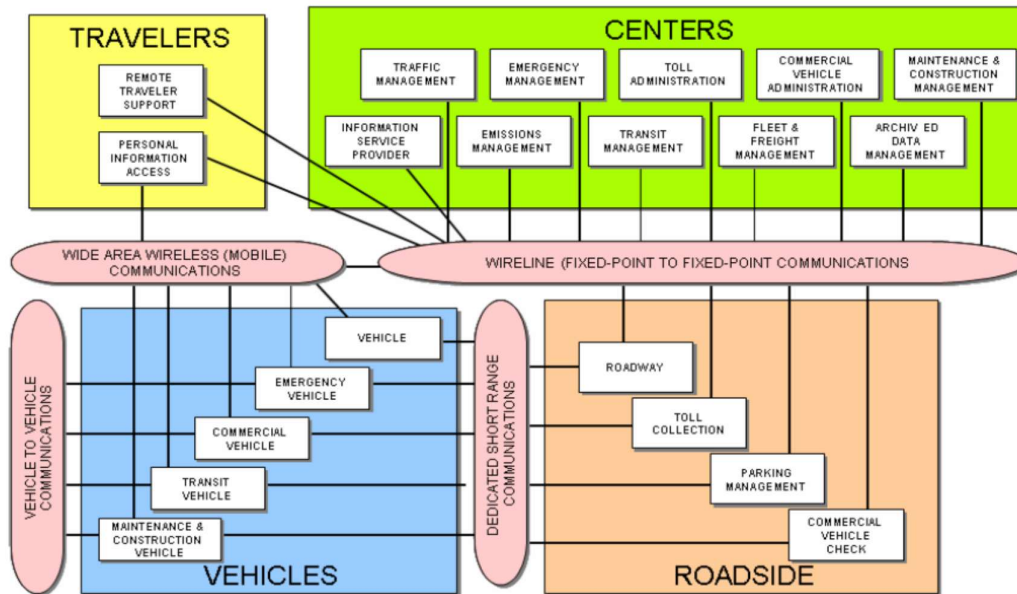


Fig. 1.5 Arquitectura del ITS de Estados Unidos [22].

El sistema DSRC a 5.9 GHz está basado en el protocolo IEEE 802.11. Por lo tanto, los sistemas de comunicación que ya se tienen implementados bajo este protocolo pueden modificarse en cualquier momento con esta norma o con aplicaciones basada en Internet.

Wi-Fi (Wireless-Fidelity) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11, la cual fue creada para aplicaciones locales inalámbricas, pero es frecuente su utilización para acceder a Internet.

Tabla 1.1 Diferencias principales entre los sistemas DSRC en Estados Unidos.

	Sistema a 915 MHz	Sistema a 5.9 GHz
RANGO	< 30 [m]	hasta 1000 [m]
VELOCIDAD	0.5 MBPS	6 a 27 MBPS
POSIBLES USOS	Orientado a ETC, pero se puede utilizar para otras aplicaciones	Orientado para acceso general a Internet, pero puede usarse para ETC.
CANALES	Canal único no licenciado	7 canales licenciados
IMPLEMENTACIÓN	Requiere un juego de chips especial (propio) y software particular.	Utiliza juegos de chips de aplicación abierta y software común.
CLASE DE COMUNICACIÓN	V a I con respuesta a comandos.	V a I y V a V con respuesta a comandos y peer to peer.

La familia 802.11 actualmente incluye seis técnicas de transmisión por modulación que utilizan los mismos protocolos. El estándar original de este protocolo fue publicado en 1997, era el IEEE 802.11, tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2.4 GHz. La siguiente modificación apareció en 1999 y es conocida IEEE 802.11b, esta se caracteriza por una velocidades de 11 Mbps, con una frecuencia de 2.4 GHz.

Se realizaron especificaciones para una frecuencia de 5 GHz que alcanzaba los 54 Mbps, era la 802.11a, pero ésta resulto incompatible con los sistemas que cumplían con la norma 802.11b y por motivos técnicos casi no se desarrollaron productos. Posteriormente se incorporó un estándar a esa velocidad y compatible con la norma 802.11b que recibiría el nombre de 802.11g. La versión final del estándar se publicó en Junio de 2007 y recoge las modificaciones más importantes sobre la definición original; incluye: 802.11a,b,d,e,g,h,i,j [22].

Actualmente la mayoría de productos son de la especificación 802.11b y 802.11g. El siguiente paso se dará con la norma 802.11n que sube el límite teórico hasta los 600 Mbps. Actualmente ya existen varios productos que cumplen un primer borrador del estándar 802.11n con un máximo de 300 Mbps (80-100 estables).

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan bandas de 2.4 GHz que no necesitan de permisos para su uso. El estándar 802.11a utiliza la banda de 5 GHz. El estándar 802.11n hará uso de ambas bandas, 2.4 GHz y 5 GHz. Las redes que trabajan bajo los estándares 802.11b y 802.11g pueden sufrir interferencias por parte de hornos microondas, teléfonos inalámbricos, Bluetooth y otros equipos que utilicen la misma banda de 2.4 GHz. Debido a estos problema de interferencia, se ha retomado el estándar 802.11a, conocido como Wi-Fi 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios [23].

Referencias

- [1] DGT, Las principales cifras de la siniestralidad vial, España: Dirección General de Tráfico. NIPO:128-14-047-0, 2013.
- [2] ONU, «Resolución aprobada por la asamblea general en la 84ª sesión plenaria,» Organización de Naciones Unidas. A/RES/58/289, 11 de Mayo 2004.
- [3] M. e. a. Peden, World Report on Road Traffic Injury Prevention, Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1a edición. ISBN 92-4-156260-9., 2004.
- [4] Tecnocarreteras, «Qué son los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS),» 11 abril 2011. [En línea]. Available: <https://www.tecnocarreteras.es/2011/04/11/que-son-los-sistemas-inteligentes-de-transporte-its/>.
- [5] «ITS Handbook, 2ª Edición,» [En línea]. Available: http://road-network-operations.piarc.org/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=71&lang=en.
- [6] «ITS World Congress,» 2015. [En línea]. Available: <http://itsworldcongress.com/>.
- [7] «Society, ITS IEEE,» 2015. [En línea]. Available: <http://its.ieee.org/>.
- [8] T. K. Y. y. M. M. Matsuo, «Introduction of intelligent vehicle detection sensors,» *Intelligent Transportation Systems*, pp. 709-713, 1999.
- [9] P. Michalopoulos, «Review of non-intrusive advanced sensor devices for advanced traffic management systems and recent advances in video detection,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 345-355 June 2001.
- [10] Traffic Detector Handbook, Third Edition ed., vol. I, October 2006.
- [11] A. Arroyo y A. Mocholí, «Técnicas de Clasificación y Medida de Velocidad de Vehículos mediante espira única,» de *XII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación*, Santander, España, 2005.
- [12] A. M.-S. J. H. Arroyo-Núñez, «Levels of induced voltage between rectangular magnetic loops,» ITACA-WIICT 2014, 2014.
- [13] C. B. e. al, «Vehicle-to-Vehicle Communication for a Platooning System,» *Published by Elsevier Ltd. TRA 2012*, 2012.
- [14] R. T. F. D. Subir Biswas, «Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety,» *IEEE Communications Magazine*, pp. 74-82, January 2006.

- [15] J. S. F.-Y. W. W. N. N.-N. Z. Li Li, «New Developments and Research Trends for Intelligent Vehicles,» *IEEE Intelligent Systems Magazine*, pp. 10-14, 2005.
- [16] M. Parker, *Digital Signal Processing 101*, Elsevier, 2010.
- [17] R. Noldus, *CAMEL: intelligent networks for the GSM, GPRS and UMTS network*, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [18] F. Ricciato, A. Coluccia y A. D'Alconzo, «A review of DoS attack models for 3G cellular networks from a system-design perspective,» *Computer Communications*, vol. 33, pp. 551-558, 2010.
- [19] D. Mora Pastor, «Sistemas 4G,» Wikitel, [En línea]. Available: http://wikitel.info/wiki/Sistemas_4G#cite_note-4G-0.
- [20] T. T. Mehmet S. Kuran, «A survey on emerging broadband wireless access technologies,» *Computer Networks*, vol. 51, pp. 3013-3046, 8 August 2007.
- [21] L. A. Klein, *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*, Artech House, 2001.
- [22] U.S., «Department of Transportation (US DOT),» [En línea]. Available: <http://www.iteris.com/itsarch/html/archuse/archuse.htm>.
- [23] «Wireless Standards 802.11a, 802.11b/g/n, and 802.11ac,» [En línea]. Available: <http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard.htm>.

2 Definición del problema y Objetivos

En esta sección se abordarán dos temas que son de interés en el desarrollo de este trabajo: Espiras magnéticas y comunicación inalámbrica. La interacción de estos dos elementos permite plantear el estudio y desarrollo de este trabajo de investigación.

2.1 Espiras magnéticas

2.1.1 Espiras magnéticas aplicadas en sistemas ITS

2.1.1.1 Introducción

Las espiras magnéticas, son dispositivos que se han venido utilizando desde hace décadas en la detección de vehículos [1]. Por este motivo es fácil encontrarlas en gran número de calzadas. Pero las espiras magnéticas tienen un potencial mucho más amplio, que permite su utilización en otras aplicaciones. Como ejemplo de ello, podemos citar los trabajos encaminados a la identificación de vehículos mediante el estudio del perfil magnético [2] o la comunicación entre vehículos e infraestructuras [3].

Todo conductor o cable por el que circula una corriente eléctrica genera un flujo magnético. La relación del flujo magnético y la corriente que circula es una propiedad eléctrica conocida como inductancia, que se mide en Henrios (H). La inductancia de los cables se llama auto inductancia. Si el flujo magnético de un cable alcanza a otros, a esto se le llama inductancia mutua. En la Fig. 2.1 se muestra el flujo alrededor de una sola espira [1]. Note que el plano que contiene el flujo magnético es normal a la corriente del conductor y el flujo magnético tiene una dirección determinada por la “regla de la mano derecha”.

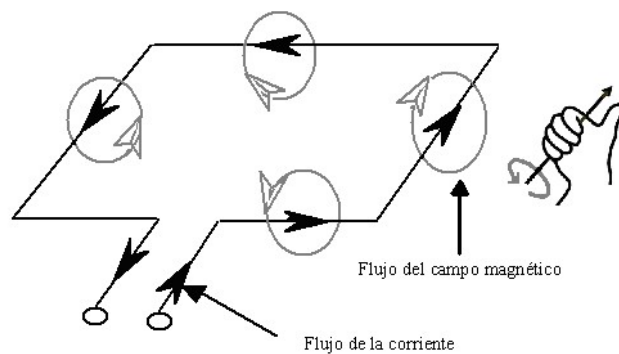


Fig. 2.1 Campo magnético alrededor de una espira [1].

En la Fig. 2.2 se ilustra el flujo de campo magnético para un solenoide o bobina, donde la longitud es más grande que el diámetro del conductor. El flujo magnético es uniforme dentro de la bobina excepto en los extremos. El campo magnético de la bobina para esta geometría está dada por:

$$H = \frac{NI}{\ell} \quad (2.1)$$

Donde:

H = Campo magnético.

N = Número de vueltas.

I = Corriente en la bobina, Amperios.

ℓ = Longitud de la bobina, metros.

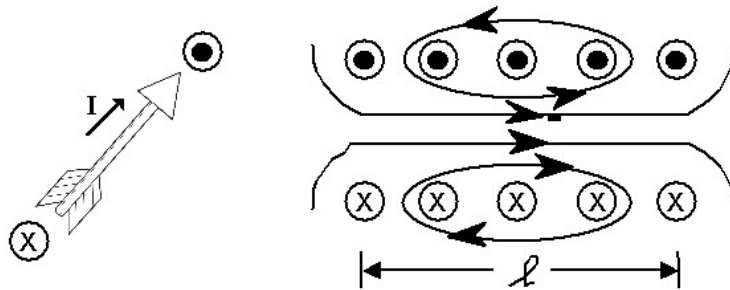


Fig. 2.2 Flujo magnético para un solenoide (bobina) [1].

Debido a que el flujo magnético es uniforme en el interior de la bobina, el flujo viene dado por:

$$\Phi = BA \quad (2.2)$$

Donde:

ϕ = Flujo magnético, Webers.

B = Densidad del flujo magnético, Webers por m².

A = Área de la sección transversal de la bobina, m².

La densidad del flujo magnético está relacionado con el campo magnético por la siguiente expresión:

$$B = \mu_r \mu_0 H \quad (2.3)$$

Donde:

μ_r = Permeabilidad relativa del material (1 para el aire).

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ henrios por metro.

La inductancia de una bobina es definida como:

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{NBA}{I} \quad (2.4)$$

Donde:

L = Inductancia, Henrios.

N = Número de vueltas.

I = Corriente en la bobina, Amperios.

Una bobina, con una longitud mucho mayor que su diámetro, garantiza la uniformidad del flujo magnético en su interior, lo cual origina una inductancia que está dada por [4]:

$$L = \frac{N\mu_r\mu_0 HA}{I} = \frac{\mu_r\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad (2.5)$$

De la ecuación anterior podemos observar que la inductancia en la bobina es proporcional al cuadrado del número de vueltas y al área transversal e inversamente proporcional a la longitud.

Actualmente en muchas calzadas dentro y fuera de las ciudades de todo el mundo, existen instaladas espiras magnéticas, destinadas a detectar el paso de vehículos. Para estas espiras no se puede aplicar directamente la Ec. (2.5). En este caso hay que modificar la ecuación agregando un factor F_1 para tener en cuenta la no uniformidad del flujo en la espira magnética.

$$L = \frac{\mu_r\mu_0 N^2 AF_1}{\ell} \quad (2.6)$$

2.1.1.2 Aplicación de las espiras magnéticas en la detección de vehículos

Para las aplicaciones de detección de vehículos, se aprovecha el hecho de que cuando por encima de la espira circula un coche, la permeabilidad relativa cambia, lo que provoca un cambio en el valor de la inductancia de la espira.

El circuito equivalente de una espira magnética ubicada en una calzada, se muestra en la Fig. 2.3. En esta figura se observa que aparte del valor de la inductancia y la resistencia, existe un parámetro adicional correspondiente a la capacitancia acoplada. Este efecto capacitivo es debido a la interacción entre los cables que forman la espira y el contacto con el medio circundante.

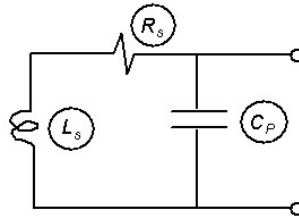


Fig. 2.3 Circuito equivalente de una espira ubicada en la calzada [1].

Para frecuencias de 1KHz la capacitancia es insignificante. En frecuencias superiores a 10KHz, la capacitancia tiene un efecto mayor, lo que provoca un cambio en el valor inductivo [4]. Ver Fig. 2.4.

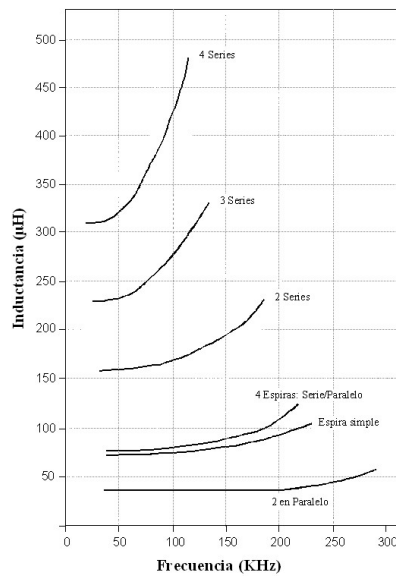


Fig. 2.4 Valor inductivo vs. Frecuencia de medida [1].

El factor de calidad Q, es un parámetro importante de las espiras magnéticas. Este factor indica la eficiencia de resonancia. Si las pérdidas del inductor son grandes, la Q es baja. Un inductor perfecto no tiene pérdidas, por lo que no hay disipación de energía en el inductor, en este caso Q es infinito. La fórmula de Q es:

$$Q = \frac{2\pi f L_s}{R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s} \quad (2.7)$$

Donde:

Q = Factor de calidad.

f = Frecuencia de excitación de la espira magnética (Hz).

L_s = Inductancia serie (henrios).

R_s = Resistencia serie (ohms).

$\omega = 2\pi f$

2.1.1.3 Clasificación de vehículos utilizando el perfil magnético detectado por las espiras

Dentro del grupo de Sistemas de Control de Tráfico (SCT) de la Universidad Politécnica de Valencia, se ha desarrollado un sistema que adiciona una utilidad a las espiras magnéticas, que hasta ahora solo detectaban el paso de vehículos. El sistema desarrollado detecta el perfil magnético de los vehículos que pasan sobre una espira (ver Fig. 1.1). Aprovechando el efecto que tiene el metal sobre el valor inductivo de la espira, al pasar el vehículo sobre ella, el sistema recoge un perfil magnético. Éste cambia en función del tipo de vehículo, debido a la distribución del metal del chasis, con lo cual es posible clasificar los vehículos [4].

2.1.2 Sistemas de comunicación V2I e I2V mediante espiras magnéticas

Una forma de establecer comunicación entre los vehículos y la infraestructura, es haciendo uso de espiras magnéticas, utilizando como medio de comunicación el acoplamiento magnético. Los sistemas RFID (Identificación por radio frecuencia) utilizan este fenómeno físico para la transferencia de datos. En la siguiente sección se describe de forma general los sistemas RFID.

2.1.2.1 Sistemas RFID

Los sistemas RFID (Radio Frequency IDentification) permiten la comunicación inalámbrica de corto alcance entre un lector y una etiqueta (transpondedor). Por lo que son utilizados en diversas aplicaciones ITS (Tele-peaje, control de acceso, etc.)

Los sistemas RFID pueden clasificarse en dos grandes grupos considerando la capacidad de información que puede comunicar el transpondedor: 1-bit o n-bits.

Con un bit de información solo se pueden tener dos estados “0” y “1”. Por lo que con este tipo de sistema solo se puede detectar la presencia o ausencia de la etiqueta, en el área de cobertura del lector. Las aplicaciones más frecuentes de este tipo de sistemas, se encuentran en dispositivos antirrobo en tiendas, conocidos como protección electrónica de artículos (EAS). Este tipo de etiquetas, que son ubicadas en los productos que se quieren controlar, tienen la posibilidad de ser activadas o desactivadas por otro sistema independiente de la antena lectora.

En los sistemas de n-bits, las etiquetas cuentan con una memoria donde se almacena información. Este tipo de sistemas pueden transferir la información bajo tres procedimientos: Dúplex completo, dúplex medio y secuencial.

En el Dúplex completo o full dúplex (FDX), la transmisión de información entre el lector y la etiqueta puede ser de forma simultánea. Para el caso dúplex medio o half dúplex (HDX), la transmisión de información es alternada entre lector y etiqueta. En ambos casos (FDX y HDX) la transferencia de energía es continua durante todo el proceso de comunicación. En el caso del sistema secuencial (SEQ), la transmisión de datos es parecida a HDX, con la diferencia que la energía es pulsada, por lo que la transmisión de datos entre la etiqueta y el lector, se da en las pausas que hace la fuente de energía. [5].

Dentro de los sistemas FDX y HDX, se tienen diferentes procedimientos para establecer la comunicación entre lector y tarjeta, los cuales son:

- a) Retrodispersión electromagnética
- b) Acoplamiento cerrado
- c) Acoplamiento eléctrico
- d) Acoplamiento inductivo

a) Retrodispersión Electromagnética

Este tipo de comunicación utiliza la teoría de radares, que establece que las ondas electromagnéticas son reflejadas por objetos. La eficiencia con la cual un objeto refleja ondas electromagnéticas es descrita por su corte transversal de reflexión. Los objetos que están en resonancia con el frente de onda que los impacta, como el caso de la antena en la frecuencia adecuada por ejemplo, tienen un corte transversal de reflexión grande. Para este tipo de acoplamiento se tiene una antena lectora que emite una señal y recibe la proveniente desde el transpondedor, en la Fig. 2.5 se muestra un esquema de este tipo de sistema.

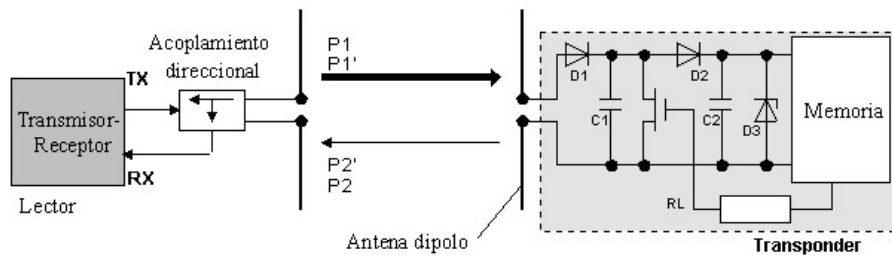


Fig. 2.5 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento por retrodispersión [5].

Para este tipo de comunicación, la distancia que existe entre el lector y transpondedor es mayor a 1m, y son conocidos como sistemas de largo alcance. Estos sistemas son operados en frecuencia UHF (868MHz en Europa y 915MHz en USA) y microondas (2.5 GHz y 5.8 GHz). [5].

b) Acoplamiento cerrado

Los sistemas que utilizan este tipo de comunicación, están diseñados para un rango de lectura de 0.1cm a 1cm. Para este caso, el transpondedor es insertado o puesto encima de la superficie marcada del lector, para su operación. El modelo funcional entre la espira del transpondedor y la espira del lector corresponde a un transformador. Donde el lector representa el devanado primario y la espira del transpondedor representa el devanado secundario del transformador, ver Fig. 2.6.

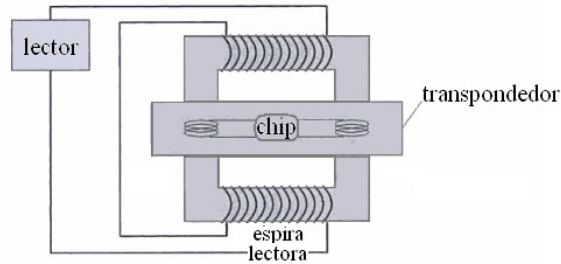


Fig. 2.6 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento cerrado [5].

La transferencia de energía entre el lector y el transpondedor, puede ser alta en función de la frecuencia, siendo mayor a frecuencias más altas. En la práctica el rango de frecuencias utilizadas se encuentran en un rango 1-10MHz. Debido a su buena eficiencia en la transferencia de energía, este tipo de sistemas es utilizado, en transpondedores que contienen circuitos integrados con alto grado de consumo de energía.

c) Acoplamiento eléctrico

Los sistemas acoplados eléctricamente, utilizan un lector que genera un campo eléctrico fuerte a alta frecuencia. La antena lectora está formada por una placa conductora grande (electrodo), que al serle aplicado un voltaje a alta frecuencia, genera un campo eléctrico entre el electrodo y el potencial de tierra (masa). El voltaje aplicado se encuentra en un rango que va de unos cientos de voltios a algunos miles de voltios.

La antena del transpondedor está hecha de dos superficies conductoras (electrodos) que se encuentran en el mismo plano. Si el transpondedor se ubica dentro del campo eléctrico generado por el lector, surge un voltaje entre sus electrodos, el cual es usado para alimentar el circuito integrado (chip) del transpondedor. Ver. Fig. 2.7. Este tipo de sistemas es usado típicamente para rangos de lectura de 1 m.

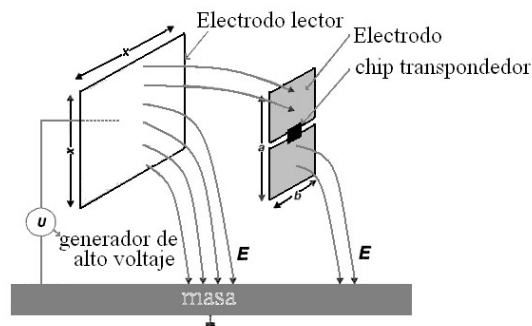


Fig. 2.7 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento eléctrico [5].

d) Acoplamiento Inductivo

En estos sistemas, el lector y el transpondedor cuentan con una bobina, formada por espiras magnéticas. El lector genera un campo electromagnético lo suficientemente fuerte, que es detectado por la sección transversal de las espiras del transpondedor (ver Fig. 2.8). En este tipo de sistemas se utilizan comercialmente dos gamas de frecuencias, las menores a 135kHz (longitud de la onda $\lambda=2400\text{m}$) o las que están en torno a los 13.56MHz ($\lambda=22.1\text{m}$). En ambos casos λ es varias veces mayor que la distancia entre lector y transpondedor. Debido a esta condición la magnitud del campo magnético es mucho mayor que el eléctrico, por lo que el sistema puede ser analizado considerando solo esté. Generalmente en estos sistemas el transpondedor utiliza la energía capturada por la bobina para alimentar su circuito electrónico (transpondedor pasivo).

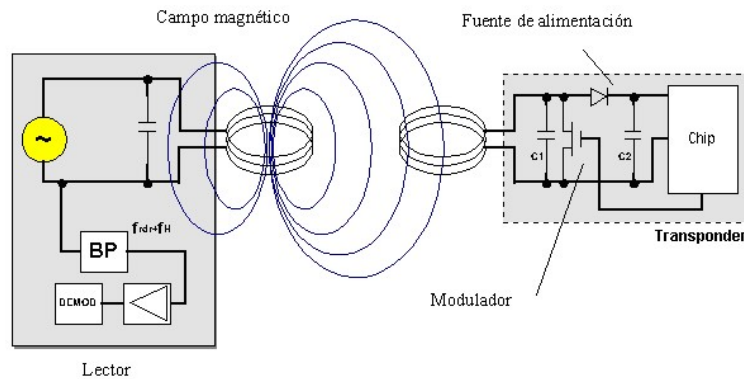


Fig. 2.8 Funcionamiento de un sistema RFID con acoplamiento inductivo [5].

El número de vueltas en las bobinas del transpondedor, aumenta cuanto menor es la frecuencia de la señal recibida. Por ejemplo para frecuencias de 135kHz típicamente se utilizan de 100 a 1000 vueltas, en contraste se observa que para frecuencias de 13.56MHz se utilizan entre 3 y 10 vueltas.

El sistema de acoplamiento inductivo se basa en el principio de acoplamiento del transformador. Donde el devanado del primario corresponde al lector y el secundario al transpondedor. Para que exista un acoplamiento inductivo, la distancia entre las bobinas no debe exceder 0.16λ .

2.1.2.1.1 Transpondedores

Dentro del sistema RFID, el transpondedor es el elemento dinámico que se coloca en aquellos objetos que interesa detectar. Los transpondedores se clasifican en dos grandes grupos, considerando su fuente de alimentación:

- ❖ **Transpondedores pasivos:** Utilizan la energía generada por el campo electromagnético de la antena lectora, para ponerse en funcionamiento y emitir una señal con los datos que contiene en su memoria.
- ❖ **Transpondedores activos:** Este tipo de transpondedor contiene una fuente propia de energía. Esta característica permite mayor alcance de lectura, y no es necesario que el lector inicie la comunicación. Generalmente tienen mayor capacidad de almacenamiento de datos, y además algunos modelos tienen la posibilidad de lectura y escritura. Todas estas ventajas también se ven reflejados en un mayor coste.

2.1.2.1.2 Rango de frecuencias utilizadas en los sistemas RFID

Los sistemas RFID generan e irradian ondas electromagnéticas, por este motivo son clasificados como sistemas de radio. Esto implica un cuidado especial en el uso de las frecuencias a utilizar, para no interferir con otros sistemas (radio y televisión, móviles, aeronáutica, etc.) Por esta razón, solo es posible usar intervalos de frecuencia reservados específicamente para aplicaciones industriales, científicas o médicas o para dispositivos de corto alcance. Estas son frecuencias clasificadas mundialmente como ISM (Industrial Scientific-Medical) o SRD (Short range devices). En la tabla 2.1 se muestran las frecuencias que pueden ser utilizadas por los sistemas RFID [5].

La comunicación vía radio, necesita como medio de enlace una señal sinusoidal variable u onda portadora. La comunicación se consigue aplicando una variación a esta señal, ya sea en amplitud, fase o frecuencia, en función de los datos a transmitir. Este proceso se conoce como modulación. En RFID suelen ser aplicadas las modulaciones ASK (Amplitude shift keying), FSK (Frequency shift keying) y PSK (Phase shift keying) [6].

Los sistemas RFID se están utilizando cada vez más para la identificación de diversos objetos, desplazando poco a poco al sistema de etiquetas de código de barras. En el

mercado existen muchas empresas que ofrecen esta tecnología, aplicada a campos tan diversos, como la identificación de productos en supermercados, identificación de mascotas, pago de peaje, sistemas de seguridad, etc. y el abanico de aplicaciones cada vez es más grande.

Tabla 2.1 Frecuencias para sistemas RFID.

Rango de Frecuencia	Comentario	Potencia de transmisión/campo permitido
< 135 kHz	Baja frecuencia, acople inductivo	72 dB μ A/m max
3.155 - 3.400 MHz	EAS (Electronic Article Surveillance "Vigilancia de artículos electrónicos")	13.5 dB μ A/m
6.765 - 6.795 MHz	Frecuencia media (ISM), acoplamiento inductivo	42 dB μ A/m
7.400 - 8.800 MHz	Frecuencia media, usada solamente para EAS.	9 dB μ A/m
13.553 - 13.567 MHz	Frecuencia media (13.56 MHz, ISM), acoplamiento inductivo, amplio uso de tarjetas sin contacto smartcards (ISO 14443, MIFARE, LEGIC, etc.), smartlabels (ISO 15693, Tag-It, I-Code, etc.) y artículos management (ISO 18000-3).	60 dB μ A/m
26.957 - 27.283 MHz	Frecuencia media (ISM), acoplamiento inductivo, solamente para aplicaciones especiales.	42 dB μ A/m
433 MHz	UHF (ISM), acoplamiento por retrodispersión, raramente usado para RFID.	10 .. 100 mW
865 - 868 MHz	UHF (solamente para RFID)	100 mW ERP(Effective Radiated Power "Potencia efectiva radiada"). Solamente en Europa.
865.6 - 867.6 MHz	UHF (solamente para RFID)	2W ERP =3.8W EIRP (Effective Isotropic Radiated Power "Potencia efectiva isotrópica radiada"). Solamente en Europa.
865.6 - 868 MHz	UHF (SRD), Acoplamiento por retrodispersión, nueva frecuencia, sistema en desarrollo.	500 mW ERP, Solamente en Europa.
902 - 928 MHz	UHF (SRD), Acoplamiento por retrodispersión, diversos sistemas	4 W EIRP - espectro ampliado, solamente USA/Canadá
2.400 - 2.483 GHz	SHF (ISM), Acoplamiento por retrodispersión, diversos sistemas,	4 W - espectro ampliado, solamente USA/Canadá
2.446 - 2.454 GHz	SHF (RFID y AVI (identificación automática de vehículos))	0.5 W EIRP en el exterior y 4W EIRP, en interiores.
5.725 - 5.875 GHz	SHF (ISM), acoplamiento por retrodispersión, raramente usado para RFID	4 W en USA/Canadá y 500 mW en Europa.

2.2 Problemas encontrados

Para poder desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica haciendo uso de las espiras magnéticas existentes en calzadas y autovías, es necesario conocer la naturaleza del campo magnético que se genera cuando estas espiras son energizadas. Generalmente el análisis del campo magnético en espiras se realiza para espiras con geometría circular y a distancias relativamente grandes con respecto al tamaño de la espira, lo que permite simplificar los cálculos. En el caso de las espiras magnéticas instaladas en las autovías, su geometría es de tipo rectangular y es de interés conocer la magnitud del campo magnético a una distancia que no supere el metro de altura desde el plano de la espira. Conociendo el perfil magnético es posible realizar los cálculos que determinen el voltaje inducido si se coloca una espira receptora.

Esto plantea la necesidad de desarrollar un modelo matemático que determine la magnitud del campo magnético generado por espiras magnéticas rectangulares y con esta información, determinar el nivel de voltaje inducido sobre una espira receptora que se encuentre dentro del espacio donde se tiene el campo magnético generado por la espira emisora. Con esta información se puede desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica, utilizando acoplamiento magnético entre ambas espiras.

2.3 Definición de los objetivos

En esta tesis se pretende diseñar un sistema de comunicación entre vehículos e infraestructuras, para aplicaciones ITS, utilizando las espiras magnéticas existentes en las calzadas. Para lograrlo se han marcado los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar un modelo matemático para calcular el campo magnético generado por espiras magnéticas rectangulares.
- Realizar mediciones del campo magnético generado por espiras magnéticas rectangulares.
- Comparar los resultados experimentales y calculados del campo magnético generado por espiras rectangulares.
- Desarrollar un modelo matemático para calcular el voltaje inducido entre espiras magnéticas.
- Realizar mediciones del voltaje inducido entre espiras magnéticas.

- Comparar los resultados experimentales y calculados del voltaje inducido entre espiras magnéticas.
- Implementar un modelo básico de sistema de comunicación utilizando espiras magnéticas rectangulares similares a las existentes en las calzadas.
- Verificar el funcionamiento del sistema de comunicación por acoplamiento magnético entre espiras rectangulares.

2.4 Estructura del documento de tesis

La estructura de la tesis plantea la siguiente secuencia:

- Introducción. Pone en contexto la importancia y relevancia que tienen los sistemas inteligentes de transporte (ITS) y dentro de éstos la sección de interés en el desarrollo de este trabajo, referente a los sistemas de comunicación de corto alcance.
- Definición del problema y objetivos. En esta sección se aborda específicamente el estudio de las espiras magnéticas como dispositivos utilizados en los ITS, que elementos son necesarios conocer para poder utilizarlas como medio de comunicación inalámbrica y los objetivos necesarios para alcanzar esta meta.
- Materiales, métodos y resultados. Dentro de esta sección se desarrolla el modelo teórico y la validación del mismo mediante la medición del campo magnético generado por espiras rectangulares y el voltaje inducido cuando se tiene una espira emisora y una receptora.
- Discusión de resultados. En esta sección se realiza el análisis de los resultados obtenidos. También en este capítulo se analiza el funcionamiento de un modelo simple de sistema de comunicación entre vehículos e infraestructuras utilizando espiras rectangulares como antenas.
- Conclusiones Finales y Futuras líneas de investigación. Finalmente se concluye con los alcances de la investigación llevada a cabo y se plantean los trabajos que pueden desarrollarse a partir de los resultados obtenidos en esta tesis.

Referencias

- [1] Traffic Detector Handbook, Third Edition ed., vol. I, 2006.
- [2] A. M. A. Arroyo, «Sistemas Sensores Empleados en ITS,» de *VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte*, Valencia, España, 2007.
- [3] J. H. Arroyo Núñez y M. S. A, «Communication Between Magnetic Loops,» de *16th World Road Meeting*, Lisbon, Portugal, 2010.
- [4] A. M. A. Arroyo, «Técnicas de Clasificación y Medida de Velocidad de Vehículos mediante espira única,» de *XII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación*, Santander, España, 2005.
- [5] F. Klaus, RFID handbook : fundamentals and applications in contactless smart cards and identification, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2003.
- [6] F. Xiong, Digital Modulation Techniques, Second Edition ed., ARTECH HOUSE, 2006.

3 Materiales, métodos y resultados

3.1 Análisis de espiras magnéticas de grandes dimensiones

Las espiras rectangulares resultan de interés en este análisis, ya que este tipo de geometría es utilizada por muchos sistemas de detección de vehículos, que se encuentran implementados en las calles, carreteras y autovías [1].

Los libros de texto generalmente realizan el análisis del campo magnético de espiras circulares, debido a que esta geometría permite simplificar los cálculos. O en el caso de otras geometrías el campo magnético es analizado a distancias muy cercanas o muy alejadas de la espira, permitiendo la simplificación de los cálculos.

En el caso concreto de las espiras utilizadas para la detección de vehículos, la distancia a la que interesa conocer el comportamiento del campo magnético se encuentra en el mismo rango de las dimensiones de la espira, por tanto no es posible realizar consideraciones de simplificación en el cálculo del campo magnético.

El presente trabajo detalla el análisis del campo magnético producido en un punto $P(x, y, z)$, por una espira rectangular por la que circula una corriente "I". Estableciendo las ecuaciones generales del campo magnético aplicables a cualquier distancia desde la espira.

3.1.1 Análisis teórico del campo magnético generado por espiras magnéticas rectangulares

Para este análisis partimos del fenómeno físico de la generación de campo magnético (\vec{B}) debido al flujo de corriente eléctrica que circula por un conductor. Las ecuaciones de Maxwell ponen de manifiesto que la divergencia de \vec{B} es igual a cero, ver Ec. (3.1). Esto indica que \vec{B} tiene la propiedad solenoidal (sin divergencia) [2].

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (3.1)$$

\vec{B} puede representarse haciendo uso de una función vectorial auxiliar \vec{A} , mediante la relación de rotacional, ver Ec. (3.2).

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad (3.2)$$

Por identidad vectorial tenemos [4]:

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = 0 \quad (3.3)$$

A la función \vec{A} se la llama campo de potencial vectorial magnético. Este campo está relacionado con las fuentes de densidad de corrientes estables \vec{J} , responsables del campo \vec{B} . Para el caso de un conductor lineal [2], \vec{A} está definida por la Ec. (3.4).

$$\vec{A} = \int_l \frac{\mu_0 \vec{I} dl'}{4\pi r} \quad (3.4)$$

Donde:

\vec{I} es la corriente que circula por el conductor lineal.

r es la distancia desde el conductor al punto de análisis del campo.

La Ec. (3.4), representa una solución para el caso de conductores delgados, la solución general, incluye una integral volumétrica del conductor [2].

Para el análisis de una espira rectangular de hilo delgado, el campo magnético es calculado, sumando la contribución del campo magnético generado por cada segmento de la espira. En la Fig. 3.1 se muestra la espira magnética en el plano xy, y el punto de análisis del campo magnético $P(x,y,z)$.

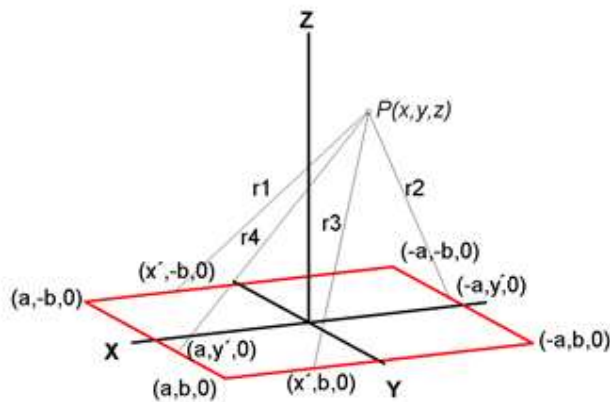


Fig. 3.1 Espira magnética y punto de análisis del campo magnético.

r_1, r_2, r_3 y r_4 representan la distancia que existe desde cada sección que forma la espira, al punto de interés donde se quiere conocer el campo magnético. Estas distancias se definen de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \sqrt{(x - x')^2 + (y + b)^2 + z^2} \\
 r_2 &= \sqrt{(x + a)^2 + (y - y')^2 + z^2} \\
 r_3 &= \sqrt{(x - x')^2 + (y - b)^2 + z^2} \\
 r_4 &= \sqrt{(x - a)^2 + (y - y')^2 + z^2}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Para calcular el campo magnético en $P(x,y,z)$, se utilizará el vector \vec{A} definido en la Ec. (3.4). Para este análisis se ha considerado que por la espira circula una corriente estática “I” en el sentido de las manecillas del reloj.

Para el segmento de espira que se ubica entre $(a, -b, 0)$ y $(-a, -b, 0)$, el potencial vectorial magnético se define como A_{1x} . Sustituyendo la distancia r_1 de la Ec. (3.5), en la Ec.(3.4), se tiene:

$$\vec{A}_{1x} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_a^{-a} \frac{dx'}{\sqrt{(x - x')^2 + (y + b)^2 + z^2}} \tag{3.6}$$

Que, una vez integrada queda como [3]:

$$\vec{A}_{1x} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x + a)^2 + (y + b)^2 + z^2} - a - x}{\sqrt{(x - a)^2 + (y + b)^2 + z^2} + a - x} \tag{3.7}$$

Para el segmento de espira entre $(-a, -b, 0)$ y $(-a, b, 0)$, el potencial vectorial magnético se define como A_{2y} . Realizando un análisis similar a A_{1x} , ahora con la distancia r_2 , se tiene:

$$\begin{aligned}
 \vec{A}_{2y} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-b}^b \frac{dy'}{\sqrt{(x + a)^2 + (y - y')^2 + z^2}} \\
 \vec{A}_{2y} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x + a)^2 + (y - b)^2 + z^2} + b - y}{\sqrt{(x + a)^2 + (y + b)^2 + z^2} - b - y}
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

Para el segmento de espira entre $(-a, b, 0)$ y $(a, b, 0)$, el potencial vectorial magnético se define como A_{3x} . Utilizando la distancia r_3 , se tiene:

$$\begin{aligned}\vec{A}_{3x} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-a}^a \frac{dx'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-b)^2 + z^2}} \\ \vec{A}_{3x} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + z^2} + a - x}{\sqrt{(x+a)^2 + (y-b)^2 + z^2} - a - x}\end{aligned}\quad (3.9)$$

Para el segmento de espira entre $(a, b, 0)$ y $(a, -b, 0)$ con la que se cierra el rectángulo, el potencial vectorial magnético se define como A_{4y} . Utilizando la distancia r_4 , se tiene:

$$\begin{aligned}\vec{A}_{4y} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_b^{-b} \frac{dy'}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-y')^2 + z^2}} \\ \vec{A}_{4y} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x-a)^2 + (y+b)^2 + z^2} - b - y}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + z^2} + b - y}\end{aligned}\quad (3.10)$$

Con la finalidad de simplificar la representación de las ecuaciones se define:

$$\begin{aligned}R_1 &= \sqrt{(x+a)^2 + (y+b)^2 + z^2} \\ R_2 &= \sqrt{(x-a)^2 + (y+b)^2 + z^2} \\ R_3 &= \sqrt{(x+a)^2 + (y-b)^2 + z^2} \\ R_4 &= \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + z^2} \\ c1 &= -a - x \\ c2 &= a - x \\ d1 &= -b - y \\ d2 &= b - y\end{aligned}\quad (3.11)$$

Sustituyendo los valores de las Ec. (3.11), para simplificar la representación del vector \vec{A} en las Ecs. (3.7), (3.8), (3.9) y (3.10), se tiene:

$$\begin{aligned}\vec{A}_{1x} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R1 + c1}{R2 + c2} \\ \vec{A}_{2y} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R3 + d2}{R1 + d1} \\ \vec{A}_{3x} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \\ \vec{A}_{4y} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R2 + d1}{R4 + d2}\end{aligned}\quad (3.12)$$

Sumando las componentes en “x” y en “y”, tenemos:

$$\begin{aligned}\vec{A}_x &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \left[\frac{R1 + c1}{R2 + c2} * \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \right] \\ \vec{A}_y &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \left[\frac{R3 + d2}{R1 + d1} * \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \right]\end{aligned}\quad (3.13)$$

Por lo tanto el potencial vector magnético \vec{A} tendrá componentes en “x” y en “y”, al igual que los conductores que forman la espira, ver Ec. (3.4).

A partir del potencial vector, es posible calcular el campo magnético, utilizando la Ec. (3.2):

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Realizando operaciones, se tiene:

$$\begin{aligned}\vec{B} &= \begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{d}{dx} & \frac{d}{dy} & \frac{d}{dz} \\ A_x & A_y & 0 \end{pmatrix} = \left(0 - \frac{d}{dz} A_y\right) \hat{x} - \left(0 - \frac{d}{dz} A_x\right) \hat{y} + \left(\frac{d}{dx} A_y - \frac{d}{dy} A_x\right) \hat{z} \\ \vec{B} &= \left(-\frac{d}{dz} A_y\right) \hat{x} + \left(\frac{d}{dz} A_x\right) \hat{y} + \left(\frac{d}{dx} A_y - \frac{d}{dy} A_x\right) \hat{z}\end{aligned}\quad (3.14)$$

La Ec. (3.14) representa el campo magnético en el punto P(x,y,z), que tiene tres componentes. Para su análisis se calculará cada una de estas componentes.

Para la componente “x”, se tiene:

$$\begin{aligned}\vec{B}_x &= -\frac{d}{dz} A_y = -\frac{d}{dz} \left(\frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \left[\frac{R3 + d2}{R1 + d1} * \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \right] \right) \\ \vec{B}_x &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{R1 + d1}{R3 + d2} * \frac{R4 + d2}{R2 + d1} \right] \frac{d}{dz} \left(\left[\frac{R3 + d2}{R1 + d1} * \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \right] \right) \\ \vec{B}_x &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{R1 + d1}{R3 + d2} * \frac{R4 + d2}{R2 + d1} \right] \left(\frac{R3 + d2}{R1 + d1} \frac{d}{dz} \left(\frac{R2 + d1}{R4 + d2} \right) + \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \frac{d}{dz} \left(\frac{R3 + d2}{R1 + d1} \right) \right) \\ \vec{B}_x &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R2(R2 + d1)} - \frac{z}{R4(R4 + d2)} + \frac{z}{R3(R3 + d2)} - \frac{z}{R1(R1 + d1)} \right]\end{aligned}$$

$$\vec{B}_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R1(R1 + d1)} - \frac{z}{R2(R2 + d1)} - \frac{z}{R3(R3 + d2)} + \frac{z}{R4(R4 + d2)} \right] \quad (3.15)$$

Para la componente “y”, se tiene:

$$\begin{aligned} \vec{B}_y &= -\frac{d}{dz} A_x = \frac{d}{dz} \left(\frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \left[\frac{R1 + c1}{R2 + c2} * \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \right] \right) \\ \vec{B}_y &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{R2 + c2}{R1 + c1} * \frac{R3 + c1}{R4 + c2} \right] \frac{d}{dz} \left[\frac{R1 + c1}{R2 + c2} * \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \right] \\ \vec{B}_y &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{R2 + c2}{R1 + c1} * \frac{R3 + c1}{R4 + c2} \right] \left(\frac{R1 + c1}{R2 + c2} \frac{d}{dz} \left(\frac{R4 + c2}{R3 + c1} \right) + \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \frac{d}{dz} \left(\frac{R1 + c1}{R2 + c2} \right) \right) \\ \vec{B}_y &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R1(R1 + c1)} - \frac{z}{R2(R2 + c2)} - \frac{z}{R3(R3 + c1)} + \frac{z}{R4(R4 + c2)} \right] \quad (3.16) \end{aligned}$$

y para la componente “z”, se tiene:

$$\begin{aligned} \vec{B}_z &= \frac{d}{dx} A_y - \frac{d}{dy} A_x \\ \vec{B}_z &= \frac{d}{dx} \left(\frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \left[\frac{R3 + d2}{R1 + d1} * \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \right] \right) - \frac{d}{dy} \left(\frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \left[\frac{R1 + c1}{R2 + c2} * \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \right] \right) \\ \vec{B}_z &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{R1 + d1}{R3 + d2} * \frac{R4 + d2}{R2 + d1} \right] \frac{d}{dx} \left(\left[\frac{R3 + d2}{R1 + d1} * \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \right] \right) \\ &\quad - \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{R2 + c2}{R1 + c1} * \frac{R3 + c1}{R4 + c2} \right] \frac{d}{dy} \left[\frac{R1 + c1}{R2 + c2} * \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \right] \\ \vec{B}_z &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[-\frac{(x + a)}{R1(R1 + d1)} + \frac{(x - a)}{R2(R2 + d1)} + \frac{(x + a)}{R3(R3 + d2)} - \frac{(x - a)}{R4(R4 + d2)} \right] \\ &\quad - \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{(y + b)}{R1(R1 + c1)} - \frac{(y + b)}{R2(R2 + c2)} - \frac{(y - b)}{R3(R3 + c1)} + \frac{(y - b)}{R4(R4 + c2)} \right] \\ \vec{B}_z &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left(\left[-\frac{(x + a)}{R1(R1 + d1)} + \frac{(x - a)}{R2(R2 + d1)} + \frac{(x + a)}{R3(R3 + d2)} - \frac{(x - a)}{R4(R4 + d2)} \right] \right. \\ &\quad \left. - \left[\frac{(y + b)}{R1(R1 + c1)} - \frac{(y + b)}{R2(R2 + c2)} - \frac{(y - b)}{R3(R3 + c1)} \right] \right. \\ &\quad \left. + \frac{(y - b)}{R4(R4 + c2)} \right] \quad (3.17) \end{aligned}$$

Las Ecs. (3.15), (3.16) y (3.17) representan las componentes del campo magnético en el punto P(x,y,z). Su módulo será:

$$|\vec{B}| = \sqrt{(Bx)^2 + (By)^2 + (Bz)^2} \quad (3.18)$$

Basado en el análisis teórico se desarrolló un programa que permite simular el campo generado por una espira magnética rectangular. Este programa se realizó utilizando el software Matlab. El código del programa se muestra a continuación.

```

%%%PROGRAMA PARA CALCULAR LA MAGNITUD DEL CAMPO MAGNÉTICO%%%

% UBICACIÓN ESPACIAL DE LA ESPIRA%

% La espira se encuentra ubicada en un plano cartesiano tridimensional
% Centrada sobre el plano XY
% El eje Z representa la altura de forma paralela al plano de la
espira

% DEFINICIÓN DEL ESPACIO DONDE SE REALIZARAN LOS CÁLCULOS %

% "x1" representa la distancia en metros sobre el eje X,...
%     la longitud total de barrido es 2*(x1)

% "y1" representa la distancia en metros sobre el eje Y,...
%     la longitud total de barrido es 2*(y1)

% "z" representa la distancia en metros sobre el eje Z,...
%     donde se calcula el campo magnético

% "p" representa la separación en metros entre cada valor calculado

% "m" representa el número total de puntos analizados sobre el eje X

% "n" representa el número total de puntos analizados sobre el eje Y

% "x" representa el vector que forma los valores a analizar...
%     sobre el eje X

% "y" representa el vector que forma los valores a analizar...
%     sobre el eje Y

clear all
clc

x1=2;
y1=2;
z=0.5;
p=0.01;
m=((2*x1)/p)+1;
n=((2*y1)/p)+1;
x=[-x1:p:x1];
y=[-y1:p:y1];

% DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESPIRA %

% "Ancho" representa la longitud en metros del conductor...
%     paralelo al eje X

```

```

% "Largo" representa la longitud en metros del conductor...
%     paralelo al eje Y

% "u" representa la permeabilidad magnética en el vacío

% "I" representa la corriente eléctrica en amperes que...
%     circula por la espira

% "NE" representa el número de espiras

Ancho=2;
Largo=1;
u=4*pi*1e-7;
I=10e-3;
NE=5;

% CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO BASADO EN EL MODELO DESARROLLADO %

for i = 1:m
    for j = 1:n

        a=Ancho/2;
        b=Largo/2;
        c1=-a-x(i);
        c2=a-x(i);
        d1=-b-y(j);
        d2=b-y(j);

        r1=((a+x(i)).^2+(y(j)+b).^2+z.^2).^0.5;
        r2=((a-x(i)).^2+(y(j)+b).^2+z.^2).^0.5;
        r3=((a+x(i)).^2+(y(j)-b).^2+z.^2).^0.5;
        r4=((a-x(i)).^2+(y(j)-b).^2+z.^2).^0.5;

        Bx=-((u*I)/(4*pi))*((z/(r1*(r1+d1)))-(z/(r2*(r2+d1)))-
(z/(r3*(r3+d2)))+(z/(r4*(r4+d2))));

        By=((u*I)/(4*pi))*((z/(r1*(r1+c1)))-(z/(r2*(r2+c2)))-
(z/(r3*(r3+c1)))+(z/(r4*(r4+c2))));

        Bz=((u*I)/(4*pi))*(((x(i)-a)/(r2*(r2+d1)))-
((x(i)+a)/(r1*(r1+d1)))+(x(i)+a)/(r3*(r3+d2))-((x(i)-
a)/(r4*(r4+d2))))
- (((y(j)+b)/(r1*(r1+c1)))-((y(j)+b)/(r2*(r2+c2)))-((y(j)-
b)/(r3*(r3+c1)))+(y(j)-b)/(r4*(r4+c2)))));

        X(i,j)=x(i);

        Y(i,j)=y(j);

        B(i,j)=NE*((Bx*Bx)+(By*By)+(Bz*Bz)).^0.5; % Magnitud del campo
% magnético
    end
end

surf(X,Y,B) % Trazado de la magnitud del campo magnético %

% DIBUJO DE LA UBICACIÓN DE LA ESPIRA SOBRE EL PLANO XY %

```

```

hold on

                                % Secciones paralelas al eje X %
t = -a:0.001:a;
plot3(t,-b,0,'-..r')
t = -a:0.001:a;
plot3(t,b,0,'-..r')

                                % Secciones paralelas al eje Y %
t = -b:0.001:b;
plot3(-a,t,0,'-..r')
t = -b:0.001:b;
plot3(a,t,0,'-..r')

hold off

```

Este programa permite simular la magnitud del campo magnético generado por una espira, teniendo como variables fundamentales la dimensión de la espira, el número de vueltas y la corriente aplicada. Además de las características de la espira, se tiene control sobre el área que se desea observar. Si se ejecuta el programa con los datos descritos anteriormente, se obtiene el resultado que se muestra en la Fig. 3.2.

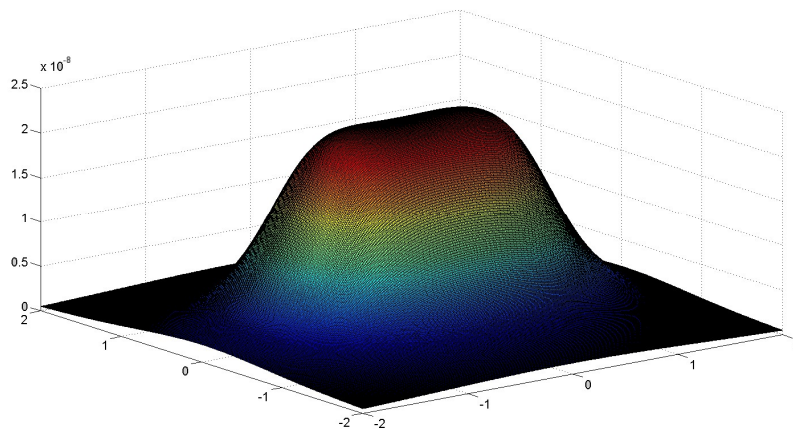


Fig. 3.2 $|B|$ en un área de 4 X 4 metros a una altura de 0.50m.

Si se desea observar un área diferente, por ejemplo un metro cuadrado, dentro del programa se tiene que modificar el valor de $x1 = 0.5$ y $y1 = 0.5$, con esta modificación el resultado obtenido es el que se muestra en la Fig. 3.3.

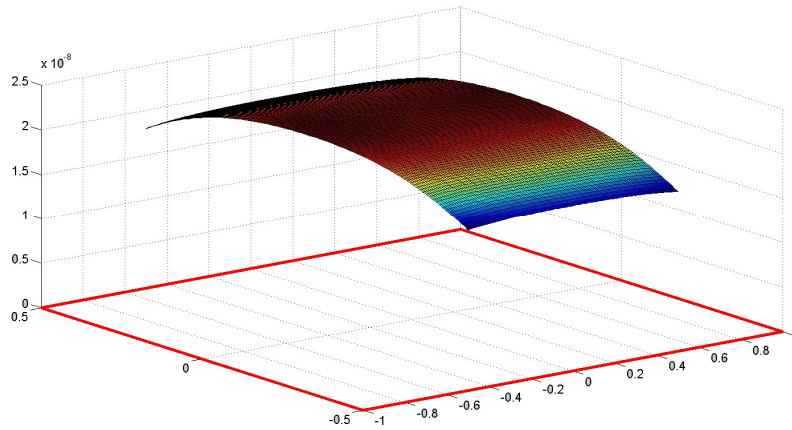


Fig. 3.3 $|B|$ en un área de 1 X 1 metros a una altura de 0.50m.

Si modificamos el programa original unicamente con el valor de la altura desde el plano de la espira, descrita por la variable “z” y le asignamos un valor de 0.1, la grafica de la magnitud del campo magnético se puede ver en la Fig. 3.4.

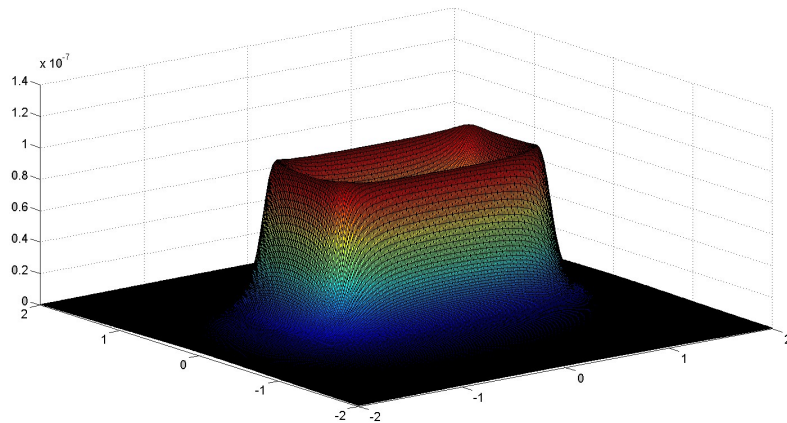


Fig. 3.4 $|B|$ en un área de 4 X 4 metros a una altura de 0.10m.

3.1.2 Análisis del campo magnético en un punto debido a una espira rectangular doble

Las espiras dobles, corresponden a otro tipo de arquitectura, también utilizada en la detección de vehículos. Básicamente una espira doble, resulta de la unión de dos espiras rectangulares, las cuales pueden tener áreas distintas, ver Fig.3.5.

El análisis realizado para determinar el campo magnético en un punto, es similar al descrito para la espira rectangular. Con la diferencia de que el análisis es dividido en tres partes. Estas partes representan secciones de la espira. La primera sección corresponde a los tres segmentos de espira ubicados en el plano de los valores de “x” negativo, la segunda sección a los tres segmentos ubicado en el plano de los valores de “x” positivo y la tercera sección corresponde al segmento de espira ubicados sobre el eje “y”, con x=0. El hecho de realizar el análisis por secciones, permite analizar espiras magnéticas dobles con diferentes números de segmentos en cada sección. Las espiras dobles reales tienen diferente número de segmentos en cada sección.

Las distancias desde la sección de espira al punto de análisis del campo magnético se definen de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 r1a &= \sqrt{(x - x')^2 + (y + b)^2 + z^2} \\
 r2a &= \sqrt{(x + a)^2 + (y - y')^2 + z^2} \\
 r3a &= \sqrt{(x - x')^2 + (y - b)^2 + z^2} \\
 r1b &= \sqrt{(x - x')^2 + (y + b)^2 + z^2} \\
 r2b &= \sqrt{(x - x')^2 + (y - b)^2 + z^2} \\
 r3b &= \sqrt{(x - d)^2 + (y - y')^2 + z^2} \\
 r1c &= \sqrt{x^2 + (y - y')^2 + z^2}
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

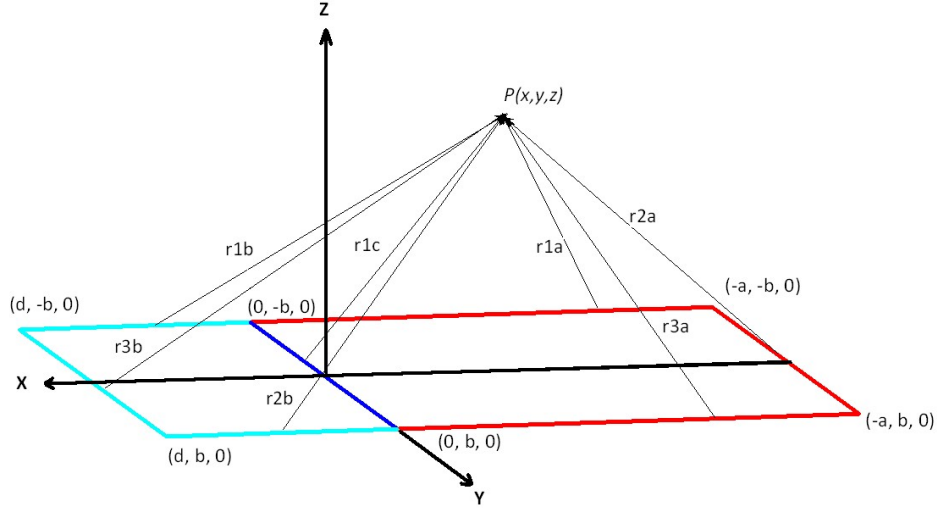


Fig. 3.5 Espira magnética doble y punto de análisis del campo magnético.

Aplicando la Ec. (3.4), se obtiene el potencial vectorial para cada segmento de la espira, que da como resultado, ver Ec. (3.20):

$$\begin{aligned}
 \vec{A}_{1a} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x+a)^2 + (y+b)^2 + z^2} - a - x}{\sqrt{(x)^2 + (y+b)^2 + z^2} - x} \\
 \vec{A}_{2ay} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x+a)^2 + (y-b)^2 + z^2} + b - y}{\sqrt{(x+a)^2 + (y+b)^2 + z^2} - b - y} \\
 \vec{A}_{3a} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{x^2 + (y-b)^2 + z^2} - x}{\sqrt{(x+a)^2 + (y-b)^2 + z^2} - a - x} \\
 \vec{A}_{1bx} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{x^2 + (y+b)^2 + z^2} - x}{\sqrt{(x-d)^2 + (y+b)^2 + z^2} + d - x} \\
 \vec{A}_{2bx} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x-d)^2 + (y-b)^2 + z^2} + d - x}{\sqrt{x^2 + (y-b)^2 + z^2} - x} \\
 \vec{A}_{3by} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{(x-d)^2 + (y+b)^2 + z^2} - b - y}{\sqrt{(x-d)^2 + (y-b)^2 + z^2} + b - y} \\
 \vec{A}_{1c} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{\sqrt{x^2 + (y-b)^2 + z^2} + b - y}{\sqrt{x^2 + (y+b)^2 + z^2} - b - y}
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Los subíndices a, b y c, representan la sección de la espira analizada, correspondiendo respectivamente a la primera, segunda y tercera sección.

Para simplificar la representación de las ecuaciones anteriores, definimos los siguientes términos:

$$\begin{aligned}
 R1 &= \sqrt{x^2 + (y + b)^2 + z^2} \\
 R2 &= \sqrt{(x - d)^2 + (y + b)^2 + z^2} \\
 R3 &= \sqrt{x^2 + (y - b)^2 + z^2} \\
 R4 &= \sqrt{(x - d)^2 + (y - b)^2 + z^2} \\
 R1a &= \sqrt{(x + a)^2 + (y + b)^2 + z^2} \\
 R2a &= R1 \\
 R3a &= \sqrt{(x + a)^2 + (y - b)^2 + z^2} \\
 R4a &= R3 \\
 c1 &= -x \\
 c2 &= d - x \\
 d1 &= -b - y \\
 d2 &= b - y \\
 c1a &= -a - x \\
 c2a &= c1 \\
 d1a &= d1 \\
 d2a &= d2
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

Sustituyendo la Ec. (3.21) en la Ec. (3.20), se tiene:

$$\begin{aligned}
\vec{A}_{1ax} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R1a + c1a}{R2a + c2a} \\
\vec{A}_{2ay} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R3a + d2a}{R1a + d1a} \\
\vec{A}_{3ax} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R4a + c2a}{R3a + c1a} \\
\vec{A}_{1bx} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R1 + c1}{R2 + c2} \\
\vec{A}_{2bx} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R4 + c2}{R3 + c1} \\
\vec{A}_{3by} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R2 + d1}{R4 + d2} \\
\vec{A}_{1cy} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{R4a + d2a}{R2a + d1a}
\end{aligned} \tag{3.22}$$

Para la sección de la espira ubicada en el plano de los valores de “x” negativo, el potencial magnético tiene dos componentes:

$$\vec{A}_a = (\vec{A}_{1a} + \vec{A}_{3a})\hat{x} + (\vec{A}_{2ay})\hat{y} \tag{3.23}$$

Para la espira ubicada en el plano de los valores de “x” positivo, el potencial magnético también tiene dos componentes:

$$\vec{A}_b = (\vec{A}_{1bx} + \vec{A}_{2bx})\hat{x} + (\vec{A}_{3by})\hat{y} \tag{3.24}$$

Para el caso de la sección ubicada sobre el eje “y” en x=0, esta solo tiene componente en “y”, ver Ec. (3.4).

$$\vec{A}_c = (\vec{A}_{1cy})\hat{y} \tag{3.25}$$

Aplicando el rotacional al potencial magnético de la misma forma que en la Ec. (3.14), se obtiene el campo magnético. El cálculo es realizado para cada sección de espira.

Para el plano de los valores de “x” negativo, se tiene:

$$\begin{aligned}
\vec{B}_{ax} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R1a(R1a + d1a)} - \frac{z}{R3a(R3a + d2a)} \right] \\
\vec{B}_{ay} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R1a(R1a + c1a)} - \frac{z}{R2a(R2a + c2a)} - \frac{z}{R3a(R3a + c1a)} \right. \\
&\quad \left. + \frac{z}{R4a(R4a + c2a)} \right] \\
\vec{B}_{az} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\left(\frac{-(x+a)}{R1a(R1a + d1a)} + \frac{(x+a)}{R3a(R3a + d2a)} \right) \right. \\
&\quad - \left(\frac{(y+b)}{R1a(R1a + c1a)} - \frac{(y+b)}{R2a(R2a + c2a)} - \frac{(y-b)}{R3a(R3a + c1a)} \right. \\
&\quad \left. \left. + \frac{(y-b)}{R4a(R4a + c2a)} \right) \right] \tag{3.26}
\end{aligned}$$

Para el plano de los valores de “x” positivo, se tiene el siguiente resultado:

$$\begin{aligned}
\vec{B}_{bx} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{-z}{R2(R2 + d1)} - \frac{z}{R4(R4 + d2)} \right] \\
\vec{B}_{by} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R1(R1 + c1)} - \frac{z}{R2(R2 + c2)} - \frac{z}{R3(R3 + c1)} + \frac{z}{R4(R4 + c2)} \right] \\
\vec{B}_{bz} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\left(\frac{(x-d)}{R2(R2 + d1)} - \frac{(x-d)}{R4(R4 + d2)} \right) \right. \\
&\quad - \left(\frac{(y+b)}{R1(R1 + c1)} - \frac{(y+b)}{R2(R2 + c2)} - \frac{(y-b)}{R3(R3 + c1)} \right. \\
&\quad \left. \left. + \frac{(y-b)}{R4(R4 + c2)} \right) \right] \tag{3.27}
\end{aligned}$$

Y para la sección de espira, que se encuentra sobre el eje “y”, en x=0, se tiene el siguiente resultado:

$$\begin{aligned}
\vec{B}_{cx} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{z}{R2a(R2a + d1a)} - \frac{z}{R4a(R4a + d2a)} \right] \\
\vec{B}_{cz} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left[\frac{x}{R4a(R4a + d2a)} - \frac{x}{R2a(R2a + d1a)} \right] \tag{3.28}
\end{aligned}$$

El resultado del campo magnético, en un punto P(x,y,z) resulta de la suma de las componentes obtenidos en las ecuaciones (3.26), (3.27) y (3.28).

$$\vec{B} = (\vec{B}_{ax} + \vec{B}_{bx} + \vec{B}_{cx})\hat{x} + (\vec{B}_{ay} + \vec{B}_{by})\hat{y} + (\vec{B}_{az} + \vec{B}_{bz} + \vec{B}_{cz})\hat{z} \tag{3.29}$$

3.1.3 Relación de ensayos para la verificación del modelo del campo magnético generado por espiras magnéticas de grandes dimensiones

Los ensayos estarán divididos en tres etapas, la primera etapa corresponderá a espiras rectangulares de diferentes dimensiones, la segunda etapa corresponderá a la implementación de una espira doble y la tercera etapa a espiras realizadas con cable plano. Cada una de las espiras implementadas será energizada, para generar un campo magnético. Todas las lecturas de campo magnético obtenidas serán comparadas con los valores teóricos. Esto permitirá verificar el modelo teórico.

3.1.3.1 Espiras rectangulares

Ensayo 1

El primer ensayo tendrá como objetivo realizar las primeras mediciones de campo magnético, para ello se plantea diseñar una espira rectangular de 1.20 x 0.46 m de 4 vueltas. Las lecturas de campo se realizarán en el eje central de la espira, realizando un barrido de lecturas a lo largo del eje de mayor dimensión.

Ensayo 2

Este ensayo tiene el mismo objetivo que el anterior, pero utilizando una espira diferente. La espira planteada para este ensayo es de 1.30 x 0.80m de 5 vueltas. El campo magnético se medirá de la misma forma que el ensayo 1.

El hecho de utilizar dos espiras de diferente tamaño y número de vueltas, permitirá tener dos medidas experimentales distintas, lo que permitirá comprobar el efecto de estos parámetros sobre la bondad del modelo teórico.

3.1.3.2 Espira doble

Ensayo 3

Para este ensayo se implementará una espira doble, este tipo de geometría también es utilizada en la detección de vehículos y por tanto resulta de interés observar el campo

magnético que genera y poder compararlo con los resultados teóricos. La espira para este ensayo, constará de 4 vueltas exteriores de 1.20 x 0.46m y 5 vueltas interiores de 0.40 x 0.46m. Las lecturas se tomarán en el eje central de la espira a lo largo del eje de mayor dimensión de la espira total.

3.1.3.3 Espiras rectangulares hechas con cable plano

Ensayo 4

En este ensayo se diseñará una espira rectangular utilizando cable plano, la espira tendrá dimensiones de 1.30 x 0.80m de 5 vueltas. Estas características son similares a la espira descrita en el ensayo 2, las lecturas del campo magnético se realizarán en el eje central de la espira, a lo largo del eje de mayor dimensión. Esto permitirá comparar los resultados de ambos ensayos.

Ensayo 5

Continuando con el cable plano para el diseño de la espira, se implementará una espira de 2 x 1m de 5 vueltas. Estas dimensiones y número de vueltas son similares a las utilizadas en la detección de vehículos. Por tanto en esta espira, que es comparable a las implementadas en las autovías, se realizarán lecturas del campo magnético variando los siguientes parámetros:

- Corriente que circula por la espira.
- Altura a la que se realizarán las medidas de campo magnético desde el plano de la espira.
- Lectura del campo magnético en diferentes puntos, a una determinada altura sobre el plano de la espira.

Con este ensayo se pretende observar el comportamiento del campo magnético en diferentes puntos de la espira y poder comparar los valores teóricos con los experimentales.

3.1.4 Materiales y métodos para la verificación del modelo teórico

Para poder comparar el modelo teórico desarrollado para el cálculo de campo magnético, se implementarán las espiras magnéticas, las cuales serán energizadas para generar un campo magnético. El campo magnético será medido y los resultados comparados con los obtenidos a través del modelo teórico.

El instrumento que se utilizará para medir el campo magnético, es el Exposure Level Tester ELT-400, ver Fig. 3.6. Este dispositivo cuenta con un sensor en forma esférica, que contiene espiras, con el que se detecta el campo magnético, cuyo diámetro es igual a 0.125m, el rango de frecuencia que puede detectar va desde 1Hz hasta 400KHz.

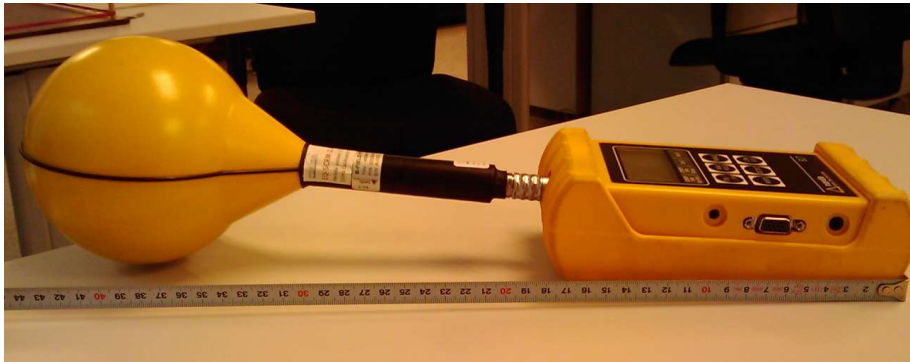


Fig. 3.6 Exposure Level Tester ELT-400.

Para realizar las medidas, el ELT-400 se configurará de la siguiente forma (ver Fig. 3.7):

- Frecuencia de corte inferior a 30Hz.
- Rango de lectura 320 μ T.
- Valor de la señal RMS.

Este instrumento está diseñado para medir señales sinusoidales, por lo tanto los valores que presenta en RMS, corresponde al valor pico de la señal dividida por $\sqrt{2}$

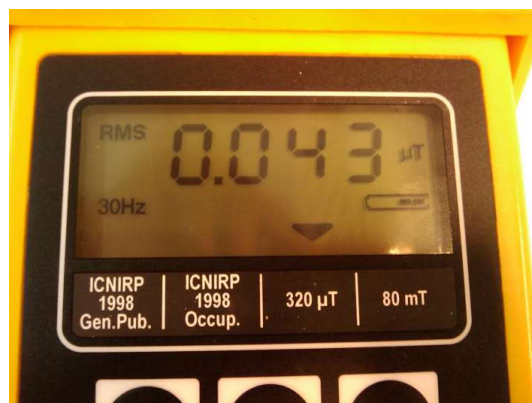


Fig. 3.7 Configuración del ELT-400.

En total se plantean 5 ensayos para verificar si el modelo teórico se corresponde con las medidas obtenidas de forma experimental. Los primeros cuatro ensayos tienen como elemento constante la utilización de una señal de tipo rectangular para alimentar a la espira, emulando la posibilidad de enviar señales digitales. En el último ensayo, la señal utilizada es de tipo senoidal. Este tipo de señal puede ser usada como portadora para modular una señal digital.

En los primeros 4 ensayos se utilizan valores de corriente que oscilan entre 51.80 mA y 57.83 mA, frecuencias que van desde los 136.8 kHz a 140.1 kHz y una distancia constante entre el plano de la espira y la ubicación del instrumento de medición que fue de 0.0825m. Las variaciones de corriente y frecuencia se deben básicamente a las características eléctricas de las espiras, que al conectarse a un generador de funciones provocan cambios en el tipo de señal aplicada. En esta primera etapa no se acondicionó la señal aplicada a la espira, lo que permite realizar comparación de los resultados variando estos parámetros.

Para el caso del ensayo 5 el valor de la frecuencia se acoto a 100 kHz, se realizaron pruebas a cuatro alturas diferentes desde el plano de la espira y con cuatro corrientes de alimentación diferentes. La utilización de una frecuencia de 100 kHz se debe básicamente a que el instrumento para realizar las medidas tiene un ancho de banda que va desde 1 Hz hasta 400 kHz, y para el cálculo del campo magnético se utiliza el valor RMS de la corriente, que es independiente de la frecuencia.

En los dos últimos ensayos se plantea la utilización de cable plano, la utilización de este tipo de cable permitirá saber si el modelo teórico también funciona para este tipo de

conductor. El interés en esta arquitectura de conductor, es la facilidad de su utilización para diseñar espiras portátiles que generen un cambio mínimo en la altura de la superficie donde serán colocadas.

A continuación se describen cada uno de los ensayos, que permitirán verificar la validez del modelo desarrollado, para predecir el campo magnético generado por las espiras.

3.1.4.1 Espiras rectangulares

Ensayo 1

Diseño de una espira rectangular con las siguientes características:

- Tipo de conductor: hilo de conexión de cobre estañado recubierto de policloruro de vinilo, con una sección transversal de 0.28mm^2 .
- Número de vueltas: 4
- Dimensiones: $1.20 \times 0.46\text{m}$.

Características de la señal que energizará a la espira:

- Frecuencia de la señal aplicada a la espira: 136.8kHz .
- Tipo de señal: rectangular.
- Corriente que circula por la espira (RMS): 57.83mA .

Región donde se realizarán las lecturas del campo magnético:

Suponiendo que la espira se encuentra centrada en el plano "xy", coincidiendo el lado de mayor dimensión con el eje "x", las lecturas se realizarán de la siguiente forma:

- Altura sobre el plano de la espira: 0.0825m .
- Posición: A lo largo del eje "x" en el centro de la espira ($y=0$).

Ensayo 2

Diseño de una espira rectangular con las siguientes características:

- Tipo de conductor: hilo de conexión de cobre estañado recubierto de policloruro de vinilo, con una sección transversal de 0.28mm^2 .
- Número de vueltas: 5
- Dimensiones: $1.30 \times 0.80\text{m}$

Características de la señal que energizará a la espira:

- Frecuencia de la señal aplicada a la espira: 139.7kHz .
- Tipo de señal: rectangular.
- Corriente que circula por la espira (RMS): 57.01mA .

Región donde se realizarán las lecturas del campo magnético:

Suponiendo que la espira se encuentra centrada en el plano "xy", coincidiendo el lado de mayor dimensión con el eje "x", las lecturas se realizarán de la siguiente forma:

- Altura sobre el plano de la espira: 0.0825m .
- Posición: A lo largo del eje "x" en el centro de la espira ($y=0$).

3.1.4.2 Espira doble

Ensayo 3

Diseño de una espira doble con las siguientes características:

- Tipo de conductor: hilo de conexión de cobre estañado recubierto de policloruro de vinilo, con una sección transversal de 0.28mm^2 .
- Número de vueltas: 4 exteriores $1.20 \times 0.46\text{m}$ y 5 interiores de $0.40 \times 0.46\text{m}$.
- Dimensiones: $1.20 \times 0.46\text{m}$.

Características de la señal que energizará a la espira:

- Frecuencia de la señal aplicada a la espira: 139.2kHz.
- Tipo de señal: rectangular.
- Corriente que circula por la espira (RMS): 51.80mA.

Región donde se realizarán las lecturas del campo magnético:

Suponiendo que la espira se encuentra centrada en el plano “xy”, coincidiendo el lado de mayor dimensión con el eje “x”, las lecturas se realizarán de la siguiente forma:

- Altura sobre el plano de la espira: 0.0825m.
- Posición: A lo largo del eje “x” en el centro de la espira ($y=0$).

3.1.4.3 Espiras rectangulares hechas con cable plano

Ensayo 4

Diseño de una espira rectangular con las siguientes características:

- Tipo de conductor: cable plano de 10vías, E111235 AWM Style 2651 300V 105°C
- Número de vueltas: 5 (cada vuelta está formada por dos vías en paralelo)
- Dimensiones: 1.30x0.80m

Características de la señal que energizará a la espira:

- Frecuencia de la señal aplicada a la espira: 140.1kHz.
- Tipo de señal: rectangular.
- Corriente que circula por la espira (RMS): 53.01mA.

Región donde se realizarán las lecturas del campo magnético:

Suponiendo que la espira se encuentra centrada en el plano “xy”, coincidiendo el lado de mayor dimensión con el eje “x”, las lecturas se realizarán de la siguiente forma:

- Altura sobre el plano de la espira: 0.0825m.
- Posición: A lo largo del eje “x” en el centro de la espira ($y=0$).

Ensayo 5

Diseño de una espira rectangular con las siguientes características:

- Tipo de conductor: cable plano de 10vías, E111235 AWM Style 2651 300V 105°C
- Número de vueltas: 5 (cada vuelta está formada por dos vías en paralelo)
- Dimensiones: 2x1m

Características de la señal que energizará a la espira:

- Frecuencia de la señal aplicada a la espira: 100 kHz.
- Tipo de señal: Senoidal
- Corriente que circula por la espira (RMS): 10, 20, 50 y 100mA.

Región donde se realizarán las lecturas del campo magnético:

Suponiendo que la espira se encuentra centrada en el plano “xy”, coincidiendo el lado de mayor dimensión con el eje “x”, las lecturas se realizarán de la siguiente forma:

- Altura sobre el plano de la espira: 0.10, 0.20, 0.50 y 1m.
- Posición: Sobre el plano paralelo a la espira.

3.1.5 Resultados

En esta sección se presenta la comparación entre los valores medidos y los valores calculados del campo magnético generado por las diferentes configuraciones de espiras.

3.1.5.1 Espiras rectangulares

Ensayo 1

En la tabla 3.1, se muestra la posición donde se realizó el análisis en el plano xyz, las lecturas del campo magnético medido con el ELT-400, los valores del campo magnético calculado utilizando las fórmulas, la diferencia entre los valores medidos y los calculados, el porcentaje de error que representa esta diferencia con respecto al valor calculado, y finalmente las dos últimas columnas corresponden al +/- error propio del instrumento. En la Fig. 3.8 se pueden observar los valores calculados y los valores de las lecturas realizadas incluyendo el +/- error propio del instrumento.

Tabla 3.1 Valores correspondientes al ensayo 1

Eje x (m)	Eje y (m)	Eje z (m)	B Lectura (Teslas)	B Calculada (Teslas)	Lectura-Calculo	% Error	Lectura + 35nT	Lectura - 35nT
-0,7	0	0,0825	2,56E-07	2,34E-07	2,17E-08	9,28%	2,91E-07	2,21E-07
-0,68	0	0,0825	3,18E-07	2,87E-07	3,15E-08	10,99%	3,53E-07	2,83E-07
-0,66	0	0,0825	4,00E-07	3,51E-07	4,93E-08	14,06%	4,35E-07	3,65E-07
-0,64	0	0,0825	4,81E-07	4,24E-07	5,64E-08	13,28%	5,16E-07	4,46E-07
-0,62	0	0,0825	5,40E-07	4,99E-07	4,16E-08	8,35%	5,75E-07	5,05E-07
-0,6	0	0,0825	5,53E-07	5,58E-07	-4,86E-09	0,87%	5,88E-07	5,18E-07
-0,58	0	0,0825	5,60E-07	5,89E-07	-2,89E-08	4,91%	5,95E-07	5,25E-07
-0,56	0	0,0825	5,91E-07	5,92E-07	-4,32E-10	0,07%	6,26E-07	5,56E-07
-0,54	0	0,0825	6,19E-07	5,76E-07	4,36E-08	7,57%	6,54E-07	5,84E-07
-0,52	0	0,0825	6,15E-07	5,52E-07	6,28E-08	11,36%	6,50E-07	5,80E-07
-0,5	0	0,0825	5,93E-07	5,28E-07	6,45E-08	12,22%	6,28E-07	5,58E-07
-0,48	0	0,0825	5,64E-07	5,06E-07	5,87E-08	11,60%	5,99E-07	5,29E-07
-0,46	0	0,0825	5,37E-07	4,86E-07	5,13E-08	10,55%	5,72E-07	5,02E-07
-0,44	0	0,0825	5,18E-07	4,70E-07	4,80E-08	10,22%	5,53E-07	4,83E-07
-0,42	0	0,0825	4,99E-07	4,56E-07	4,35E-08	9,54%	5,34E-07	4,64E-07
-0,4	0	0,0825	4,85E-07	4,44E-07	4,09E-08	9,22%	5,20E-07	4,50E-07
-0,38	0	0,0825	4,74E-07	4,34E-07	3,93E-08	9,06%	5,09E-07	4,39E-07
-0,36	0	0,0825	4,62E-07	4,26E-07	3,62E-08	8,49%	4,97E-07	4,27E-07
-0,34	0	0,0825	4,54E-07	4,19E-07	3,46E-08	8,25%	4,89E-07	4,19E-07
-0,32	0	0,0825	4,47E-07	4,14E-07	3,34E-08	8,07%	4,82E-07	4,12E-07
-0,3	0	0,0825	4,41E-07	4,09E-07	3,27E-08	7,99%	4,76E-07	4,06E-07
-0,28	0	0,0825	4,37E-07	4,04E-07	3,26E-08	8,07%	4,72E-07	4,02E-07
-0,26	0	0,0825	4,31E-07	4,01E-07	3,06E-08	7,63%	4,66E-07	3,96E-07
-0,24	0	0,0825	4,29E-07	3,98E-07	3,08E-08	7,75%	4,64E-07	3,94E-07
-0,22	0	0,0825	4,26E-07	3,95E-07	3,06E-08	7,75%	4,61E-07	3,91E-07
-0,2	0	0,0825	4,21E-07	3,93E-07	2,86E-08	7,28%	4,56E-07	3,86E-07
-0,18	0	0,0825	4,20E-07	3,91E-07	2,91E-08	7,45%	4,55E-07	3,85E-07
-0,16	0	0,0825	4,17E-07	3,89E-07	2,79E-08	7,17%	4,52E-07	3,82E-07
-0,14	0	0,0825	4,16E-07	3,88E-07	2,79E-08	7,18%	4,51E-07	3,81E-07
-0,12	0	0,0825	4,14E-07	3,87E-07	2,76E-08	7,13%	4,49E-07	3,79E-07
-0,1	0	0,0825	4,13E-07	3,86E-07	2,71E-08	7,02%	4,48E-07	3,78E-07
-0,08	0	0,0825	4,13E-07	3,85E-07	2,78E-08	7,23%	4,48E-07	3,78E-07
-0,06	0	0,0825	4,13E-07	3,85E-07	2,84E-08	7,39%	4,48E-07	3,78E-07
-0,04	0	0,0825	4,12E-07	3,84E-07	2,74E-08	7,13%	4,47E-07	3,77E-07
-0,02	0	0,0825	4,12E-07	3,84E-07	2,76E-08	7,19%	4,47E-07	3,77E-07
0	0	0,0825	4,12E-07	3,84E-07	2,77E-08	7,21%	4,47E-07	3,77E-07
0,02	0	0,0825	4,12E-07	3,84E-07	2,76E-08	7,19%	4,47E-07	3,77E-07
0,04	0	0,0825	4,12E-07	3,84E-07	2,74E-08	7,13%	4,47E-07	3,77E-07
0,06	0	0,0825	4,12E-07	3,85E-07	2,70E-08	7,02%	4,47E-07	3,77E-07
0,08	0	0,0825	4,12E-07	3,85E-07	2,64E-08	6,86%	4,47E-07	3,77E-07
0,1	0	0,0825	4,12E-07	3,86E-07	2,57E-08	6,66%	4,47E-07	3,77E-07
0,12	0	0,0825	4,12E-07	3,87E-07	2,48E-08	6,40%	4,47E-07	3,77E-07
0,14	0	0,0825	4,13E-07	3,88E-07	2,50E-08	6,45%	4,48E-07	3,78E-07
0,16	0	0,0825	4,14E-07	3,89E-07	2,51E-08	6,44%	4,49E-07	3,79E-07
0,18	0	0,0825	4,14E-07	3,91E-07	2,35E-08	6,00%	4,49E-07	3,79E-07
0,2	0	0,0825	4,17E-07	3,93E-07	2,44E-08	6,20%	4,52E-07	3,82E-07
0,22	0	0,0825	4,19E-07	3,95E-07	2,35E-08	5,96%	4,54E-07	3,84E-07
0,24	0	0,0825	4,21E-07	3,98E-07	2,37E-08	5,97%	4,56E-07	3,86E-07
0,26	0	0,0825	4,24E-07	4,01E-07	2,35E-08	5,86%	4,59E-07	3,89E-07
0,28	0	0,0825	4,27E-07	4,04E-07	2,27E-08	5,62%	4,62E-07	3,92E-07
0,3	0	0,0825	4,31E-07	4,09E-07	2,28E-08	5,57%	4,66E-07	3,96E-07
0,32	0	0,0825	4,36E-07	4,14E-07	2,21E-08	5,33%	4,71E-07	4,01E-07
0,34	0	0,0825	4,41E-07	4,19E-07	2,19E-08	5,22%	4,76E-07	4,06E-07
0,36	0	0,0825	4,48E-07	4,26E-07	2,21E-08	5,18%	4,83E-07	4,13E-07
0,38	0	0,0825	4,57E-07	4,34E-07	2,24E-08	5,15%	4,92E-07	4,22E-07
0,4	0	0,0825	4,67E-07	4,44E-07	2,26E-08	5,08%	5,02E-07	4,32E-07
0,42	0	0,0825	4,78E-07	4,56E-07	2,23E-08	4,88%	5,13E-07	4,43E-07
0,44	0	0,0825	4,94E-07	4,70E-07	2,39E-08	5,10%	5,29E-07	4,59E-07
0,46	0	0,0825	5,12E-07	4,86E-07	2,58E-08	5,31%	5,47E-07	4,77E-07
0,48	0	0,0825	5,33E-07	5,06E-07	2,75E-08	5,45%	5,68E-07	4,98E-07
0,5	0	0,0825	5,60E-07	5,28E-07	3,20E-08	6,06%	5,95E-07	5,25E-07
0,52	0	0,0825	5,90E-07	5,52E-07	3,73E-08	6,75%	6,25E-07	5,55E-07
0,54	0	0,0825	6,18E-07	5,76E-07	4,22E-08	7,33%	6,53E-07	5,83E-07
0,56	0	0,0825	6,31E-07	5,92E-07	3,92E-08	6,62%	6,66E-07	5,96E-07
0,58	0	0,0825	6,11E-07	5,89E-07	2,20E-08	3,74%	6,46E-07	5,76E-07
0,6	0	0,0825	5,78E-07	5,58E-07	2,06E-08	3,69%	6,13E-07	5,43E-07
0,62	0	0,0825	5,63E-07	4,99E-07	6,42E-08	12,89%	5,98E-07	5,28E-07
0,64	0	0,0825	5,61E-07	4,24E-07	1,37E-07	32,27%	5,96E-07	5,26E-07
0,66	0	0,0825	5,01E-07	3,51E-07	1,50E-07	42,68%	5,36E-07	4,66E-07
0,68	0	0,0825	4,04E-07	2,87E-07	1,18E-07	41,08%	4,39E-07	3,69E-07
0,7	0	0,0825	3,18E-07	2,34E-07	8,40E-08	35,85%	3,53E-07	2,83E-07
					% Error promedio	8,98%		

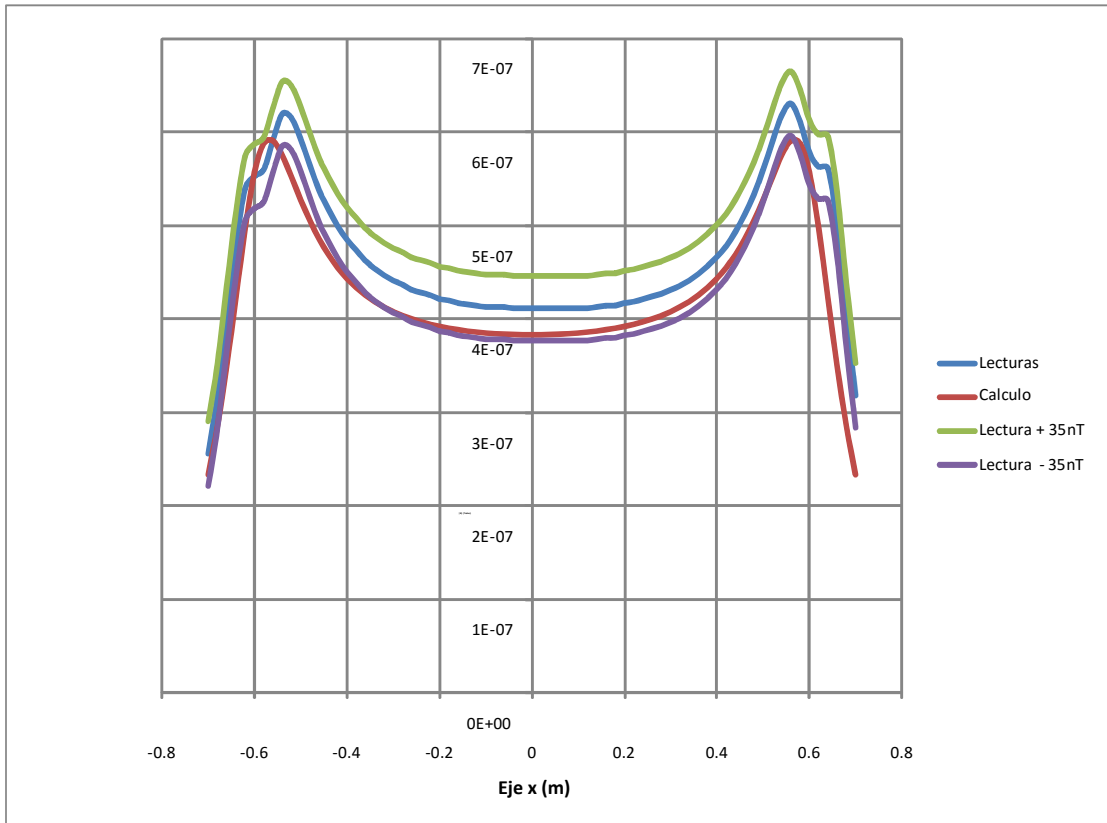


Fig. 3.8 Valores de $|B|$ para el ensayo 1, considerando el error del instrumento.

Ensayo 2

En la tabla 3.2 se muestran los valores medidos y calculados correspondientes al ensayo 2. La distribución es la misma descrita en el ensayo 1. En la Fig. 3.9 se muestra la comparación entre los valores calculados y medidos del campo magnético así como el margen de error del instrumento de medida.

Tabla 3.2 Valores correspondientes al ensayo 2

Eje x (m)	Eje y (m)	Eje z (m)	B Lectura (Teslas)	B Calculada (Teslas)	Lectura-Calculo	% Error	Lectura + 35nT	Lectura - 35nT
-0,75	0	0,0825	3,72E-07	3,16E-07	5,55E-08	17,53%	4,07E-07	3,37E-07
-0,73	0	0,0825	4,34E-07	3,76E-07	5,85E-08	15,58%	4,69E-07	3,99E-07
-0,71	0	0,0825	5,09E-07	4,45E-07	6,37E-08	14,30%	5,44E-07	4,74E-07
-0,69	0	0,0825	5,85E-07	5,22E-07	6,38E-08	12,23%	6,20E-07	5,50E-07
-0,67	0	0,0825	6,24E-07	5,93E-07	3,05E-08	5,14%	6,59E-07	5,89E-07
-0,65	0	0,0825	6,17E-07	6,43E-07	-2,59E-08	4,03%	6,52E-07	5,82E-07
-0,63	0	0,0825	6,08E-07	6,57E-07	-4,91E-08	7,46%	6,43E-07	5,73E-07
-0,61	0	0,0825	6,14E-07	6,40E-07	-2,64E-08	4,13%	6,49E-07	5,79E-07
-0,59	0	0,0825	6,11E-07	6,05E-07	5,79E-09	0,96%	6,46E-07	5,76E-07
-0,57	0	0,0825	5,87E-07	5,65E-07	2,22E-08	3,93%	6,22E-07	5,52E-07
-0,55	0	0,0825	5,50E-07	5,26E-07	2,42E-08	4,61%	5,85E-07	5,15E-07
-0,53	0	0,0825	5,11E-07	4,92E-07	1,90E-08	3,86%	5,46E-07	4,76E-07
-0,51	0	0,0825	4,75E-07	4,62E-07	1,30E-08	2,82%	5,10E-07	4,40E-07
-0,49	0	0,0825	4,47E-07	4,37E-07	9,55E-09	2,18%	4,82E-07	4,12E-07
-0,47	0	0,0825	4,23E-07	4,16E-07	6,36E-09	1,53%	4,58E-07	3,88E-07
-0,45	0	0,0825	4,03E-07	3,99E-07	4,11E-09	1,03%	4,38E-07	3,68E-07
-0,43	0	0,0825	3,83E-07	3,84E-07	-8,76E-10	0,23%	4,18E-07	3,48E-07
-0,41	0	0,0825	3,71E-07	3,72E-07	-1,03E-09	0,28%	4,06E-07	3,36E-07
-0,39	0	0,0825	3,58E-07	3,61E-07	-3,05E-09	0,85%	3,93E-07	3,23E-07
-0,37	0	0,0825	3,48E-07	3,52E-07	-3,78E-09	1,07%	3,83E-07	3,13E-07
-0,35	0	0,0825	3,39E-07	3,44E-07	-4,38E-09	1,27%	3,74E-07	3,04E-07
-0,33	0	0,0825	3,34E-07	3,37E-07	-3,23E-09	0,96%	3,69E-07	2,99E-07
-0,31	0	0,0825	3,27E-07	3,31E-07	-4,42E-09	1,33%	3,62E-07	2,92E-07
-0,29	0	0,0825	3,21E-07	3,26E-07	-4,97E-09	1,52%	3,56E-07	2,86E-07
-0,27	0	0,0825	3,15E-07	3,22E-07	-6,18E-09	1,92%	3,50E-07	2,80E-07
-0,25	0	0,0825	3,13E-07	3,18E-07	-5,16E-09	1,62%	3,48E-07	2,78E-07
-0,23	0	0,0825	3,08E-07	3,14E-07	-6,05E-09	1,92%	3,43E-07	2,73E-07
-0,21	0	0,0825	3,07E-07	3,11E-07	-4,55E-09	1,46%	3,42E-07	2,72E-07
-0,19	0	0,0825	3,04E-07	3,09E-07	-4,86E-09	1,57%	3,39E-07	2,69E-07
-0,17	0	0,0825	3,01E-07	3,07E-07	-5,53E-09	1,80%	3,36E-07	2,66E-07
-0,15	0	0,0825	3,00E-07	3,05E-07	-5,09E-09	1,67%	3,35E-07	2,65E-07
-0,13	0	0,0825	2,98E-07	3,03E-07	-4,94E-09	1,63%	3,33E-07	2,63E-07
-0,11	0	0,0825	2,97E-07	3,02E-07	-5,05E-09	1,67%	3,32E-07	2,62E-07
-0,09	0	0,0825	2,96E-07	3,01E-07	-5,41E-09	1,80%	3,31E-07	2,61E-07
-0,07	0	0,0825	2,96E-07	3,00E-07	-4,58E-09	1,53%	3,31E-07	2,61E-07
-0,05	0	0,0825	2,96E-07	3,00E-07	-3,97E-09	1,32%	3,31E-07	2,61E-07
-0,03	0	0,0825	2,96E-07	2,99E-07	-3,56E-09	1,19%	3,31E-07	2,61E-07
-0,01	0	0,0825	2,96E-07	2,99E-07	-3,36E-09	1,13%	3,31E-07	2,61E-07
0,01	0	0,0825	2,96E-07	2,99E-07	-3,36E-09	1,13%	3,31E-07	2,61E-07
0,03	0	0,0825	2,97E-07	2,99E-07	-2,15E-09	0,72%	3,32E-07	2,62E-07
0,05	0	0,0825	2,97E-07	3,00E-07	-2,55E-09	0,85%	3,32E-07	2,62E-07
0,07	0	0,0825	2,98E-07	3,00E-07	-1,75E-09	0,58%	3,33E-07	2,63E-07
0,09	0	0,0825	2,98E-07	3,01E-07	-2,58E-09	0,86%	3,33E-07	2,63E-07
0,11	0	0,0825	3,00E-07	3,02E-07	-2,22E-09	0,74%	3,35E-07	2,65E-07
0,13	0	0,0825	3,01E-07	3,03E-07	-2,11E-09	0,70%	3,36E-07	2,66E-07
0,15	0	0,0825	3,03E-07	3,05E-07	-2,26E-09	0,74%	3,38E-07	2,68E-07
0,17	0	0,0825	3,03E-07	3,07E-07	-4,11E-09	1,34%	3,38E-07	2,68E-07
0,19	0	0,0825	3,04E-07	3,09E-07	-4,86E-09	1,57%	3,39E-07	2,69E-07
0,21	0	0,0825	3,07E-07	3,11E-07	-4,55E-09	1,46%	3,42E-07	2,72E-07
0,23	0	0,0825	3,10E-07	3,14E-07	-4,63E-09	1,47%	3,45E-07	2,75E-07
0,25	0	0,0825	3,13E-07	3,18E-07	-5,16E-09	1,62%	3,48E-07	2,78E-07
0,27	0	0,0825	3,17E-07	3,22E-07	-4,77E-09	1,48%	3,52E-07	2,82E-07
0,29	0	0,0825	3,21E-07	3,26E-07	-4,97E-09	1,52%	3,56E-07	2,86E-07
0,31	0	0,0825	3,25E-07	3,31E-07	-5,83E-09	1,76%	3,60E-07	2,90E-07
0,33	0	0,0825	3,32E-07	3,37E-07	-4,65E-09	1,38%	3,67E-07	2,97E-07
0,35	0	0,0825	3,38E-07	3,44E-07	-5,79E-09	1,68%	3,73E-07	3,03E-07
0,37	0	0,0825	3,46E-07	3,52E-07	-5,19E-09	1,48%	3,81E-07	3,11E-07
0,39	0	0,0825	3,56E-07	3,61E-07	-4,46E-09	1,24%	3,91E-07	3,21E-07
0,41	0	0,0825	3,68E-07	3,72E-07	-3,86E-09	1,04%	4,03E-07	3,33E-07
0,43	0	0,0825	3,83E-07	3,84E-07	-8,76E-10	0,23%	4,18E-07	3,48E-07
0,45	0	0,0825	3,97E-07	3,99E-07	-1,55E-09	0,39%	4,32E-07	3,62E-07
0,47	0	0,0825	4,19E-07	4,16E-07	2,12E-09	0,51%	4,54E-07	3,84E-07
0,49	0	0,0825	4,43E-07	4,37E-07	5,31E-09	1,21%	4,78E-07	4,08E-07
0,51	0	0,0825	4,70E-07	4,62E-07	7,38E-09	1,60%	5,05E-07	4,35E-07
0,53	0	0,0825	5,02E-07	4,92E-07	1,05E-08	2,14%	5,37E-07	4,67E-07
0,55	0	0,0825	5,35E-07	5,26E-07	8,68E-09	1,65%	5,70E-07	5,00E-07
0,57	0	0,0825	5,70E-07	5,65E-07	5,24E-09	0,93%	6,05E-07	5,35E-07
0,59	0	0,0825	5,94E-07	6,05E-07	-1,12E-08	1,85%	6,29E-07	5,59E-07
0,61	0	0,0825	5,93E-07	6,40E-07	-4,76E-08	7,44%	6,28E-07	5,58E-07
0,63	0	0,0825	5,85E-07	6,57E-07	-7,17E-08	10,91%	6,20E-07	5,50E-07
0,65	0	0,0825	6,02E-07	6,43E-07	-4,00E-08	6,23%	6,37E-07	5,67E-07
0,67	0	0,0825	6,11E-07	5,93E-07	1,78E-08	2,99%	6,46E-07	5,76E-07
0,69	0	0,0825	5,59E-07	5,22E-07	3,69E-08	7,08%	5,94E-07	5,24E-07
0,71	0	0,0825	4,72E-07	4,45E-07	2,69E-08	6,05%	5,07E-07	4,37E-07
0,73	0	0,0825	3,89E-07	3,76E-07	1,33E-08	3,53%	4,24E-07	3,54E-07
0,75	0	0,0825	3,18E-07	3,16E-07	1,75E-09	0,55%	3,53E-07	2,83E-07
						% Error promedio	2,79%	

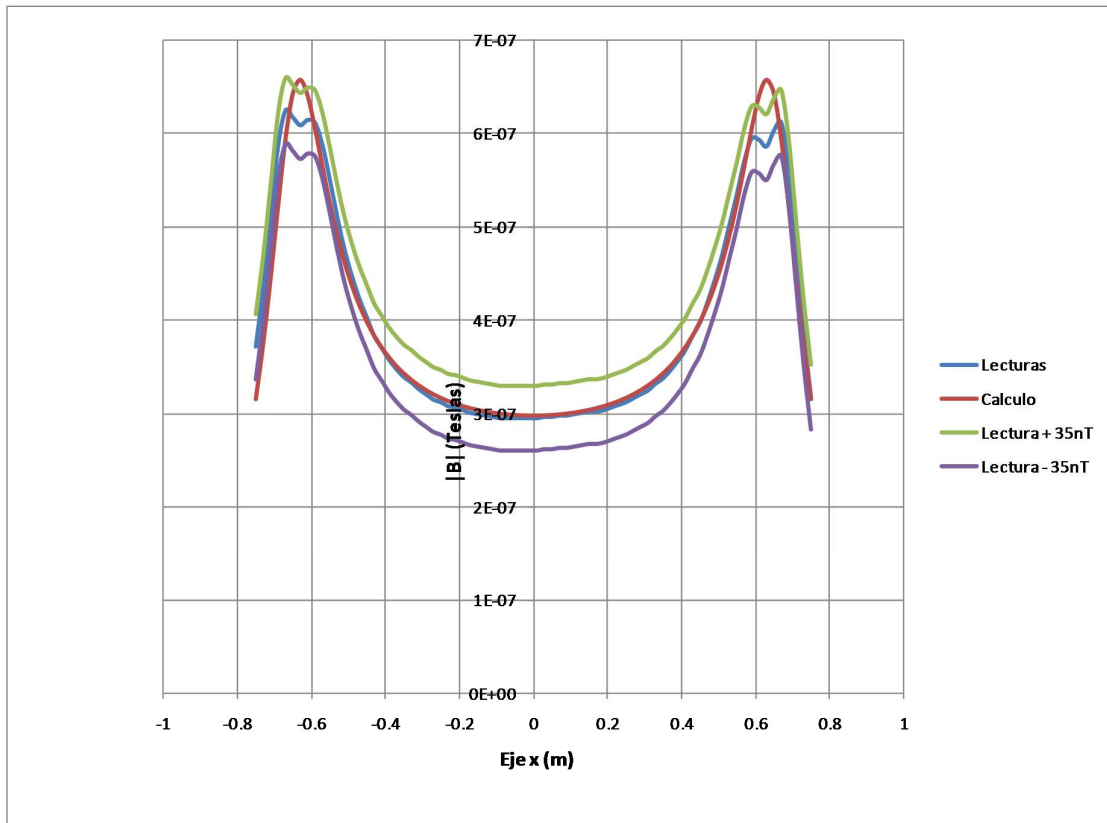


Fig. 3.9 Valores de $|B|$ para el ensayo 2, considerando el error del instrumento.

3.1.5.2 Espiras doble

Ensayo 3

En la tabla 3.3, se muestran los resultados obtenidos para la espira doble, siguiendo la misma distribución presentada en los ensayos anteriores. En la Fig. 3.10 se muestra la comparación entre los valores calculados y las lecturas realizadas, considerando el margen de error del instrumento de medida.

Tabla 3.3 Valores correspondientes al ensayo 3

Eje x (m)	Eje y (m)	Eje z (m)	B Lectura (Teslas)	B Calculada (Teslas)	Lectura-Calculo	% Error	Lectura + 35nT	Lectura - 35nT
-0,9	0	0,0825	2,16E-07	2,12E-07	3,88E-09	1,83%	2,51E-07	1,81E-07
-0,88	0	0,0825	2,67E-07	2,59E-07	7,97E-09	3,07%	3,02E-07	2,32E-07
-0,86	0	0,0825	3,34E-07	3,16E-07	1,73E-08	5,46%	3,69E-07	2,99E-07
-0,84	0	0,0825	4,09E-07	3,82E-07	2,69E-08	7,04%	4,44E-07	3,74E-07
-0,82	0	0,0825	4,61E-07	4,47E-07	1,37E-08	3,05%	4,96E-07	4,26E-07
-0,8	0	0,0825	4,77E-07	4,99E-07	-2,27E-08	4,55%	5,12E-07	4,42E-07
-0,78	0	0,0825	4,84E-07	5,26E-07	-4,23E-08	8,04%	5,19E-07	4,49E-07
-0,76	0	0,0825	5,08E-07	5,27E-07	-1,94E-08	3,68%	5,43E-07	4,73E-07
-0,74	0	0,0825	5,29E-07	5,12E-07	1,69E-08	3,31%	5,64E-07	4,94E-07
-0,72	0	0,0825	5,29E-07	4,90E-07	3,88E-08	7,91%	5,64E-07	4,94E-07
-0,7	0	0,0825	5,15E-07	4,68E-07	4,73E-08	10,11%	5,50E-07	4,80E-07
-0,68	0	0,0825	4,91E-07	4,47E-07	4,40E-08	9,85%	5,26E-07	4,56E-07
-0,66	0	0,0825	4,70E-07	4,29E-07	4,09E-08	9,55%	5,05E-07	4,35E-07
-0,64	0	0,0825	4,51E-07	4,13E-07	3,80E-08	9,21%	4,86E-07	4,16E-07
-0,62	0	0,0825	4,36E-07	4,00E-07	3,56E-08	8,91%	4,71E-07	4,01E-07
-0,6	0	0,0825	4,21E-07	3,89E-07	3,26E-08	8,39%	4,56E-07	3,86E-07
-0,58	0	0,0825	4,09E-07	3,79E-07	2,94E-08	7,76%	4,44E-07	3,74E-07
-0,56	0	0,0825	4,00E-07	3,71E-07	2,91E-08	7,85%	4,35E-07	3,65E-07
-0,54	0	0,0825	3,92E-07	3,64E-07	2,78E-08	7,64%	4,27E-07	3,57E-07
-0,52	0	0,0825	3,85E-07	3,58E-07	2,70E-08	7,55%	4,20E-07	3,50E-07
-0,5	0	0,0825	3,76E-07	3,52E-07	2,41E-08	6,86%	4,11E-07	3,41E-07
-0,48	0	0,0825	3,72E-07	3,47E-07	2,50E-08	7,20%	4,07E-07	3,37E-07
-0,46	0	0,0825	3,69E-07	3,42E-07	2,68E-08	7,84%	4,04E-07	3,34E-07
-0,44	0	0,0825	3,65E-07	3,38E-07	2,70E-08	7,99%	4,00E-07	3,30E-07
-0,42	0	0,0825	3,61E-07	3,34E-07	2,70E-08	8,08%	3,96E-07	3,26E-07
-0,4	0	0,0825	3,55E-07	3,30E-07	2,54E-08	7,72%	3,90E-07	3,20E-07
-0,38	0	0,0825	3,51E-07	3,25E-07	2,53E-08	7,77%	3,86E-07	3,16E-07
-0,36	0	0,0825	3,46E-07	3,21E-07	2,52E-08	7,84%	3,81E-07	3,11E-07
-0,34	0	0,0825	3,42E-07	3,17E-07	2,52E-08	7,96%	3,77E-07	3,07E-07
-0,32	0	0,0825	3,35E-07	3,12E-07	2,27E-08	7,26%	3,70E-07	3,00E-07
-0,3	0	0,0825	3,31E-07	3,08E-07	2,32E-08	7,56%	3,66E-07	2,96E-07
-0,28	0	0,0825	3,22E-07	3,03E-07	1,99E-08	6,59%	3,57E-07	2,87E-07
-0,26	0	0,0825	3,18E-07	2,97E-07	2,13E-08	7,17%	3,53E-07	2,83E-07
-0,24	0	0,0825	3,10E-07	2,91E-07	1,88E-08	6,47%	3,45E-07	2,75E-07
-0,22	0	0,0825	3,05E-07	2,85E-07	2,09E-08	7,35%	3,40E-07	2,70E-07
-0,2	0	0,0825	2,94E-07	2,78E-07	1,60E-08	5,74%	3,29E-07	2,59E-07
-0,18	0	0,0825	2,89E-07	2,72E-07	1,61E-08	5,90%	3,24E-07	2,54E-07
-0,16	0	0,0825	2,87E-07	2,69E-07	1,84E-08	6,84%	3,22E-07	2,52E-07
-0,14	0	0,0825	2,96E-07	2,70E-07	2,59E-08	9,60%	3,31E-07	2,61E-07
-0,12	0	0,0825	3,18E-07	2,80E-07	3,81E-08	13,62%	3,53E-07	2,83E-07
-0,1	0	0,0825	3,71E-07	3,07E-07	6,37E-08	20,77%	4,06E-07	3,36E-07
-0,08	0	0,0825	4,23E-07	3,58E-07	6,48E-08	18,08%	4,58E-07	3,88E-07
-0,06	0	0,0825	5,19E-07	4,40E-07	7,87E-08	17,86%	5,54E-07	4,84E-07
-0,04	0	0,0825	6,38E-07	5,54E-07	8,39E-08	15,15%	6,73E-07	6,03E-07
-0,02	0	0,0825	7,42E-07	6,87E-07	5,52E-08	8,03%	7,77E-07	7,07E-07
0	0	0,0825	8,37E-07	8,15E-07	2,20E-08	2,70%	8,72E-07	8,02E-07
0,02	0	0,0825	9,42E-07	9,10E-07	3,14E-08	3,45%	9,77E-07	9,07E-07
0,04	0	0,0825	1,04E-06	9,63E-07	7,23E-08	7,51%	1,07E-06	1,00E-06
0,06	0	0,0825	1,08E-06	9,82E-07	9,57E-08	9,75%	1,11E-06	1,04E-06
0,08	0	0,0825	1,08E-06	9,82E-07	9,67E-08	9,84%	1,11E-06	1,04E-06
0,1	0	0,0825	1,06E-06	9,76E-07	8,80E-08	9,02%	1,10E-06	1,03E-06
0,12	0	0,0825	1,03E-06	9,68E-07	6,17E-08	6,37%	1,06E-06	9,95E-07
0,14	0	0,0825	1,02E-06	9,62E-07	6,01E-08	6,24%	1,06E-06	9,87E-07
0,16	0	0,0825	1,02E-06	9,61E-07	5,75E-08	5,99%	1,05E-06	9,83E-07
0,18	0	0,0825	1,02E-06	9,63E-07	5,63E-08	5,84%	1,05E-06	9,85E-07
0,2	0	0,0825	1,03E-06	9,71E-07	5,43E-08	5,59%	1,06E-06	9,90E-07
0,22	0	0,0825	1,03E-06	9,84E-07	4,42E-08	4,49%	1,06E-06	9,93E-07
0,24	0	0,0825	1,05E-06	1,00E-06	4,38E-08	4,37%	1,08E-06	1,01E-06
0,26	0	0,0825	1,07E-06	1,03E-06	4,41E-08	4,29%	1,11E-06	1,04E-06
0,28	0	0,0825	1,11E-06	1,06E-06	5,19E-08	4,90%	1,15E-06	1,08E-06
0,3	0	0,0825	1,18E-06	1,10E-06	8,30E-08	7,56%	1,22E-06	1,15E-06
0,32	0	0,0825	1,23E-06	1,14E-06	9,44E-08	8,28%	1,27E-06	1,20E-06
0,34	0	0,0825	1,28E-06	1,18E-06	9,94E-08	8,42%	1,31E-06	1,24E-06
0,36	0	0,0825	1,28E-06	1,20E-06	7,78E-08	6,45%	1,32E-06	1,25E-06
0,38	0	0,0825	1,22E-06	1,19E-06	2,84E-08	2,38%	1,26E-06	1,19E-06
0,4	0	0,0825	1,15E-06	1,12E-06	2,47E-08	2,20%	1,18E-06	1,11E-06
0,42	0	0,0825	1,12E-06	9,97E-07	1,27E-07	12,75%	1,16E-06	1,09E-06
0,44	0	0,0825	1,08E-06	8,44E-07	2,37E-07	28,05%	1,12E-06	1,05E-06
0,46	0	0,0825	9,38E-07	6,93E-07	2,44E-07	35,25%	9,73E-07	9,03E-07
0,48	0	0,0825	7,40E-07	5,63E-07	1,77E-07	31,38%	7,75E-07	7,05E-07
0,5	0	0,0825	5,85E-07	4,57E-07	1,28E-07	28,08%	6,20E-07	5,50E-07
					% Error promedio	8,86%		

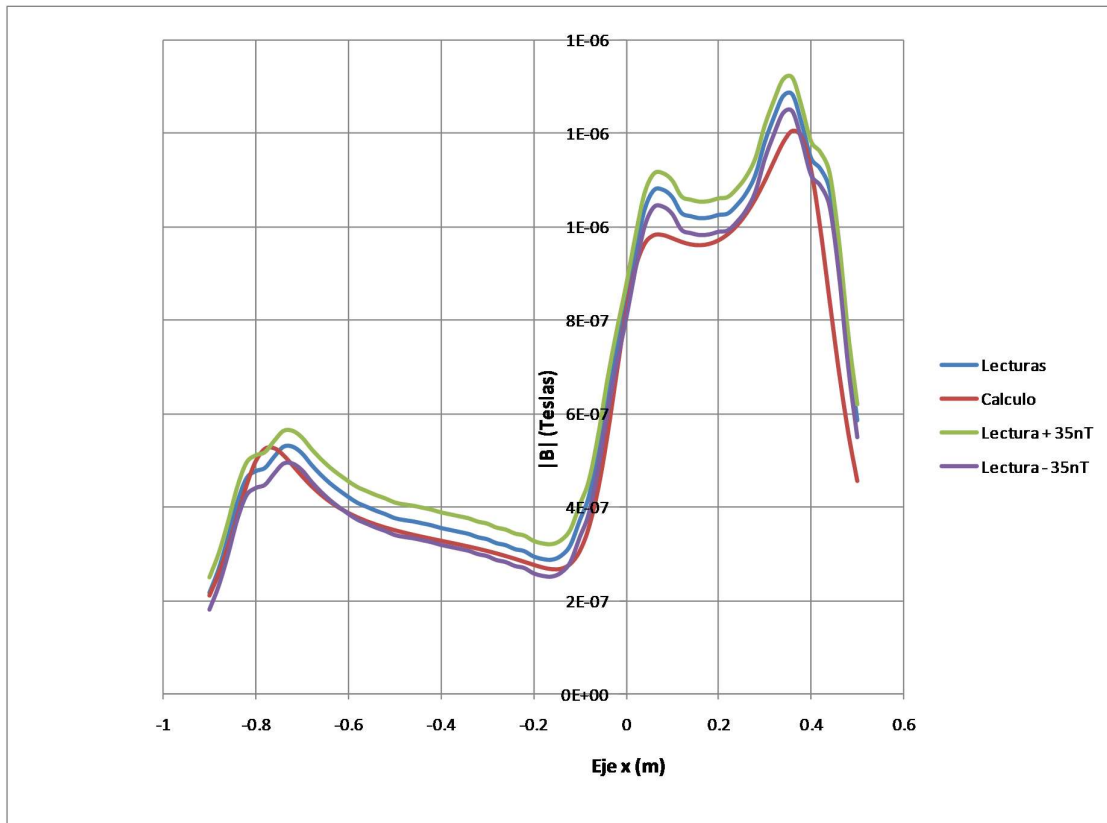


Fig. 3.10 Valores de $|B|$ para el ensayo 3, considerando el error del instrumento.

3.1.5.3 Espiras rectangulares hechas con cable plano

Ensayo 4

En la tabla 3.4 se muestran los valores obtenidos para la espira rectangular de cable plano de 1.30 x 0.80m. La Fig. 3.11 muestra la comparación entre valores leídos y calculados, indicando el margen de error del instrumento.

Tabla 3.4 Valores correspondientes al ensayo 4

Eje x (m)	Eje y (m)	Eje z (m)	B Lectura (Teslas)	B Calculada (Teslas)	Lectura-Calculo	% Error	Lectura + 35nT	Lectura - 35nT
-0,75	0	0,0825	3,82E-07	3,16E-07	6,54E-08	20,66%	4,17E-07	3,47E-07
-0,73	0	0,0825	4,60E-07	3,76E-07	8,40E-08	22,35%	4,95E-07	4,25E-07
-0,71	0	0,0825	5,36E-07	4,45E-07	9,06E-08	20,33%	5,71E-07	5,01E-07
-0,69	0	0,0825	6,10E-07	5,22E-07	8,78E-08	16,83%	6,45E-07	5,75E-07
-0,67	0	0,0825	6,34E-07	5,93E-07	4,04E-08	6,81%	6,69E-07	5,99E-07
-0,65	0	0,0825	6,22E-07	6,43E-07	-2,02E-08	3,15%	6,57E-07	5,87E-07
-0,63	0	0,0825	6,18E-07	6,57E-07	-3,92E-08	5,96%	6,53E-07	5,83E-07
-0,61	0	0,0825	6,24E-07	6,40E-07	-1,65E-08	2,58%	6,59E-07	5,89E-07
-0,59	0	0,0825	6,12E-07	6,05E-07	7,21E-09	1,19%	6,47E-07	5,77E-07
-0,57	0	0,0825	5,81E-07	5,65E-07	1,66E-08	2,93%	6,16E-07	5,46E-07
-0,55	0	0,0825	5,44E-07	5,26E-07	1,86E-08	3,53%	5,79E-07	5,09E-07
-0,53	0	0,0825	5,02E-07	4,92E-07	1,05E-08	2,14%	5,37E-07	4,67E-07
-0,51	0	0,0825	4,68E-07	4,62E-07	5,97E-09	1,29%	5,03E-07	4,33E-07
-0,49	0	0,0825	4,40E-07	4,37E-07	2,48E-09	0,57%	4,75E-07	4,05E-07
-0,47	0	0,0825	4,16E-07	4,16E-07	-7,10E-10	0,17%	4,51E-07	3,81E-07
-0,45	0	0,0825	3,96E-07	3,99E-07	-2,96E-09	0,74%	4,31E-07	3,61E-07
-0,43	0	0,0825	3,78E-07	3,84E-07	-6,53E-09	1,70%	4,13E-07	3,43E-07
-0,41	0	0,0825	3,63E-07	3,72E-07	-8,11E-09	2,18%	3,98E-07	3,28E-07
-0,39	0	0,0825	3,51E-07	3,61E-07	-1,01E-08	2,80%	3,86E-07	3,16E-07
-0,37	0	0,0825	3,41E-07	3,52E-07	-1,08E-08	3,09%	3,76E-07	3,06E-07
-0,35	0	0,0825	3,31E-07	3,44E-07	-1,29E-08	3,74%	3,66E-07	2,96E-07
-0,33	0	0,0825	3,24E-07	3,37E-07	-1,31E-08	3,90%	3,59E-07	2,89E-07
-0,31	0	0,0825	3,17E-07	3,31E-07	-1,43E-08	4,32%	3,52E-07	2,82E-07
-0,29	0	0,0825	3,11E-07	3,26E-07	-1,49E-08	4,56%	3,46E-07	2,76E-07
-0,27	0	0,0825	3,07E-07	3,22E-07	-1,47E-08	4,56%	3,42E-07	2,72E-07
-0,25	0	0,0825	3,04E-07	3,18E-07	-1,36E-08	4,29%	3,39E-07	2,69E-07
-0,23	0	0,0825	3,01E-07	3,14E-07	-1,31E-08	4,17%	3,36E-07	2,66E-07
-0,21	0	0,0825	2,98E-07	3,11E-07	-1,30E-08	4,19%	3,33E-07	2,63E-07
-0,19	0	0,0825	2,96E-07	3,09E-07	-1,33E-08	4,32%	3,31E-07	2,61E-07
-0,17	0	0,0825	2,93E-07	3,07E-07	-1,40E-08	4,57%	3,28E-07	2,58E-07
-0,15	0	0,0825	2,91E-07	3,05E-07	-1,36E-08	4,45%	3,26E-07	2,56E-07
-0,13	0	0,0825	2,89E-07	3,03E-07	-1,48E-08	4,89%	3,24E-07	2,54E-07
-0,11	0	0,0825	2,89E-07	3,02E-07	-1,35E-08	4,48%	3,24E-07	2,54E-07
-0,09	0	0,0825	2,87E-07	3,01E-07	-1,39E-08	4,62%	3,22E-07	2,52E-07
-0,07	0	0,0825	2,86E-07	3,00E-07	-1,45E-08	4,82%	3,21E-07	2,51E-07
-0,05	0	0,0825	2,86E-07	3,00E-07	-1,39E-08	4,63%	3,21E-07	2,51E-07
-0,03	0	0,0825	2,86E-07	2,99E-07	-1,35E-08	4,50%	3,21E-07	2,51E-07
-0,01	0	0,0825	2,86E-07	2,99E-07	-1,33E-08	4,44%	3,21E-07	2,51E-07
0,01	0	0,0825	2,86E-07	2,99E-07	-1,33E-08	4,44%	3,21E-07	2,51E-07
0,03	0	0,0825	2,87E-07	2,99E-07	-1,20E-08	4,03%	3,22E-07	2,52E-07
0,05	0	0,0825	2,87E-07	3,00E-07	-1,25E-08	4,16%	3,22E-07	2,52E-07
0,07	0	0,0825	2,89E-07	3,00E-07	-1,16E-08	3,88%	3,24E-07	2,54E-07
0,09	0	0,0825	2,89E-07	3,01E-07	-1,25E-08	4,15%	3,24E-07	2,54E-07
0,11	0	0,0825	2,90E-07	3,02E-07	-1,21E-08	4,01%	3,25E-07	2,55E-07
0,13	0	0,0825	2,91E-07	3,03E-07	-1,20E-08	3,96%	3,26E-07	2,56E-07
0,15	0	0,0825	2,93E-07	3,05E-07	-1,22E-08	3,99%	3,28E-07	2,58E-07
0,17	0	0,0825	2,93E-07	3,07E-07	-1,40E-08	4,57%	3,28E-07	2,58E-07
0,19	0	0,0825	2,94E-07	3,09E-07	-1,48E-08	4,78%	3,29E-07	2,59E-07
0,21	0	0,0825	2,96E-07	3,11E-07	-1,59E-08	5,09%	3,31E-07	2,61E-07
0,23	0	0,0825	2,98E-07	3,14E-07	-1,59E-08	5,07%	3,33E-07	2,63E-07
0,25	0	0,0825	3,01E-07	3,18E-07	-1,65E-08	5,18%	3,36E-07	2,66E-07
0,27	0	0,0825	3,05E-07	3,22E-07	-1,61E-08	5,00%	3,40E-07	2,70E-07
0,29	0	0,0825	3,10E-07	3,26E-07	-1,63E-08	4,99%	3,45E-07	2,75E-07
0,31	0	0,0825	3,15E-07	3,31E-07	-1,57E-08	4,75%	3,50E-07	2,80E-07
0,33	0	0,0825	3,21E-07	3,37E-07	-1,60E-08	4,74%	3,56E-07	2,86E-07
0,35	0	0,0825	3,28E-07	3,44E-07	-1,57E-08	4,56%	3,63E-07	2,93E-07
0,37	0	0,0825	3,35E-07	3,52E-07	-1,65E-08	4,69%	3,70E-07	3,00E-07
0,39	0	0,0825	3,46E-07	3,61E-07	-1,44E-08	3,98%	3,81E-07	3,11E-07
0,41	0	0,0825	3,58E-07	3,72E-07	-1,38E-08	3,70%	3,93E-07	3,23E-07
0,43	0	0,0825	3,71E-07	3,84E-07	-1,36E-08	3,54%	4,06E-07	3,36E-07
0,45	0	0,0825	3,89E-07	3,99E-07	-1,00E-08	2,52%	4,24E-07	3,54E-07
0,47	0	0,0825	4,07E-07	4,16E-07	-9,20E-09	2,21%	4,42E-07	3,72E-07
0,49	0	0,0825	4,30E-07	4,37E-07	-7,42E-09	1,70%	4,65E-07	3,95E-07
0,51	0	0,0825	4,57E-07	4,62E-07	-5,35E-09	1,16%	4,92E-07	4,22E-07
0,53	0	0,0825	4,86E-07	4,92E-07	-5,05E-09	1,03%	5,21E-07	4,51E-07
0,55	0	0,0825	5,22E-07	5,26E-07	-4,05E-09	0,77%	5,57E-07	4,87E-07
0,57	0	0,0825	5,57E-07	5,65E-07	-7,49E-09	1,33%	5,92E-07	5,22E-07
0,59	0	0,0825	5,84E-07	6,05E-07	-2,11E-08	3,48%	6,19E-07	5,49E-07
0,61	0	0,0825	5,85E-07	6,40E-07	-5,47E-08	8,54%	6,20E-07	5,50E-07
0,63	0	0,0825	5,80E-07	6,57E-07	-7,73E-08	11,77%	6,15E-07	5,45E-07
0,65	0	0,0825	5,95E-07	6,43E-07	-4,71E-08	7,33%	6,30E-07	5,60E-07
0,67	0	0,0825	6,15E-07	5,93E-07	2,20E-08	3,71%	6,50E-07	5,80E-07
0,69	0	0,0825	5,77E-07	5,22E-07	5,53E-08	10,60%	6,12E-07	5,42E-07
0,71	0	0,0825	4,94E-07	4,45E-07	4,81E-08	10,81%	5,29E-07	4,59E-07
0,73	0	0,0825	4,07E-07	3,76E-07	3,16E-08	8,42%	4,42E-07	3,72E-07
0,75	0	0,0825	3,34E-07	3,16E-07	1,73E-08	5,47%	3,69E-07	2,99E-07
% Error promedio						4,98%		

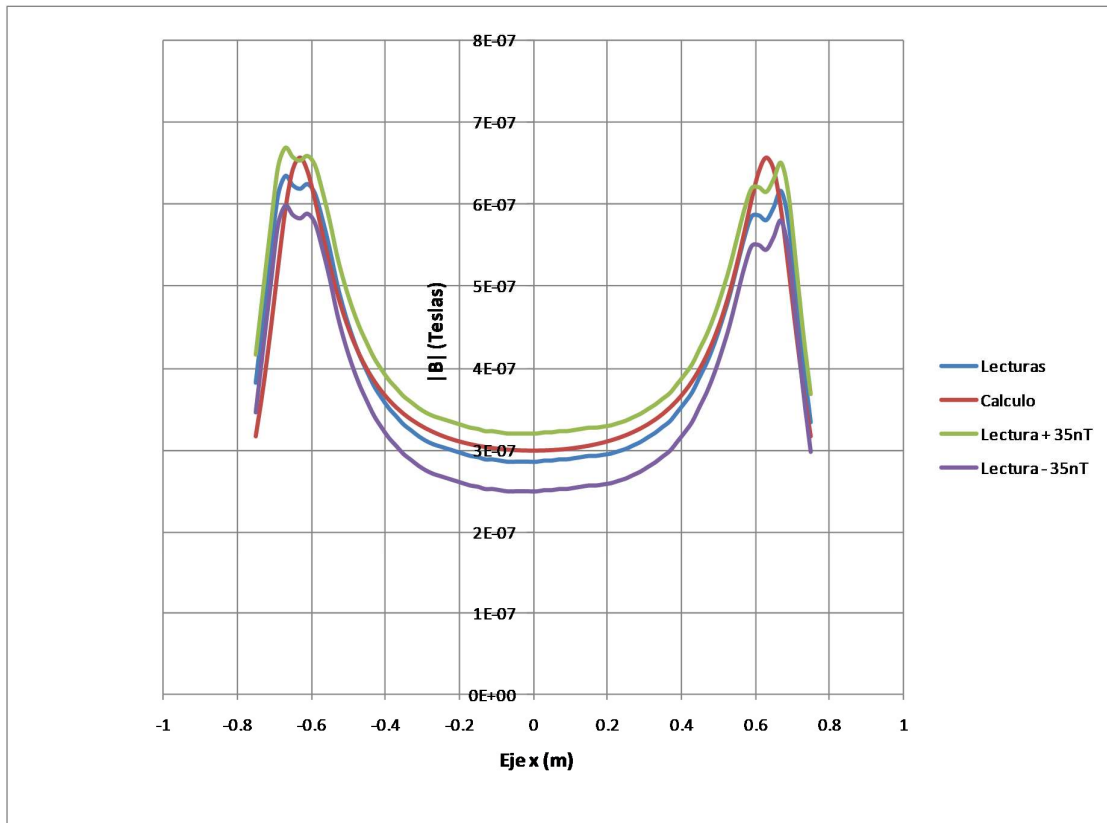


Fig. 3.11 Valores de $|B|$ para el ensayo 4, considerando el error del instrumento.

Ensayo 5

Los resultados que se presentan a continuación, serán divididos en etapas correspondientes a las diversas mediciones realizadas. Para cada altura y corriente aplicada a la espira, se presentarán tres tablas con su correspondiente representación gráfica. La primera tabla contendrá los valores medidos del campo magnético, la segunda tabla corresponderá a los valores calculados y finalmente se presenta una tabla con la diferencia entre el valor medido y el valor calculado.

Ensayo 5a

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.10$ m sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 10 mA, haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.5 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 10mA y $z = 0.10 \text{m}$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.40E-08	3.50E-08	3.80E-08	4.40E-08	4.70E-08	4.70E-08	5.10E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.50E-08	4.00E-08	3.60E-08	3.40E-08
0.65	3.40E-08	3.50E-08	4.10E-08	5.00E-08	5.40E-08	5.50E-08	5.80E-08	5.50E-08	5.70E-08	5.30E-08	4.40E-08	3.60E-08	3.40E-08
0.6	3.40E-08	3.50E-08	4.60E-08	6.20E-08	6.50E-08	6.60E-08	6.80E-08	6.60E-08	6.70E-08	6.50E-08	5.30E-08	3.60E-08	3.50E-08
0.55	3.40E-08	3.60E-08	5.30E-08	7.50E-08	7.60E-08	7.70E-08	7.80E-08	7.70E-08	7.80E-08	7.50E-08	6.80E-08	3.70E-08	3.50E-08
0.5	3.40E-08	3.60E-08	7.00E-08	8.40E-08	8.10E-08	8.10E-08	8.30E-08	8.20E-08	8.40E-08	8.40E-08	8.60E-08	3.70E-08	3.50E-08
0.45	3.40E-08	3.60E-08	9.00E-08	8.30E-08	7.80E-08	7.70E-08	7.80E-08	7.80E-08	8.00E-08	8.30E-08	8.90E-08	3.80E-08	3.50E-08
0.4	3.40E-08	3.70E-08	9.80E-08	7.60E-08	6.90E-08	6.80E-08	6.90E-08	6.80E-08	7.00E-08	7.50E-08	9.00E-08	3.80E-08	3.50E-08
0.35	3.40E-08	3.80E-08	9.80E-08	7.10E-08	6.30E-08	6.20E-08	6.20E-08	6.20E-08	6.40E-08	7.00E-08	9.20E-08	3.80E-08	3.50E-08
0.3	3.40E-08	3.90E-08	9.90E-08	6.90E-08	6.10E-08	5.90E-08	5.70E-08	5.90E-08	6.10E-08	6.80E-08	9.40E-08	3.90E-08	3.50E-08
0.25	3.40E-08	3.90E-08	9.90E-08	6.70E-08	5.90E-08	5.70E-08	5.40E-08	5.70E-08	5.90E-08	6.70E-08	9.50E-08	4.00E-08	3.50E-08
0.2	3.40E-08	4.00E-08	9.90E-08	6.60E-08	5.70E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.40E-08	5.70E-08	6.50E-08	9.50E-08	4.00E-08	3.50E-08
0.15	3.40E-08	4.00E-08	1.00E-07	6.40E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.60E-08	6.40E-08	9.60E-08	4.00E-08	3.50E-08
0.1	3.40E-08	4.10E-08	1.00E-07	6.30E-08	5.40E-08	5.20E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.40E-08	6.30E-08	9.60E-08	4.00E-08	3.50E-08
0.05	3.40E-08	4.10E-08	1.01E-07	6.20E-08	5.30E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.30E-08	6.30E-08	9.70E-08	4.00E-08	3.50E-08
0	3.40E-08	4.10E-08	1.01E-07	6.20E-08	5.30E-08	5.10E-08	5.00E-08	5.10E-08	5.30E-08	6.20E-08	9.70E-08	4.00E-08	3.50E-08
-0.05	3.40E-08	4.00E-08	1.00E-07	6.20E-08	5.30E-08	5.10E-08	5.00E-08	5.10E-08	5.40E-08	6.20E-08	9.60E-08	4.00E-08	3.50E-08
-0.1	3.40E-08	4.00E-08	1.00E-07	6.20E-08	5.40E-08	5.20E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.40E-08	6.30E-08	9.70E-08	4.00E-08	3.50E-08
-0.15	3.40E-08	4.00E-08	1.00E-07	6.40E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.50E-08	6.40E-08	9.60E-08	4.00E-08	3.50E-08
-0.2	3.40E-08	4.00E-08	1.00E-07	6.50E-08	5.70E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.50E-08	5.70E-08	6.50E-08	9.60E-08	3.90E-08	3.50E-08
-0.25	3.40E-08	3.90E-08	1.01E-07	6.70E-08	5.90E-08	5.70E-08	5.40E-08	5.70E-08	5.90E-08	6.70E-08	9.60E-08	3.90E-08	3.50E-08
-0.3	3.40E-08	3.90E-08	9.90E-08	6.80E-08	6.10E-08	5.90E-08	5.70E-08	5.90E-08	6.10E-08	6.80E-08	9.50E-08	3.90E-08	3.50E-08
-0.35	3.40E-08	3.80E-08	9.70E-08	7.00E-08	6.40E-08	6.20E-08	6.10E-08	6.20E-08	6.30E-08	7.00E-08	9.50E-08	3.80E-08	3.50E-08
-0.4	3.40E-08	3.70E-08	9.40E-08	7.50E-08	7.00E-08	6.80E-08	6.90E-08	6.70E-08	6.90E-08	7.40E-08	9.30E-08	3.70E-08	3.50E-08
-0.45	3.50E-08	3.70E-08	8.50E-08	8.30E-08	7.80E-08	7.80E-08	7.70E-08	7.70E-08	7.80E-08	8.20E-08	8.40E-08	3.70E-08	3.50E-08
-0.5	3.50E-08	3.60E-08	6.70E-08	8.40E-08	8.30E-08	8.20E-08	8.20E-08	8.10E-08	8.20E-08	8.40E-08	8.40E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.55	3.50E-08	3.60E-08	5.30E-08	7.30E-08	7.80E-08	7.70E-08	7.60E-08	7.50E-08	7.70E-08	7.60E-08	5.20E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.6	3.40E-08	3.50E-08	4.60E-08	6.10E-08	6.60E-08	6.60E-08	6.70E-08	6.40E-08	6.60E-08	6.40E-08	4.60E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.65	3.40E-08	3.50E-08	4.00E-08	5.00E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.40E-08	5.20E-08	4.10E-08	3.50E-08	3.50E-08
-0.7	3.40E-08	3.50E-08	3.70E-08	4.40E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.80E-08	4.40E-08	4.60E-08	4.40E-08	3.80E-08	3.50E-08	3.50E-08

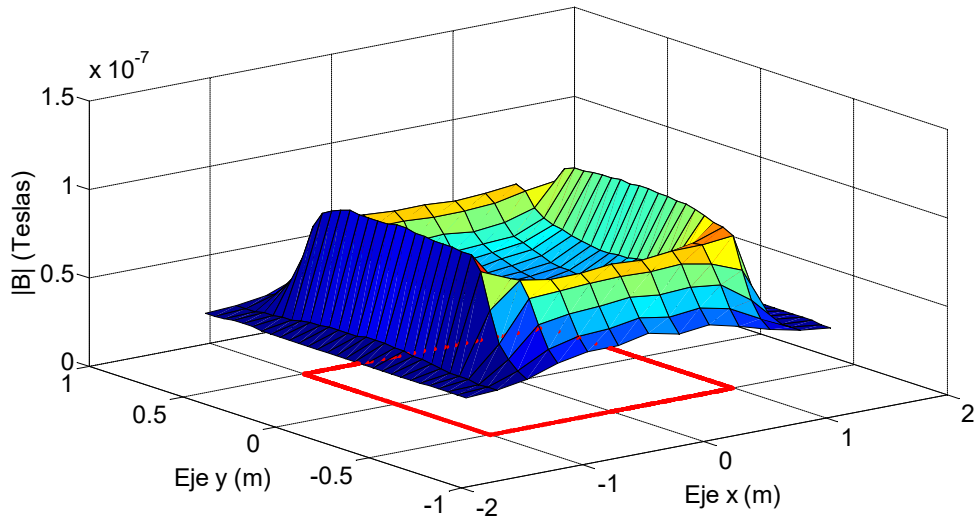


Fig. 3.12 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 10mA y $z = 0.10 \text{m}$.

Tabla 3.6 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $10mA$ y $z = 0.10m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.82E-09	9.81E-09	2.16E-08	3.13E-08	3.47E-08	3.59E-08	3.63E-08	3.59E-08	3.47E-08	3.13E-08	2.16E-08	9.81E-09	4.82E-09
0.65	5.20E-09	1.13E-08	2.88E-08	4.18E-08	4.55E-08	4.67E-08	4.70E-08	4.67E-08	4.55E-08	4.18E-08	2.88E-08	1.13E-08	5.20E-09
0.6	5.60E-09	1.30E-08	3.94E-08	5.63E-08	5.97E-08	6.07E-08	6.10E-08	6.07E-08	5.97E-08	5.63E-08	3.94E-08	1.30E-08	5.60E-09
0.55	6.00E-09	1.48E-08	5.34E-08	7.21E-08	7.42E-08	7.47E-08	7.48E-08	7.47E-08	7.42E-08	7.21E-08	5.34E-08	1.48E-08	6.00E-09
0.5	6.39E-09	1.66E-08	6.70E-08	8.14E-08	8.11E-08	8.08E-08	8.07E-08	8.08E-08	8.11E-08	8.14E-08	6.70E-08	1.66E-08	6.39E-09
0.45	6.77E-09	1.83E-08	7.56E-08	8.04E-08	7.74E-08	7.63E-08	7.60E-08	7.63E-08	7.74E-08	8.04E-08	7.56E-08	1.83E-08	6.77E-09
0.4	7.13E-09	1.99E-08	7.95E-08	7.46E-08	6.94E-08	6.77E-08	6.73E-08	6.77E-08	6.94E-08	7.46E-08	7.95E-08	1.99E-08	7.13E-09
0.35	7.46E-09	2.12E-08	8.11E-08	6.88E-08	6.20E-08	5.99E-08	5.93E-08	5.99E-08	6.20E-08	6.88E-08	8.11E-08	2.12E-08	7.46E-09
0.3	7.76E-09	2.23E-08	8.17E-08	6.41E-08	5.62E-08	5.38E-08	5.32E-08	5.38E-08	5.62E-08	6.41E-08	8.17E-08	2.23E-08	7.76E-09
0.25	8.01E-09	2.32E-08	8.19E-08	6.07E-08	5.20E-08	4.94E-08	4.88E-08	4.94E-08	5.20E-08	6.07E-08	8.19E-08	2.32E-08	8.01E-09
0.2	8.22E-09	2.39E-08	8.19E-08	5.83E-08	4.90E-08	4.62E-08	4.56E-08	4.62E-08	4.90E-08	5.83E-08	8.19E-08	2.39E-08	8.22E-09
0.15	8.39E-09	2.44E-08	8.19E-08	5.66E-08	4.69E-08	4.40E-08	4.33E-08	4.40E-08	4.69E-08	5.66E-08	8.19E-08	2.44E-08	8.39E-09
0.1	8.50E-09	2.47E-08	8.19E-08	5.55E-08	4.55E-08	4.26E-08	4.19E-08	4.26E-08	4.55E-08	5.55E-08	8.19E-08	2.47E-08	8.50E-09
0.05	8.57E-09	2.49E-08	8.19E-08	5.49E-08	4.48E-08	4.17E-08	4.10E-08	4.17E-08	4.48E-08	5.49E-08	8.19E-08	2.49E-08	8.57E-09
0	8.60E-09	2.50E-08	8.19E-08	5.47E-08	4.45E-08	4.15E-08	4.08E-08	4.15E-08	4.45E-08	5.47E-08	8.19E-08	2.50E-08	8.60E-09
-0.05	8.57E-09	2.49E-08	8.19E-08	5.49E-08	4.48E-08	4.17E-08	4.10E-08	4.17E-08	4.48E-08	5.49E-08	8.19E-08	2.49E-08	8.57E-09
-0.1	8.50E-09	2.47E-08	8.19E-08	5.55E-08	4.55E-08	4.26E-08	4.19E-08	4.26E-08	4.55E-08	5.55E-08	8.19E-08	2.47E-08	8.50E-09
-0.15	8.39E-09	2.44E-08	8.19E-08	5.66E-08	4.69E-08	4.40E-08	4.33E-08	4.40E-08	4.69E-08	5.66E-08	8.19E-08	2.44E-08	8.39E-09
-0.2	8.22E-09	2.39E-08	8.19E-08	5.83E-08	4.90E-08	4.62E-08	4.56E-08	4.62E-08	4.90E-08	5.83E-08	8.19E-08	2.39E-08	8.22E-09
-0.25	8.01E-09	2.32E-08	8.19E-08	6.07E-08	5.20E-08	4.94E-08	4.88E-08	4.94E-08	5.20E-08	6.07E-08	8.19E-08	2.32E-08	8.01E-09
-0.3	7.76E-09	2.23E-08	8.17E-08	6.41E-08	5.62E-08	5.38E-08	5.32E-08	5.38E-08	5.62E-08	6.41E-08	8.17E-08	2.23E-08	7.76E-09
-0.35	7.46E-09	2.12E-08	8.11E-08	6.88E-08	6.20E-08	5.99E-08	5.93E-08	5.99E-08	6.20E-08	6.88E-08	8.11E-08	2.12E-08	7.46E-09
-0.4	7.13E-09	1.99E-08	7.95E-08	7.46E-08	6.94E-08	6.77E-08	6.73E-08	6.77E-08	6.94E-08	7.46E-08	7.95E-08	1.99E-08	7.13E-09
-0.45	6.77E-09	1.83E-08	7.56E-08	8.04E-08	7.74E-08	7.63E-08	7.60E-08	7.63E-08	7.74E-08	8.04E-08	7.56E-08	1.83E-08	6.77E-09
-0.5	6.39E-09	1.66E-08	6.70E-08	8.14E-08	8.11E-08	8.08E-08	8.07E-08	8.08E-08	8.11E-08	8.14E-08	6.70E-08	1.66E-08	6.39E-09
-0.55	6.00E-09	1.48E-08	5.34E-08	7.21E-08	7.42E-08	7.47E-08	7.48E-08	7.47E-08	7.42E-08	7.21E-08	5.34E-08	1.48E-08	6.00E-09
-0.6	5.60E-09	1.30E-08	3.94E-08	5.63E-08	5.97E-08	6.07E-08	6.10E-08	6.07E-08	5.97E-08	5.63E-08	3.94E-08	1.30E-08	5.60E-09
-0.65	5.20E-09	1.13E-08	2.88E-08	4.18E-08	4.55E-08	4.67E-08	4.70E-08	4.67E-08	4.55E-08	4.18E-08	2.88E-08	1.13E-08	5.20E-09
-0.7	4.82E-09	9.81E-09	2.16E-08	3.13E-08	3.47E-08	3.59E-08	3.63E-08	3.59E-08	3.47E-08	3.13E-08	2.16E-08	9.81E-09	4.82E-09

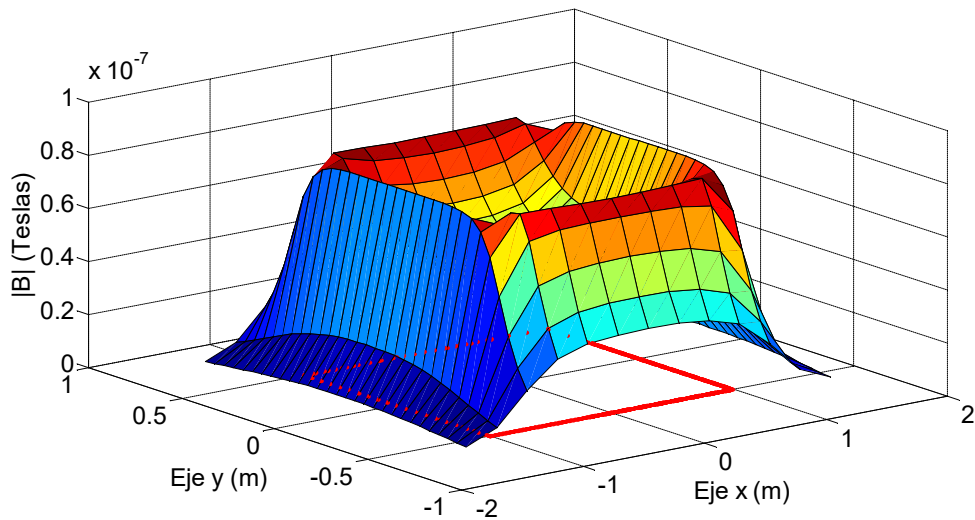


Fig. 3.13 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $10mA$ y $z = 0.10m$.

Tabla 3.7 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.92E-08	2.52E-08	1.64E-08	1.27E-08	1.23E-08	1.11E-08	1.47E-08	1.11E-08	1.43E-08	1.37E-08	1.84E-08	2.62E-08	2.92E-08
0.65	2.88E-08	2.37E-08	1.22E-08	8.15E-09	8.50E-09	8.28E-09	1.10E-08	8.28E-09	1.15E-08	1.12E-08	1.52E-08	2.47E-08	2.88E-08
0.6	2.84E-08	2.20E-08	6.65E-09	5.72E-09	5.33E-09	5.30E-09	7.04E-09	5.30E-09	7.33E-09	8.72E-09	1.36E-08	2.30E-08	2.84E-08
0.55	2.80E-08	2.12E-08	-3.68E-10	2.90E-09	1.81E-09	2.30E-09	3.18E-09	2.30E-09	3.81E-09	2.90E-09	1.46E-08	2.22E-08	2.80E-08
0.5	2.76E-08	1.94E-08	2.96E-09	2.58E-09	-5.00E-11	2.50E-10	2.34E-09	1.25E-09	2.95E-09	2.58E-09	1.90E-08	2.04E-08	2.76E-08
0.45	2.72E-08	1.77E-08	1.44E-08	2.56E-09	6.43E-10	7.45E-10	2.03E-09	1.75E-09	2.64E-09	2.56E-09	1.34E-08	1.97E-08	2.72E-08
0.4	2.69E-08	1.71E-08	1.85E-08	1.35E-09	-4.00E-10	2.95E-10	1.72E-09	2.95E-10	6.00E-10	3.53E-10	1.05E-08	1.81E-08	2.69E-08
0.35	2.65E-08	1.68E-08	1.69E-08	2.24E-09	1.04E-09	2.14E-09	2.67E-09	2.14E-09	2.04E-09	1.24E-09	1.09E-08	1.68E-08	2.65E-08
0.3	2.62E-08	1.67E-08	1.73E-08	4.89E-09	4.80E-09	5.19E-09	3.78E-09	5.19E-09	4.80E-09	3.89E-09	1.23E-08	1.67E-08	2.62E-08
0.25	2.60E-08	1.58E-08	1.71E-08	6.30E-09	7.01E-09	7.61E-09	5.25E-09	7.61E-09	7.01E-09	6.30E-09	1.31E-08	1.68E-08	2.60E-08
0.2	2.58E-08	1.61E-08	1.71E-08	7.73E-09	8.01E-09	8.78E-09	7.45E-09	7.78E-09	8.01E-09	6.73E-09	1.31E-08	1.61E-08	2.58E-08
0.15	2.56E-08	1.56E-08	1.81E-08	7.41E-09	8.10E-09	8.98E-09	8.88E-09	8.98E-09	9.10E-09	7.41E-09	1.41E-08	1.56E-08	2.56E-08
0.1	2.55E-08	1.63E-08	1.81E-08	7.50E-09	8.47E-09	9.43E-09	9.14E-09	9.43E-09	8.47E-09	7.50E-09	1.41E-08	1.53E-08	2.55E-08
0.05	2.54E-08	1.61E-08	1.91E-08	7.12E-09	8.25E-09	9.25E-09	9.98E-09	9.25E-09	8.25E-09	8.12E-09	1.51E-08	1.51E-08	2.54E-08
0	2.54E-08	1.60E-08	1.91E-08	7.33E-09	8.50E-09	9.52E-09	9.25E-09	9.52E-09	8.50E-09	7.33E-09	1.51E-08	1.50E-08	2.54E-08
-0.05	2.54E-08	1.51E-08	1.81E-08	7.12E-09	8.25E-09	9.25E-09	8.98E-09	9.25E-09	9.25E-09	7.12E-09	1.41E-08	1.51E-08	2.54E-08
-0.1	2.55E-08	1.53E-08	1.81E-08	6.50E-09	8.47E-09	9.43E-09	9.14E-09	9.43E-09	8.47E-09	7.50E-09	1.51E-08	1.53E-08	2.55E-08
-0.15	2.56E-08	1.56E-08	1.81E-08	7.41E-09	8.10E-09	8.98E-09	8.88E-09	8.98E-09	8.10E-09	7.41E-09	1.41E-08	1.56E-08	2.56E-08
-0.2	2.58E-08	1.61E-08	1.81E-08	6.73E-09	8.01E-09	8.78E-09	7.45E-09	8.78E-09	8.01E-09	6.73E-09	1.41E-08	1.51E-08	2.58E-08
-0.25	2.60E-08	1.58E-08	1.91E-08	6.30E-09	7.01E-09	7.61E-09	5.25E-09	7.61E-09	7.01E-09	6.30E-09	1.41E-08	1.58E-08	2.60E-08
-0.3	2.62E-08	1.67E-08	1.73E-08	3.89E-09	4.80E-09	5.19E-09	3.78E-09	5.19E-09	4.80E-09	3.89E-09	1.33E-08	1.67E-08	2.62E-08
-0.35	2.65E-08	1.68E-08	1.59E-08	4.24E-09	2.04E-09	2.14E-09	1.67E-09	2.14E-09	1.04E-09	1.24E-09	1.39E-08	1.68E-08	2.65E-08
-0.4	2.69E-08	1.71E-08	1.45E-08	3.53E-10	6.00E-10	2.95E-10	1.72E-09	-7.05E-10	-4.00E-10	-6.47E-10	1.35E-08	1.71E-08	2.69E-08
-0.45	2.82E-08	1.87E-08	9.35E-09	2.56E-09	6.43E-10	1.75E-09	1.03E-09	1.45E-10	6.43E-10	1.56E-09	8.35E-09	1.87E-08	2.82E-08
-0.5	2.86E-08	1.94E-08	-3.90E-11	2.59E-09	1.96E-09	1.25E-09	1.34E-09	2.50E-10	9.50E-10	2.58E-09	-3.90E-11	1.94E-08	2.86E-08
-0.55	2.90E-08	2.12E-08	-3.68E-10	9.01E-10	3.81E-09	2.30E-09	1.18E-09	2.97E-10	2.81E-09	3.90E-09	-1.37E-09	2.12E-08	2.90E-08
-0.6	2.84E-08	2.20E-08	6.65E-09	4.72E-09	6.33E-09	5.30E-09	6.05E-09	3.30E-09	6.33E-09	7.72E-09	6.65E-09	2.30E-08	2.84E-08
-0.65	2.88E-08	2.37E-08	1.12E-08	8.15E-09	9.50E-09	7.28E-09	7.96E-09	6.28E-09	8.50E-09	1.02E-08	1.22E-08	2.37E-08	2.88E-08
-0.7	2.92E-08	2.52E-08	1.54E-08	1.27E-08	1.13E-08	8.07E-09	1.17E-08	8.07E-09	1.13E-08	1.27E-08	1.64E-08	2.52E-08	3.02E-08

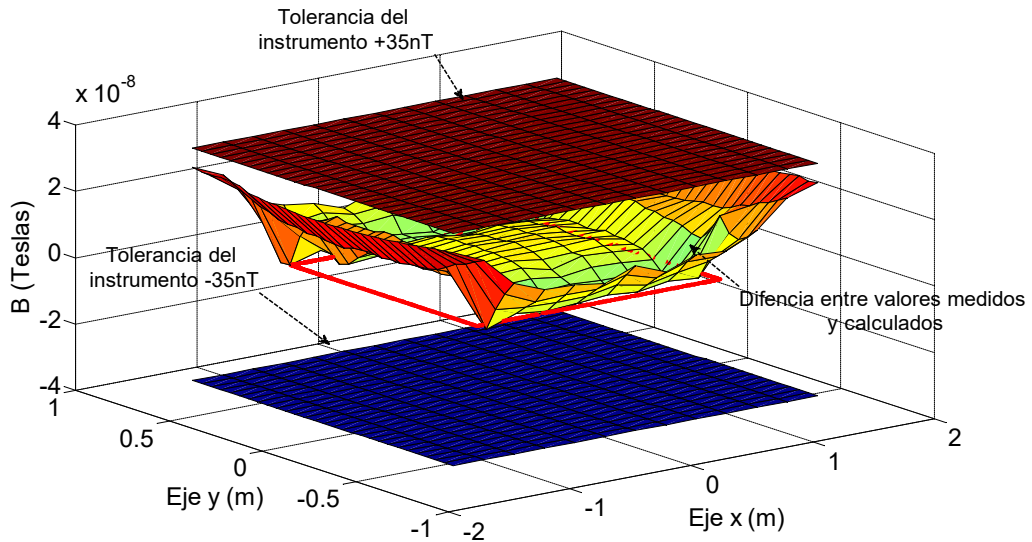


Fig. 3.14 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5b

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.10\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 20mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.8 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.10\text{m}$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.50E-08	3.80E-08	5.10E-08	6.60E-08	7.10E-08	7.00E-08	7.80E-08	7.00E-08	7.50E-08	6.70E-08	5.60E-08	3.90E-08	3.50E-08
0.65	3.50E-08	3.80E-08	5.90E-08	8.40E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.60E-08	9.10E-08	9.50E-08	8.70E-08	6.80E-08	4.00E-08	3.50E-08
0.6	3.50E-08	4.00E-08	7.30E-08	1.09E-07	1.15E-07	1.16E-07	1.21E-07	1.18E-07	1.19E-07	1.17E-07	9.00E-08	4.20E-08	3.60E-08
0.55	3.50E-08	4.10E-08	9.30E-08	1.40E-07	1.40E-07	1.43E-07	1.44E-07	1.43E-07	1.46E-07	1.42E-07	1.21E-07	4.40E-08	3.60E-08
0.5	3.50E-08	4.40E-08	1.31E-07	1.60E-07	1.53E-07	1.52E-07	1.55E-07	1.55E-07	1.58E-07	1.60E-07	1.63E-07	4.60E-08	3.60E-08
0.45	3.50E-08	4.50E-08	1.72E-07	1.58E-07	1.44E-07	1.42E-07	1.44E-07	1.44E-07	1.48E-07	1.57E-07	1.70E-07	4.80E-08	3.60E-08
0.4	3.50E-08	4.70E-08	1.87E-07	1.41E-07	1.26E-07	1.22E-07	1.24E-07	1.23E-07	1.27E-07	1.39E-07	1.74E-07	4.80E-08	3.60E-08
0.35	3.50E-08	5.00E-08	1.89E-07	1.30E-07	1.12E-07	1.08E-07	1.07E-07	1.09E-07	1.13E-07	1.29E-07	1.78E-07	5.00E-08	3.60E-08
0.3	3.60E-08	5.30E-08	1.90E-07	1.25E-07	1.06E-07	1.01E-07	9.70E-08	1.01E-07	1.06E-07	1.23E-07	1.81E-07	5.20E-08	3.70E-08
0.25	3.60E-08	5.50E-08	1.91E-07	1.22E-07	1.02E-07	9.60E-08	9.10E-08	9.60E-08	1.01E-07	1.21E-07	1.83E-07	5.40E-08	3.70E-08
0.2	3.60E-08	5.70E-08	1.91E-07	1.18E-07	9.80E-08	9.20E-08	8.70E-08	9.10E-08	9.70E-08	1.17E-07	1.84E-07	5.60E-08	3.70E-08
0.15	3.60E-08	5.70E-08	1.92E-07	1.15E-07	9.40E-08	8.90E-08	8.50E-08	8.90E-08	9.40E-08	1.14E-07	1.85E-07	5.60E-08	3.70E-08
0.1	3.70E-08	5.80E-08	1.93E-07	1.11E-07	9.10E-08	8.60E-08	8.40E-08	8.60E-08	9.10E-08	1.11E-07	1.86E-07	5.70E-08	3.70E-08
0.05	3.70E-08	5.90E-08	1.95E-07	1.10E-07	9.00E-08	8.40E-08	8.30E-08	8.40E-08	9.00E-08	1.10E-07	1.87E-07	5.80E-08	3.70E-08
0	3.70E-08	5.90E-08	1.95E-07	1.09E-07	8.90E-08	8.40E-08	8.20E-08	8.40E-08	9.00E-08	1.09E-07	1.86E-07	5.70E-08	3.70E-08
-0.05	3.70E-08	5.80E-08	1.93E-07	1.10E-07	9.00E-08	8.40E-08	8.30E-08	8.40E-08	9.00E-08	1.09E-07	1.86E-07	5.70E-08	3.80E-08
-0.1	3.60E-08	5.80E-08	1.93E-07	1.11E-07	9.20E-08	8.60E-08	8.40E-08	8.60E-08	9.20E-08	1.10E-07	1.86E-07	5.60E-08	3.70E-08
-0.15	3.60E-08	5.70E-08	1.93E-07	1.14E-07	9.30E-08	8.80E-08	8.60E-08	8.80E-08	9.50E-08	1.13E-07	1.85E-07	5.60E-08	3.70E-08
-0.2	3.60E-08	5.60E-08	1.94E-07	1.17E-07	9.70E-08	9.20E-08	8.70E-08	9.20E-08	9.70E-08	1.17E-07	1.85E-07	5.50E-08	3.70E-08
-0.25	3.60E-08	5.40E-08	1.95E-07	1.21E-07	1.01E-07	9.60E-08	9.10E-08	9.60E-08	1.01E-07	1.20E-07	1.84E-07	5.40E-08	3.70E-08
-0.3	3.60E-08	5.30E-08	1.92E-07	1.23E-07	1.06E-07	1.01E-07	9.70E-08	1.01E-07	1.05E-07	1.23E-07	1.83E-07	5.20E-08	3.70E-08
-0.35	3.50E-08	5.10E-08	1.89E-07	1.28E-07	1.13E-07	1.09E-07	1.07E-07	1.08E-07	1.12E-07	1.27E-07	1.81E-07	5.00E-08	3.60E-08
-0.4	3.50E-08	4.70E-08	1.83E-07	1.39E-07	1.26E-07	1.23E-07	1.24E-07	1.22E-07	1.24E-07	1.37E-07	1.78E-07	4.70E-08	3.60E-08
-0.45	3.50E-08	4.50E-08	1.61E-07	1.57E-07	1.46E-07	1.45E-07	1.44E-07	1.42E-07	1.46E-07	1.56E-07	1.59E-07	4.50E-08	3.60E-08
-0.5	3.60E-08	4.40E-08	1.20E-07	1.60E-07	1.57E-07	1.56E-07	1.55E-07	1.50E-07	1.54E-07	1.59E-07	1.24E-07	4.30E-08	3.60E-08
-0.55	3.60E-08	4.20E-08	9.20E-08	1.37E-07	1.46E-07	1.45E-07	1.43E-07	1.40E-07	1.43E-07	1.40E-07	8.90E-08	4.20E-08	3.60E-08
-0.6	3.60E-08	4.00E-08	7.20E-08	1.08E-07	1.20E-07	1.18E-07	1.20E-07	1.15E-07	1.18E-07	1.14E-07	7.20E-08	4.00E-08	3.60E-08
-0.65	3.50E-08	3.90E-08	5.80E-08	8.30E-08	9.20E-08	9.00E-08	9.40E-08	8.80E-08	9.10E-08	8.60E-08	5.80E-08	3.90E-08	3.60E-08
-0.7	3.50E-08	3.80E-08	5.00E-08	6.70E-08	7.20E-08	6.80E-08	7.60E-08	6.70E-08	7.10E-08	6.70E-08	5.00E-08	3.80E-08	3.60E-08

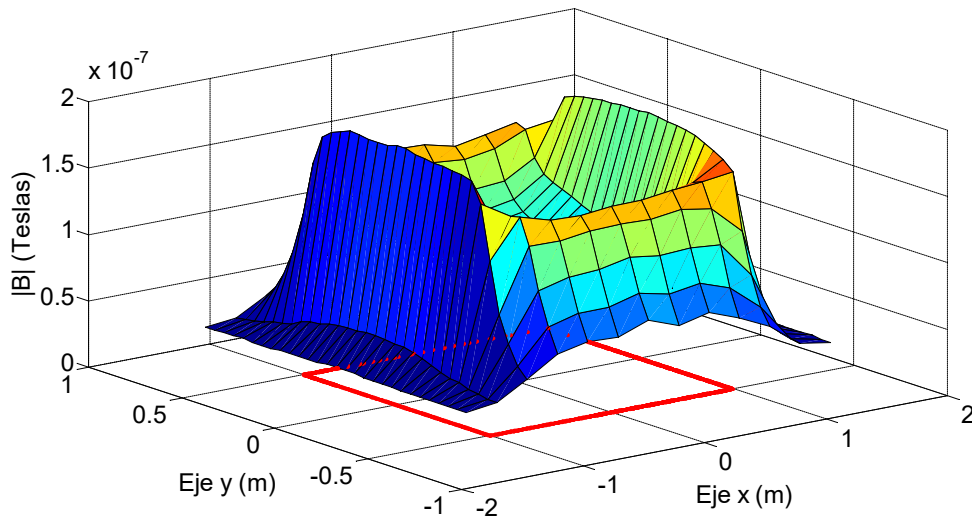


Fig. 3.15 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.10\text{m}$.

Tabla 3.9 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $20mA$ y $z = 0.10m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	9.64E-09	1.96E-08	4.33E-08	6.26E-08	6.94E-08	7.19E-08	7.25E-08	7.19E-08	6.94E-08	6.26E-08	4.33E-08	1.96E-08	9.64E-09
0.65	1.04E-08	2.26E-08	5.76E-08	8.37E-08	9.10E-08	9.34E-08	9.41E-08	9.34E-08	9.10E-08	8.37E-08	5.76E-08	2.26E-08	1.04E-08
0.6	1.12E-08	2.59E-08	7.87E-08	1.13E-07	1.19E-07	1.21E-07	1.22E-07	1.21E-07	1.19E-07	1.13E-07	7.87E-08	2.59E-08	1.12E-08
0.55	1.20E-08	2.95E-08	1.07E-07	1.44E-07	1.48E-07	1.49E-07	1.50E-07	1.49E-07	1.48E-07	1.44E-07	1.07E-07	2.95E-08	1.20E-08
0.5	1.28E-08	3.32E-08	1.34E-07	1.63E-07	1.62E-07	1.62E-07	1.61E-07	1.62E-07	1.62E-07	1.63E-07	1.34E-07	3.32E-08	1.28E-08
0.45	1.35E-08	3.67E-08	1.51E-07	1.61E-07	1.55E-07	1.53E-07	1.52E-07	1.53E-07	1.55E-07	1.61E-07	1.51E-07	3.67E-08	1.35E-08
0.4	1.43E-08	3.98E-08	1.59E-07	1.49E-07	1.39E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.39E-07	1.49E-07	1.59E-07	3.98E-08	1.43E-08
0.35	1.49E-08	4.24E-08	1.62E-07	1.38E-07	1.24E-07	1.20E-07	1.19E-07	1.20E-07	1.24E-07	1.38E-07	1.62E-07	4.24E-08	1.49E-08
0.3	1.55E-08	4.46E-08	1.63E-07	1.28E-07	1.12E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.12E-07	1.28E-07	1.63E-07	4.46E-08	1.55E-08
0.25	1.60E-08	4.64E-08	1.64E-07	1.21E-07	1.04E-07	9.88E-08	9.75E-08	9.88E-08	1.04E-07	1.21E-07	1.64E-07	4.64E-08	1.60E-08
0.2	1.64E-08	4.77E-08	1.64E-07	1.17E-07	9.80E-08	9.25E-08	9.11E-08	9.25E-08	9.80E-08	1.17E-07	1.64E-07	4.77E-08	1.64E-08
0.15	1.68E-08	4.87E-08	1.64E-07	1.13E-07	9.38E-08	8.80E-08	8.66E-08	8.80E-08	9.38E-08	1.13E-07	1.64E-07	4.87E-08	1.68E-08
0.1	1.70E-08	4.94E-08	1.64E-07	1.11E-07	9.11E-08	8.51E-08	8.37E-08	8.51E-08	9.11E-08	1.11E-07	1.64E-07	4.94E-08	1.70E-08
0.05	1.71E-08	4.98E-08	1.64E-07	1.10E-07	8.95E-08	8.35E-08	8.20E-08	8.35E-08	8.95E-08	1.10E-07	1.64E-07	4.98E-08	1.71E-08
0	1.72E-08	4.99E-08	1.64E-07	1.09E-07	8.90E-08	8.30E-08	8.15E-08	8.30E-08	8.90E-08	1.09E-07	1.64E-07	4.99E-08	1.72E-08
-0.05	1.71E-08	4.98E-08	1.64E-07	1.10E-07	8.95E-08	8.35E-08	8.20E-08	8.35E-08	8.95E-08	1.10E-07	1.64E-07	4.98E-08	1.71E-08
-0.1	1.70E-08	4.94E-08	1.64E-07	1.11E-07	9.11E-08	8.51E-08	8.37E-08	8.51E-08	9.11E-08	1.11E-07	1.64E-07	4.94E-08	1.70E-08
-0.15	1.68E-08	4.87E-08	1.64E-07	1.13E-07	9.38E-08	8.80E-08	8.66E-08	8.80E-08	9.38E-08	1.13E-07	1.64E-07	4.87E-08	1.68E-08
-0.2	1.64E-08	4.77E-08	1.64E-07	1.17E-07	9.80E-08	9.25E-08	9.11E-08	9.25E-08	9.80E-08	1.17E-07	1.64E-07	4.77E-08	1.64E-08
-0.25	1.60E-08	4.64E-08	1.64E-07	1.21E-07	1.04E-07	9.88E-08	9.75E-08	9.88E-08	1.04E-07	1.21E-07	1.64E-07	4.64E-08	1.60E-08
-0.3	1.55E-08	4.46E-08	1.63E-07	1.28E-07	1.12E-07	1.08E-07	1.06E-07	1.08E-07	1.12E-07	1.28E-07	1.63E-07	4.46E-08	1.55E-08
-0.35	1.49E-08	4.24E-08	1.62E-07	1.38E-07	1.24E-07	1.20E-07	1.19E-07	1.20E-07	1.24E-07	1.38E-07	1.62E-07	4.24E-08	1.49E-08
-0.4	1.43E-08	3.98E-08	1.59E-07	1.49E-07	1.39E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.39E-07	1.49E-07	1.59E-07	3.98E-08	1.43E-08
-0.45	1.35E-08	3.67E-08	1.51E-07	1.61E-07	1.55E-07	1.53E-07	1.52E-07	1.53E-07	1.55E-07	1.61E-07	1.51E-07	3.67E-08	1.35E-08
-0.5	1.28E-08	3.32E-08	1.34E-07	1.63E-07	1.62E-07	1.62E-07	1.61E-07	1.62E-07	1.62E-07	1.63E-07	1.34E-07	3.32E-08	1.28E-08
-0.55	1.20E-08	2.95E-08	1.07E-07	1.44E-07	1.48E-07	1.49E-07	1.50E-07	1.49E-07	1.48E-07	1.44E-07	1.07E-07	2.95E-08	1.20E-08
-0.6	1.12E-08	2.59E-08	7.87E-08	1.13E-07	1.19E-07	1.21E-07	1.22E-07	1.21E-07	1.19E-07	1.13E-07	7.87E-08	2.59E-08	1.12E-08
-0.65	1.04E-08	2.26E-08	5.76E-08	8.37E-08	9.10E-08	9.34E-08	9.41E-08	9.34E-08	9.10E-08	8.37E-08	5.76E-08	2.26E-08	1.04E-08
-0.7	9.64E-09	1.96E-08	4.33E-08	6.26E-08	6.94E-08	7.19E-08	7.25E-08	7.19E-08	6.94E-08	6.26E-08	4.33E-08	1.96E-08	9.64E-09

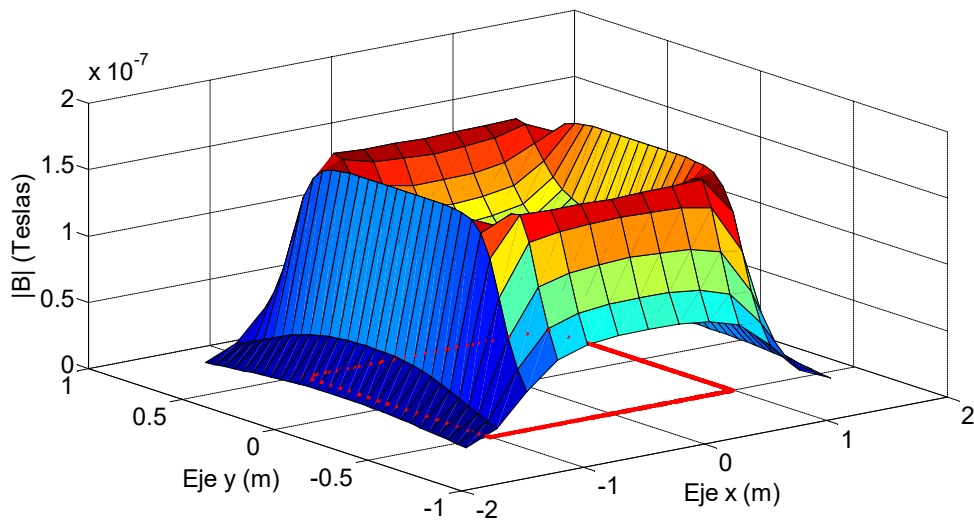


Fig. 3.16 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $20mA$ y $z = 0.10m$.

Tabla 3.10 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.54E-08	1.84E-08	7.72E-09	3.44E-09	1.63E-09	-1.87E-09	5.47E-09	-1.87E-09	5.63E-09	4.44E-09	1.27E-08	1.94E-08	2.54E-08
0.65	2.46E-08	1.54E-08	1.43E-09	3.04E-10	-9.92E-10	-3.45E-09	1.92E-09	-2.45E-09	4.01E-09	3.30E-09	1.04E-08	1.74E-08	2.46E-08
0.6	2.38E-08	1.41E-08	-5.71E-09	-3.57E-09	-4.34E-09	-5.40E-09	-9.10E-10	-3.40E-09	-3.40E-10	4.43E-09	1.13E-08	1.61E-08	2.48E-08
0.55	2.30E-08	1.15E-08	-1.37E-08	-4.20E-09	-8.38E-09	-6.41E-09	-5.64E-09	-6.41E-09	-2.38E-09	-2.20E-09	1.43E-08	1.45E-08	2.40E-08
0.5	2.22E-08	1.08E-08	-3.08E-09	-2.84E-09	-9.10E-09	-9.50E-09	-6.32E-09	-6.50E-09	-4.10E-09	-2.84E-09	2.89E-08	1.28E-08	2.32E-08
0.45	2.15E-08	8.34E-09	2.07E-08	-2.89E-09	-1.07E-08	-1.05E-08	-7.93E-09	-8.51E-09	-6.71E-09	-3.89E-09	1.87E-08	1.13E-08	2.25E-08
0.4	2.07E-08	7.22E-09	2.79E-08	-8.29E-09	-1.28E-08	-1.34E-08	-1.06E-08	-1.24E-08	-1.18E-08	-1.03E-08	1.49E-08	8.22E-09	2.17E-08
0.35	2.01E-08	7.55E-09	2.68E-08	-7.52E-09	-1.19E-08	-1.17E-08	-1.17E-08	-1.07E-08	-1.09E-08	-8.52E-09	1.58E-08	7.55E-09	2.11E-08
0.3	2.05E-08	8.37E-09	2.67E-08	-3.22E-09	-6.41E-09	-6.62E-09	-9.45E-09	-6.62E-09	-6.41E-09	-5.22E-09	1.77E-08	7.37E-09	2.15E-08
0.25	2.00E-08	8.63E-09	2.73E-08	6.00E-10	-1.99E-09	-2.78E-09	-6.51E-09	-2.78E-09	-2.99E-09	-4.00E-10	1.93E-08	7.63E-09	2.10E-08
0.2	1.96E-08	9.28E-09	2.71E-08	1.45E-09	2.70E-11	-4.50E-10	-4.11E-09	-1.45E-09	-9.73E-10	4.50E-10	2.01E-08	8.28E-09	2.06E-08
0.15	1.92E-08	8.29E-09	2.82E-08	1.81E-09	2.06E-10	9.58E-10	-1.65E-09	9.58E-10	2.06E-10	8.10E-10	2.12E-08	7.29E-09	2.02E-08
0.1	2.00E-08	8.61E-09	2.92E-08	1.00E-11	-5.30E-11	8.56E-10	2.85E-10	8.56E-10	-5.30E-11	1.00E-11	2.22E-08	7.61E-09	2.00E-08
0.05	1.99E-08	9.22E-09	3.12E-08	2.50E-10	5.01E-10	5.02E-10	9.51E-10	5.02E-10	5.01E-10	2.50E-10	2.32E-08	8.22E-09	1.99E-08
0	1.98E-08	9.09E-09	3.12E-08	-3.50E-10	4.00E-12	1.04E-09	4.92E-10	1.04E-09	1.00E-09	-3.50E-10	2.22E-08	7.09E-09	1.98E-08
-0.05	1.99E-08	8.22E-09	2.92E-08	2.50E-10	5.01E-10	5.02E-10	9.51E-10	5.02E-10	5.01E-10	-7.50E-10	2.22E-08	7.22E-09	2.09E-08
-0.1	1.90E-08	8.61E-09	2.92E-08	1.00E-11	9.47E-10	8.56E-10	2.85E-10	8.56E-10	9.47E-10	-9.90E-10	2.22E-08	6.61E-09	2.00E-08
-0.15	1.92E-08	8.29E-09	2.92E-08	8.10E-10	-7.94E-10	-4.20E-11	-6.49E-10	-4.20E-11	1.21E-09	-1.90E-10	2.12E-08	7.29E-09	2.02E-08
-0.2	1.96E-08	8.28E-09	3.01E-08	4.50E-10	-9.73E-10	-4.50E-10	-4.11E-09	-4.50E-10	-9.73E-10	4.50E-10	2.11E-08	7.28E-09	2.06E-08
-0.25	2.00E-08	7.63E-09	3.13E-08	-4.00E-10	-2.99E-09	-2.78E-09	-6.51E-09	-2.78E-09	-2.99E-09	-1.40E-09	2.03E-08	7.63E-09	2.10E-08
-0.3	2.05E-08	8.37E-09	2.87E-08	-5.22E-09	-6.41E-09	-6.62E-09	-9.45E-09	-6.62E-09	-7.41E-09	-5.22E-09	1.97E-08	7.37E-09	2.15E-08
-0.35	2.01E-08	8.55E-09	2.68E-08	-9.52E-09	-1.09E-08	-1.07E-08	-1.17E-08	-1.17E-08	-1.19E-08	-1.05E-08	1.88E-08	7.55E-09	2.11E-08
-0.4	2.07E-08	7.22E-09	2.39E-08	-1.03E-08	-1.28E-08	-1.24E-08	-1.06E-08	-1.34E-08	-1.48E-08	-1.23E-08	1.89E-08	7.22E-09	2.17E-08
-0.45	2.15E-08	8.34E-09	9.71E-09	-3.89E-09	-8.71E-09	-7.51E-09	-7.93E-09	-1.05E-08	-8.71E-09	-4.89E-09	7.71E-09	8.34E-09	2.25E-08
-0.5	2.32E-08	1.08E-08	-1.41E-08	-2.84E-09	-5.10E-09	-5.50E-09	-6.32E-09	-1.15E-08	-8.10E-09	-3.84E-09	-1.01E-08	9.83E-09	2.32E-08
-0.55	2.40E-08	1.25E-08	-1.47E-08	-7.20E-09	-2.38E-09	-4.41E-09	-6.64E-09	-9.41E-09	-5.38E-09	-4.20E-09	-1.77E-08	1.25E-08	2.40E-08
-0.6	2.48E-08	1.41E-08	-6.71E-09	-4.57E-09	6.60E-10	-3.40E-09	-1.91E-09	-6.40E-09	-1.34E-09	1.43E-09	-6.71E-09	1.41E-08	2.48E-08
-0.65	2.46E-08	1.64E-08	4.27E-10	-6.96E-10	1.01E-09	-3.45E-09	-8.20E-11	-5.45E-09	8.00E-12	2.30E-09	4.27E-10	1.64E-08	2.56E-08
-0.7	2.54E-08	1.84E-08	6.72E-09	4.44E-09	2.63E-09	-3.87E-09	3.47E-09	-4.87E-09	1.63E-09	4.44E-09	6.72E-09	1.84E-08	2.64E-08

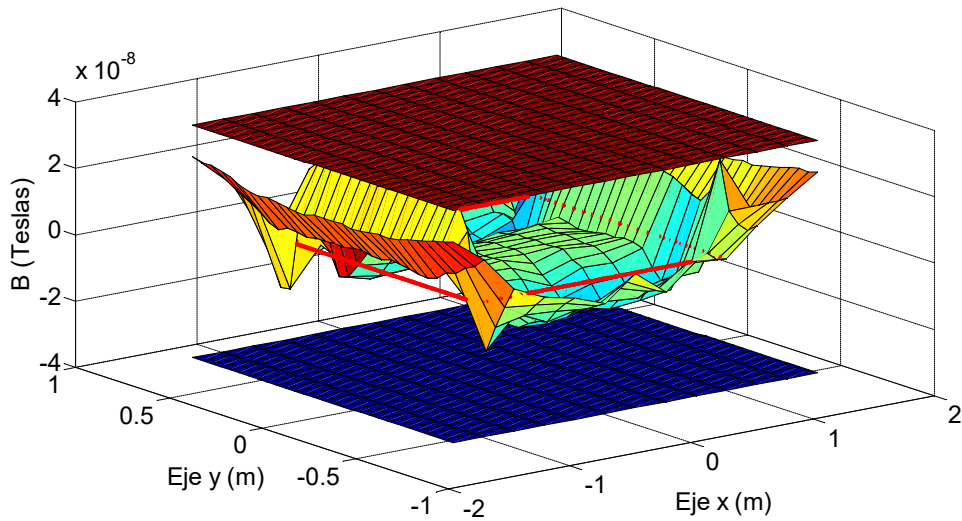


Fig. 3.17 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5c

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.10\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 50mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.11 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.10\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.10E-08	5.80E-08	1.03E-07	1.50E-07	1.64E-07	1.60E-07	1.84E-07	1.60E-07	1.77E-07	1.53E-07	1.19E-07	6.10E-08	4.20E-08
0.65	4.20E-08	6.20E-08	1.30E-07	2.00E-07	2.20E-07	2.20E-07	2.37E-07	2.22E-07	2.33E-07	2.13E-07	1.58E-07	6.70E-08	4.40E-08
0.6	4.30E-08	6.90E-08	1.72E-07	2.75E-07	2.91E-07	2.94E-07	3.06E-07	2.98E-07	3.02E-07	2.96E-07	2.19E-07	7.40E-08	4.40E-08
0.55	4.30E-08	7.50E-08	2.28E-07	3.56E-07	3.58E-07	3.64E-07	3.67E-07	3.63E-07	3.71E-07	3.61E-07	3.05E-07	8.20E-08	4.60E-08
0.5	4.40E-08	8.40E-08	3.29E-07	4.10E-07	3.93E-07	3.88E-07	3.96E-07	3.96E-07	4.04E-07	4.08E-07	4.17E-07	8.80E-08	4.60E-08
0.45	4.50E-08	8.50E-08	4.38E-07	4.02E-07	3.68E-07	3.60E-07	3.67E-07	3.66E-07	3.77E-07	3.99E-07	4.33E-07	9.40E-08	4.70E-08
0.4	4.70E-08	9.20E-08	4.79E-07	3.58E-07	3.18E-07	3.07E-07	3.12E-07	3.10E-07	3.22E-07	3.52E-07	4.44E-07	9.70E-08	4.80E-08
0.35	4.80E-08	1.02E-07	4.84E-07	3.29E-07	2.83E-07	2.70E-07	2.69E-07	2.72E-07	2.84E-07	3.22E-07	4.54E-07	1.03E-07	4.90E-08
0.3	5.00E-08	1.10E-07	4.87E-07	3.16E-07	2.67E-07	2.53E-07	2.41E-07	2.53E-07	2.67E-07	3.11E-07	4.64E-07	1.08E-07	5.20E-08
0.25	5.10E-08	1.17E-07	4.90E-07	3.08E-07	2.55E-07	2.39E-07	2.24E-07	2.39E-07	2.53E-07	3.04E-07	4.70E-07	1.15E-07	5.30E-08
0.2	5.20E-08	1.23E-07	4.90E-07	3.01E-07	2.44E-07	2.27E-07	2.13E-07	2.25E-07	2.42E-07	2.94E-07	4.72E-07	1.19E-07	5.40E-08
0.15	5.40E-08	1.25E-07	4.92E-07	2.90E-07	2.32E-07	2.17E-07	2.07E-07	2.17E-07	2.31E-07	2.87E-07	4.75E-07	1.19E-07	5.50E-08
0.1	5.40E-08	1.27E-07	4.95E-07	2.79E-07	2.26E-07	2.09E-07	2.03E-07	2.09E-07	2.24E-07	2.81E-07	4.76E-07	1.22E-07	5.50E-08
0.05	5.50E-08	1.32E-07	5.00E-07	2.74E-07	2.21E-07	2.05E-07	1.99E-07	2.05E-07	2.20E-07	2.78E-07	4.80E-07	1.24E-07	5.50E-08
0	5.50E-08	1.30E-07	5.01E-07	2.74E-07	2.20E-07	2.03E-07	1.98E-07	2.03E-07	2.19E-07	2.75E-07	4.78E-07	1.23E-07	5.60E-08
-0.05	5.50E-08	1.29E-07	4.96E-07	2.75E-07	2.21E-07	2.04E-07	2.00E-07	2.04E-07	2.21E-07	2.77E-07	4.76E-07	1.23E-07	5.60E-08
-0.1	5.40E-08	1.29E-07	4.94E-07	2.78E-07	2.26E-07	2.09E-07	2.04E-07	2.09E-07	2.25E-07	2.79E-07	4.75E-07	1.20E-07	5.50E-08
-0.15	5.30E-08	1.26E-07	4.95E-07	2.85E-07	2.32E-07	2.16E-07	2.10E-07	2.16E-07	2.33E-07	2.88E-07	4.74E-07	1.19E-07	5.40E-08
-0.2	5.20E-08	1.23E-07	4.97E-07	2.95E-07	2.43E-07	2.27E-07	2.14E-07	2.28E-07	2.42E-07	2.96E-07	4.73E-07	1.16E-07	5.40E-08
-0.25	5.20E-08	1.16E-07	4.99E-07	3.06E-07	2.55E-07	2.39E-07	2.24E-07	2.39E-07	2.53E-07	3.03E-07	4.73E-07	1.15E-07	5.30E-08
-0.3	5.00E-08	1.14E-07	4.91E-07	3.11E-07	2.67E-07	2.54E-07	2.41E-07	2.52E-07	2.65E-07	3.11E-07	4.68E-07	1.08E-07	5.00E-08
-0.35	4.80E-08	1.05E-07	4.81E-07	3.23E-07	2.84E-07	2.73E-07	2.70E-07	2.71E-07	2.81E-07	3.20E-07	4.65E-07	1.02E-07	4.90E-08
-0.4	4.70E-08	9.50E-08	4.65E-07	3.53E-07	3.20E-07	3.12E-07	3.14E-07	3.08E-07	3.14E-07	3.48E-07	4.57E-07	9.50E-08	4.70E-08
-0.45	4.60E-08	8.80E-08	4.10E-07	4.00E-07	3.73E-07	3.68E-07	3.68E-07	3.63E-07	3.70E-07	3.96E-07	4.07E-07	8.80E-08	4.60E-08
-0.5	4.50E-08	8.10E-08	3.03E-07	4.08E-07	4.00E-07	3.98E-07	3.96E-07	3.90E-07	3.96E-07	4.07E-07	3.11E-07	8.10E-08	4.60E-08
-0.55	4.40E-08	7.40E-08	2.22E-07	3.48E-07	3.74E-07	3.70E-07	3.65E-07	3.58E-07	3.65E-07	3.58E-07	2.17E-07	7.50E-08	4.50E-08
-0.6	4.30E-08	6.80E-08	1.70E-07	2.72E-07	3.05E-07	3.01E-07	3.06E-07	2.92E-07	3.00E-07	2.87E-07	1.69E-07	6.90E-08	4.40E-08
-0.65	4.20E-08	6.20E-08	1.27E-07	2.04E-07	2.28E-07	2.21E-07	2.32E-07	2.14E-07	2.23E-07	2.10E-07	1.27E-07	6.30E-08	4.30E-08
-0.7	4.10E-08	5.70E-08	1.00E-07	1.56E-07	1.70E-07	1.57E-07	1.80E-07	1.54E-07	1.67E-07	1.52E-07	1.00E-07	5.80E-08	4.20E-08

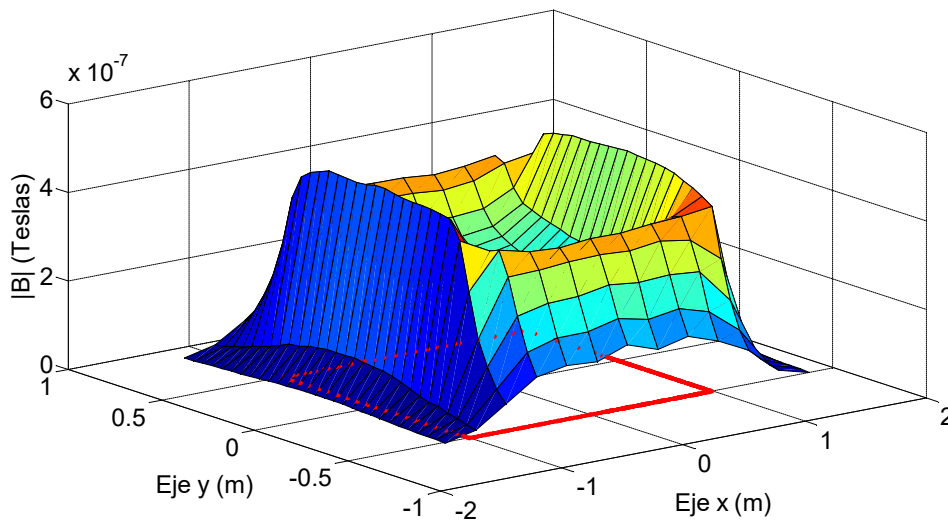


Fig. 3.18 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.10\text{m}$.

Tabla 3.12 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.10 \text{m}$

Eje x (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.41E-08	4.90E-08	1.08E-07	1.56E-07	1.73E-07	1.80E-07	1.80E-07	1.80E-07	1.73E-07	1.56E-07	1.08E-07	4.90E-08	2.41E-08
0.65	2.60E-08	5.64E-08	1.44E-07	2.09E-07	2.27E-07	2.34E-07	2.34E-07	2.34E-07	2.27E-07	2.09E-07	1.44E-07	5.64E-08	2.60E-08
0.6	2.80E-08	6.48E-08	1.97E-07	2.81E-07	2.98E-07	3.04E-07	3.04E-07	3.04E-07	2.98E-07	2.81E-07	1.97E-07	6.48E-08	2.80E-08
0.55	3.00E-08	7.38E-08	2.67E-07	3.60E-07	3.71E-07	3.74E-07	3.74E-07	3.74E-07	3.71E-07	3.60E-07	2.67E-07	7.38E-08	3.00E-08
0.5	3.20E-08	8.29E-08	3.35E-07	4.07E-07	4.05E-07	4.04E-07	4.04E-07	4.04E-07	4.05E-07	4.07E-07	3.35E-07	8.29E-08	3.20E-08
0.45	3.39E-08	9.16E-08	3.76E-07	4.02E-07	3.87E-07	3.81E-07	3.81E-07	3.81E-07	3.87E-07	4.02E-07	3.76E-07	9.16E-08	3.39E-08
0.4	3.57E-08	9.95E-08	3.98E-07	3.73E-07	3.47E-07	3.39E-07	3.39E-07	3.39E-07	3.47E-07	3.73E-07	3.98E-07	9.95E-08	3.57E-08
0.35	3.73E-08	1.06E-07	4.05E-07	3.44E-07	3.10E-07	2.99E-07	2.99E-07	2.99E-07	3.10E-07	3.44E-07	4.05E-07	1.06E-07	3.73E-08
0.3	3.88E-08	1.12E-07	4.08E-07	3.21E-07	2.81E-07	2.69E-07	2.69E-07	2.69E-07	2.81E-07	3.21E-07	4.08E-07	1.12E-07	3.88E-08
0.25	4.01E-08	1.16E-07	4.09E-07	3.04E-07	2.60E-07	2.47E-07	2.47E-07	2.47E-07	2.60E-07	3.04E-07	4.09E-07	1.16E-07	4.01E-08
0.2	4.11E-08	1.19E-07	4.10E-07	2.91E-07	2.45E-07	2.31E-07	2.31E-07	2.31E-07	2.45E-07	2.91E-07	4.10E-07	1.19E-07	4.11E-08
0.15	4.19E-08	1.22E-07	4.10E-07	2.83E-07	2.34E-07	2.20E-07	2.20E-07	2.20E-07	2.34E-07	2.83E-07	4.10E-07	1.22E-07	4.19E-08
0.1	4.25E-08	1.23E-07	4.10E-07	2.77E-07	2.28E-07	2.13E-07	2.13E-07	2.13E-07	2.28E-07	2.77E-07	4.10E-07	1.23E-07	4.25E-08
0.05	4.29E-08	1.24E-07	4.09E-07	2.74E-07	2.24E-07	2.09E-07	2.09E-07	2.09E-07	2.24E-07	2.74E-07	4.09E-07	1.24E-07	4.29E-08
0	4.30E-08	1.25E-07	4.09E-07	2.73E-07	2.22E-07	2.07E-07	2.07E-07	2.07E-07	2.22E-07	2.73E-07	4.09E-07	1.25E-07	4.30E-08
-0.05	4.29E-08	1.24E-07	4.09E-07	2.74E-07	2.24E-07	2.09E-07	2.09E-07	2.09E-07	2.24E-07	2.74E-07	4.09E-07	1.24E-07	4.29E-08
-0.1	4.25E-08	1.23E-07	4.10E-07	2.77E-07	2.28E-07	2.13E-07	2.13E-07	2.13E-07	2.28E-07	2.77E-07	4.10E-07	1.23E-07	4.25E-08
-0.15	4.19E-08	1.22E-07	4.10E-07	2.83E-07	2.34E-07	2.20E-07	2.20E-07	2.20E-07	2.34E-07	2.83E-07	4.10E-07	1.22E-07	4.19E-08
-0.2	4.11E-08	1.19E-07	4.10E-07	2.91E-07	2.45E-07	2.31E-07	2.31E-07	2.31E-07	2.45E-07	2.91E-07	4.10E-07	1.19E-07	4.11E-08
-0.25	4.01E-08	1.16E-07	4.09E-07	3.04E-07	2.60E-07	2.47E-07	2.47E-07	2.47E-07	2.60E-07	3.04E-07	4.09E-07	1.16E-07	4.01E-08
-0.3	3.88E-08	1.12E-07	4.08E-07	3.21E-07	2.81E-07	2.69E-07	2.69E-07	2.69E-07	2.81E-07	3.21E-07	4.08E-07	1.12E-07	3.88E-08
-0.35	3.73E-08	1.06E-07	4.05E-07	3.44E-07	3.10E-07	2.99E-07	2.99E-07	2.99E-07	3.10E-07	3.44E-07	4.05E-07	1.06E-07	3.73E-08
-0.4	3.57E-08	9.95E-08	3.98E-07	3.73E-07	3.47E-07	3.39E-07	3.39E-07	3.39E-07	3.47E-07	3.73E-07	3.98E-07	9.95E-08	3.57E-08
-0.45	3.39E-08	9.16E-08	3.76E-07	4.02E-07	3.87E-07	3.81E-07	3.81E-07	3.81E-07	3.87E-07	4.02E-07	3.76E-07	9.16E-08	3.39E-08
-0.5	3.20E-08	8.29E-08	3.35E-07	4.07E-07	4.05E-07	4.04E-07	4.04E-07	4.04E-07	4.05E-07	4.07E-07	3.35E-07	8.29E-08	3.20E-08
-0.55	3.00E-08	7.38E-08	2.67E-07	3.60E-07	3.71E-07	3.74E-07	3.74E-07	3.74E-07	3.71E-07	3.60E-07	2.67E-07	7.38E-08	3.00E-08
-0.6	2.80E-08	6.48E-08	1.97E-07	2.81E-07	2.98E-07	3.04E-07	3.04E-07	3.04E-07	2.98E-07	2.81E-07	1.97E-07	6.48E-08	2.80E-08
-0.65	2.60E-08	5.64E-08	1.44E-07	2.09E-07	2.27E-07	2.34E-07	2.34E-07	2.34E-07	2.27E-07	2.09E-07	1.44E-07	5.64E-08	2.60E-08
-0.7	2.41E-08	4.90E-08	1.08E-07	1.56E-07	1.73E-07	1.80E-07	1.80E-07	1.80E-07	1.73E-07	1.56E-07	1.08E-07	4.90E-08	2.41E-08

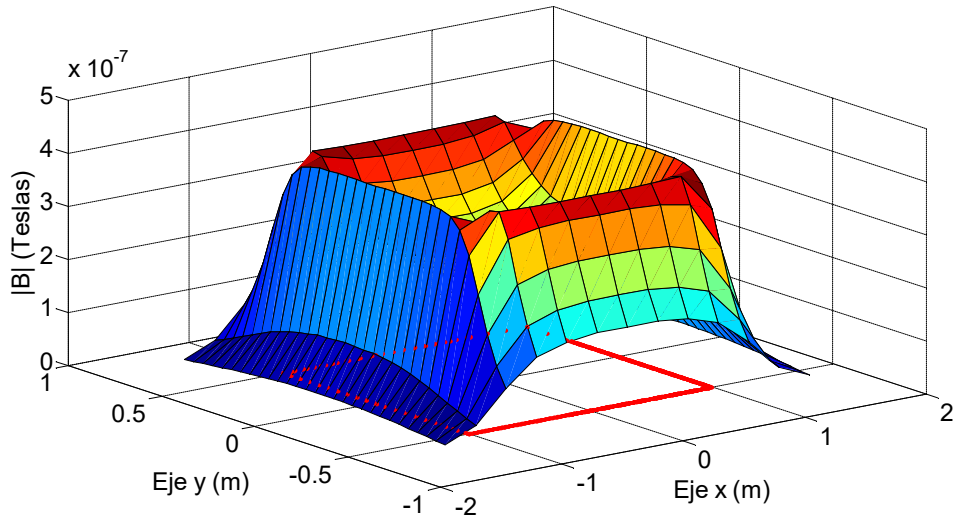


Fig. 3.19 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.10 \text{m}$.

Tabla 3.13 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m

Eje x (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.69E-08	8.97E-09	-5.20E-09	-6.39E-09	-9.44E-09	-1.97E-08	4.33E-09	-1.97E-08	3.56E-09	-3.39E-09	1.08E-08	1.20E-08	1.79E-08
0.65	1.60E-08	5.58E-09	-1.39E-08	-9.24E-09	-7.48E-09	-1.36E-08	3.38E-09	-1.16E-08	5.52E-09	-3.76E-09	1.41E-08	1.06E-08	1.80E-08
0.6	1.50E-08	4.24E-09	-2.48E-08	-6.42E-09	-7.36E-09	-9.50E-09	2.50E-09	-5.50E-09	3.64E-09	1.46E-08	2.22E-08	9.24E-09	1.60E-08
0.55	1.30E-08	1.24E-09	-3.88E-08	-4.49E-09	-1.30E-08	-9.52E-09	-6.52E-09	-1.05E-08	4.00E-11	5.10E-10	3.82E-08	8.24E-09	1.50E-08
0.5	1.20E-08	1.08E-09	-6.20E-09	2.89E-09	-1.23E-08	-1.58E-08	-7.75E-09	-7.75E-09	-1.25E-09	8.90E-10	8.18E-08	5.08E-09	1.40E-08
0.45	1.11E-08	-6.64E-09	5.98E-08	-2.10E-10	-1.88E-08	-2.13E-08	-1.43E-08	-1.53E-08	-9.78E-09	-3.21E-09	5.48E-08	2.36E-09	1.31E-08
0.4	1.13E-08	-7.46E-09	8.13E-08	-1.52E-08	-2.90E-08	-3.15E-08	-2.65E-08	-2.85E-08	-2.50E-08	-2.12E-08	4.63E-08	-2.46E-09	1.23E-08
0.35	1.07E-08	-4.12E-09	7.85E-08	-1.48E-08	-2.68E-08	-2.93E-08	-3.03E-08	-2.73E-08	-2.58E-08	-2.18E-08	4.85E-08	-3.12E-09	1.17E-08
0.3	1.12E-08	-1.59E-09	7.86E-08	-4.55E-09	-1.40E-08	-1.61E-08	-2.81E-08	-1.61E-08	-1.40E-08	-9.55E-09	5.56E-08	-3.59E-09	1.32E-08
0.25	1.09E-08	1.06E-09	8.06E-08	4.49E-09	-4.96E-09	-7.94E-09	-2.29E-08	-7.94E-09	-6.96E-09	4.90E-10	6.06E-08	-9.40E-10	1.29E-08
0.2	1.09E-08	3.71E-09	8.04E-08	9.63E-09	-9.30E-10	-4.13E-09	-1.81E-08	-6.13E-09	-2.93E-09	2.63E-09	6.24E-08	-2.90E-10	1.29E-08
0.15	1.21E-08	3.23E-09	8.24E-08	7.03E-09	-2.49E-09	-3.10E-09	-1.31E-08	-3.10E-09	-3.49E-09	4.03E-09	6.54E-08	-2.77E-09	1.31E-08
0.1	1.15E-08	3.53E-09	8.55E-08	1.52E-09	-1.63E-09	-3.86E-09	-9.86E-09	-3.86E-09	-3.63E-09	3.52E-09	6.65E-08	-1.47E-09	1.25E-08
0.05	1.21E-08	7.54E-09	9.06E-08	-3.80E-10	-2.75E-09	-3.74E-09	-9.74E-09	-3.74E-09	-3.75E-09	3.62E-09	7.06E-08	-4.60E-10	1.21E-08
0	1.20E-08	5.21E-09	9.16E-08	6.30E-10	-2.49E-09	-4.41E-09	-9.41E-09	-4.41E-09	-3.49E-09	1.63E-09	6.86E-08	-1.79E-09	1.30E-08
-0.05	1.21E-08	4.54E-09	8.66E-08	6.20E-10	-2.75E-09	-4.74E-09	-8.74E-09	-4.74E-09	-2.75E-09	2.62E-09	6.66E-08	-1.46E-09	1.31E-08
-0.1	1.15E-08	5.53E-09	8.45E-08	5.20E-10	-1.63E-09	-3.86E-09	-8.86E-09	-3.86E-09	-2.63E-09	1.52E-09	6.55E-08	-3.47E-09	1.25E-08
-0.15	1.11E-08	4.23E-09	8.54E-08	2.03E-09	-2.49E-09	-4.10E-09	-1.01E-08	-4.10E-09	-1.49E-09	5.03E-09	6.44E-08	-2.77E-09	1.21E-08
-0.2	1.09E-08	3.71E-09	8.74E-08	3.63E-09	-1.93E-09	-4.13E-09	-1.71E-08	-3.13E-09	-2.93E-09	4.63E-09	6.34E-08	-3.29E-09	1.29E-08
-0.25	1.19E-08	6.00E-11	8.96E-08	2.49E-09	-4.96E-09	-7.94E-09	-2.29E-08	-7.94E-09	-6.96E-09	-5.10E-10	6.36E-08	-9.40E-10	1.29E-08
-0.3	1.12E-08	2.41E-09	8.26E-08	-9.55E-09	-1.40E-08	-1.51E-08	-2.81E-08	-1.71E-08	-1.60E-08	-9.55E-09	5.96E-08	-3.59E-09	1.12E-08
-0.35	1.07E-08	-1.12E-09	7.55E-08	-2.08E-08	-2.58E-08	-2.63E-08	-2.93E-08	-2.83E-08	-2.88E-08	-2.38E-08	5.95E-08	-4.12E-09	1.17E-08
-0.4	1.13E-08	-4.46E-09	6.73E-08	-2.02E-08	-2.70E-08	-2.65E-08	-2.45E-08	-3.05E-08	-3.30E-08	-2.52E-08	5.93E-08	-4.46E-09	1.13E-08
-0.45	1.21E-08	-3.64E-09	3.18E-08	-2.21E-09	-1.38E-08	-1.23E-08	-1.33E-08	-1.83E-08	-1.68E-08	-6.21E-09	2.88E-08	-3.64E-09	1.21E-08
-0.5	1.30E-08	-1.92E-09	-3.22E-08	8.90E-10	-5.25E-09	-5.75E-09	-7.75E-09	-1.38E-08	-9.25E-09	-1.10E-10	-2.42E-08	-1.92E-09	1.40E-08
-0.55	1.40E-08	2.39E-10	-4.48E-08	-1.25E-08	3.04E-09	-3.52E-09	-8.52E-09	-1.55E-08	-5.96E-09	-2.49E-09	-4.98E-08	1.24E-09	1.50E-08
-0.6	1.50E-08	3.24E-09	-2.68E-08	-9.42E-09	6.64E-09	-2.50E-09	2.50E-09	-1.15E-08	1.64E-09	5.58E-09	-2.78E-08	4.24E-09	1.60E-08
-0.65	1.60E-08	5.58E-09	-1.69E-08	-5.24E-09	5.20E-10	-1.26E-08	-1.62E-08	-1.96E-08	-4.48E-09	7.60E-10	-1.69E-08	6.58E-09	1.70E-08
-0.7	1.69E-08	7.97E-09	-8.20E-09	-3.90E-10	-3.44E-09	-2.27E-08	3.30E-10	-2.57E-08	-6.44E-09	-4.39E-09	-8.20E-09	8.97E-09	1.79E-08

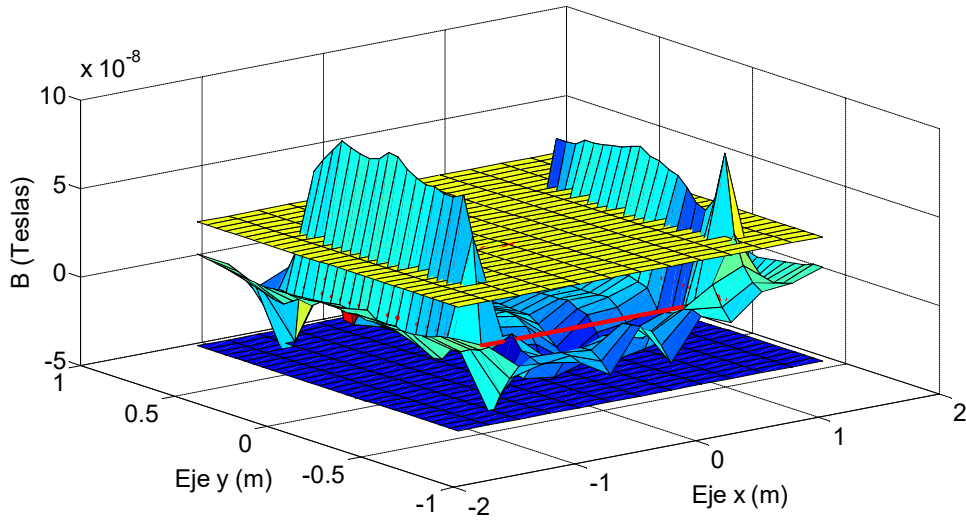


Fig. 3.20 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5d

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z=0.10\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 100mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.14 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.10\text{m}$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	6.00E-08	1.01E-07	2.00E-07	2.99E-07	3.25E-07	3.18E-07	3.63E-07	3.17E-07	3.50E-07	3.05E-07	2.37E-07	1.07E-07	6.30E-08
0.65	6.20E-08	1.11E-07	2.59E-07	4.01E-07	4.38E-07	4.39E-07	4.74E-07	4.43E-07	4.66E-07	4.26E-07	3.14E-07	1.21E-07	6.60E-08
0.6	6.50E-08	1.25E-07	3.43E-07	5.52E-07	5.83E-07	5.88E-07	6.17E-07	5.96E-07	6.06E-07	5.94E-07	4.38E-07	1.39E-07	6.80E-08
0.55	6.70E-08	1.38E-07	4.58E-07	7.16E-07	7.19E-07	7.31E-07	7.37E-07	7.28E-07	7.44E-07	7.24E-07	6.12E-07	1.57E-07	7.00E-08
0.5	7.00E-08	1.56E-07	6.62E-07	8.22E-07	7.87E-07	7.78E-07	7.95E-07	7.94E-07	8.11E-07	8.20E-07	8.37E-07	1.69E-07	7.30E-08
0.45	7.20E-08	1.63E-07	8.82E-07	8.06E-07	7.38E-07	7.22E-07	7.36E-07	7.34E-07	7.56E-07	8.01E-07	8.71E-07	1.82E-07	7.50E-08
0.4	7.50E-08	1.79E-07	9.63E-07	7.18E-07	6.36E-07	6.14E-07	6.24E-07	6.22E-07	6.45E-07	7.06E-07	8.93E-07	1.86E-07	7.60E-08
0.35	7.90E-08	2.01E-07	9.73E-07	6.58E-07	5.66E-07	5.41E-07	5.38E-07	5.44E-07	5.68E-07	6.44E-07	9.12E-07	1.98E-07	8.00E-08
0.3	8.30E-08	2.18E-07	9.80E-07	6.33E-07	5.34E-07	5.05E-07	4.82E-07	5.05E-07	5.34E-07	6.22E-07	9.32E-07	2.10E-07	8.50E-08
0.25	8.70E-08	2.32E-07	9.84E-07	6.16E-07	5.10E-07	4.78E-07	4.45E-07	4.77E-07	5.06E-07	6.09E-07	9.44E-07	2.25E-07	8.70E-08
0.2	8.90E-08	2.43E-07	9.85E-07	6.02E-07	4.89E-07	4.52E-07	4.24E-07	4.50E-07	4.84E-07	5.90E-07	9.48E-07	2.35E-07	9.00E-08
0.15	9.20E-08	2.47E-07	9.89E-07	5.81E-07	4.64E-07	4.33E-07	4.12E-07	4.33E-07	4.63E-07	5.76E-07	9.55E-07	2.35E-07	9.20E-08
0.1	9.30E-08	2.52E-07	9.96E-07	5.59E-07	4.51E-07	4.18E-07	4.04E-07	4.18E-07	4.50E-07	5.65E-07	9.57E-07	2.41E-07	9.30E-08
0.05	9.40E-08	2.62E-07	1.00E-06	5.51E-07	4.41E-07	4.08E-07	3.97E-07	4.08E-07	4.40E-07	5.57E-07	9.64E-07	2.46E-07	9.40E-08
0	9.50E-08	2.57E-07	1.00E-06	5.49E-07	4.38E-07	4.05E-07	3.96E-07	4.05E-07	4.39E-07	5.52E-07	9.60E-07	2.43E-07	9.40E-08
-0.05	9.50E-08	2.56E-07	9.97E-07	5.51E-07	4.42E-07	4.08E-07	3.99E-07	4.07E-07	4.42E-07	5.54E-07	9.56E-07	2.43E-07	9.40E-08
-0.1	9.30E-08	2.56E-07	9.94E-07	5.58E-07	4.51E-07	4.16E-07	4.08E-07	4.16E-07	4.51E-07	5.58E-07	9.54E-07	2.37E-07	9.30E-08
-0.15	9.10E-08	2.50E-07	9.97E-07	5.72E-07	4.63E-07	4.31E-07	4.18E-07	4.31E-07	4.66E-07	5.75E-07	9.52E-07	2.35E-07	9.10E-08
-0.2	9.00E-08	2.44E-07	1.00E-06	5.93E-07	4.86E-07	4.53E-07	4.26E-07	4.54E-07	4.86E-07	5.92E-07	9.50E-07	2.28E-07	9.00E-08
-0.25	8.70E-08	2.29E-07	1.00E-06	6.13E-07	5.09E-07	4.78E-07	4.46E-07	4.78E-07	5.06E-07	6.07E-07	9.50E-07	2.25E-07	8.70E-08
-0.3	8.40E-08	2.24E-07	9.90E-07	6.24E-07	5.34E-07	5.07E-07	4.83E-07	5.05E-07	5.31E-07	6.22E-07	9.41E-07	2.10E-07	8.30E-08
-0.35	7.90E-08	2.05E-07	9.71E-07	6.47E-07	5.68E-07	5.47E-07	5.41E-07	5.44E-07	5.62E-07	6.43E-07	9.35E-07	1.95E-07	7.80E-08
-0.4	7.60E-08	1.84E-07	9.41E-07	7.09E-07	6.41E-07	6.24E-07	6.29E-07	6.16E-07	6.30E-07	6.99E-07	9.19E-07	1.81E-07	7.50E-08
-0.45	7.20E-08	1.69E-07	8.24E-07	8.02E-07	7.49E-07	7.41E-07	7.41E-07	7.29E-07	7.42E-07	7.96E-07	8.19E-07	1.66E-07	7.30E-08
-0.5	7.00E-08	1.55E-07	6.08E-07	8.20E-07	8.04E-07	8.00E-07	7.95E-07	7.84E-07	7.93E-07	8.17E-07	6.25E-07	1.50E-07	7.10E-08
-0.55	6.80E-08	1.40E-07	4.47E-07	6.98E-07	7.51E-07	7.42E-07	7.33E-07	7.18E-07	7.33E-07	7.20E-07	4.35E-07	1.36E-07	6.90E-08
-0.6	6.50E-08	1.26E-07	3.39E-07	5.47E-07	6.11E-07	6.03E-07	6.13E-07	5.85E-07	6.00E-07	5.75E-07	3.36E-07	1.23E-07	6.60E-08
-0.65	6.30E-08	1.11E-07	2.53E-07	4.09E-07	4.57E-07	4.41E-07	4.66E-07	4.28E-07	4.46E-07	4.19E-07	2.51E-07	1.11E-07	6.40E-08
-0.7	6.00E-08	9.90E-08	1.98E-07	3.09E-07	3.39E-07	3.14E-07	3.57E-07	3.07E-07	3.31E-07	3.02E-07	1.94E-07	1.01E-07	6.10E-08

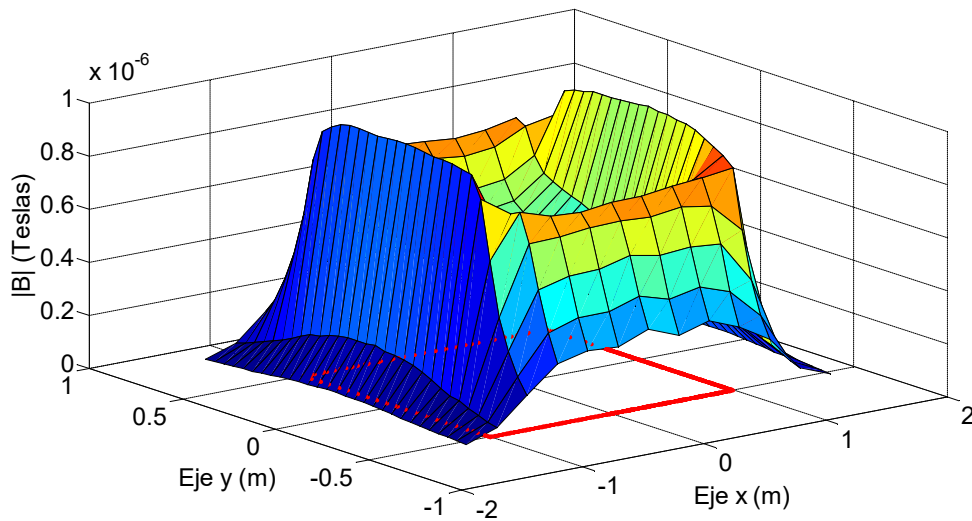


Fig. 3.21 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.10\text{m}$.

Tabla 3.15 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $100mA$ y $z = 0.10m$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.82E-08	9.81E-08	2.16E-07	3.13E-07	3.47E-07	3.59E-07	3.63E-07	3.59E-07	3.47E-07	3.13E-07	2.16E-07	9.81E-08	4.82E-08
0.65	5.20E-08	1.13E-07	2.88E-07	4.18E-07	4.55E-07	4.67E-07	4.70E-07	4.67E-07	4.55E-07	4.18E-07	2.88E-07	1.13E-07	5.20E-08
0.6	5.60E-08	1.30E-07	3.94E-07	5.63E-07	5.97E-07	6.07E-07	6.10E-07	6.07E-07	5.97E-07	5.63E-07	3.94E-07	1.30E-07	5.60E-08
0.55	6.00E-08	1.48E-07	5.34E-07	7.21E-07	7.42E-07	7.47E-07	7.48E-07	7.47E-07	7.42E-07	7.21E-07	5.34E-07	1.48E-07	6.00E-08
0.5	6.39E-08	1.66E-07	6.70E-07	8.14E-07	8.11E-07	8.08E-07	8.07E-07	8.08E-07	8.11E-07	8.14E-07	6.70E-07	1.66E-07	6.39E-08
0.45	6.77E-08	1.83E-07	7.56E-07	8.04E-07	7.74E-07	7.63E-07	7.60E-07	7.63E-07	7.74E-07	8.04E-07	7.56E-07	1.83E-07	6.77E-08
0.4	7.13E-08	1.99E-07	7.95E-07	7.46E-07	6.94E-07	6.77E-07	6.73E-07	6.77E-07	6.94E-07	7.46E-07	7.95E-07	1.99E-07	7.13E-08
0.35	7.46E-08	2.12E-07	8.11E-07	6.88E-07	6.20E-07	5.99E-07	5.93E-07	5.99E-07	6.20E-07	6.88E-07	8.11E-07	2.12E-07	7.46E-08
0.3	7.76E-08	2.23E-07	8.17E-07	6.41E-07	5.62E-07	5.39E-07	5.32E-07	5.38E-07	5.62E-07	6.41E-07	8.17E-07	2.23E-07	7.76E-08
0.25	8.01E-08	2.32E-07	8.19E-07	6.07E-07	5.20E-07	4.94E-07	4.88E-07	4.94E-07	5.20E-07	6.07E-07	8.19E-07	2.32E-07	8.01E-08
0.2	8.22E-08	2.39E-07	8.19E-07	5.83E-07	4.90E-07	4.62E-07	4.56E-07	4.62E-07	4.90E-07	5.83E-07	8.19E-07	2.39E-07	8.22E-08
0.15	8.39E-08	2.44E-07	8.19E-07	5.66E-07	4.69E-07	4.40E-07	4.33E-07	4.40E-07	4.69E-07	5.66E-07	8.19E-07	2.44E-07	8.39E-08
0.1	8.50E-08	2.47E-07	8.19E-07	5.55E-07	4.55E-07	4.28E-07	4.19E-07	4.28E-07	4.55E-07	5.55E-07	8.19E-07	2.47E-07	8.50E-08
0.05	8.57E-08	2.49E-07	8.19E-07	5.49E-07	4.48E-07	4.17E-07	4.10E-07	4.17E-07	4.48E-07	5.49E-07	8.19E-07	2.49E-07	8.57E-08
0	8.60E-08	2.50E-07	8.19E-07	5.47E-07	4.45E-07	4.15E-07	4.08E-07	4.15E-07	4.45E-07	5.47E-07	8.19E-07	2.50E-07	8.60E-08
-0.05	8.57E-08	2.49E-07	8.19E-07	5.49E-07	4.48E-07	4.17E-07	4.10E-07	4.17E-07	4.48E-07	5.49E-07	8.19E-07	2.49E-07	8.57E-08
-0.1	8.50E-08	2.47E-07	8.19E-07	5.55E-07	4.55E-07	4.28E-07	4.19E-07	4.28E-07	4.55E-07	5.55E-07	8.19E-07	2.47E-07	8.50E-08
-0.15	8.39E-08	2.44E-07	8.19E-07	5.66E-07	4.69E-07	4.40E-07	4.33E-07	4.40E-07	4.69E-07	5.66E-07	8.19E-07	2.44E-07	8.39E-08
-0.2	8.22E-08	2.39E-07	8.19E-07	5.83E-07	4.90E-07	4.62E-07	4.56E-07	4.62E-07	4.90E-07	5.83E-07	8.19E-07	2.39E-07	8.22E-08
-0.25	8.01E-08	2.32E-07	8.19E-07	6.07E-07	5.20E-07	4.94E-07	4.88E-07	4.94E-07	5.20E-07	6.07E-07	8.19E-07	2.32E-07	8.01E-08
-0.3	7.76E-08	2.23E-07	8.17E-07	6.41E-07	5.62E-07	5.39E-07	5.32E-07	5.38E-07	5.62E-07	6.41E-07	8.17E-07	2.23E-07	7.76E-08
-0.35	7.46E-08	2.12E-07	8.11E-07	6.88E-07	6.20E-07	5.99E-07	5.93E-07	5.99E-07	6.20E-07	6.88E-07	8.11E-07	2.12E-07	7.46E-08
-0.4	7.13E-08	1.99E-07	7.95E-07	7.46E-07	6.94E-07	6.77E-07	6.73E-07	6.77E-07	6.94E-07	7.46E-07	7.95E-07	1.99E-07	7.13E-08
-0.45	6.77E-08	1.83E-07	7.56E-07	8.04E-07	7.74E-07	7.63E-07	7.60E-07	7.63E-07	7.74E-07	8.04E-07	7.56E-07	1.83E-07	6.77E-08
-0.5	6.39E-08	1.66E-07	6.70E-07	8.14E-07	8.11E-07	8.08E-07	8.07E-07	8.08E-07	8.11E-07	8.14E-07	6.70E-07	1.66E-07	6.39E-08
-0.55	6.00E-08	1.48E-07	5.34E-07	7.21E-07	7.42E-07	7.47E-07	7.48E-07	7.47E-07	7.42E-07	7.21E-07	5.34E-07	1.48E-07	6.00E-08
-0.6	5.80E-08	1.30E-07	3.94E-07	5.63E-07	5.97E-07	6.07E-07	6.10E-07	6.07E-07	5.97E-07	5.63E-07	3.94E-07	1.30E-07	5.80E-08
-0.65	5.20E-08	1.13E-07	2.88E-07	4.18E-07	4.55E-07	4.67E-07	4.70E-07	4.67E-07	4.55E-07	4.18E-07	2.88E-07	1.13E-07	5.20E-08
-0.7	4.82E-08	9.81E-08	2.16E-07	3.13E-07	3.47E-07	3.59E-07	3.63E-07	3.59E-07	3.47E-07	3.13E-07	2.16E-07	9.81E-08	4.82E-08

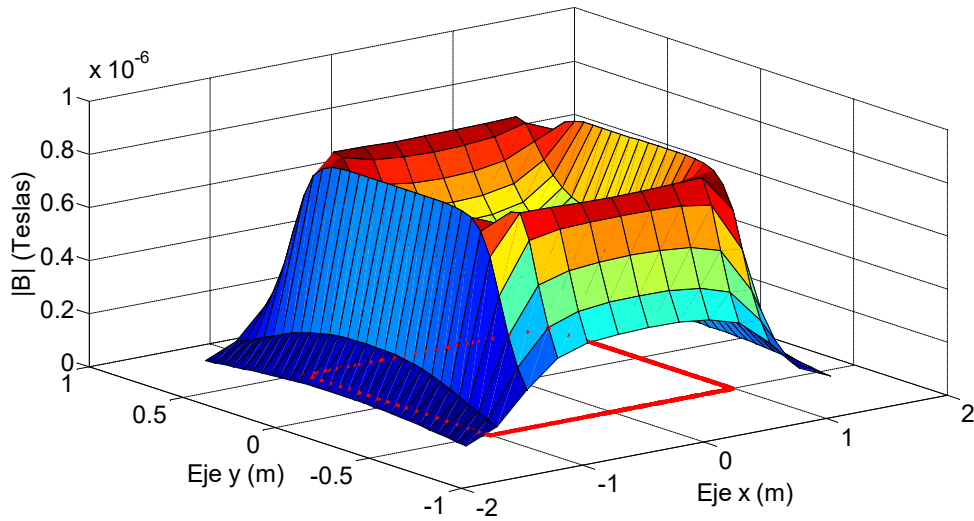


Fig. 3.22 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $100mA$ y $z = 0.10m$.

Tabla 3.16 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.10m$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.18E-08	2.95E-09	-1.64E-08	-1.38E-08	-2.19E-08	-4.14E-08	3.50E-10	-4.24E-08	3.13E-09	-7.78E-09	2.06E-08	8.95E-09	1.48E-08
0.65	9.98E-09	-1.84E-09	-2.89E-08	-1.75E-08	-1.70E-08	-2.82E-08	3.59E-09	-2.42E-08	1.10E-08	7.52E-09	2.61E-08	8.16E-09	1.40E-08
0.6	9.03E-09	-4.52E-09	-5.05E-08	-1.08E-08	-1.37E-08	-1.90E-08	7.45E-09	-1.10E-08	9.28E-09	3.12E-08	4.45E-08	9.48E-09	1.20E-08
0.55	7.03E-09	-9.52E-09	-7.57E-08	-4.99E-09	-2.29E-08	-1.60E-08	-1.12E-08	-1.90E-08	2.09E-09	3.01E-09	7.83E-08	9.48E-09	1.00E-08
0.5	6.08E-09	-9.84E-09	-8.39E-09	7.78E-09	-2.35E-08	-2.95E-08	-1.16E-08	-1.35E-08	5.00E-10	5.78E-09	1.67E-07	3.16E-09	9.08E-09
0.45	4.26E-09	-2.03E-08	1.26E-07	1.57E-09	-3.56E-08	-4.06E-08	-2.37E-08	-2.85E-08	-1.76E-08	-3.43E-09	1.15E-07	-1.28E-09	7.26E-09
0.4	3.66E-09	-1.99E-08	1.68E-07	-2.85E-08	-5.80E-08	-6.31E-08	-4.88E-08	-5.51E-08	-4.90E-08	-4.05E-08	9.75E-08	-1.29E-08	4.66E-09
0.35	4.36E-09	-1.12E-08	1.62E-07	-2.96E-08	-5.36E-08	-5.76E-08	-5.53E-08	-5.46E-08	-5.16E-08	-4.36E-08	1.01E-07	-1.42E-08	5.36E-09
0.3	5.42E-09	-5.18E-09	1.63E-07	-8.10E-09	-2.80E-08	-3.31E-08	-5.02E-08	-3.31E-08	-2.80E-08	-1.91E-08	1.15E-07	-1.32E-08	7.42E-09
0.25	6.89E-09	1.20E-10	1.65E-07	8.98E-09	-9.93E-09	-1.59E-08	-4.25E-08	-1.69E-08	-1.39E-08	1.98E-09	1.25E-07	-6.88E-09	6.89E-09
0.2	6.79E-09	4.42E-09	1.66E-07	1.93E-08	-8.70E-10	-1.03E-08	-3.15E-08	-1.23E-08	-5.87E-09	7.26E-09	1.29E-07	-3.58E-09	7.79E-09
0.15	8.15E-09	3.46E-09	1.70E-07	1.51E-08	-4.97E-09	-7.21E-09	-2.13E-08	-7.21E-09	-5.97E-09	1.01E-08	1.36E-07	-8.54E-09	8.15E-09
0.1	7.97E-09	5.06E-09	1.77E-07	4.04E-09	-4.27E-09	-7.72E-09	-1.46E-08	-7.72E-09	-5.27E-09	1.00E-08	1.38E-07	-5.94E-09	7.97E-09
0.05	8.27E-09	1.31E-08	1.82E-07	2.24E-09	-6.50E-09	-9.49E-09	-1.32E-08	-9.49E-09	-7.50E-09	8.24E-09	1.45E-07	-2.92E-09	8.27E-09
0	9.03E-09	7.43E-09	1.85E-07	2.25E-09	-6.98E-09	-9.82E-09	-1.15E-08	-9.82E-09	-5.98E-09	5.25E-09	1.41E-07	-6.57E-09	8.03E-09
-0.05	9.27E-09	7.08E-09	1.78E-07	2.24E-09	-5.50E-09	-9.49E-09	-1.12E-08	-1.05E-08	-5.50E-09	5.24E-09	1.37E-07	-5.92E-09	8.27E-09
-0.1	7.97E-09	9.06E-09	1.75E-07	3.04E-09	-4.27E-09	-9.72E-09	-1.06E-08	-9.72E-09	-4.27E-09	3.04E-09	1.35E-07	-9.94E-09	7.97E-09
-0.15	7.15E-09	6.46E-09	1.78E-07	6.06E-09	-5.97E-09	-9.21E-09	-1.53E-08	-9.21E-09	-2.97E-09	9.06E-09	1.33E-07	-8.54E-09	7.15E-09
-0.2	7.79E-09	5.42E-09	1.81E-07	1.03E-08	-3.87E-09	-9.25E-09	-2.95E-08	-8.25E-09	-3.87E-09	9.26E-09	1.31E-07	-1.06E-08	7.79E-09
-0.25	6.89E-09	-2.88E-09	1.81E-07	5.98E-09	-1.09E-08	-1.59E-08	-4.15E-08	-1.59E-08	-1.39E-08	-2.00E-11	1.31E-07	-6.88E-09	6.89E-09
-0.3	6.42E-09	8.20E-10	1.73E-07	-1.71E-08	-2.80E-08	-3.11E-08	-4.92E-08	-3.11E-08	-3.10E-08	-1.91E-08	1.24E-07	-1.32E-08	5.42E-09
-0.35	4.36E-09	-7.24E-09	1.60E-07	-4.06E-08	-5.16E-08	-5.16E-08	-5.23E-08	-5.46E-08	-5.76E-08	-4.46E-08	1.24E-07	-1.72E-08	3.36E-09
-0.4	4.66E-09	-1.49E-08	1.46E-07	-3.75E-08	-5.30E-08	-5.31E-08	-4.38E-08	-6.11E-08	-6.40E-08	-4.75E-08	1.24E-07	-1.79E-08	3.66E-09
-0.45	4.26E-09	-1.43E-08	6.75E-08	-2.43E-09	-2.46E-08	-2.15E-08	-1.87E-08	-3.36E-08	-3.16E-08	-8.43E-09	6.25E-08	-1.73E-08	5.26E-09
-0.5	6.08E-09	-1.08E-08	-6.24E-08	5.78E-09	-6.50E-09	-7.50E-09	-1.16E-08	-2.35E-08	-1.75E-08	2.78E-09	-4.54E-08	-1.58E-08	7.08E-09
-0.55	8.03E-09	-7.52E-09	-8.67E-08	-2.30E-08	9.09E-09	-5.03E-09	-1.52E-08	-2.90E-08	-8.91E-09	-9.90E-10	-9.87E-08	-1.15E-08	9.03E-09
-0.6	9.03E-09	-3.52E-09	-5.45E-08	-1.58E-08	1.43E-08	-4.00E-09	3.45E-09	-2.20E-08	3.28E-09	1.22E-08	-5.75E-08	-6.52E-09	1.00E-08
-0.65	1.10E-08	-1.84E-09	-3.49E-08	-9.48E-09	2.04E-09	-2.62E-08	-4.41E-09	-3.92E-08	-8.96E-09	5.20E-10	-3.69E-08	-1.84E-09	1.20E-08
-0.7	1.18E-08	9.47E-10	-1.84E-08	-3.78E-09	-7.87E-09	-4.54E-08	-5.65E-09	-5.24E-08	-1.59E-08	-1.08E-08	-2.24E-08	2.95E-09	1.28E-08

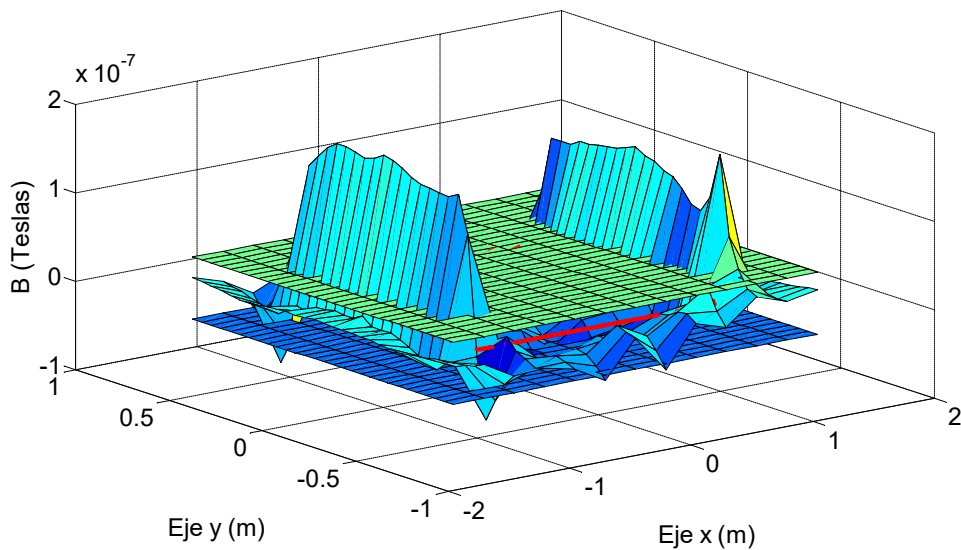


Fig. 3.23 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5e

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.20\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 10mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.17 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 10mA y $z = 0.20\text{m}$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.60E-08	3.70E-08	3.80E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.50E-08	3.40E-08
0.65	3.60E-08	3.70E-08	3.90E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.50E-08	3.40E-08
0.6	3.60E-08	3.70E-08	4.00E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.10E-08	3.50E-08	3.40E-08
0.55	3.60E-08	3.70E-08	4.20E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.90E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.40E-08	3.60E-08	3.40E-08
0.5	3.50E-08	3.70E-08	4.50E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.20E-08	4.80E-08	3.60E-08	3.40E-08
0.45	3.50E-08	3.70E-08	4.80E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.40E-08	5.00E-08	3.60E-08	3.40E-08
0.4	3.50E-08	3.70E-08	5.00E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.50E-08	5.20E-08	3.70E-08	3.40E-08
0.35	3.50E-08	3.80E-08	5.20E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.50E-08	5.30E-08	3.70E-08	3.40E-08
0.3	3.50E-08	3.80E-08	5.30E-08	5.50E-08	5.20E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.50E-08	5.40E-08	3.70E-08	3.40E-08
0.25	3.50E-08	3.80E-08	5.30E-08	5.40E-08	5.10E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.20E-08	5.50E-08	5.40E-08	3.80E-08	3.40E-08
0.2	3.50E-08	3.80E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.10E-08	4.90E-08	4.90E-08	4.90E-08	5.10E-08	5.50E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
0.15	3.50E-08	3.80E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.80E-08	4.80E-08	5.00E-08	5.40E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
0.1	3.50E-08	3.80E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.90E-08	5.30E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
0.05	3.50E-08	3.90E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.90E-08	5.30E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
0	3.50E-08	3.90E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.90E-08	5.30E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
-0.05	3.50E-08	3.90E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.90E-08	5.30E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
-0.1	3.50E-08	3.90E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.60E-08	4.80E-08	4.90E-08	5.40E-08	5.50E-08	3.80E-08	3.40E-08
-0.15	3.50E-08	3.80E-08	5.50E-08	5.30E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.00E-08	5.40E-08	5.40E-08	3.80E-08	3.40E-08
-0.2	3.50E-08	3.80E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.90E-08	5.10E-08	5.50E-08	5.40E-08	3.70E-08	3.40E-08
-0.25	3.50E-08	3.80E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.00E-08	5.00E-08	4.80E-08	5.00E-08	5.10E-08	5.50E-08	5.40E-08	3.70E-08	3.50E-08
-0.3	3.50E-08	3.80E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.10E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.20E-08	5.50E-08	5.30E-08	3.70E-08	3.50E-08
-0.35	3.50E-08	3.80E-08	5.30E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.50E-08	5.10E-08	3.70E-08	3.50E-08
-0.4	3.50E-08	3.70E-08	5.10E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.50E-08	5.00E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.45	3.50E-08	3.70E-08	4.80E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.40E-08	4.80E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.5	3.50E-08	3.70E-08	4.50E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	4.50E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.55	3.50E-08	3.70E-08	4.10E-08	4.70E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.20E-08	3.50E-08	3.50E-08
-0.6	3.60E-08	3.60E-08	3.90E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	3.90E-08	3.50E-08	3.50E-08
-0.65	3.60E-08	3.60E-08	3.70E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.10E-08	3.80E-08	3.50E-08	3.50E-08
-0.7	3.60E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.90E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.50E-08	3.50E-08

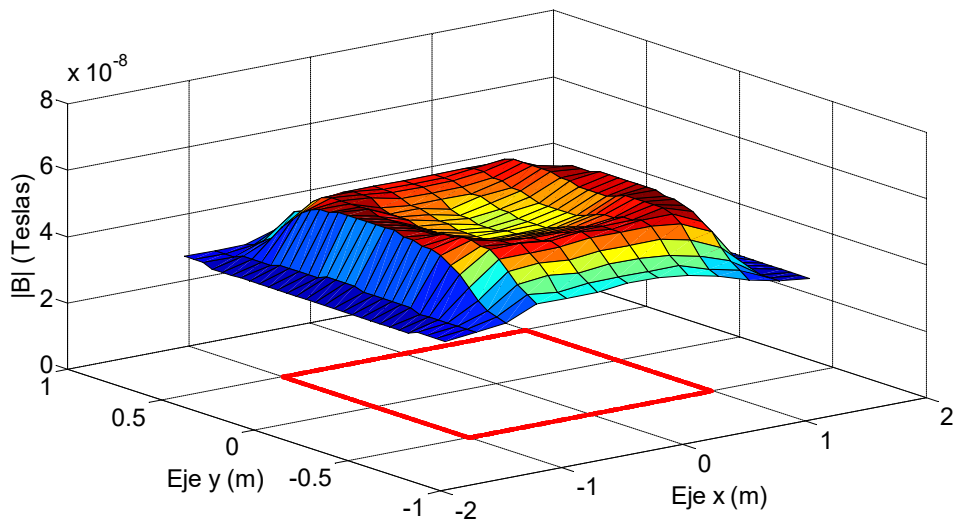


Fig. 3.24 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 10mA y $z = 0.20\text{m}$.

Tabla 3.18 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $10mA$ y $z = 0.20m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.67E-09	9.00E-09	1.72E-08	2.37E-08	2.62E-08	2.72E-08	2.74E-08	2.72E-08	2.62E-08	2.37E-08	1.72E-08	9.00E-09	4.67E-09
0.65	5.03E-09	1.02E-08	2.09E-08	2.88E-08	3.13E-08	3.22E-08	3.24E-08	3.22E-08	3.13E-08	2.88E-08	2.09E-08	1.02E-08	5.03E-09
0.6	5.40E-09	1.14E-08	2.53E-08	3.44E-08	3.67E-08	3.74E-08	3.75E-08	3.74E-08	3.67E-08	3.44E-08	2.53E-08	1.14E-08	5.40E-09
0.55	5.76E-09	1.28E-08	3.00E-08	3.98E-08	4.16E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.16E-08	3.98E-08	3.00E-08	1.28E-08	5.76E-09
0.5	6.12E-09	1.41E-08	3.44E-08	4.41E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.41E-08	3.44E-08	1.41E-08	6.12E-09
0.45	6.47E-09	1.54E-08	3.81E-08	4.68E-08	4.66E-08	4.61E-08	4.60E-08	4.61E-08	4.66E-08	4.68E-08	3.81E-08	1.54E-08	6.47E-09
0.4	6.80E-09	1.65E-08	4.08E-08	4.78E-08	4.65E-08	4.56E-08	4.54E-08	4.56E-08	4.65E-08	4.78E-08	4.08E-08	1.65E-08	6.80E-09
0.35	7.10E-09	1.75E-08	4.26E-08	4.77E-08	4.54E-08	4.42E-08	4.39E-08	4.42E-08	4.54E-08	4.77E-08	4.26E-08	1.75E-08	7.10E-09
0.3	7.37E-09	1.83E-08	4.38E-08	4.72E-08	4.40E-08	4.25E-08	4.21E-08	4.25E-08	4.40E-08	4.72E-08	4.38E-08	1.83E-08	7.37E-09
0.25	7.60E-09	1.90E-08	4.45E-08	4.65E-08	4.26E-08	4.09E-08	4.05E-08	4.09E-08	4.26E-08	4.65E-08	4.45E-08	1.90E-08	7.60E-09
0.2	7.79E-09	1.95E-08	4.50E-08	4.58E-08	4.14E-08	3.95E-08	3.90E-08	3.95E-08	4.14E-08	4.58E-08	4.50E-08	1.95E-08	7.79E-09
0.15	7.94E-09	1.99E-08	4.52E-08	4.52E-08	4.05E-08	3.85E-08	3.79E-08	3.85E-08	4.05E-08	4.52E-08	4.52E-08	1.99E-08	7.94E-09
0.1	8.05E-09	2.02E-08	4.54E-08	4.48E-08	3.98E-08	3.77E-08	3.71E-08	3.77E-08	3.98E-08	4.48E-08	4.54E-08	2.02E-08	8.05E-09
0.05	8.11E-09	2.03E-08	4.55E-08	4.45E-08	3.94E-08	3.72E-08	3.67E-08	3.72E-08	3.94E-08	4.45E-08	4.55E-08	2.03E-08	8.11E-09
0	8.13E-09	2.04E-08	4.55E-08	4.44E-08	3.93E-08	3.71E-08	3.65E-08	3.71E-08	3.93E-08	4.44E-08	4.55E-08	2.04E-08	8.13E-09
-0.05	8.11E-09	2.03E-08	4.55E-08	4.45E-08	3.94E-08	3.72E-08	3.67E-08	3.72E-08	3.94E-08	4.45E-08	4.55E-08	2.03E-08	8.11E-09
-0.1	8.05E-09	2.02E-08	4.54E-08	4.48E-08	3.98E-08	3.77E-08	3.71E-08	3.77E-08	3.98E-08	4.48E-08	4.54E-08	2.02E-08	8.05E-09
-0.15	7.94E-09	1.99E-08	4.52E-08	4.52E-08	4.05E-08	3.79E-08	3.79E-08	3.85E-08	4.05E-08	4.52E-08	4.52E-08	1.99E-08	7.94E-09
-0.2	7.79E-09	1.95E-08	4.50E-08	4.58E-08	4.14E-08	3.95E-08	3.90E-08	3.95E-08	4.14E-08	4.58E-08	4.50E-08	1.95E-08	7.79E-09
-0.25	7.60E-09	1.90E-08	4.45E-08	4.65E-08	4.26E-08	4.09E-08	4.05E-08	4.09E-08	4.26E-08	4.65E-08	4.45E-08	1.90E-08	7.60E-09
-0.3	7.37E-09	1.83E-08	4.38E-08	4.72E-08	4.40E-08	4.25E-08	4.21E-08	4.25E-08	4.40E-08	4.72E-08	4.38E-08	1.83E-08	7.37E-09
-0.35	7.10E-09	1.75E-08	4.26E-08	4.77E-08	4.54E-08	4.42E-08	4.39E-08	4.42E-08	4.54E-08	4.77E-08	4.26E-08	1.75E-08	7.10E-09
-0.4	6.80E-09	1.65E-08	4.08E-08	4.78E-08	4.65E-08	4.56E-08	4.54E-08	4.56E-08	4.65E-08	4.78E-08	4.08E-08	1.65E-08	6.80E-09
-0.45	6.47E-09	1.54E-08	3.81E-08	4.68E-08	4.66E-08	4.61E-08	4.60E-08	4.61E-08	4.66E-08	4.68E-08	3.81E-08	1.54E-08	6.47E-09
-0.5	6.12E-09	1.41E-08	3.44E-08	4.41E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.41E-08	3.44E-08	1.41E-08	6.12E-09
-0.55	5.76E-09	1.28E-08	3.00E-08	3.98E-08	4.16E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.16E-08	3.98E-08	3.00E-08	1.28E-08	5.76E-09
-0.6	5.40E-09	1.14E-08	2.53E-08	3.44E-08	3.67E-08	3.74E-08	3.75E-08	3.74E-08	3.67E-08	3.44E-08	2.53E-08	1.14E-08	5.40E-09
-0.65	5.03E-09	1.02E-08	2.09E-08	2.88E-08	3.13E-08	3.22E-08	3.24E-08	3.22E-08	3.13E-08	2.88E-08	2.09E-08	1.02E-08	5.03E-09
-0.7	4.67E-09	9.00E-09	1.72E-08	2.37E-08	2.62E-08	2.72E-08	2.74E-08	2.72E-08	2.62E-08	2.37E-08	1.72E-08	9.00E-09	4.67E-09

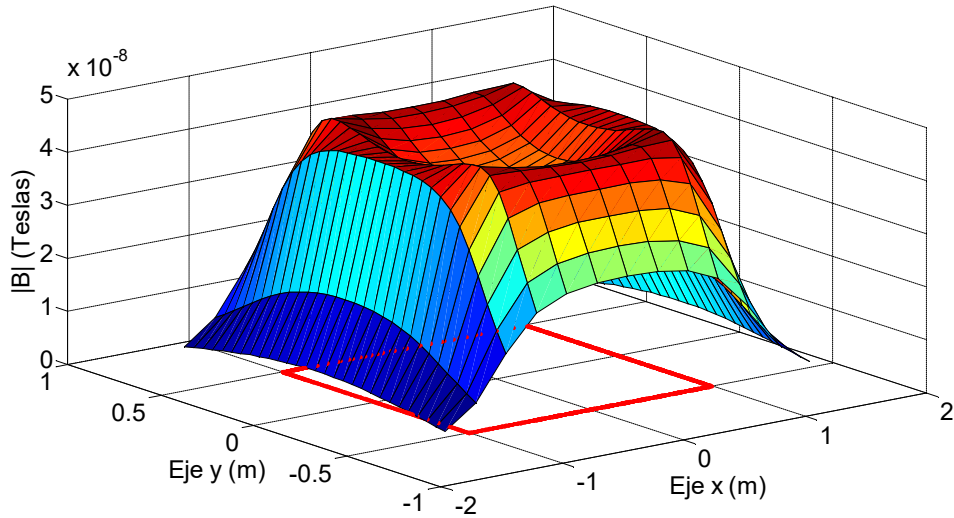


Fig. 3.25 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $10mA$ y $z = 0.20m$.

Tabla 3.19 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.13E-08	2.80E-08	2.08E-08	1.83E-08	1.58E-08	1.48E-08	1.56E-08	1.58E-08	1.58E-08	1.63E-08	1.98E-08	2.60E-08	2.93E-08
0.65	3.10E-08	2.68E-08	1.81E-08	1.52E-08	1.17E-08	1.18E-08	1.16E-08	1.18E-08	1.27E-08	1.22E-08	1.81E-08	2.48E-08	2.90E-08
0.6	3.06E-08	2.56E-08	1.47E-08	1.16E-08	1.03E-08	8.65E-09	9.48E-09	9.65E-09	9.32E-09	9.65E-09	1.57E-08	2.36E-08	2.86E-08
0.55	3.02E-08	2.42E-08	1.20E-08	9.21E-09	8.44E-09	7.05E-09	7.97E-09	8.05E-09	8.44E-09	8.21E-09	1.40E-08	2.32E-08	2.82E-08
0.5	2.89E-08	2.29E-08	1.06E-08	7.87E-09	6.99E-09	6.98E-09	8.01E-09	7.98E-09	7.99E-09	7.87E-09	1.36E-08	2.19E-08	2.79E-08
0.45	2.85E-08	2.16E-08	9.87E-09	7.24E-09	7.44E-09	6.87E-09	8.00E-09	6.87E-09	7.44E-09	7.24E-09	1.19E-08	2.06E-08	2.75E-08
0.4	2.82E-08	2.05E-08	9.17E-09	6.21E-09	6.54E-09	6.36E-09	7.61E-09	7.36E-09	6.54E-09	7.21E-09	1.12E-08	2.05E-08	2.72E-08
0.35	2.79E-08	2.05E-08	9.37E-09	7.25E-09	7.59E-09	7.77E-09	8.10E-09	7.77E-09	7.59E-09	7.25E-09	1.04E-08	1.95E-08	2.69E-08
0.3	2.76E-08	1.97E-08	9.22E-09	7.82E-09	7.99E-09	8.46E-09	8.86E-09	8.46E-09	7.99E-09	7.82E-09	1.02E-08	1.87E-08	2.66E-08
0.25	2.74E-08	1.90E-08	8.50E-09	7.54E-09	8.38E-09	9.08E-09	9.54E-09	9.08E-09	9.38E-09	8.54E-09	9.50E-09	1.90E-08	2.64E-08
0.2	2.72E-08	1.85E-08	9.05E-09	8.23E-09	9.59E-09	9.46E-09	9.96E-09	9.46E-09	9.59E-09	9.23E-09	1.00E-08	1.85E-08	2.62E-08
0.15	2.71E-08	1.81E-08	8.77E-09	7.80E-09	9.54E-09	9.54E-09	1.01E-08	9.54E-09	9.54E-09	8.80E-09	9.77E-09	1.81E-08	2.61E-08
0.1	2.70E-08	1.78E-08	9.61E-09	8.22E-09	9.21E-09	9.30E-09	9.85E-09	9.30E-09	9.21E-09	8.22E-09	9.61E-09	1.78E-08	2.60E-08
0.05	2.69E-08	1.87E-08	9.52E-09	8.47E-09	9.61E-09	9.75E-09	1.03E-08	9.75E-09	9.61E-09	8.47E-09	9.52E-09	1.77E-08	2.59E-08
0	2.69E-08	1.86E-08	9.49E-09	8.56E-09	9.75E-09	9.90E-09	9.47E-09	9.90E-09	9.75E-09	8.56E-09	9.49E-09	1.76E-08	2.59E-08
-0.05	2.69E-08	1.87E-08	9.52E-09	8.47E-09	9.61E-09	9.75E-09	9.32E-09	9.75E-09	9.61E-09	8.47E-09	9.52E-09	1.77E-08	2.59E-08
-0.1	2.70E-08	1.88E-08	9.61E-09	8.22E-09	9.21E-09	1.03E-08	8.85E-09	1.03E-08	9.21E-09	9.22E-09	9.61E-09	1.78E-08	2.60E-08
-0.15	2.71E-08	1.81E-08	9.77E-09	7.80E-09	9.54E-09	9.54E-09	9.07E-09	9.54E-09	9.54E-09	8.80E-09	8.77E-09	1.81E-08	2.61E-08
-0.2	2.72E-08	1.85E-08	1.00E-08	8.23E-09	8.59E-09	9.46E-09	7.96E-09	9.46E-09	9.59E-09	9.23E-09	9.05E-09	1.75E-08	2.62E-08
-0.25	2.74E-08	1.90E-08	9.50E-09	7.54E-09	7.38E-09	9.08E-09	7.54E-09	9.08E-09	8.38E-09	8.54E-09	9.50E-09	1.80E-08	2.74E-08
-0.3	2.76E-08	1.97E-08	1.02E-08	6.82E-09	6.99E-09	7.46E-09	7.86E-09	7.46E-09	7.99E-09	7.82E-09	9.22E-09	1.87E-08	2.76E-08
-0.35	2.79E-08	2.05E-08	1.04E-08	6.25E-09	7.59E-09	6.77E-09	7.10E-09	6.77E-09	6.59E-09	7.25E-09	8.37E-09	1.95E-08	2.79E-08
-0.4	2.82E-08	2.05E-08	1.02E-08	6.21E-09	6.54E-09	6.36E-09	6.61E-09	6.36E-09	6.54E-09	7.21E-09	9.17E-09	1.95E-08	2.82E-08
-0.45	2.85E-08	2.16E-08	9.87E-09	6.24E-09	6.44E-09	5.87E-09	6.00E-09	5.87E-09	6.44E-09	7.24E-09	9.87E-09	2.06E-08	2.85E-08
-0.5	2.89E-08	2.29E-08	1.06E-08	6.87E-09	6.99E-09	6.98E-09	7.01E-09	6.98E-09	6.99E-09	7.87E-09	1.06E-08	2.19E-08	2.89E-08
-0.55	2.92E-08	2.42E-08	1.10E-08	7.21E-09	6.44E-09	7.05E-09	6.97E-09	6.05E-09	7.44E-09	8.21E-09	1.20E-08	2.22E-08	2.92E-08
-0.6	3.06E-08	2.46E-08	1.37E-08	1.16E-08	8.32E-09	7.65E-09	8.48E-09	7.65E-09	8.32E-09	9.65E-09	1.37E-08	2.36E-08	2.96E-08
-0.65	3.10E-08	2.58E-08	1.61E-08	1.32E-08	1.07E-08	9.84E-09	1.06E-08	9.84E-09	1.07E-08	1.22E-08	1.71E-08	2.48E-08	3.00E-08
-0.7	3.13E-08	2.70E-08	1.88E-08	1.53E-08	1.38E-08	1.28E-08	1.26E-08	1.28E-08	1.38E-08	1.53E-08	1.98E-08	2.60E-08	3.03E-08

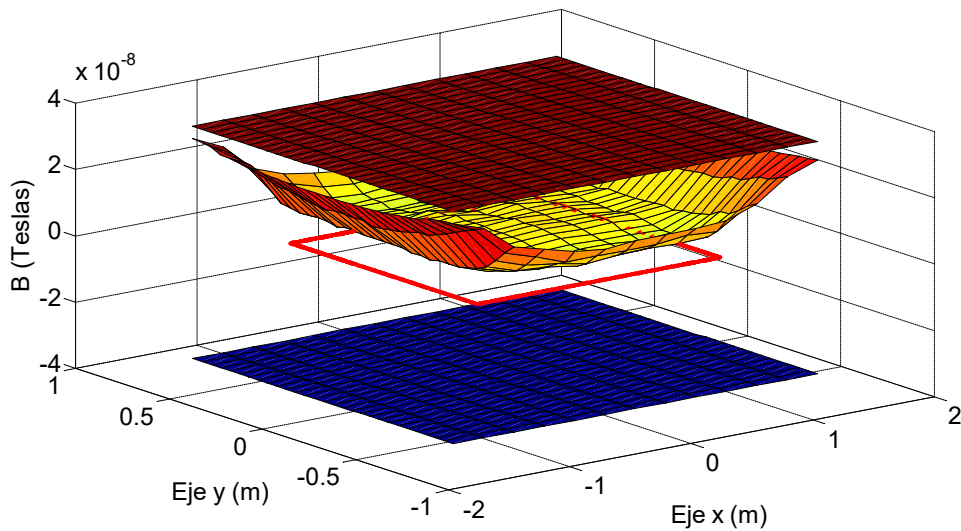


Fig. 3.26 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5f

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.20\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 20mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.20 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.20\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.70E-08	4.00E-08	4.50E-08	5.60E-08	5.80E-08	5.80E-08	6.00E-08	5.90E-08	5.80E-08	5.60E-08	4.60E-08	3.80E-08	3.50E-08
0.65	3.70E-08	4.00E-08	4.80E-08	6.20E-08	6.50E-08	6.50E-08	6.60E-08	6.50E-08	6.40E-08	5.90E-08	5.10E-08	3.80E-08	3.50E-08
0.6	3.60E-08	4.10E-08	5.30E-08	7.00E-08	7.40E-08	7.30E-08	7.40E-08	7.30E-08	7.20E-08	6.70E-08	5.80E-08	3.90E-08	3.50E-08
0.55	3.60E-08	4.20E-08	6.10E-08	7.90E-08	8.20E-08	8.10E-08	8.20E-08	8.20E-08	8.20E-08	7.80E-08	6.70E-08	4.10E-08	3.50E-08
0.5	3.70E-08	4.20E-08	7.10E-08	8.80E-08	8.70E-08	8.70E-08	8.80E-08	8.80E-08	8.80E-08	8.70E-08	7.60E-08	4.20E-08	3.50E-08
0.45	3.60E-08	4.30E-08	7.90E-08	9.20E-08	9.00E-08	8.80E-08	9.00E-08	8.80E-08	8.80E-08	9.00E-08	8.10E-08	4.30E-08	3.50E-08
0.4	3.70E-08	4.40E-08	8.60E-08	9.30E-08	8.90E-08	8.70E-08	8.80E-08	8.70E-08	8.90E-08	9.20E-08	8.50E-08	4.40E-08	3.60E-08
0.35	3.60E-08	4.60E-08	9.00E-08	9.40E-08	8.80E-08	8.50E-08	8.60E-08	8.60E-08	8.80E-08	9.30E-08	8.80E-08	4.50E-08	3.60E-08
0.3	3.70E-08	4.70E-08	9.30E-08	9.40E-08	8.70E-08	8.50E-08	8.30E-08	8.40E-08	8.60E-08	9.40E-08	9.00E-08	4.60E-08	3.60E-08
0.25	3.60E-08	4.80E-08	9.60E-08	9.40E-08	8.60E-08	8.30E-08	8.10E-08	8.20E-08	8.50E-08	9.40E-08	9.20E-08	4.70E-08	3.60E-08
0.2	3.70E-08	4.90E-08	9.70E-08	9.40E-08	8.40E-08	8.10E-08	7.90E-08	8.00E-08	8.30E-08	9.30E-08	9.30E-08	4.80E-08	3.60E-08
0.15	3.70E-08	5.00E-08	9.70E-08	9.20E-08	8.30E-08	7.90E-08	7.80E-08	7.80E-08	8.10E-08	9.30E-08	9.40E-08	4.80E-08	3.60E-08
0.1	3.70E-08	5.00E-08	9.70E-08	9.20E-08	8.20E-08	7.80E-08	7.60E-08	7.60E-08	8.10E-08	9.00E-08	9.50E-08	4.90E-08	3.60E-08
0.05	3.70E-08	5.00E-08	9.80E-08	9.30E-08	8.10E-08	7.70E-08	7.50E-08	7.60E-08	8.00E-08	9.00E-08	9.50E-08	4.90E-08	3.60E-08
0	3.70E-08	5.10E-08	9.80E-08	9.30E-08	8.10E-08	7.60E-08	7.50E-08	7.60E-08	8.00E-08	9.00E-08	9.50E-08	4.90E-08	3.60E-08
-0.05	3.70E-08	5.10E-08	9.80E-08	9.30E-08	8.10E-08	7.70E-08	7.50E-08	7.60E-08	8.00E-08	9.00E-08	9.50E-08	4.90E-08	3.60E-08
-0.1	3.70E-08	5.00E-08	9.80E-08	9.30E-08	8.20E-08	7.70E-08	7.60E-08	7.70E-08	8.10E-08	9.00E-08	9.50E-08	4.80E-08	3.60E-08
-0.15	3.70E-08	5.00E-08	9.70E-08	9.30E-08	8.30E-08	7.90E-08	7.70E-08	7.80E-08	8.20E-08	9.20E-08	9.40E-08	4.80E-08	3.60E-08
-0.2	3.70E-08	4.80E-08	9.60E-08	9.40E-08	8.40E-08	8.10E-08	7.90E-08	8.00E-08	8.40E-08	9.30E-08	9.40E-08	4.70E-08	3.60E-08
-0.25	3.70E-08	4.80E-08	9.50E-08	9.40E-08	8.60E-08	8.20E-08	8.10E-08	8.10E-08	8.40E-08	9.20E-08	9.20E-08	4.60E-08	3.60E-08
-0.3	3.60E-08	4.70E-08	9.30E-08	9.40E-08	8.80E-08	8.40E-08	8.20E-08	8.30E-08	8.60E-08	9.20E-08	9.10E-08	4.50E-08	3.60E-08
-0.35	3.60E-08	4.60E-08	9.00E-08	9.40E-08	8.70E-08	8.60E-08	8.40E-08	8.50E-08	8.70E-08	9.20E-08	8.70E-08	4.40E-08	3.60E-08
-0.4	3.60E-08	4.50E-08	8.60E-08	9.40E-08	8.90E-08	8.80E-08	8.60E-08	8.70E-08	8.80E-08	9.20E-08	8.30E-08	4.30E-08	3.60E-08
-0.45	3.60E-08	4.30E-08	8.00E-08	9.20E-08	8.90E-08	8.90E-08	8.80E-08	8.80E-08	8.90E-08	9.10E-08	7.70E-08	4.20E-08	3.60E-08
-0.5	3.60E-08	4.20E-08	7.20E-08	8.80E-08	8.80E-08	8.90E-08	8.70E-08	8.70E-08	8.70E-08	8.80E-08	6.90E-08	4.10E-08	3.60E-08
-0.55	3.60E-08	4.10E-08	6.30E-08	7.90E-08	8.00E-08	8.10E-08	8.10E-08	8.00E-08	8.00E-08	7.80E-08	6.00E-08	4.00E-08	3.60E-08
-0.6	3.60E-08	4.00E-08	5.50E-08	7.40E-08	7.20E-08	7.20E-08	7.30E-08	7.20E-08	7.10E-08	6.80E-08	5.30E-08	3.90E-08	3.50E-08
-0.65	3.60E-08	3.90E-08	4.90E-08	6.20E-08	6.30E-08	6.40E-08	6.50E-08	6.30E-08	6.30E-08	5.90E-08	4.80E-08	3.80E-08	3.50E-08
-0.7	3.60E-08	3.80E-08	4.40E-08	5.50E-08	5.60E-08	5.70E-08	5.80E-08	5.70E-08	5.60E-08	5.30E-08	4.40E-08	3.70E-08	3.50E-08

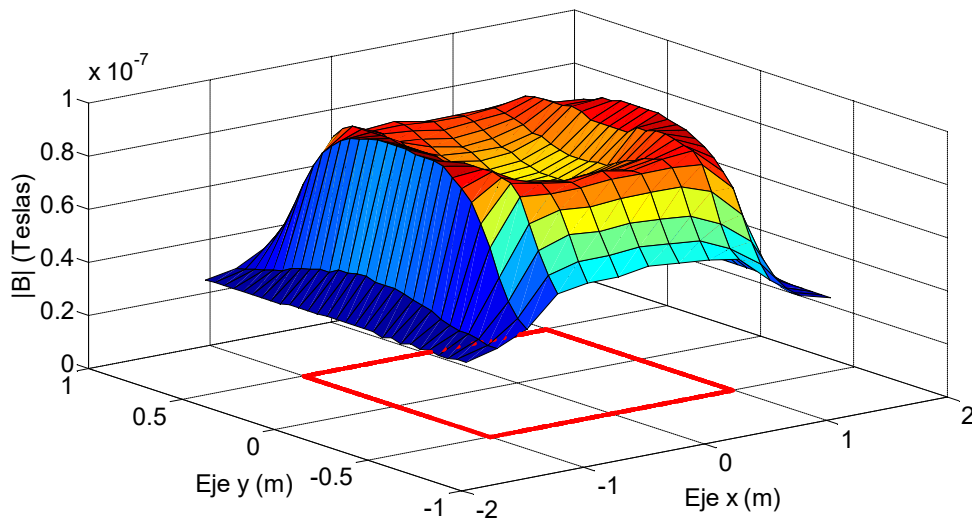


Fig. 3.27 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.20\text{m}$.

Tabla 3.21 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.20 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	9.35E-09	1.80E-08	3.45E-08	4.74E-08	5.25E-08	5.43E-08	5.48E-08	5.43E-08	5.25E-08	4.74E-08	3.45E-08	1.80E-08	9.35E-09
0.65	1.01E-08	2.03E-08	4.18E-08	5.75E-08	6.26E-08	6.43E-08	6.47E-08	6.43E-08	6.26E-08	5.75E-08	4.18E-08	2.03E-08	1.01E-08
0.6	1.08E-08	2.29E-08	5.05E-08	6.87E-08	7.34E-08	7.47E-08	7.50E-08	7.47E-08	7.34E-08	6.87E-08	5.05E-08	2.29E-08	1.08E-08
0.55	1.15E-08	2.56E-08	5.99E-08	7.96E-08	8.31E-08	8.39E-08	8.41E-08	8.39E-08	8.31E-08	7.96E-08	5.99E-08	2.56E-08	1.15E-08
0.5	1.22E-08	2.82E-08	6.89E-08	8.83E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.00E-08	8.83E-08	6.89E-08	2.82E-08	1.22E-08
0.45	1.29E-08	3.07E-08	7.63E-08	9.35E-08	9.31E-08	9.23E-08	9.20E-08	9.23E-08	9.31E-08	9.35E-08	7.63E-08	3.07E-08	1.29E-08
0.4	1.36E-08	3.30E-08	8.17E-08	9.56E-08	9.29E-08	9.13E-08	9.08E-08	9.13E-08	9.29E-08	9.56E-08	8.17E-08	3.30E-08	1.36E-08
0.35	1.42E-08	3.50E-08	8.53E-08	9.55E-08	9.08E-08	8.85E-08	8.78E-08	8.85E-08	9.08E-08	9.55E-08	8.53E-08	3.50E-08	1.42E-08
0.3	1.47E-08	3.67E-08	8.76E-08	9.44E-08	8.80E-08	8.51E-08	8.43E-08	8.51E-08	8.80E-08	9.44E-08	8.76E-08	3.67E-08	1.47E-08
0.25	1.52E-08	3.80E-08	8.90E-08	9.29E-08	8.52E-08	8.18E-08	8.09E-08	8.18E-08	8.52E-08	9.29E-08	8.90E-08	3.80E-08	1.52E-08
0.2	1.56E-08	3.90E-08	8.99E-08	9.15E-08	8.28E-08	7.91E-08	7.81E-08	7.91E-08	8.28E-08	9.15E-08	8.99E-08	3.90E-08	1.56E-08
0.15	1.59E-08	3.98E-08	9.05E-08	9.04E-08	8.09E-08	7.69E-08	7.59E-08	7.69E-08	8.09E-08	9.04E-08	9.05E-08	3.98E-08	1.59E-08
0.1	1.61E-08	4.04E-08	9.08E-08	8.96E-08	7.96E-08	7.54E-08	7.43E-08	7.54E-08	7.96E-08	8.96E-08	9.08E-08	4.04E-08	1.61E-08
0.05	1.62E-08	4.07E-08	9.10E-08	8.91E-08	7.88E-08	7.45E-08	7.34E-08	7.45E-08	7.88E-08	8.91E-08	9.10E-08	4.07E-08	1.62E-08
0	1.63E-08	4.08E-08	9.10E-08	8.89E-08	7.85E-08	7.42E-08	7.31E-08	7.42E-08	7.85E-08	8.89E-08	9.10E-08	4.08E-08	1.63E-08
-0.05	1.62E-08	4.07E-08	9.10E-08	8.91E-08	7.88E-08	7.45E-08	7.34E-08	7.45E-08	7.88E-08	8.91E-08	9.10E-08	4.07E-08	1.62E-08
-0.1	1.61E-08	4.04E-08	9.08E-08	8.96E-08	7.96E-08	7.54E-08	7.43E-08	7.54E-08	7.96E-08	8.96E-08	9.08E-08	4.04E-08	1.61E-08
-0.15	1.59E-08	3.98E-08	9.05E-08	9.04E-08	8.09E-08	7.69E-08	7.59E-08	7.69E-08	8.09E-08	9.04E-08	9.05E-08	3.98E-08	1.59E-08
-0.2	1.56E-08	3.90E-08	8.99E-08	9.15E-08	8.28E-08	7.91E-08	7.81E-08	7.91E-08	8.28E-08	9.15E-08	8.99E-08	3.90E-08	1.56E-08
-0.25	1.52E-08	3.80E-08	8.90E-08	9.29E-08	8.52E-08	8.18E-08	8.09E-08	8.18E-08	8.52E-08	9.29E-08	8.90E-08	3.80E-08	1.52E-08
-0.3	1.47E-08	3.67E-08	8.76E-08	9.44E-08	8.80E-08	8.51E-08	8.43E-08	8.51E-08	8.80E-08	9.44E-08	8.76E-08	3.67E-08	1.47E-08
-0.35	1.42E-08	3.50E-08	8.53E-08	9.55E-08	9.08E-08	8.85E-08	8.78E-08	8.85E-08	9.08E-08	9.55E-08	8.53E-08	3.50E-08	1.42E-08
-0.4	1.36E-08	3.30E-08	8.17E-08	9.56E-08	9.29E-08	9.13E-08	9.08E-08	9.13E-08	9.29E-08	9.56E-08	8.17E-08	3.30E-08	1.36E-08
-0.45	1.29E-08	3.07E-08	7.63E-08	9.35E-08	9.31E-08	9.23E-08	9.20E-08	9.23E-08	9.31E-08	9.35E-08	7.63E-08	3.07E-08	1.29E-08
-0.5	1.22E-08	2.82E-08	6.89E-08	8.83E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.00E-08	9.00E-08	8.83E-08	6.89E-08	2.82E-08	1.22E-08
-0.55	1.15E-08	2.56E-08	5.99E-08	7.96E-08	8.31E-08	8.39E-08	8.41E-08	8.39E-08	8.31E-08	7.96E-08	5.99E-08	2.56E-08	1.15E-08
-0.6	1.08E-08	2.29E-08	5.05E-08	6.87E-08	7.34E-08	7.47E-08	7.50E-08	7.47E-08	7.34E-08	6.87E-08	5.05E-08	2.29E-08	1.08E-08
-0.65	1.01E-08	2.03E-08	4.18E-08	5.75E-08	6.26E-08	6.43E-08	6.47E-08	6.43E-08	6.26E-08	5.75E-08	4.18E-08	2.03E-08	1.01E-08
-0.7	9.35E-09	1.80E-08	3.45E-08	4.74E-08	5.25E-08	5.43E-08	5.48E-08	5.43E-08	5.25E-08	4.74E-08	3.45E-08	1.80E-08	9.35E-09

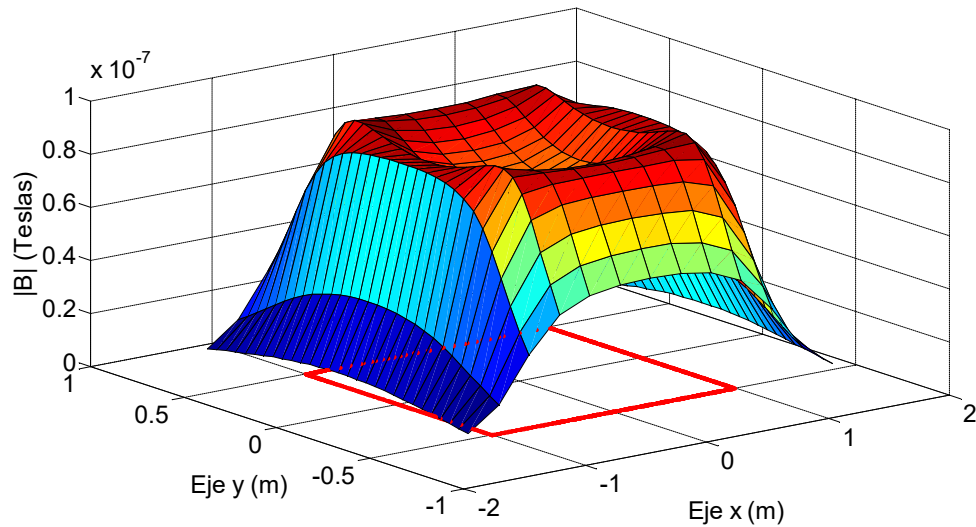


Fig. 3.28 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.20 \text{m}$.

Tabla 3.22 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.77E-08	2.20E-08	1.05E-08	8.55E-09	5.53E-09	3.67E-09	5.18E-09	4.67E-09	5.53E-09	8.55E-09	1.15E-08	2.00E-08	2.57E-08
0.65	2.69E-08	1.97E-08	6.16E-09	4.48E-09	2.39E-09	6.86E-10	1.25E-09	6.86E-10	1.39E-09	1.48E-09	9.16E-09	1.77E-08	2.49E-08
0.6	2.52E-08	1.81E-08	2.48E-09	1.30E-09	6.48E-10	-1.71E-09	-1.04E-09	-1.71E-09	-1.35E-09	-1.70E-09	7.48E-09	1.61E-08	2.42E-08
0.55	2.45E-08	1.64E-08	1.09E-09	-5.85E-10	-1.12E-09	-2.90E-09	-2.06E-09	-1.90E-09	-1.12E-09	-1.58E-09	7.09E-09	1.54E-08	2.35E-08
0.5	2.48E-08	1.38E-08	2.13E-09	-2.66E-10	-3.03E-09	-3.04E-09	-1.99E-09	-2.04E-09	-2.03E-09	-1.27E-09	7.13E-09	1.38E-08	2.28E-08
0.45	2.31E-08	1.23E-08	2.73E-09	-1.53E-09	-3.11E-09	-4.27E-09	-1.99E-09	-4.27E-09	-3.11E-09	-2.53E-09	4.73E-09	1.23E-08	2.21E-08
0.4	2.34E-08	1.10E-08	4.34E-09	-2.58E-09	-3.93E-09	-4.27E-09	-2.79E-09	-4.27E-09	-3.93E-09	-3.58E-09	3.34E-09	1.10E-08	2.24E-08
0.35	2.18E-08	1.10E-08	4.74E-09	-1.49E-09	-2.83E-09	-3.47E-09	-1.81E-09	-2.47E-09	-2.83E-09	-2.49E-09	2.74E-09	9.99E-09	2.18E-08
0.3	2.23E-08	1.03E-08	5.44E-09	-3.66E-10	-1.02E-09	-8.40E-11	-1.28E-09	-1.08E-09	-2.02E-09	-3.66E-10	2.44E-09	9.34E-09	2.13E-08
0.25	2.08E-08	1.00E-08	7.00E-09	1.08E-09	7.68E-10	1.16E-09	7.80E-11	1.59E-10	-2.32E-10	1.08E-09	3.00E-09	9.00E-09	2.08E-08
0.2	2.14E-08	9.95E-09	7.10E-09	2.46E-09	1.18E-09	1.92E-09	9.23E-10	9.18E-10	1.79E-10	1.46E-09	3.10E-09	8.95E-09	2.04E-08
0.15	2.11E-08	1.02E-08	6.54E-09	1.61E-09	2.08E-09	2.07E-09	1.14E-09	1.07E-09	7.70E-11	2.61E-09	3.54E-09	8.17E-09	2.01E-08
0.1	2.09E-08	9.63E-09	6.21E-09	2.44E-09	2.43E-09	2.60E-09	1.71E-09	5.98E-10	1.43E-09	4.41E-10	4.21E-09	8.63E-09	1.99E-08
0.05	2.08E-08	9.31E-09	7.03E-09	3.95E-09	2.23E-09	2.50E-09	1.64E-09	1.50E-09	1.23E-09	9.45E-10	4.03E-09	8.31E-09	1.98E-08
0	2.07E-08	1.02E-08	6.98E-09	4.11E-09	2.49E-09	1.80E-09	1.95E-09	1.80E-09	1.49E-09	1.11E-09	3.98E-09	8.21E-09	1.97E-08
-0.05	2.08E-08	1.03E-08	7.03E-09	3.95E-09	2.23E-09	2.50E-09	1.64E-09	1.50E-09	1.23E-09	9.45E-10	4.03E-09	8.31E-09	1.98E-08
-0.1	2.09E-08	9.63E-09	7.21E-09	3.44E-09	2.43E-09	1.60E-09	1.71E-09	1.60E-09	1.43E-09	4.41E-10	4.21E-09	7.63E-09	1.99E-08
-0.15	2.11E-08	1.02E-08	6.54E-09	2.61E-09	2.08E-09	2.07E-09	1.14E-09	1.07E-09	1.08E-09	1.61E-09	3.54E-09	8.17E-09	2.01E-08
-0.2	2.14E-08	8.95E-09	6.10E-09	2.46E-09	1.18E-09	1.92E-09	9.23E-10	9.18E-10	1.18E-09	1.46E-09	4.10E-09	7.95E-09	2.04E-08
-0.25	2.18E-08	1.00E-08	6.00E-09	1.08E-09	7.68E-10	1.59E-10	7.80E-11	-8.41E-10	-1.23E-09	-9.20E-10	3.00E-09	8.00E-09	2.08E-08
-0.3	2.13E-08	1.03E-08	5.44E-09	-3.66E-10	-1.90E-11	-1.08E-09	-2.28E-09	-2.08E-09	-2.02E-09	-2.37E-09	3.44E-09	8.34E-09	2.13E-08
-0.35	2.18E-08	1.10E-08	4.74E-09	-1.49E-09	-3.83E-09	-2.47E-09	-3.81E-09	-3.47E-09	-3.83E-09	-3.49E-09	1.74E-09	8.99E-09	2.18E-08
-0.4	2.24E-08	1.20E-08	4.34E-09	-1.58E-09	-3.93E-09	-3.27E-09	-4.79E-09	-4.27E-09	-4.93E-09	-3.58E-09	1.34E-09	9.97E-09	2.24E-08
-0.45	2.31E-08	1.23E-08	3.73E-09	-1.53E-09	-4.11E-09	-3.27E-09	-3.99E-09	-4.27E-09	-4.11E-09	-2.53E-09	7.32E-10	1.13E-08	2.31E-08
-0.5	2.38E-08	1.38E-08	3.13E-09	-2.66E-10	-2.03E-09	-1.04E-09	-2.99E-09	-3.04E-09	-3.03E-09	-2.66E-10	1.32E-10	1.28E-08	2.38E-08
-0.55	2.45E-08	1.54E-08	3.09E-09	-5.85E-10	-3.12E-09	-2.90E-09	-3.06E-09	-3.90E-09	-3.12E-09	-1.58E-09	8.70E-11	1.44E-08	2.45E-08
-0.6	2.52E-08	1.71E-08	4.48E-09	5.30E-09	-1.35E-09	-2.71E-09	-2.03E-09	-2.71E-09	-2.35E-09	-7.04E-10	2.48E-09	1.61E-08	2.42E-08
-0.65	2.59E-08	1.87E-08	7.16E-09	4.48E-09	3.93E-10	-3.14E-10	2.54E-10	-1.31E-09	3.93E-10	1.48E-09	6.16E-09	1.77E-08	2.49E-08
-0.7	2.67E-08	2.00E-08	9.51E-09	7.55E-09	3.53E-09	2.67E-09	3.18E-09	2.67E-09	3.53E-09	5.55E-09	9.51E-09	1.90E-08	2.57E-08

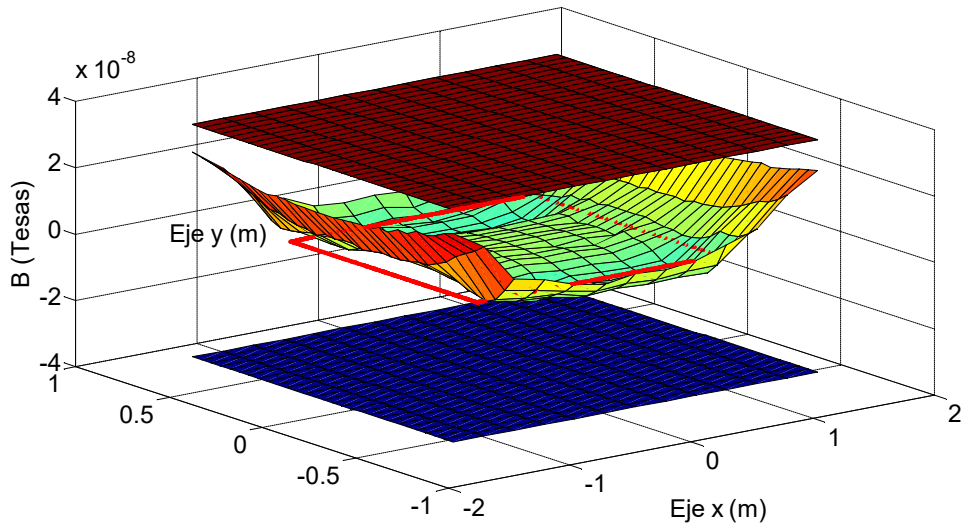


Fig. 3.29 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5g

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.20\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 50mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.23 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.20\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.20E-08	5.60E-08	8.30E-08	1.14E-07	1.24E-07	1.24E-07	1.29E-07	1.26E-07	1.24E-07	1.18E-07	9.10E-08	5.40E-08	4.00E-08
0.65	4.20E-08	5.90E-08	9.60E-08	1.37E-07	1.46E-07	1.46E-07	1.50E-07	1.46E-07	1.46E-07	1.32E-07	1.06E-07	5.80E-08	4.10E-08
0.6	4.30E-08	6.40E-08	1.15E-07	1.60E-07	1.72E-07	1.71E-07	1.74E-07	1.71E-07	1.70E-07	1.58E-07	1.27E-07	6.30E-08	4.20E-08
0.55	4.40E-08	6.90E-08	1.39E-07	1.88E-07	1.96E-07	1.95E-07	1.99E-07	1.97E-07	1.98E-07	1.87E-07	1.51E-07	6.90E-08	4.30E-08
0.5	4.50E-08	7.40E-08	1.67E-07	2.14E-07	2.11E-07	2.12E-07	2.15E-07	2.15E-07	2.17E-07	2.15E-07	1.78E-07	7.50E-08	4.40E-08
0.45	4.50E-08	7.50E-08	1.88E-07	2.26E-07	2.20E-07	2.15E-07	2.19E-07	2.18E-07	2.21E-07	2.25E-07	1.94E-07	8.10E-08	4.50E-08
0.4	4.70E-08	8.10E-08	2.06E-07	2.31E-07	2.19E-07	2.12E-07	2.14E-07	2.13E-07	2.19E-07	2.29E-07	2.07E-07	8.50E-08	4.60E-08
0.35	4.80E-08	8.60E-08	2.18E-07	2.32E-07	2.15E-07	2.07E-07	2.07E-07	2.09E-07	2.16E-07	2.31E-07	2.16E-07	8.90E-08	4.70E-08
0.3	4.90E-08	9.20E-08	2.27E-07	2.33E-07	2.12E-07	2.03E-07	2.01E-07	2.04E-07	2.11E-07	2.32E-07	2.22E-07	9.30E-08	4.80E-08
0.25	5.00E-08	9.50E-08	2.31E-07	2.33E-07	2.08E-07	1.98E-07	1.95E-07	1.98E-07	2.07E-07	2.31E-07	2.27E-07	9.80E-08	4.90E-08
0.2	5.10E-08	9.90E-08	2.35E-07	2.32E-07	2.05E-07	1.92E-07	1.89E-07	1.92E-07	2.02E-07	2.29E-07	2.30E-07	1.00E-07	4.90E-08
0.15	5.10E-08	1.01E-07	2.38E-07	2.30E-07	2.00E-07	1.87E-07	1.83E-07	1.86E-07	1.97E-07	2.27E-07	2.32E-07	1.01E-07	5.00E-08
0.1	5.20E-08	1.04E-07	2.39E-07	2.28E-07	1.98E-07	1.83E-07	1.80E-07	1.82E-07	1.95E-07	2.23E-07	2.34E-07	1.02E-07	5.00E-08
0.05	5.20E-08	1.05E-07	2.42E-07	2.26E-07	1.95E-07	1.82E-07	1.78E-07	1.80E-07	1.93E-07	2.22E-07	2.35E-07	1.03E-07	5.10E-08
0	5.20E-08	1.08E-07	2.43E-07	2.26E-07	1.95E-07	1.81E-07	1.77E-07	1.80E-07	1.92E-07	2.22E-07	2.34E-07	1.02E-07	5.10E-08
-0.05	5.20E-08	1.09E-07	2.42E-07	2.26E-07	1.96E-07	1.83E-07	1.77E-07	1.81E-07	1.92E-07	2.23E-07	2.34E-07	1.02E-07	5.10E-08
-0.1	5.20E-08	1.07E-07	2.42E-07	2.26E-07	1.97E-07	1.86E-07	1.79E-07	1.83E-07	1.94E-07	2.24E-07	2.33E-07	1.01E-07	5.00E-08
-0.15	5.10E-08	1.05E-07	2.40E-07	2.29E-07	2.01E-07	1.89E-07	1.83E-07	1.87E-07	1.99E-07	2.27E-07	2.30E-07	9.80E-08	5.00E-08
-0.2	5.00E-08	1.00E-07	2.39E-07	2.31E-07	2.05E-07	1.94E-07	1.88E-07	1.92E-07	2.03E-07	2.30E-07	2.28E-07	9.50E-08	4.90E-08
-0.25	5.00E-08	1.00E-07	2.36E-07	2.34E-07	2.09E-07	1.99E-07	1.94E-07	1.96E-07	2.06E-07	2.28E-07	2.25E-07	9.20E-08	4.90E-08
-0.3	4.90E-08	9.60E-08	2.31E-07	2.34E-07	2.13E-07	2.04E-07	1.98E-07	2.01E-07	2.09E-07	2.28E-07	2.20E-07	8.80E-08	4.80E-08
-0.35	4.70E-08	8.90E-08	2.23E-07	2.32E-07	2.14E-07	2.09E-07	2.04E-07	2.06E-07	2.13E-07	2.28E-07	2.11E-07	8.40E-08	4.70E-08
-0.4	4.60E-08	8.50E-08	2.09E-07	2.32E-07	2.19E-07	2.16E-07	2.12E-07	2.12E-07	2.17E-07	2.28E-07	2.00E-07	7.90E-08	4.60E-08
-0.45	4.50E-08	7.90E-08	1.93E-07	2.28E-07	2.21E-07	2.18E-07	2.16E-07	2.15E-07	2.19E-07	2.24E-07	1.85E-07	7.50E-08	4.50E-08
-0.5	4.50E-08	7.30E-08	1.68E-07	2.17E-07	2.17E-07	2.17E-07	2.14E-07	2.12E-07	2.14E-07	2.13E-07	1.63E-07	7.00E-08	4.40E-08
-0.55	4.30E-08	6.60E-08	1.42E-07	1.92E-07	1.94E-07	1.98E-07	1.97E-07	1.93E-07	1.93E-07	1.87E-07	1.39E-07	6.50E-08	4.30E-08
-0.6	4.20E-08	6.20E-08	1.19E-07	1.75E-07	1.70E-07	1.71E-07	1.73E-07	1.69E-07	1.67E-07	1.56E-07	1.18E-07	6.10E-08	4.20E-08
-0.65	4.20E-08	5.70E-08	1.01E-07	1.44E-07	1.46E-07	1.46E-07	1.48E-07	1.43E-07	1.42E-07	1.30E-07	9.70E-08	5.70E-08	4.10E-08
-0.7	4.10E-08	5.50E-08	8.50E-08	1.22E-07	1.23E-07	1.24E-07	1.28E-07	1.23E-07	1.22E-07	1.12E-07	8.40E-08	5.30E-08	4.00E-08

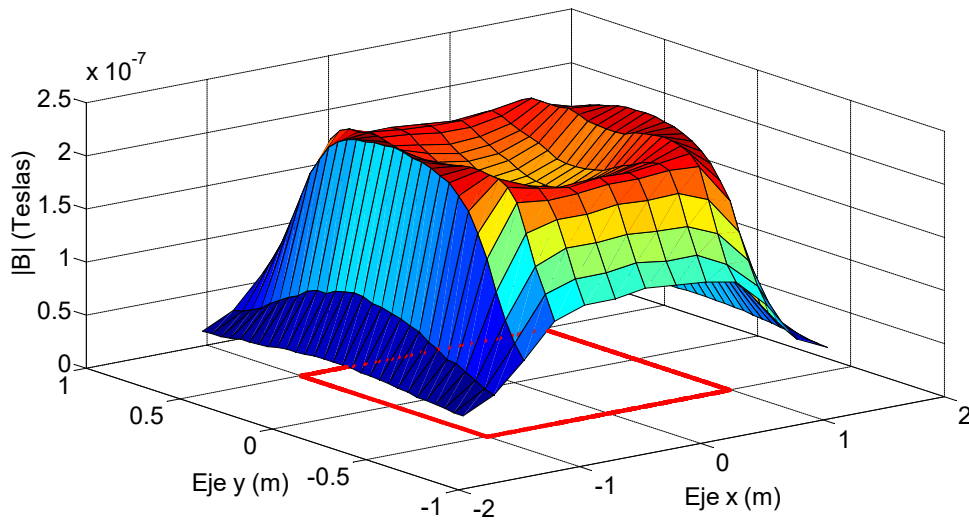


Fig. 3.30 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.20\text{m}$.

Tabla 3.24 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.20 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.34E-08	4.50E-08	8.62E-08	1.19E-07	1.31E-07	1.36E-07	1.37E-07	1.36E-07	1.31E-07	1.19E-07	8.62E-08	4.50E-08	2.34E-08
0.65	2.52E-08	5.08E-08	1.05E-07	1.44E-07	1.57E-07	1.61E-07	1.62E-07	1.61E-07	1.57E-07	1.44E-07	1.05E-07	5.08E-08	2.52E-08
0.6	2.70E-08	5.72E-08	1.26E-07	1.72E-07	1.83E-07	1.87E-07	1.88E-07	1.87E-07	1.83E-07	1.72E-07	1.26E-07	5.72E-08	2.70E-08
0.55	2.88E-08	6.39E-08	1.50E-07	1.99E-07	2.08E-07	2.10E-07	2.10E-07	2.08E-07	2.08E-07	1.99E-07	1.50E-07	6.39E-08	2.88E-08
0.5	3.06E-08	7.05E-08	1.72E-07	2.21E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.21E-07	1.72E-07	7.05E-08	3.06E-08
0.45	3.24E-08	7.69E-08	1.91E-07	2.34E-07	2.33E-07	2.31E-07	2.30E-07	2.31E-07	2.33E-07	2.34E-07	1.91E-07	7.69E-08	3.24E-08
0.4	3.40E-08	8.26E-08	2.04E-07	2.39E-07	2.32E-07	2.28E-07	2.27E-07	2.28E-07	2.32E-07	2.39E-07	2.04E-07	8.26E-08	3.40E-08
0.35	3.55E-08	8.75E-08	2.13E-07	2.39E-07	2.27E-07	2.21E-07	2.20E-07	2.21E-07	2.27E-07	2.39E-07	2.13E-07	8.75E-08	3.55E-08
0.3	3.68E-08	9.17E-08	2.19E-07	2.36E-07	2.20E-07	2.13E-07	2.11E-07	2.13E-07	2.20E-07	2.36E-07	2.19E-07	9.17E-08	3.68E-08
0.25	3.80E-08	9.50E-08	2.23E-07	2.32E-07	2.13E-07	2.05E-07	2.02E-07	2.05E-07	2.13E-07	2.32E-07	2.23E-07	9.50E-08	3.80E-08
0.2	3.89E-08	9.76E-08	2.25E-07	2.29E-07	2.07E-07	1.98E-07	1.95E-07	1.98E-07	2.07E-07	2.29E-07	2.25E-07	9.76E-08	3.89E-08
0.15	3.97E-08	9.96E-08	2.26E-07	2.26E-07	2.02E-07	1.92E-07	1.90E-07	1.92E-07	2.02E-07	2.26E-07	2.26E-07	9.96E-08	3.97E-08
0.1	4.02E-08	1.01E-07	2.27E-07	2.24E-07	1.99E-07	1.89E-07	1.86E-07	1.89E-07	1.99E-07	2.24E-07	2.27E-07	1.01E-07	4.02E-08
0.05	4.06E-08	1.02E-07	2.27E-07	2.23E-07	1.97E-07	1.86E-07	1.83E-07	1.86E-07	1.97E-07	2.23E-07	2.27E-07	1.02E-07	4.06E-08
0	4.07E-08	1.02E-07	2.28E-07	2.22E-07	1.96E-07	1.85E-07	1.83E-07	1.85E-07	1.96E-07	2.22E-07	2.28E-07	1.02E-07	4.07E-08
-0.05	4.06E-08	1.02E-07	2.27E-07	2.23E-07	1.97E-07	1.86E-07	1.83E-07	1.86E-07	1.97E-07	2.23E-07	2.27E-07	1.02E-07	4.06E-08
-0.1	4.02E-08	1.01E-07	2.27E-07	2.24E-07	1.99E-07	1.89E-07	1.86E-07	1.89E-07	1.99E-07	2.24E-07	2.27E-07	1.01E-07	4.02E-08
-0.15	3.97E-08	9.96E-08	2.26E-07	2.26E-07	2.02E-07	1.92E-07	1.90E-07	1.92E-07	2.02E-07	2.26E-07	2.26E-07	9.96E-08	3.97E-08
-0.2	3.89E-08	9.76E-08	2.25E-07	2.29E-07	2.07E-07	1.98E-07	1.95E-07	1.98E-07	2.07E-07	2.29E-07	2.25E-07	9.76E-08	3.89E-08
-0.25	3.80E-08	9.50E-08	2.23E-07	2.32E-07	2.13E-07	2.05E-07	2.02E-07	2.05E-07	2.13E-07	2.32E-07	2.23E-07	9.50E-08	3.80E-08
-0.3	3.68E-08	9.17E-08	2.19E-07	2.36E-07	2.20E-07	2.13E-07	2.11E-07	2.13E-07	2.20E-07	2.36E-07	2.19E-07	9.17E-08	3.68E-08
-0.35	3.55E-08	8.75E-08	2.13E-07	2.39E-07	2.27E-07	2.21E-07	2.20E-07	2.21E-07	2.27E-07	2.39E-07	2.13E-07	8.75E-08	3.55E-08
-0.4	3.40E-08	8.26E-08	2.04E-07	2.39E-07	2.32E-07	2.28E-07	2.27E-07	2.28E-07	2.32E-07	2.39E-07	2.04E-07	8.26E-08	3.40E-08
-0.45	3.24E-08	7.69E-08	1.91E-07	2.34E-07	2.33E-07	2.31E-07	2.30E-07	2.31E-07	2.33E-07	2.34E-07	1.91E-07	7.69E-08	3.24E-08
-0.5	3.06E-08	7.05E-08	1.72E-07	2.21E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.25E-07	2.21E-07	1.72E-07	7.05E-08	3.06E-08
-0.55	2.88E-08	6.39E-08	1.50E-07	1.99E-07	2.08E-07	2.10E-07	2.10E-07	2.08E-07	1.99E-07	1.50E-07	6.39E-08	2.88E-08	2.88E-08
-0.6	2.70E-08	5.72E-08	1.26E-07	1.72E-07	1.83E-07	1.87E-07	1.88E-07	1.87E-07	1.83E-07	1.72E-07	1.26E-07	5.72E-08	2.70E-08
-0.65	2.52E-08	5.08E-08	1.05E-07	1.44E-07	1.57E-07	1.61E-07	1.62E-07	1.61E-07	1.57E-07	1.44E-07	1.05E-07	5.08E-08	2.52E-08
-0.7	2.34E-08	4.50E-08	8.62E-08	1.19E-07	1.31E-07	1.36E-07	1.37E-07	1.36E-07	1.31E-07	1.19E-07	8.62E-08	4.50E-08	2.34E-08

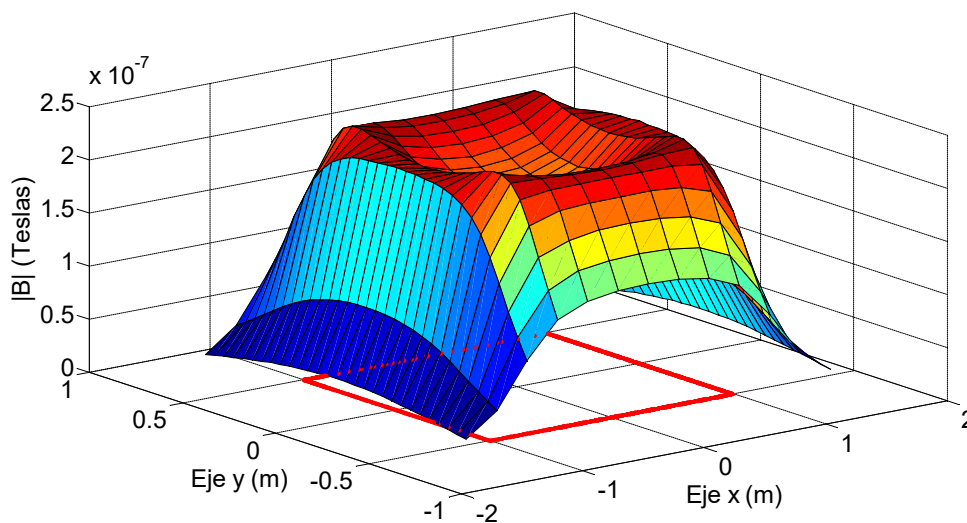


Fig. 3.31 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.20 \text{m}$.

Tabla 3.25 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0,20m

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.86E-08	1.10E-08	-3.24E-09	-4.61E-09	-7.18E-09	-1.18E-08	-8.05E-09	-9.83E-09	-7.18E-09	-6.10E-10	4.77E-09	9.01E-09	1.66E-08
0.65	1.68E-08	8.16E-09	-8.61E-09	-6.80E-09	-1.05E-08	-1.48E-08	-1.19E-08	-1.48E-08	-1.05E-08	-1.18E-08	1.39E-09	7.16E-09	1.58E-08
0.6	1.60E-08	6.79E-09	-1.13E-08	-1.18E-08	-1.14E-08	-1.58E-08	-1.36E-08	-1.58E-08	-1.13E-08	-1.38E-08	6.90E-10	5.79E-09	1.50E-08
0.55	1.52E-08	5.12E-09	-1.08E-08	-1.10E-08	-1.18E-08	-1.48E-08	-1.12E-08	-1.28E-08	-9.81E-09	-1.20E-08	1.22E-09	5.12E-09	1.42E-08
0.5	1.44E-08	3.47E-09	-5.17E-09	-6.67E-09	-1.41E-08	-1.31E-08	-9.97E-09	-1.01E-08	-8.07E-09	-5.67E-09	5.83E-09	4.47E-09	1.34E-08
0.45	1.26E-08	-1.85E-09	-2.67E-09	-7.83E-09	-1.28E-08	-1.57E-08	-1.10E-08	-1.27E-08	-1.18E-08	-8.83E-09	3.33E-09	4.15E-09	1.26E-08
0.4	1.30E-08	-1.56E-09	1.85E-09	-7.94E-09	-1.33E-08	-1.62E-08	-1.30E-08	-1.52E-08	-1.33E-08	-9.94E-09	2.85E-09	2.44E-09	1.20E-08
0.35	1.25E-08	-1.52E-09	4.85E-09	-6.73E-09	-1.21E-08	-1.42E-08	-1.25E-08	-1.22E-08	-1.11E-08	-7.73E-09	2.85E-09	1.48E-09	1.15E-08
0.3	1.22E-08	3.44E-10	8.10E-09	-2.92E-09	-8.05E-09	-9.71E-09	-9.69E-09	-8.71E-09	-9.05E-09	-3.92E-09	3.10E-09	1.34E-09	1.12E-08
0.25	1.20E-08	-5.00E-12	8.49E-09	7.00E-10	-5.08E-09	-6.60E-09	-7.30E-09	-6.60E-09	-6.08E-09	-1.30E-09	4.49E-09	3.00E-09	1.10E-08
0.2	1.21E-08	1.38E-09	1.02E-08	3.16E-09	-2.05E-09	-5.70E-09	-6.19E-09	-5.70E-09	-5.05E-09	1.60E-10	5.24E-09	2.38E-09	1.01E-08
0.15	1.13E-08	1.43E-09	1.19E-08	4.02E-09	-2.31E-09	-5.32E-09	-6.65E-09	-6.32E-09	-5.31E-09	1.02E-09	5.85E-09	1.43E-09	1.03E-08
0.1	1.18E-08	3.08E-09	1.20E-08	4.10E-09	-9.40E-10	-5.51E-09	-5.73E-09	-6.51E-09	-3.94E-09	-9.00E-10	7.02E-09	1.08E-09	9.77E-09
0.05	1.14E-08	3.29E-09	1.46E-08	3.36E-09	-1.93E-09	-4.24E-09	-5.40E-09	-6.24E-09	-3.93E-09	-6.40E-10	7.59E-09	1.29E-09	1.04E-08
0	1.13E-08	6.02E-09	1.55E-08	3.78E-09	-1.27E-09	-4.49E-09	-5.63E-09	-5.49E-09	-4.27E-09	-2.20E-10	6.45E-09	2.00E-11	1.03E-08
-0.05	1.14E-08	7.29E-09	1.46E-08	3.36E-09	-9.30E-10	-3.24E-09	-6.40E-09	-5.24E-09	-4.93E-09	3.60E-10	6.59E-09	2.90E-10	1.04E-08
-0.1	1.18E-08	6.08E-09	1.50E-08	2.10E-09	-1.94E-09	-2.51E-09	-6.73E-09	-5.51E-09	-4.94E-09	1.00E-10	6.02E-09	8.00E-11	9.77E-09
-0.15	1.13E-08	5.43E-09	1.39E-08	3.02E-09	-1.31E-09	-3.32E-09	-6.65E-09	-5.32E-09	-3.31E-09	1.02E-09	3.85E-09	-1.58E-09	1.03E-08
-0.2	1.11E-08	2.38E-09	1.42E-08	2.16E-09	-2.05E-09	-3.70E-09	-7.19E-09	-5.70E-09	-4.05E-09	1.16E-09	3.24E-09	-2.62E-09	1.01E-08
-0.25	1.20E-08	5.00E-09	1.35E-08	1.70E-09	-4.08E-09	-5.60E-09	-8.30E-09	-8.60E-09	-7.08E-09	-4.30E-09	2.49E-09	-3.00E-09	1.10E-08
-0.3	1.22E-08	4.34E-09	1.21E-08	-1.92E-09	-7.05E-09	-8.71E-09	-1.27E-08	-1.17E-08	-1.11E-08	-7.92E-09	1.10E-09	-3.66E-09	1.12E-08
-0.35	1.15E-08	1.48E-09	9.85E-09	-6.73E-09	-1.31E-08	-1.22E-08	-1.55E-08	-1.52E-08	-1.41E-08	-1.07E-08	-2.15E-09	-3.52E-09	1.15E-08
-0.4	1.20E-08	2.44E-09	4.85E-09	-6.94E-09	-1.33E-08	-1.22E-08	-1.50E-08	-1.62E-08	-1.53E-08	-1.09E-08	-4.15E-09	-3.56E-09	1.20E-08
-0.45	1.26E-08	2.15E-09	2.33E-09	-5.83E-09	-1.18E-08	-1.27E-08	-1.40E-08	-1.57E-08	-1.38E-08	-9.83E-09	-5.67E-09	-1.85E-09	1.26E-08
-0.5	1.44E-08	2.47E-09	-4.17E-09	-3.67E-09	-8.07E-09	-8.10E-09	-1.10E-08	-1.31E-08	-1.11E-08	-7.67E-09	-9.17E-09	-5.32E-10	1.34E-08
-0.55	1.42E-08	2.12E-09	-7.78E-09	-6.96E-09	-1.38E-08	-1.38E-08	-1.32E-08	-1.68E-08	-1.48E-08	-1.20E-08	-1.08E-08	1.12E-09	1.42E-08
-0.6	1.50E-08	4.79E-09	-7.31E-09	3.24E-09	-1.34E-08	-1.58E-08	-1.46E-08	-1.78E-08	-1.64E-08	-1.58E-08	-8.31E-09	3.79E-09	1.50E-08
-0.65	1.68E-08	6.16E-09	-3.61E-09	2.00E-10	-1.05E-08	-1.48E-08	-1.39E-08	-1.78E-08	-1.45E-08	-1.38E-08	-7.61E-09	6.16E-09	1.58E-08
-0.7	1.76E-08	1.00E-08	-1.24E-09	3.39E-09	-8.18E-09	-1.18E-08	-9.05E-09	-1.28E-08	-9.18E-09	-6.61E-09	-2.23E-09	8.01E-09	1.66E-08

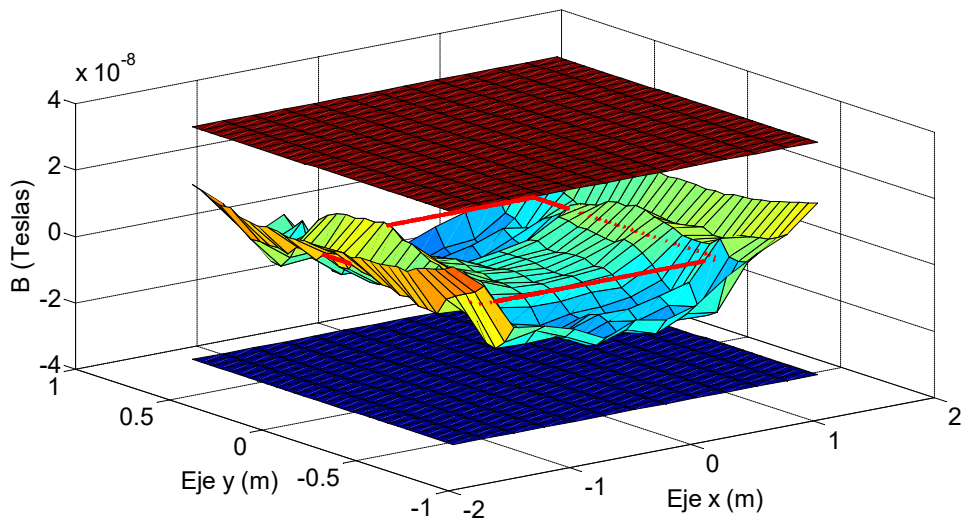


Fig. 3.32 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0,20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5h

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.20\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 100mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.26 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.20\text{m}$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	5.80E-08	9.40E-08	1.55E-07	2.17E-07	2.45E-07	2.46E-07	2.57E-07	2.49E-07	2.46E-07	2.29E-07	1.73E-07	9.50E-08	5.80E-08
0.65	6.10E-08	1.02E-07	1.82E-07	2.66E-07	2.91E-07	2.91E-07	2.99E-07	2.90E-07	2.89E-07	2.59E-07	2.07E-07	1.06E-07	6.00E-08
0.6	6.30E-08	1.12E-07	2.20E-07	3.07E-07	3.43E-07	3.42E-07	3.49E-07	3.43E-07	3.41E-07	3.16E-07	2.52E-07	1.18E-07	6.30E-08
0.55	6.50E-08	1.24E-07	2.71E-07	3.68E-07	3.92E-07	3.90E-07	3.98E-07	3.94E-07	3.96E-07	3.76E-07	3.01E-07	1.30E-07	6.60E-08
0.5	6.90E-08	1.35E-07	3.29E-07	4.22E-07	4.23E-07	4.25E-07	4.30E-07	4.30E-07	4.34E-07	4.29E-07	3.53E-07	1.42E-07	6.80E-08
0.45	7.10E-08	1.40E-07	3.71E-07	4.44E-07	4.33E-07	4.29E-07	4.30E-07	4.33E-07	4.41E-07	4.49E-07	3.87E-07	1.54E-07	7.10E-08
0.4	7.40E-08	1.53E-07	4.09E-07	4.54E-07	4.30E-07	4.23E-07	4.23E-07	4.26E-07	4.37E-07	4.58E-07	4.12E-07	1.62E-07	7.30E-08
0.35	7.60E-08	1.65E-07	4.33E-07	4.57E-07	4.33E-07	4.13E-07	4.07E-07	4.15E-07	4.30E-07	4.62E-07	4.30E-07	1.70E-07	7.50E-08
0.3	7.90E-08	1.76E-07	4.48E-07	4.60E-07	4.22E-07	4.00E-07	3.93E-07	4.04E-07	4.21E-07	4.63E-07	4.43E-07	1.79E-07	7.80E-08
0.25	8.10E-08	1.83E-07	4.58E-07	4.60E-07	4.13E-07	3.89E-07	3.82E-07	3.93E-07	4.13E-07	4.62E-07	4.53E-07	1.89E-07	8.00E-08
0.2	8.40E-08	1.90E-07	4.66E-07	4.57E-07	4.05E-07	3.80E-07	3.70E-07	3.81E-07	4.02E-07	4.58E-07	4.59E-07	1.93E-07	8.10E-08
0.15	8.50E-08	1.96E-07	4.74E-07	4.51E-07	3.94E-07	3.70E-07	3.59E-07	3.69E-07	3.92E-07	4.54E-07	4.65E-07	1.96E-07	8.40E-08
0.1	8.60E-08	2.00E-07	4.77E-07	4.47E-07	3.88E-07	3.62E-07	3.53E-07	3.64E-07	3.87E-07	4.45E-07	4.68E-07	1.98E-07	8.40E-08
0.05	8.70E-08	2.04E-07	4.78E-07	4.44E-07	3.84E-07	3.58E-07	3.50E-07	3.60E-07	3.85E-07	4.44E-07	4.69E-07	1.99E-07	8.50E-08
0	8.70E-08	2.08E-07	4.79E-07	4.44E-07	3.83E-07	3.57E-07	3.49E-07	3.58E-07	3.83E-07	4.43E-07	4.69E-07	1.98E-07	8.50E-08
-0.05	8.60E-08	2.09E-07	4.78E-07	4.44E-07	3.85E-07	3.59E-07	3.50E-07	3.60E-07	3.84E-07	4.45E-07	4.69E-07	1.97E-07	8.50E-08
-0.1	8.60E-08	2.06E-07	4.77E-07	4.46E-07	3.88E-07	3.61E-07	3.55E-07	3.65E-07	3.88E-07	4.47E-07	4.67E-07	1.95E-07	8.40E-08
-0.15	8.50E-08	2.03E-07	4.73E-07	4.51E-07	3.95E-07	3.71E-07	3.63E-07	3.71E-07	3.96E-07	4.52E-07	4.63E-07	1.89E-07	8.30E-08
-0.2	8.20E-08	1.93E-07	4.70E-07	4.56E-07	4.04E-07	3.80E-07	3.72E-07	3.82E-07	4.05E-07	4.58E-07	4.58E-07	1.83E-07	8.10E-08
-0.25	8.10E-08	1.89E-07	4.64E-07	4.61E-07	4.13E-07	3.90E-07	3.82E-07	3.90E-07	4.10E-07	4.56E-07	4.52E-07	1.78E-07	7.80E-08
-0.3	7.90E-08	1.81E-07	4.54E-07	4.60E-07	4.21E-07	4.00E-07	3.92E-07	3.99E-07	4.16E-07	4.57E-07	4.42E-07	1.70E-07	7.60E-08
-0.35	7.50E-08	1.69E-07	4.37E-07	4.59E-07	4.27E-07	4.11E-07	4.06E-07	4.11E-07	4.25E-07	4.56E-07	4.30E-07	1.61E-07	7.40E-08
-0.4	7.30E-08	1.58E-07	4.12E-07	4.57E-07	4.37E-07	4.25E-07	4.22E-07	4.23E-07	4.33E-07	4.56E-07	4.13E-07	1.50E-07	7.10E-08
-0.45	7.00E-08	1.47E-07	3.78E-07	4.48E-07	4.40E-07	4.35E-07	4.30E-07	4.29E-07	4.36E-07	4.47E-07	3.71E-07	1.39E-07	6.80E-08
-0.5	6.70E-08	1.35E-07	3.30E-07	4.27E-07	4.32E-07	4.31E-07	4.28E-07	4.25E-07	4.28E-07	4.26E-07	3.25E-07	1.29E-07	6.80E-08
-0.55	6.50E-08	1.21E-07	2.75E-07	3.78E-07	3.88E-07	3.93E-07	3.95E-07	3.87E-07	3.86E-07	3.73E-07	2.74E-07	1.16E-07	6.60E-08
-0.6	6.20E-08	1.11E-07	2.32E-07	3.44E-07	3.42E-07	3.42E-07	3.47E-07	3.38E-07	3.35E-07	3.11E-07	2.38E-07	1.06E-07	6.30E-08
-0.65	6.00E-08	1.01E-07	1.93E-07	2.81E-07	2.90E-07	2.91E-07	2.96E-07	2.85E-07	2.84E-07	2.60E-07	2.00E-07	9.70E-08	6.00E-08
-0.7	5.70E-08	9.20E-08	1.58E-07	2.35E-07	2.44E-07	2.46E-07	2.55E-07	2.44E-07	2.42E-07	2.22E-07	1.70E-07	8.90E-08	5.80E-08

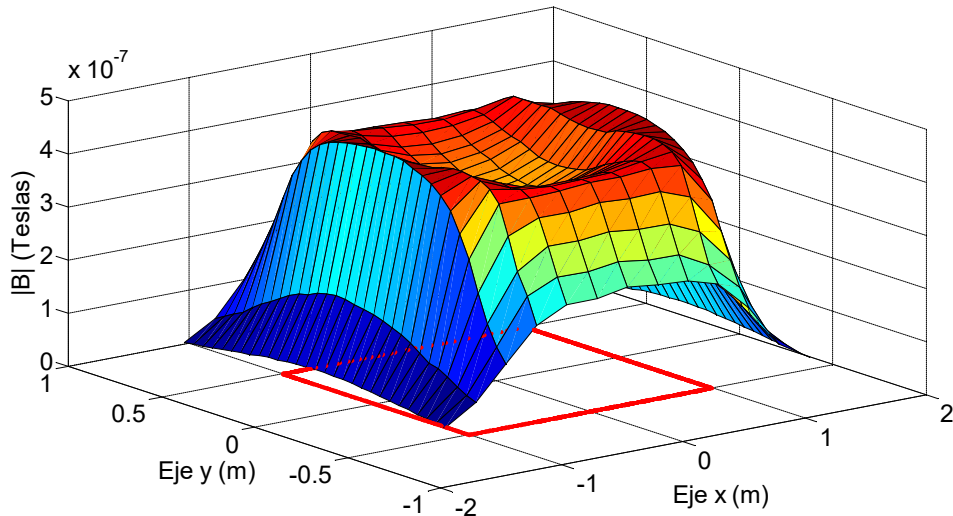


Fig. 3.33 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.20\text{m}$.

Tabla 3.27 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.20 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.67E-08	9.00E-08	1.72E-07	2.37E-07	2.62E-07	2.72E-07	2.74E-07	2.72E-07	2.62E-07	2.37E-07	1.72E-07	9.00E-08	4.67E-08
0.65	5.03E-08	1.02E-07	2.09E-07	2.88E-07	3.13E-07	3.22E-07	3.24E-07	3.22E-07	3.13E-07	2.88E-07	2.09E-07	1.02E-07	5.03E-08
0.6	5.40E-08	1.14E-07	2.53E-07	3.44E-07	3.67E-07	3.74E-07	3.75E-07	3.74E-07	3.67E-07	3.44E-07	2.53E-07	1.14E-07	5.40E-08
0.55	5.76E-08	1.28E-07	3.00E-07	3.98E-07	4.16E-07	4.20E-07	4.20E-07	4.20E-07	4.16E-07	3.98E-07	3.00E-07	1.28E-07	5.76E-08
0.5	6.12E-08	1.41E-07	3.44E-07	4.41E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.41E-07	3.44E-07	1.41E-07	6.12E-08
0.45	6.47E-08	1.54E-07	3.81E-07	4.68E-07	4.66E-07	4.61E-07	4.60E-07	4.61E-07	4.66E-07	4.68E-07	3.81E-07	1.54E-07	6.47E-08
0.4	6.80E-08	1.65E-07	4.08E-07	4.78E-07	4.65E-07	4.56E-07	4.54E-07	4.56E-07	4.65E-07	4.78E-07	4.08E-07	1.65E-07	6.80E-08
0.35	7.10E-08	1.75E-07	4.26E-07	4.77E-07	4.54E-07	4.42E-07	4.39E-07	4.42E-07	4.54E-07	4.77E-07	4.26E-07	1.75E-07	7.10E-08
0.3	7.37E-08	1.83E-07	4.38E-07	4.72E-07	4.40E-07	4.25E-07	4.21E-07	4.25E-07	4.40E-07	4.72E-07	4.38E-07	1.83E-07	7.37E-08
0.25	7.60E-08	1.90E-07	4.45E-07	4.65E-07	4.26E-07	4.09E-07	4.05E-07	4.09E-07	4.26E-07	4.65E-07	4.45E-07	1.90E-07	7.60E-08
0.2	7.79E-08	1.95E-07	4.50E-07	4.58E-07	4.14E-07	3.95E-07	3.90E-07	3.95E-07	4.14E-07	4.58E-07	4.50E-07	1.95E-07	7.79E-08
0.15	7.94E-08	1.99E-07	4.52E-07	4.52E-07	4.05E-07	3.85E-07	3.79E-07	3.85E-07	4.05E-07	4.52E-07	4.52E-07	1.99E-07	7.94E-08
0.1	8.05E-08	2.02E-07	4.54E-07	4.48E-07	3.98E-07	3.77E-07	3.71E-07	3.77E-07	3.98E-07	4.48E-07	4.54E-07	2.02E-07	8.05E-08
0.05	8.11E-08	2.03E-07	4.55E-07	4.45E-07	3.94E-07	3.72E-07	3.67E-07	3.72E-07	3.94E-07	4.45E-07	4.55E-07	2.03E-07	8.11E-08
0	8.13E-08	2.04E-07	4.55E-07	4.44E-07	3.93E-07	3.71E-07	3.65E-07	3.71E-07	3.93E-07	4.44E-07	4.55E-07	2.04E-07	8.13E-08
-0.05	8.11E-08	2.03E-07	4.55E-07	4.45E-07	3.94E-07	3.72E-07	3.67E-07	3.72E-07	3.94E-07	4.45E-07	4.55E-07	2.03E-07	8.11E-08
-0.1	8.05E-08	2.02E-07	4.54E-07	4.48E-07	3.98E-07	3.77E-07	3.71E-07	3.77E-07	3.98E-07	4.48E-07	4.54E-07	2.02E-07	8.05E-08
-0.15	7.94E-08	1.99E-07	4.52E-07	4.52E-07	4.05E-07	3.85E-07	3.79E-07	3.85E-07	4.05E-07	4.52E-07	4.52E-07	1.99E-07	7.94E-08
-0.2	7.79E-08	1.95E-07	4.50E-07	4.58E-07	4.14E-07	3.95E-07	3.90E-07	3.95E-07	4.14E-07	4.58E-07	4.50E-07	1.95E-07	7.79E-08
-0.25	7.60E-08	1.90E-07	4.45E-07	4.65E-07	4.26E-07	4.09E-07	4.05E-07	4.09E-07	4.26E-07	4.65E-07	4.45E-07	1.90E-07	7.60E-08
-0.3	7.37E-08	1.83E-07	4.38E-07	4.72E-07	4.40E-07	4.25E-07	4.21E-07	4.25E-07	4.40E-07	4.72E-07	4.38E-07	1.83E-07	7.37E-08
-0.35	7.10E-08	1.75E-07	4.26E-07	4.77E-07	4.54E-07	4.42E-07	4.39E-07	4.42E-07	4.54E-07	4.77E-07	4.26E-07	1.75E-07	7.10E-08
-0.4	6.80E-08	1.65E-07	4.08E-07	4.78E-07	4.65E-07	4.56E-07	4.54E-07	4.56E-07	4.65E-07	4.78E-07	4.08E-07	1.65E-07	6.80E-08
-0.45	6.47E-08	1.54E-07	3.81E-07	4.68E-07	4.66E-07	4.61E-07	4.60E-07	4.61E-07	4.66E-07	4.68E-07	3.81E-07	1.54E-07	6.47E-08
-0.5	6.12E-08	1.41E-07	3.44E-07	4.41E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.50E-07	4.41E-07	3.44E-07	1.41E-07	6.12E-08
-0.55	5.76E-08	1.28E-07	3.00E-07	3.98E-07	4.16E-07	4.20E-07	4.20E-07	4.20E-07	3.98E-07	3.00E-07	1.28E-07	1.28E-07	5.76E-08
-0.6	5.40E-08	1.14E-07	2.53E-07	3.44E-07	3.67E-07	3.74E-07	3.75E-07	3.74E-07	3.67E-07	3.44E-07	2.53E-07	1.14E-07	5.40E-08
-0.65	5.03E-08	1.02E-07	2.09E-07	2.88E-07	3.13E-07	3.22E-07	3.24E-07	3.22E-07	3.13E-07	2.88E-07	2.09E-07	1.02E-07	5.03E-08
-0.7	4.67E-08	9.00E-08	1.72E-07	2.37E-07	2.62E-07	2.72E-07	2.74E-07	2.72E-07	2.62E-07	2.37E-07	1.72E-07	9.00E-08	4.67E-08

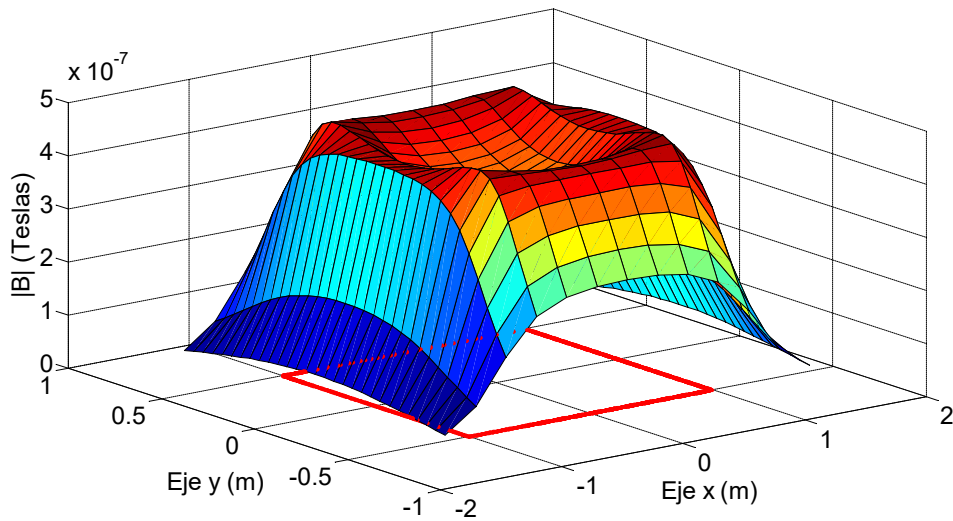


Fig. 3.34 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.20 \text{m}$.

Tabla 3.28 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.20m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.13E-08	4.03E-09	-1.75E-08	-2.02E-08	-1.74E-08	-2.57E-08	-1.71E-08	-2.27E-08	-1.64E-08	-8.23E-09	5.30E-10	5.03E-09	1.13E-08
0.65	1.07E-08	3.10E-10	-2.72E-08	-2.16E-08	-2.20E-08	-3.06E-08	-2.47E-08	-3.16E-08	-2.40E-08	-2.86E-08	-2.22E-09	4.31E-09	9.69E-09
0.6	9.04E-09	-2.43E-09	-3.26E-08	-3.65E-08	-2.38E-08	-3.16E-08	-2.62E-08	-3.06E-08	-2.58E-08	-2.75E-08	-6.10E-10	3.57E-09	9.04E-09
0.55	7.37E-09	-3.76E-09	-2.86E-08	-2.98E-08	-2.36E-08	-2.95E-08	-2.23E-08	-2.55E-08	-1.96E-08	-2.19E-08	1.44E-09	2.24E-09	8.37E-09
0.5	7.76E-09	-6.06E-09	-1.53E-08	-1.93E-08	-2.71E-08	-2.52E-08	-1.99E-08	-2.02E-08	-1.61E-08	-1.23E-08	8.66E-09	9.40E-10	6.76E-09
0.45	6.27E-09	-1.37E-08	-1.03E-08	-2.37E-08	-3.26E-08	-3.23E-08	-3.00E-08	-2.84E-08	-2.46E-08	-1.87E-08	5.66E-09	3.00E-10	6.27E-09
0.4	5.99E-09	-1.21E-08	7.10E-10	-2.39E-08	-3.46E-08	-3.34E-08	-3.09E-08	-3.04E-08	-2.76E-08	-1.99E-08	3.71E-09	-3.13E-09	4.99E-09
0.35	4.99E-09	-1.00E-08	6.70E-09	-2.05E-08	-2.11E-08	-2.94E-08	-3.20E-08	-2.73E-08	-2.42E-08	-1.55E-08	3.70E-09	-5.03E-09	3.99E-09
0.3	5.32E-09	-7.31E-09	1.02E-08	-1.18E-08	-1.81E-08	-2.54E-08	-2.84E-08	-2.14E-08	-1.91E-08	-8.83E-09	5.20E-09	-4.31E-09	4.32E-09
0.25	5.01E-09	-7.01E-09	1.30E-08	-4.60E-09	-1.32E-08	-2.02E-08	-2.26E-08	-1.62E-08	-1.32E-08	-2.60E-09	7.98E-09	-1.01E-09	4.01E-09
0.2	6.10E-09	-5.24E-09	1.65E-08	-6.90E-10	-9.10E-09	-1.54E-08	-2.04E-08	-1.44E-08	-1.21E-08	3.10E-10	9.48E-09	-2.24E-09	3.10E-09
0.15	5.61E-09	-3.15E-09	2.17E-08	-9.70E-10	-1.06E-08	-1.46E-08	-2.03E-08	-1.56E-08	-1.26E-08	2.03E-09	1.27E-08	-3.15E-09	4.61E-09
0.1	5.53E-09	-1.85E-09	2.31E-08	-8.00E-10	-9.87E-09	-1.50E-08	-1.85E-08	-1.30E-08	-1.09E-08	-2.80E-09	1.41E-08	-3.85E-09	3.53E-09
0.05	5.89E-09	5.70E-10	2.32E-08	-1.28E-09	-9.86E-09	-1.45E-08	-1.68E-08	-1.25E-08	-8.86E-09	-1.28E-09	1.42E-08	-4.43E-09	3.89E-09
0	5.67E-09	4.05E-09	2.39E-08	-4.40E-10	-9.53E-09	-1.40E-08	-1.63E-08	-1.30E-08	-9.53E-09	-1.44E-09	1.39E-08	-5.95E-09	3.67E-09
-0.05	4.89E-09	5.57E-09	2.32E-08	-1.28E-09	-8.86E-09	-1.35E-08	-1.68E-08	-1.25E-08	-8.86E-09	-2.80E-10	1.42E-08	-6.43E-09	3.89E-09
-0.1	5.53E-09	4.15E-09	2.31E-08	-1.80E-09	-9.87E-09	-1.60E-08	-1.65E-08	-1.20E-08	-8.87E-09	-8.00E-10	1.31E-08	-6.85E-09	3.53E-09
-0.15	5.61E-09	3.85E-09	2.07E-08	-9.70E-10	-9.62E-09	-1.36E-08	-1.63E-08	-1.36E-08	-8.62E-09	3.00E-11	1.07E-08	-1.02E-08	3.61E-09
-0.2	4.10E-09	-2.24E-09	2.05E-08	-1.69E-09	-1.01E-08	-1.54E-08	-1.84E-08	-1.34E-08	-9.10E-09	3.10E-10	8.48E-09	-1.22E-08	3.10E-09
-0.25	5.01E-09	-1.01E-09	1.90E-08	-3.60E-09	-1.32E-08	-1.92E-08	-2.26E-08	-1.92E-08	-1.62E-08	-8.60E-09	6.98E-09	-1.20E-08	2.01E-09
-0.3	5.32E-09	-2.31E-09	1.62E-08	-1.18E-08	-1.91E-08	-2.54E-08	-2.94E-08	-2.64E-08	-2.41E-08	-1.48E-08	4.20E-09	-1.33E-08	2.32E-09
-0.35	3.99E-09	-6.03E-09	1.07E-08	-1.85E-08	-2.71E-08	-3.14E-08	-3.30E-08	-3.14E-08	-2.92E-08	-2.15E-08	3.70E-09	-1.40E-08	2.99E-09
-0.4	4.99E-09	-7.13E-09	3.71E-09	-2.09E-08	-2.76E-08	-3.14E-08	-3.19E-08	-3.34E-08	-3.16E-08	-2.19E-08	4.71E-09	-1.51E-08	2.99E-09
-0.45	5.27E-09	-6.70E-09	-3.34E-09	-1.96E-08	-2.56E-08	-2.64E-08	-3.00E-08	-3.23E-08	-2.96E-08	-2.07E-08	-1.03E-08	-1.47E-08	3.27E-09
-0.5	5.76E-09	-6.06E-09	-1.43E-08	-1.43E-08	-1.81E-08	-1.92E-08	-2.19E-08	-2.52E-08	-2.21E-08	-1.53E-08	-1.93E-08	-1.21E-08	6.76E-09
-0.55	7.37E-09	-6.76E-09	-2.46E-08	-1.98E-08	-2.76E-08	-2.65E-08	-2.53E-08	-3.25E-08	-2.96E-08	-2.49E-08	-2.56E-08	-1.18E-08	8.37E-09
-0.6	8.04E-09	-3.43E-09	-2.06E-08	4.80E-10	-2.48E-08	-3.16E-08	-2.82E-08	-3.56E-08	-3.18E-08	-3.25E-08	-1.46E-08	-8.43E-09	9.04E-09
-0.65	9.69E-09	-6.90E-10	-1.62E-08	-6.60E-09	-2.30E-08	-3.06E-08	-2.77E-08	-3.66E-08	-2.90E-08	-2.76E-08	-9.22E-09	-4.69E-09	9.69E-09
-0.7	1.03E-08	2.03E-09	-1.45E-08	-2.23E-09	-1.84E-08	-2.57E-08	-1.91E-08	-2.77E-08	-2.04E-08	-1.52E-08	-2.47E-09	-9.74E-10	1.13E-08

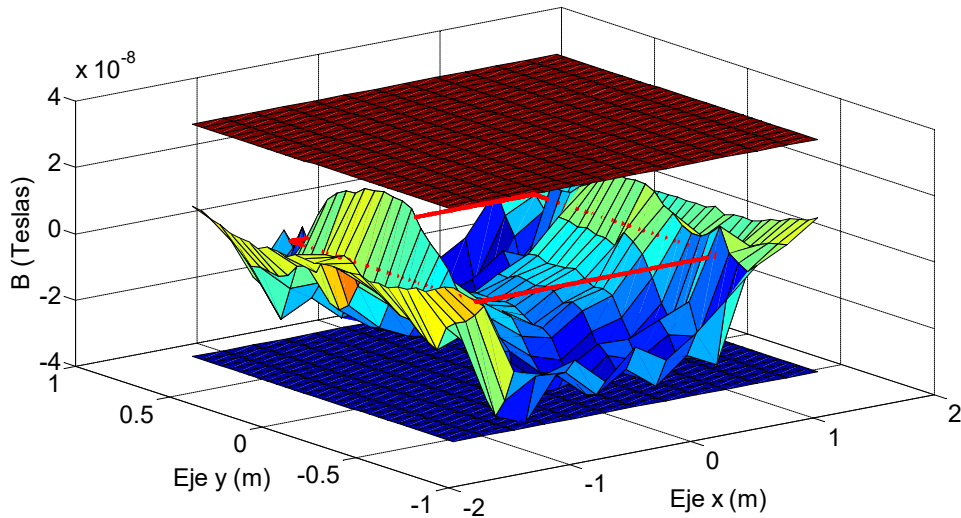


Fig. 3.35 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.20m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5i

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.50\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 10mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.29 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 10mA y $z = 0.50\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.50E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.50E-08
0.65	3.50E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.50E-08
0.6	3.50E-08	3.60E-08	3.70E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.90E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.50E-08
0.55	3.50E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08
0.5	3.50E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	3.90E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08
0.45	3.50E-08	3.70E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08
0.4	3.50E-08	3.80E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.35	3.50E-08	3.80E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.10E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.3	3.50E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.25	3.50E-08	3.80E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.2	3.50E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.15	3.50E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.1	3.50E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.05	3.50E-08	4.30E-08	4.80E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08
0	3.50E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.30E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08
-0.05	3.50E-08	4.20E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.1	3.50E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.15	3.50E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.2	3.50E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.25	3.50E-08	3.80E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.3	3.50E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.35	3.50E-08	3.80E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.10E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.4	3.50E-08	3.80E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.45	3.50E-08	3.70E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08
-0.5	3.50E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	3.90E-08	4.00E-08	4.00E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08
-0.55	3.50E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.80E-08	3.90E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08
-0.6	3.50E-08	3.60E-08	3.70E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.90E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.65	3.50E-08	3.60E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.50E-08
-0.7	3.50E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.80E-08	3.90E-08	3.80E-08	3.80E-08	3.70E-08	3.60E-08	3.60E-08	3.50E-08

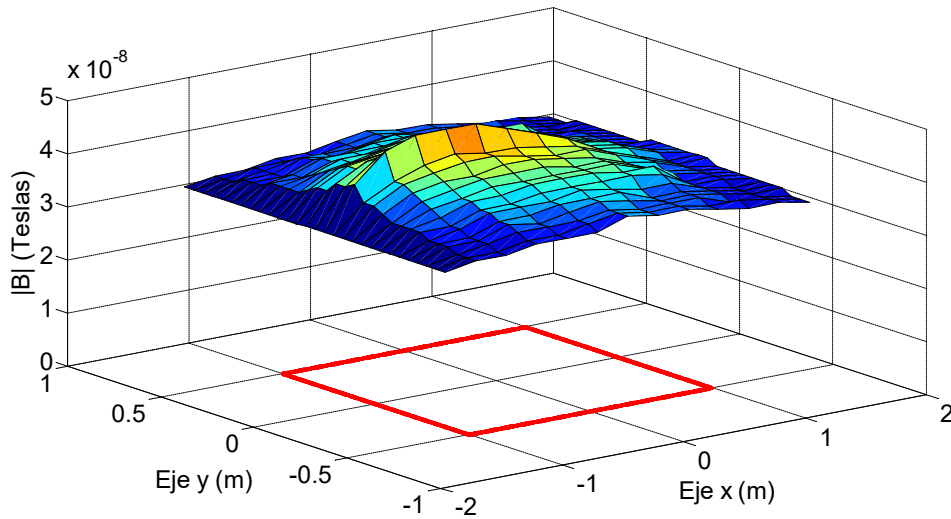


Fig. 3.36 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 10mA y $z = 0.50\text{m}$.

Tabla 3.30 $|B|$ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y $z = 0.50m$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.89E-09	6.22E-09	9.20E-09	1.17E-08	1.30E-08	1.35E-08	1.37E-08	1.35E-08	1.30E-08	1.17E-08	9.20E-09	6.22E-09	3.89E-09
0.65	4.13E-09	6.72E-09	1.01E-08	1.28E-08	1.42E-08	1.47E-08	1.49E-08	1.47E-08	1.42E-08	1.28E-08	1.01E-08	6.72E-09	4.13E-09
0.6	4.37E-09	7.22E-09	1.10E-08	1.39E-08	1.54E-08	1.59E-08	1.60E-08	1.59E-08	1.54E-08	1.39E-08	1.10E-08	7.22E-09	4.37E-09
0.55	4.60E-09	7.73E-09	1.19E-08	1.51E-08	1.65E-08	1.70E-08	1.71E-08	1.70E-08	1.65E-08	1.51E-08	1.19E-08	7.73E-09	4.60E-09
0.5	4.83E-09	8.23E-09	1.28E-08	1.61E-08	1.76E-08	1.80E-08	1.81E-08	1.80E-08	1.76E-08	1.61E-08	1.28E-08	8.23E-09	4.83E-09
0.45	5.04E-09	8.70E-09	1.36E-08	1.71E-08	1.85E-08	1.89E-08	1.90E-08	1.89E-08	1.85E-08	1.71E-08	1.36E-08	8.70E-09	5.04E-09
0.4	5.25E-09	9.14E-09	1.43E-08	1.80E-08	1.93E-08	1.97E-08	1.97E-08	1.97E-08	1.93E-08	1.80E-08	1.43E-08	9.14E-09	5.25E-09
0.35	5.43E-09	9.54E-09	1.50E-08	1.87E-08	2.00E-08	2.03E-08	2.03E-08	2.03E-08	2.00E-08	1.87E-08	1.50E-08	9.54E-09	5.43E-09
0.3	5.60E-09	9.89E-09	1.56E-08	1.94E-08	2.06E-08	2.08E-08	2.08E-08	2.08E-08	2.06E-08	1.94E-08	1.56E-08	9.89E-09	5.60E-09
0.25	5.75E-09	1.02E-08	1.60E-08	1.99E-08	2.10E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.10E-08	1.99E-08	1.60E-08	1.02E-08	5.75E-09
0.2	5.87E-09	1.04E-08	1.64E-08	2.03E-08	2.14E-08	2.15E-08	2.14E-08	2.15E-08	2.14E-08	2.03E-08	1.64E-08	1.04E-08	5.87E-09
0.15	5.96E-09	1.06E-08	1.67E-08	2.06E-08	2.16E-08	2.17E-08	2.16E-08	2.17E-08	2.16E-08	2.06E-08	1.67E-08	1.06E-08	5.96E-09
0.1	6.03E-09	1.08E-08	1.69E-08	2.08E-08	2.18E-08	2.18E-08	2.17E-08	2.18E-08	2.18E-08	2.08E-08	1.69E-08	1.08E-08	6.03E-09
0.05	6.07E-09	1.09E-08	1.70E-08	2.09E-08	2.19E-08	2.19E-08	2.18E-08	2.19E-08	2.19E-08	2.09E-08	1.70E-08	1.09E-08	6.07E-09
0	6.09E-09	1.09E-08	1.71E-08	2.09E-08	2.19E-08	2.19E-08	2.18E-08	2.19E-08	2.19E-08	2.09E-08	1.71E-08	1.09E-08	6.09E-09
-0.05	6.07E-09	1.09E-08	1.70E-08	2.09E-08	2.19E-08	2.19E-08	2.18E-08	2.19E-08	2.19E-08	2.09E-08	1.70E-08	1.09E-08	6.07E-09
-0.1	6.03E-09	1.08E-08	1.69E-08	2.08E-08	2.18E-08	2.18E-08	2.17E-08	2.18E-08	2.18E-08	2.08E-08	1.69E-08	1.08E-08	6.03E-09
-0.15	5.96E-09	1.06E-08	1.67E-08	2.06E-08	2.16E-08	2.17E-08	2.16E-08	2.17E-08	2.16E-08	2.06E-08	1.67E-08	1.06E-08	5.96E-09
-0.2	5.87E-09	1.04E-08	1.64E-08	2.03E-08	2.14E-08	2.15E-08	2.14E-08	2.15E-08	2.14E-08	2.03E-08	1.64E-08	1.04E-08	5.87E-09
-0.25	5.75E-09	1.02E-08	1.60E-08	1.99E-08	2.10E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.10E-08	1.99E-08	1.60E-08	1.02E-08	5.75E-09
-0.3	5.60E-09	9.89E-09	1.56E-08	1.94E-08	2.06E-08	2.08E-08	2.08E-08	2.08E-08	2.06E-08	1.94E-08	1.56E-08	9.89E-09	5.60E-09
-0.35	5.43E-09	9.54E-09	1.50E-08	1.87E-08	2.00E-08	2.03E-08	2.03E-08	2.03E-08	2.00E-08	1.87E-08	1.50E-08	9.54E-09	5.43E-09
-0.4	5.25E-09	9.14E-09	1.43E-08	1.80E-08	1.93E-08	1.97E-08	1.97E-08	1.97E-08	1.93E-08	1.80E-08	1.43E-08	9.14E-09	5.25E-09
-0.45	5.04E-09	8.70E-09	1.36E-08	1.71E-08	1.85E-08	1.89E-08	1.90E-08	1.89E-08	1.85E-08	1.71E-08	1.36E-08	8.70E-09	5.04E-09
-0.5	4.83E-09	8.23E-09	1.28E-08	1.61E-08	1.76E-08	1.80E-08	1.81E-08	1.80E-08	1.76E-08	1.61E-08	1.28E-08	8.23E-09	4.83E-09
-0.55	4.60E-09	7.73E-09	1.19E-08	1.51E-08	1.65E-08	1.70E-08	1.71E-08	1.70E-08	1.65E-08	1.51E-08	1.19E-08	7.73E-09	4.60E-09
-0.6	4.37E-09	7.22E-09	1.10E-08	1.39E-08	1.54E-08	1.59E-08	1.60E-08	1.59E-08	1.54E-08	1.39E-08	1.10E-08	7.22E-09	4.37E-09
-0.65	4.13E-09	6.72E-09	1.01E-08	1.28E-08	1.42E-08	1.47E-08	1.49E-08	1.47E-08	1.42E-08	1.28E-08	1.01E-08	6.72E-09	4.13E-09
-0.7	3.89E-09	6.22E-09	9.20E-09	1.17E-08	1.30E-08	1.35E-08	1.37E-08	1.35E-08	1.30E-08	1.17E-08	9.20E-09	6.22E-09	3.89E-09

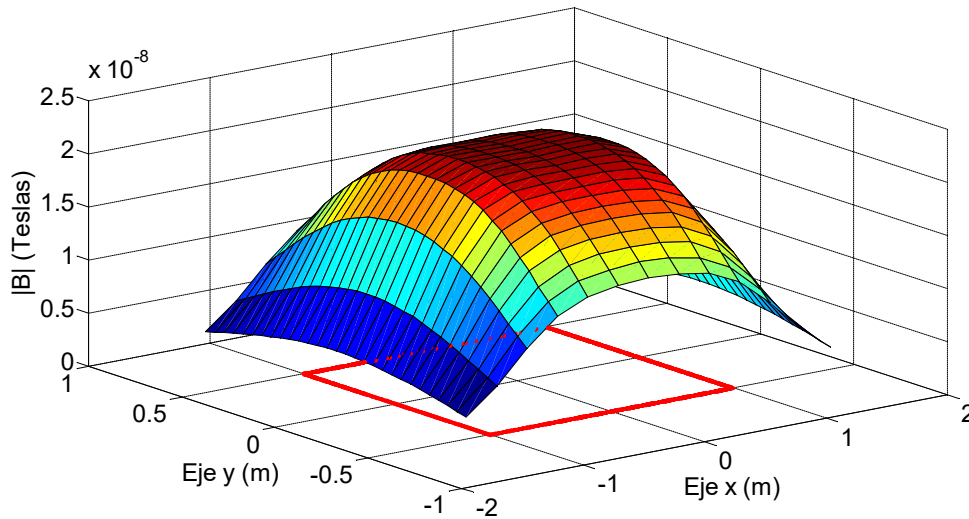


Fig. 3.37 $|B|$ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y $z = 0.50m$.

Tabla 3.31 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.11E-08	2.98E-08	2.68E-08	2.53E-08	2.40E-08	2.35E-08	2.53E-08	2.45E-08	2.50E-08	2.53E-08	2.68E-08	2.98E-08	3.11E-08
0.65	3.08E-08	2.93E-08	2.59E-08	2.42E-08	2.28E-08	2.33E-08	2.41E-08	2.33E-08	2.38E-08	2.42E-08	2.69E-08	2.93E-08	3.09E-08
0.6	3.06E-08	2.88E-08	2.60E-08	2.41E-08	2.26E-08	2.21E-08	2.30E-08	2.21E-08	2.26E-08	2.41E-08	2.50E-08	2.88E-08	3.06E-08
0.55	3.04E-08	2.93E-08	2.51E-08	2.39E-08	2.15E-08	2.20E-08	2.29E-08	2.20E-08	2.15E-08	2.29E-08	2.51E-08	2.83E-08	3.14E-08
0.5	3.02E-08	2.88E-08	2.42E-08	2.29E-08	2.14E-08	2.20E-08	2.19E-08	2.20E-08	2.04E-08	2.19E-08	2.42E-08	2.78E-08	3.12E-08
0.45	3.00E-08	2.83E-08	2.44E-08	2.29E-08	2.15E-08	2.11E-08	2.20E-08	2.11E-08	2.05E-08	2.19E-08	2.34E-08	2.73E-08	3.10E-08
0.4	2.98E-08	2.89E-08	2.37E-08	2.20E-08	2.07E-08	2.13E-08	2.13E-08	2.13E-08	2.17E-08	2.20E-08	2.27E-08	2.79E-08	3.08E-08
0.35	2.96E-08	2.85E-08	2.40E-08	2.23E-08	2.10E-08	2.17E-08	2.17E-08	2.17E-08	2.10E-08	2.23E-08	2.20E-08	2.75E-08	3.06E-08
0.3	2.94E-08	2.81E-08	2.44E-08	2.16E-08	2.14E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.14E-08	2.06E-08	2.24E-08	2.71E-08	3.04E-08
0.25	2.93E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.21E-08	2.20E-08	2.18E-08	2.18E-08	2.08E-08	2.10E-08	2.01E-08	2.20E-08	2.68E-08	3.03E-08
0.2	2.91E-08	2.86E-08	2.56E-08	2.27E-08	2.16E-08	2.25E-08	2.26E-08	2.15E-08	2.06E-08	1.97E-08	2.26E-08	2.66E-08	3.01E-08
0.15	2.90E-08	2.94E-08	2.63E-08	2.34E-08	2.34E-08	2.33E-08	2.24E-08	2.13E-08	2.14E-08	2.04E-08	2.23E-08	2.64E-08	3.10E-08
0.1	2.90E-08	2.92E-08	2.61E-08	2.42E-08	2.42E-08	2.32E-08	2.33E-08	2.22E-08	2.12E-08	2.02E-08	2.21E-08	2.62E-08	3.10E-08
0.05	2.89E-08	3.21E-08	3.10E-08	2.91E-08	2.81E-08	2.81E-08	2.62E-08	2.41E-08	2.21E-08	2.01E-08	2.30E-08	2.71E-08	3.09E-08
0	2.89E-08	3.11E-08	2.89E-08	2.61E-08	2.71E-08	2.61E-08	2.52E-08	2.31E-08	2.11E-08	2.01E-08	2.29E-08	2.71E-08	3.09E-08
-0.05	2.89E-08	3.11E-08	2.80E-08	2.51E-08	2.51E-08	2.51E-08	2.42E-08	2.31E-08	2.11E-08	2.01E-08	2.30E-08	2.61E-08	3.09E-08
-0.1	2.90E-08	2.92E-08	2.61E-08	2.42E-08	2.42E-08	2.32E-08	2.33E-08	2.22E-08	2.12E-08	2.02E-08	2.21E-08	2.62E-08	3.10E-08
-0.15	2.90E-08	2.94E-08	2.63E-08	2.34E-08	2.34E-08	2.33E-08	2.24E-08	2.13E-08	2.14E-08	2.04E-08	2.23E-08	2.64E-08	3.10E-08
-0.2	2.91E-08	2.86E-08	2.56E-08	2.27E-08	2.16E-08	2.25E-08	2.26E-08	2.15E-08	2.06E-08	1.97E-08	2.26E-08	2.66E-08	3.01E-08
-0.25	2.93E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.21E-08	2.20E-08	2.18E-08	2.18E-08	2.08E-08	2.10E-08	2.01E-08	2.20E-08	2.68E-08	3.03E-08
-0.3	2.94E-08	2.81E-08	2.44E-08	2.16E-08	2.14E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.12E-08	2.14E-08	2.06E-08	2.24E-08	2.71E-08	3.04E-08
-0.35	2.96E-08	2.85E-08	2.40E-08	2.23E-08	2.10E-08	2.17E-08	2.17E-08	2.17E-08	2.10E-08	2.23E-08	2.20E-08	2.75E-08	3.06E-08
-0.4	2.98E-08	2.89E-08	2.37E-08	2.20E-08	2.07E-08	2.13E-08	2.13E-08	2.13E-08	2.17E-08	2.20E-08	2.27E-08	2.79E-08	3.08E-08
-0.45	3.00E-08	2.83E-08	2.44E-08	2.29E-08	2.15E-08	2.11E-08	2.20E-08	2.11E-08	2.05E-08	2.19E-08	2.34E-08	2.73E-08	3.10E-08
-0.5	3.02E-08	2.88E-08	2.42E-08	2.29E-08	2.14E-08	2.20E-08	2.19E-08	2.20E-08	2.04E-08	2.19E-08	2.42E-08	2.78E-08	3.12E-08
-0.55	3.04E-08	2.93E-08	2.51E-08	2.39E-08	2.15E-08	2.20E-08	2.29E-08	2.20E-08	2.15E-08	2.29E-08	2.51E-08	2.83E-08	3.14E-08
-0.6	3.06E-08	2.88E-08	2.60E-08	2.41E-08	2.26E-08	2.21E-08	2.30E-08	2.21E-08	2.26E-08	2.41E-08	2.50E-08	2.88E-08	3.06E-08
-0.65	3.08E-08	2.93E-08	2.69E-08	2.42E-08	2.28E-08	2.33E-08	2.41E-08	2.33E-08	2.38E-08	2.42E-08	2.69E-08	2.93E-08	3.09E-08
-0.7	3.11E-08	2.98E-08	2.68E-08	2.53E-08	2.40E-08	2.45E-08	2.53E-08	2.45E-08	2.50E-08	2.53E-08	2.68E-08	2.98E-08	3.11E-08

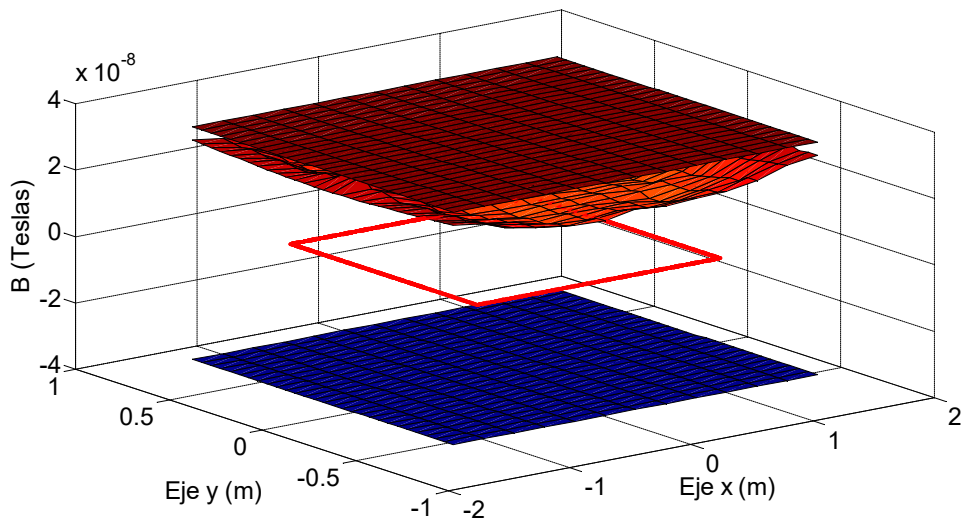


Fig. 3.38 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5j

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.50\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 20mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.32 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.50\text{m}$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.60E-08	3.70E-08	3.70E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.65	3.60E-08	3.80E-08	3.90E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.6	3.60E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.50E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.60E-08
0.55	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.60E-08	4.60E-08	4.80E-08	4.80E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.60E-08
0.5	3.70E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.10E-08	3.80E-08	3.70E-08
0.45	3.70E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.90E-08	5.10E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
0.4	3.70E-08	4.00E-08	4.40E-08	4.90E-08	5.00E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.30E-08	3.90E-08	3.70E-08
0.35	3.70E-08	4.00E-08	4.50E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.10E-08	5.00E-08	4.30E-08	3.90E-08	3.70E-08
0.3	3.80E-08	4.10E-08	4.60E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.00E-08	4.40E-08	4.00E-08	3.70E-08
0.25	3.80E-08	4.20E-08	4.70E-08	5.20E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.10E-08	4.50E-08	4.00E-08	3.80E-08
0.2	3.80E-08	4.20E-08	4.90E-08	5.30E-08	5.60E-08	5.40E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.10E-08	4.50E-08	4.00E-08	3.80E-08
0.15	3.90E-08	4.30E-08	5.00E-08	5.50E-08	5.60E-08	5.60E-08	5.60E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.20E-08	4.80E-08	4.00E-08	3.80E-08
0.1	3.90E-08	4.30E-08	5.10E-08	5.60E-08	5.70E-08	5.70E-08	5.60E-08	5.50E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.80E-08	4.10E-08	3.80E-08
0.05	4.00E-08	4.50E-08	5.60E-08	5.90E-08	6.10E-08	6.10E-08	5.90E-08	5.80E-08	5.60E-08	5.30E-08	4.80E-08	4.10E-08	3.80E-08
0	4.00E-08	4.50E-08	5.40E-08	5.80E-08	6.10E-08	5.90E-08	5.80E-08	5.70E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.80E-08	4.10E-08	3.80E-08
-0.05	4.00E-08	4.50E-08	5.30E-08	5.70E-08	5.80E-08	5.80E-08	5.80E-08	5.60E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.80E-08	4.10E-08	3.80E-08
-0.1	3.90E-08	4.30E-08	5.10E-08	5.60E-08	5.70E-08	5.70E-08	5.60E-08	5.50E-08	5.50E-08	5.30E-08	4.80E-08	4.10E-08	3.80E-08
-0.15	3.90E-08	4.30E-08	5.00E-08	5.40E-08	5.60E-08	5.60E-08	5.50E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.20E-08	4.80E-08	4.00E-08	3.80E-08
-0.2	3.80E-08	4.20E-08	4.90E-08	5.30E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.50E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.10E-08	4.50E-08	4.00E-08	3.80E-08
-0.25	3.80E-08	4.20E-08	4.70E-08	5.20E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.40E-08	5.30E-08	5.30E-08	5.10E-08	4.50E-08	4.00E-08	3.80E-08
-0.3	3.80E-08	4.10E-08	4.60E-08	5.10E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.30E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.00E-08	4.40E-08	4.00E-08	3.70E-08
-0.35	3.70E-08	4.00E-08	4.50E-08	5.00E-08	5.00E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.20E-08	5.10E-08	5.00E-08	4.30E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.4	3.70E-08	4.00E-08	4.40E-08	4.90E-08	5.00E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.10E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.30E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.45	3.70E-08	3.90E-08	4.30E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.90E-08	5.10E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.5	3.70E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.10E-08	3.80E-08	3.70E-08
-0.55	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.60E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.60E-08
-0.6	3.60E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.65	3.60E-08	3.80E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08
-0.7	3.60E-08	3.70E-08	3.80E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.60E-08

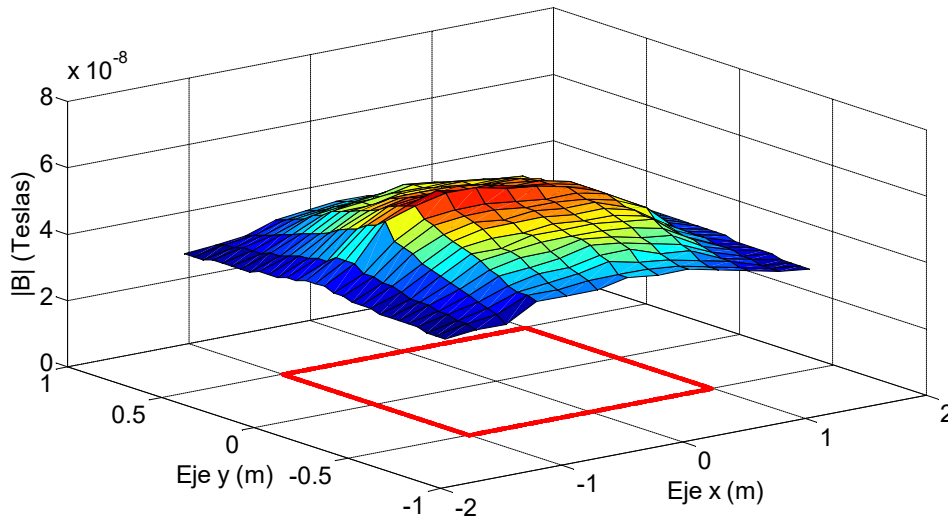


Fig. 3.39 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.50\text{m}$.

Tabla 3.33 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.50 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	7.79E-09	1.24E-08	1.84E-08	2.33E-08	2.60E-08	2.71E-08	2.74E-08	2.71E-08	2.60E-08	2.33E-08	1.84E-08	1.24E-08	7.79E-09
0.65	8.26E-09	1.34E-08	2.02E-08	2.56E-08	2.83E-08	2.94E-08	2.97E-08	2.94E-08	2.83E-08	2.56E-08	2.02E-08	1.34E-08	8.26E-09
0.6	8.73E-09	1.44E-08	2.20E-08	2.79E-08	3.07E-08	3.18E-08	3.20E-08	3.18E-08	3.07E-08	2.79E-08	2.20E-08	1.44E-08	8.73E-09
0.55	9.20E-09	1.55E-08	2.38E-08	3.01E-08	3.30E-08	3.40E-08	3.42E-08	3.40E-08	3.30E-08	3.01E-08	2.38E-08	1.55E-08	9.20E-09
0.5	9.65E-09	1.65E-08	2.55E-08	3.23E-08	3.51E-08	3.60E-08	3.62E-08	3.60E-08	3.51E-08	3.23E-08	2.55E-08	1.65E-08	9.65E-09
0.45	1.01E-08	1.74E-08	2.72E-08	3.42E-08	3.70E-08	3.78E-08	3.80E-08	3.78E-08	3.70E-08	3.42E-08	2.72E-08	1.74E-08	1.01E-08
0.4	1.05E-08	1.83E-08	2.87E-08	3.60E-08	3.87E-08	3.93E-08	3.94E-08	3.93E-08	3.87E-08	3.60E-08	2.87E-08	1.83E-08	1.05E-08
0.35	1.09E-08	1.91E-08	3.00E-08	3.75E-08	4.01E-08	4.06E-08	4.07E-08	4.06E-08	4.01E-08	3.75E-08	3.00E-08	1.91E-08	1.09E-08
0.3	1.12E-08	1.98E-08	3.11E-08	3.87E-08	4.12E-08	4.16E-08	4.16E-08	4.16E-08	4.12E-08	3.87E-08	3.11E-08	1.98E-08	1.12E-08
0.25	1.15E-08	2.04E-08	3.21E-08	3.98E-08	4.21E-08	4.24E-08	4.23E-08	4.24E-08	4.21E-08	3.98E-08	3.21E-08	2.04E-08	1.15E-08
0.2	1.17E-08	2.09E-08	3.28E-08	4.05E-08	4.27E-08	4.29E-08	4.29E-08	4.29E-08	4.27E-08	4.05E-08	3.28E-08	2.09E-08	1.17E-08
0.15	1.19E-08	2.13E-08	3.34E-08	4.11E-08	4.32E-08	4.33E-08	4.32E-08	4.33E-08	4.32E-08	4.11E-08	3.34E-08	2.13E-08	1.19E-08
0.1	1.21E-08	2.15E-08	3.38E-08	4.15E-08	4.35E-08	4.36E-08	4.35E-08	4.36E-08	4.35E-08	4.15E-08	3.38E-08	2.15E-08	1.21E-08
0.05	1.21E-08	2.17E-08	3.40E-08	4.17E-08	4.37E-08	4.37E-08	4.36E-08	4.37E-08	4.37E-08	4.17E-08	3.40E-08	2.17E-08	1.21E-08
0	1.22E-08	2.18E-08	3.41E-08	4.18E-08	4.38E-08	4.38E-08	4.36E-08	4.38E-08	4.38E-08	4.18E-08	3.41E-08	2.18E-08	1.22E-08
-0.05	1.21E-08	2.17E-08	3.40E-08	4.17E-08	4.37E-08	4.37E-08	4.36E-08	4.37E-08	4.37E-08	4.17E-08	3.40E-08	2.17E-08	1.21E-08
-0.1	1.21E-08	2.15E-08	3.38E-08	4.15E-08	4.35E-08	4.36E-08	4.35E-08	4.36E-08	4.35E-08	4.15E-08	3.38E-08	2.15E-08	1.21E-08
-0.15	1.19E-08	2.13E-08	3.34E-08	4.11E-08	4.32E-08	4.33E-08	4.32E-08	4.33E-08	4.32E-08	4.11E-08	3.34E-08	2.13E-08	1.19E-08
-0.2	1.17E-08	2.09E-08	3.28E-08	4.05E-08	4.27E-08	4.29E-08	4.29E-08	4.29E-08	4.27E-08	4.05E-08	3.28E-08	2.09E-08	1.17E-08
-0.25	1.15E-08	2.04E-08	3.21E-08	3.98E-08	4.21E-08	4.24E-08	4.23E-08	4.24E-08	4.21E-08	3.98E-08	3.21E-08	2.04E-08	1.15E-08
-0.3	1.12E-08	1.98E-08	3.11E-08	3.87E-08	4.12E-08	4.16E-08	4.16E-08	4.16E-08	4.12E-08	3.87E-08	3.11E-08	1.98E-08	1.12E-08
-0.35	1.09E-08	1.91E-08	3.00E-08	3.75E-08	4.01E-08	4.06E-08	4.07E-08	4.06E-08	4.01E-08	3.75E-08	3.00E-08	1.91E-08	1.09E-08
-0.4	1.05E-08	1.83E-08	2.87E-08	3.60E-08	3.87E-08	3.93E-08	3.94E-08	3.93E-08	3.87E-08	3.60E-08	2.87E-08	1.83E-08	1.05E-08
-0.45	1.01E-08	1.74E-08	2.72E-08	3.42E-08	3.70E-08	3.78E-08	3.80E-08	3.78E-08	3.70E-08	3.42E-08	2.72E-08	1.74E-08	1.01E-08
-0.5	9.65E-09	1.65E-08	2.55E-08	3.23E-08	3.51E-08	3.60E-08	3.62E-08	3.60E-08	3.51E-08	3.23E-08	2.55E-08	1.65E-08	9.65E-09
-0.55	9.20E-09	1.55E-08	2.38E-08	3.01E-08	3.30E-08	3.40E-08	3.42E-08	3.40E-08	3.30E-08	3.01E-08	2.38E-08	1.55E-08	9.20E-09
-0.6	8.73E-09	1.44E-08	2.20E-08	2.79E-08	3.07E-08	3.18E-08	3.20E-08	3.18E-08	3.07E-08	2.79E-08	2.20E-08	1.44E-08	8.73E-09
-0.65	8.26E-09	1.34E-08	2.02E-08	2.56E-08	2.83E-08	2.94E-08	2.97E-08	2.94E-08	2.83E-08	2.56E-08	2.02E-08	1.34E-08	8.26E-09
-0.7	7.79E-09	1.24E-08	1.84E-08	2.33E-08	2.60E-08	2.71E-08	2.74E-08	2.71E-08	2.60E-08	2.33E-08	1.84E-08	1.24E-08	7.79E-09

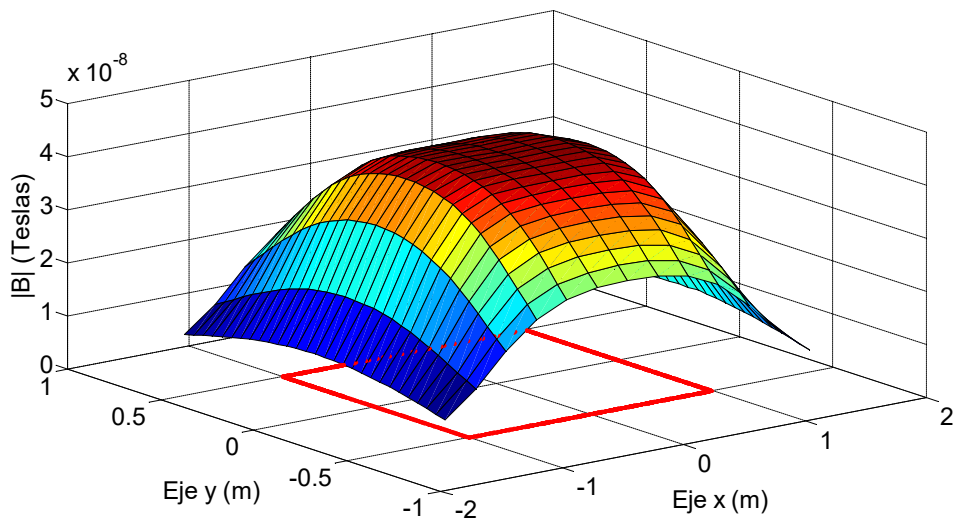


Fig. 3.40 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 0.50 \text{m}$.

Tabla 3.34 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.82E-08	2.46E-08	1.88E-08	1.87E-08	1.60E-08	1.49E-08	1.66E-08	1.59E-08	1.70E-08	1.77E-08	2.06E-08	2.46E-08	2.82E-08
0.65	2.77E-08	2.46E-08	1.88E-08	1.74E-08	1.47E-08	1.46E-08	1.43E-08	1.46E-08	1.47E-08	1.54E-08	1.88E-08	2.36E-08	2.77E-08
0.6	2.73E-08	2.36E-08	1.80E-08	1.51E-08	1.33E-08	1.32E-08	1.50E-08	1.32E-08	1.33E-08	1.41E-08	1.80E-08	2.26E-08	2.73E-08
0.55	2.78E-08	2.35E-08	1.72E-08	1.39E-08	1.30E-08	1.20E-08	1.38E-08	1.40E-08	1.20E-08	1.39E-08	1.62E-08	2.25E-08	2.68E-08
0.5	2.73E-08	2.25E-08	1.65E-08	1.37E-08	1.19E-08	1.20E-08	1.38E-08	1.30E-08	1.19E-08	1.27E-08	1.55E-08	2.15E-08	2.73E-08
0.45	2.69E-08	2.26E-08	1.58E-08	1.28E-08	1.20E-08	1.12E-08	1.30E-08	1.22E-08	1.10E-08	1.28E-08	1.48E-08	2.16E-08	2.69E-08
0.4	2.65E-08	2.17E-08	1.53E-08	1.30E-08	1.13E-08	1.17E-08	1.16E-08	1.17E-08	1.13E-08	1.20E-08	1.43E-08	2.07E-08	2.65E-08
0.35	2.61E-08	2.09E-08	1.50E-08	1.25E-08	9.93E-09	1.14E-08	1.13E-08	1.14E-08	1.09E-08	1.25E-08	1.30E-08	1.99E-08	2.61E-08
0.3	2.68E-08	2.12E-08	1.49E-08	1.23E-08	1.08E-08	1.04E-08	1.14E-08	1.04E-08	1.08E-08	1.13E-08	1.29E-08	2.02E-08	2.58E-08
0.25	2.65E-08	2.16E-08	1.49E-08	1.22E-08	1.19E-08	1.16E-08	1.17E-08	1.06E-08	1.09E-08	1.12E-08	1.29E-08	1.96E-08	2.65E-08
0.2	2.63E-08	2.11E-08	1.62E-08	1.25E-08	1.23E-08	1.11E-08	1.21E-08	1.11E-08	1.13E-08	1.05E-08	1.22E-08	1.91E-08	2.63E-08
0.15	2.71E-08	2.17E-08	1.66E-08	1.39E-08	1.28E-08	1.27E-08	1.18E-08	1.17E-08	1.08E-08	1.09E-08	1.46E-08	1.87E-08	2.61E-08
0.1	2.69E-08	2.15E-08	1.72E-08	1.45E-08	1.35E-08	1.34E-08	1.25E-08	1.14E-08	1.15E-08	1.15E-08	1.42E-08	1.95E-08	2.59E-08
0.05	2.79E-08	2.33E-08	2.20E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.54E-08	1.43E-08	1.23E-08	1.13E-08	1.40E-08	1.93E-08	2.59E-08
0	2.78E-08	2.32E-08	1.99E-08	1.62E-08	1.72E-08	1.52E-08	1.44E-08	1.32E-08	1.12E-08	1.12E-08	1.39E-08	1.92E-08	2.58E-08
-0.05	2.79E-08	2.33E-08	1.90E-08	1.53E-08	1.43E-08	1.43E-08	1.44E-08	1.23E-08	1.13E-08	1.13E-08	1.40E-08	1.93E-08	2.59E-08
-0.1	2.69E-08	2.15E-08	1.72E-08	1.45E-08	1.35E-08	1.34E-08	1.25E-08	1.14E-08	1.15E-08	1.15E-08	1.42E-08	1.95E-08	2.59E-08
-0.15	2.71E-08	2.17E-08	1.66E-08	1.29E-08	1.28E-08	1.27E-08	1.18E-08	1.17E-08	1.08E-08	1.09E-08	1.46E-08	1.87E-08	2.61E-08
-0.2	2.63E-08	2.11E-08	1.62E-08	1.25E-08	1.23E-08	1.11E-08	1.21E-08	1.11E-08	1.13E-08	1.05E-08	1.22E-08	1.91E-08	2.63E-08
-0.25	2.65E-08	2.16E-08	1.49E-08	1.22E-08	1.19E-08	1.16E-08	1.17E-08	1.06E-08	1.09E-08	1.12E-08	1.29E-08	1.96E-08	2.65E-08
-0.3	2.68E-08	2.12E-08	1.49E-08	1.23E-08	1.08E-08	1.04E-08	1.14E-08	1.04E-08	1.08E-08	1.13E-08	1.29E-08	2.02E-08	2.58E-08
-0.35	2.61E-08	2.09E-08	1.50E-08	1.25E-08	9.93E-09	1.14E-08	1.13E-08	1.14E-08	1.09E-08	1.25E-08	1.30E-08	1.99E-08	2.61E-08
-0.4	2.65E-08	2.17E-08	1.53E-08	1.30E-08	1.13E-08	1.17E-08	1.16E-08	1.17E-08	1.13E-08	1.20E-08	1.43E-08	2.07E-08	2.65E-08
-0.45	2.69E-08	2.16E-08	1.58E-08	1.28E-08	1.20E-08	1.12E-08	1.30E-08	1.22E-08	1.10E-08	1.28E-08	1.48E-08	2.16E-08	2.69E-08
-0.5	2.73E-08	2.25E-08	1.65E-08	1.37E-08	1.19E-08	1.20E-08	1.38E-08	1.30E-08	1.19E-08	1.27E-08	1.55E-08	2.15E-08	2.73E-08
-0.55	2.78E-08	2.35E-08	1.72E-08	1.39E-08	1.30E-08	1.20E-08	1.28E-08	1.30E-08	1.20E-08	1.39E-08	1.62E-08	2.25E-08	2.68E-08
-0.6	2.73E-08	2.36E-08	1.80E-08	1.51E-08	1.33E-08	1.32E-08	1.40E-08	1.32E-08	1.33E-08	1.41E-08	1.80E-08	2.26E-08	2.73E-08
-0.65	2.77E-08	2.46E-08	1.88E-08	1.64E-08	1.47E-08	1.46E-08	1.43E-08	1.46E-08	1.47E-08	1.54E-08	1.88E-08	2.36E-08	2.77E-08
-0.7	2.82E-08	2.46E-08	1.96E-08	1.77E-08	1.60E-08	1.59E-08	1.56E-08	1.49E-08	1.60E-08	1.67E-08	2.06E-08	2.46E-08	2.82E-08

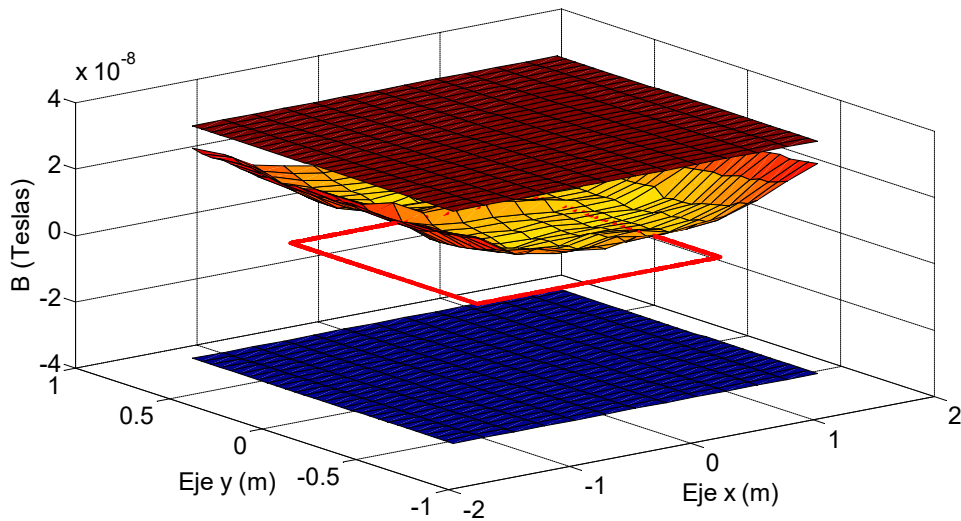


Fig. 3.41 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5k

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.50\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 50mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.35 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.50\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.80E-08	4.60E-08	5.40E-08	6.40E-08	7.00E-08	7.20E-08	7.20E-08	7.20E-08	7.10E-08	6.40E-08	5.50E-08	4.60E-08	3.90E-08
0.65	4.00E-08	4.70E-08	5.70E-08	6.90E-08	7.40E-08	7.70E-08	7.80E-08	7.70E-08	7.50E-08	6.80E-08	5.80E-08	4.70E-08	4.00E-08
0.6	4.10E-08	4.80E-08	6.10E-08	7.40E-08	7.90E-08	8.20E-08	8.20E-08	8.10E-08	8.00E-08	7.20E-08	6.20E-08	4.80E-08	4.00E-08
0.55	4.10E-08	5.00E-08	6.40E-08	8.00E-08	8.40E-08	8.60E-08	8.70E-08	8.80E-08	8.40E-08	7.80E-08	6.50E-08	5.00E-08	4.10E-08
0.5	4.10E-08	5.20E-08	6.90E-08	8.40E-08	8.90E-08	9.20E-08	9.30E-08	9.20E-08	8.90E-08	8.50E-08	6.90E-08	5.10E-08	4.20E-08
0.45	4.20E-08	5.30E-08	7.30E-08	8.70E-08	9.40E-08	9.70E-08	9.70E-08	9.50E-08	9.20E-08	8.60E-08	7.10E-08	5.40E-08	4.20E-08
0.4	4.30E-08	5.50E-08	7.60E-08	9.20E-08	9.80E-08	1.00E-07	1.00E-07	9.90E-08	9.70E-08	9.10E-08	7.50E-08	5.50E-08	4.20E-08
0.35	4.30E-08	5.60E-08	8.00E-08	9.60E-08	1.01E-07	1.03E-07	1.03E-07	1.02E-07	1.01E-07	9.50E-08	7.80E-08	5.70E-08	4.30E-08
0.3	4.40E-08	5.70E-08	8.40E-08	9.80E-08	1.02E-07	1.04E-07	1.04E-07	1.04E-07	1.03E-07	9.60E-08	8.00E-08	5.80E-08	4.40E-08
0.25	4.40E-08	5.80E-08	8.50E-08	1.01E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.06E-07	9.90E-08	8.30E-08	6.00E-08	4.40E-08
0.2	4.50E-08	6.00E-08	8.80E-08	1.05E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.02E-07	8.50E-08	6.00E-08	4.40E-08
0.15	4.50E-08	6.10E-08	8.90E-08	1.05E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.09E-07	1.05E-07	8.90E-08	6.10E-08	4.50E-08
0.1	4.60E-08	6.20E-08	9.10E-08	1.06E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.05E-07	9.00E-08	6.20E-08	4.50E-08
0.05	4.70E-08	6.50E-08	9.30E-08	1.08E-07	1.12E-07	1.11E-07	1.10E-07	1.09E-07	1.10E-07	1.06E-07	9.10E-08	6.30E-08	4.60E-08
0	4.70E-08	6.40E-08	9.20E-08	1.07E-07	1.11E-07	1.10E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.06E-07	9.20E-08	6.30E-08	4.60E-08
-0.05	4.70E-08	6.30E-08	9.20E-08	1.06E-07	1.10E-07	1.10E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.10E-07	1.06E-07	9.10E-08	6.30E-08	4.50E-08
-0.1	4.60E-08	6.20E-08	9.10E-08	1.06E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.08E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.05E-07	9.00E-08	6.20E-08	4.50E-08
-0.15	4.50E-08	6.10E-08	8.90E-08	1.05E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.09E-07	1.04E-07	8.90E-08	6.10E-08	4.50E-08
-0.2	4.50E-08	6.00E-08	8.80E-08	1.03E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.02E-07	8.40E-08	6.00E-08	4.40E-08
-0.25	4.40E-08	5.80E-08	8.50E-08	1.00E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.05E-07	1.05E-07	1.05E-07	1.00E-07	8.20E-08	5.90E-08	4.40E-08
-0.3	4.30E-08	5.70E-08	8.20E-08	9.70E-08	1.02E-07	1.03E-07	1.03E-07	1.03E-07	1.02E-07	9.60E-08	7.90E-08	5.70E-08	4.40E-08
-0.35	4.30E-08	5.50E-08	7.90E-08	9.50E-08	1.01E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.01E-07	1.00E-07	9.50E-08	7.70E-08	5.60E-08	4.30E-08
-0.4	4.30E-08	5.50E-08	7.60E-08	9.10E-08	9.70E-08	9.90E-08	9.90E-08	9.80E-08	9.60E-08	9.10E-08	7.40E-08	5.30E-08	4.20E-08
-0.45	4.20E-08	5.30E-08	7.20E-08	8.70E-08	9.30E-08	9.50E-08	9.50E-08	9.40E-08	9.10E-08	8.70E-08	7.00E-08	5.20E-08	4.20E-08
-0.5	4.10E-08	5.10E-08	6.80E-08	8.30E-08	8.80E-08	9.00E-08	9.10E-08	9.00E-08	8.70E-08	8.50E-08	6.70E-08	5.00E-08	4.20E-08
-0.55	4.10E-08	5.00E-08	6.40E-08	7.80E-08	8.30E-08	8.50E-08	8.60E-08	8.50E-08	8.30E-08	7.70E-08	6.40E-08	4.90E-08	4.10E-08
-0.6	4.00E-08	4.80E-08	6.00E-08	7.30E-08	7.80E-08	8.10E-08	8.10E-08	8.00E-08	7.90E-08	7.20E-08	6.10E-08	4.70E-08	4.00E-08
-0.65	4.00E-08	4.70E-08	5.60E-08	6.80E-08	7.30E-08	7.60E-08	7.60E-08	7.60E-08	7.40E-08	6.70E-08	5.70E-08	4.60E-08	4.00E-08
-0.7	3.90E-08	4.50E-08	5.30E-08	6.30E-08	6.80E-08	7.10E-08	7.20E-08	7.10E-08	6.90E-08	6.30E-08	5.40E-08	4.50E-08	3.90E-08

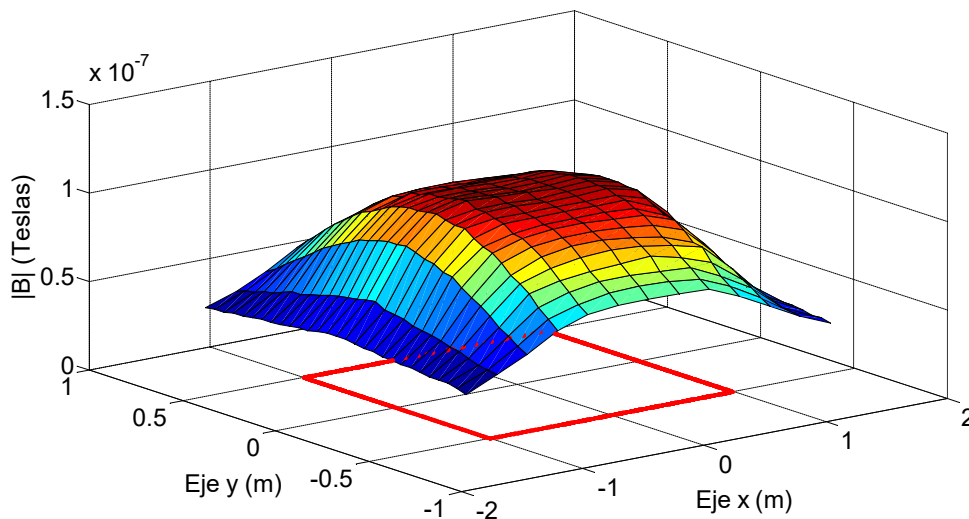


Fig. 3.42 $|B|$ medido para una espira de $2\text{x}1\text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.50\text{m}$.

Tabla 3.36 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.50 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.95E-08	3.11E-08	4.60E-08	5.83E-08	6.49E-08	6.77E-08	6.84E-08	6.77E-08	6.49E-08	5.83E-08	4.60E-08	3.11E-08	1.95E-08
0.65	2.06E-08	3.36E-08	5.04E-08	6.39E-08	7.08E-08	7.36E-08	7.43E-08	7.36E-08	7.08E-08	6.39E-08	5.04E-08	3.36E-08	2.06E-08
0.6	2.18E-08	3.61E-08	5.49E-08	6.97E-08	7.68E-08	7.94E-08	8.01E-08	7.94E-08	7.68E-08	6.97E-08	5.49E-08	3.61E-08	2.18E-08
0.55	2.30E-08	3.87E-08	5.94E-08	7.53E-08	8.25E-08	8.49E-08	8.55E-08	8.49E-08	8.25E-08	7.53E-08	5.94E-08	3.87E-08	2.30E-08
0.5	2.41E-08	4.11E-08	6.38E-08	8.07E-08	8.78E-08	9.00E-08	9.05E-08	9.00E-08	8.78E-08	8.07E-08	6.38E-08	4.11E-08	2.41E-08
0.45	2.52E-08	4.35E-08	6.79E-08	8.56E-08	9.26E-08	9.45E-08	9.49E-08	9.45E-08	9.26E-08	8.56E-08	6.79E-08	4.35E-08	2.52E-08
0.4	2.62E-08	4.57E-08	7.16E-08	9.00E-08	9.67E-08	9.84E-08	9.86E-08	9.84E-08	9.67E-08	9.00E-08	7.16E-08	4.57E-08	2.62E-08
0.35	2.72E-08	4.77E-08	7.50E-08	9.37E-08	1.00E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	9.37E-08	7.50E-08	4.77E-08	2.72E-08
0.3	2.80E-08	4.95E-08	7.78E-08	9.69E-08	1.03E-07	1.04E-07	1.04E-07	1.04E-07	1.03E-07	9.69E-08	7.78E-08	4.95E-08	2.80E-08
0.25	2.87E-08	5.10E-08	8.02E-08	9.94E-08	1.05E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.05E-07	9.94E-08	8.02E-08	5.10E-08	2.87E-08
0.2	2.93E-08	5.22E-08	8.21E-08	1.01E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.01E-07	8.21E-08	5.22E-08	2.93E-08
0.15	2.98E-08	5.32E-08	8.35E-08	1.03E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.03E-07	8.35E-08	5.32E-08	2.98E-08
0.1	3.02E-08	5.39E-08	8.45E-08	1.04E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.04E-07	8.45E-08	5.39E-08	3.02E-08
0.05	3.04E-08	5.43E-08	8.51E-08	1.04E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.04E-07	8.51E-08	5.43E-08	3.04E-08
0	3.04E-08	5.44E-08	8.53E-08	1.05E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.05E-07	8.53E-08	5.44E-08	3.04E-08
-0.05	3.04E-08	5.43E-08	8.51E-08	1.04E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.04E-07	8.51E-08	5.43E-08	3.04E-08
-0.1	3.02E-08	5.39E-08	8.45E-08	1.04E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.09E-07	1.04E-07	8.45E-08	5.39E-08	3.02E-08
-0.15	2.98E-08	5.32E-08	8.35E-08	1.03E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.08E-07	1.03E-07	8.35E-08	5.32E-08	2.98E-08
-0.2	2.93E-08	5.22E-08	8.21E-08	1.01E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.07E-07	1.01E-07	8.21E-08	5.22E-08	2.93E-08
-0.25	2.87E-08	5.10E-08	8.02E-08	9.94E-08	1.05E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.06E-07	1.05E-07	9.94E-08	8.02E-08	5.10E-08	2.87E-08
-0.3	2.80E-08	4.95E-08	7.78E-08	9.69E-08	1.03E-07	1.04E-07	1.04E-07	1.04E-07	1.03E-07	9.69E-08	7.78E-08	4.95E-08	2.80E-08
-0.35	2.72E-08	4.77E-08	7.50E-08	9.37E-08	1.00E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.00E-07	9.37E-08	7.50E-08	4.77E-08	2.72E-08
-0.4	2.62E-08	4.57E-08	7.16E-08	9.00E-08	9.67E-08	9.84E-08	9.86E-08	9.84E-08	9.67E-08	9.00E-08	7.16E-08	4.57E-08	2.62E-08
-0.45	2.52E-08	4.35E-08	6.79E-08	8.56E-08	9.26E-08	9.45E-08	9.49E-08	9.45E-08	9.26E-08	8.56E-08	6.79E-08	4.35E-08	2.52E-08
-0.5	2.41E-08	4.11E-08	6.38E-08	8.07E-08	8.78E-08	9.00E-08	9.05E-08	9.00E-08	8.78E-08	8.07E-08	6.38E-08	4.11E-08	2.41E-08
-0.55	2.30E-08	3.87E-08	5.94E-08	7.53E-08	8.25E-08	8.49E-08	8.55E-08	8.49E-08	8.25E-08	7.53E-08	5.94E-08	3.87E-08	2.30E-08
-0.6	2.18E-08	3.61E-08	5.49E-08	6.97E-08	7.68E-08	7.94E-08	8.01E-08	7.94E-08	7.68E-08	6.97E-08	5.49E-08	3.61E-08	2.18E-08
-0.65	2.06E-08	3.36E-08	5.04E-08	6.39E-08	7.08E-08	7.36E-08	7.43E-08	7.36E-08	7.08E-08	6.39E-08	5.04E-08	3.36E-08	2.06E-08
-0.7	1.95E-08	3.11E-08	4.60E-08	5.83E-08	6.49E-08	6.77E-08	6.84E-08	6.77E-08	6.49E-08	5.83E-08	4.60E-08	3.11E-08	1.95E-08

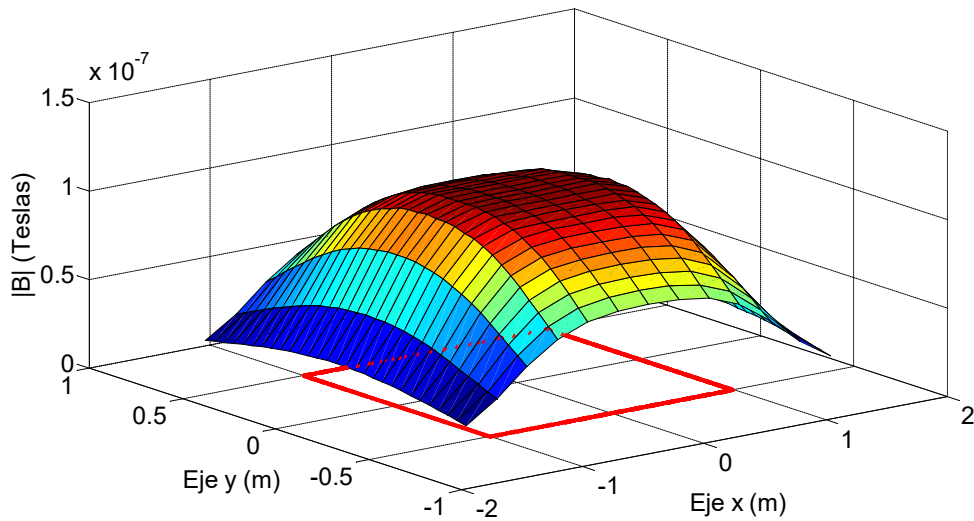


Fig. 3.43 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 0.50 \text{m}$.

Tabla 3.37 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.50m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.85E-08	1.49E-08	7.99E-09	5.72E-09	5.12E-09	4.32E-09	3.57E-09	4.32E-09	6.12E-09	5.72E-09	8.99E-09	1.49E-08	1.95E-08
0.65	1.94E-08	1.34E-08	6.59E-09	5.06E-09	3.17E-09	3.41E-09	3.69E-09	3.41E-09	4.17E-09	4.06E-09	7.59E-09	1.34E-08	1.94E-08
0.6	1.92E-08	1.19E-08	6.08E-09	4.33E-09	2.24E-09	2.60E-09	1.94E-09	1.60E-09	3.24E-09	2.33E-09	7.08E-09	1.19E-08	1.82E-08
0.55	1.80E-08	1.13E-08	4.57E-09	4.70E-09	1.53E-09	1.06E-09	1.49E-09	3.06E-09	1.53E-09	2.70E-09	5.57E-09	1.13E-08	1.80E-08
0.5	1.69E-08	1.09E-08	5.21E-09	3.34E-09	1.21E-09	1.98E-09	2.50E-09	1.98E-09	1.21E-09	4.34E-09	5.21E-09	9.86E-09	1.79E-08
0.45	1.68E-08	9.49E-09	5.10E-09	1.42E-09	1.43E-09	2.48E-09	2.11E-09	4.79E-10	-5.66E-10	4.16E-10	3.10E-09	1.05E-08	1.68E-08
0.4	1.68E-08	9.29E-09	4.35E-09	2.04E-09	1.29E-09	1.65E-09	1.39E-09	6.45E-10	2.88E-10	1.04E-09	3.35E-09	9.29E-09	1.68E-08
0.35	1.58E-08	8.29E-09	5.04E-09	2.27E-09	8.20E-10	1.50E-09	1.36E-09	5.00E-10	8.20E-10	1.27E-09	3.04E-09	9.29E-09	1.58E-08
0.3	1.60E-08	7.53E-09	6.19E-09	1.14E-09	-9.90E-10	1.00E-11	-2.00E-11	1.00E-11	1.00E-11	-8.60E-10	2.19E-09	8.53E-09	1.60E-08
0.25	1.53E-08	7.02E-09	4.83E-09	1.62E-09	8.10E-10	1.00E-10	1.80E-10	1.00E-10	8.10E-10	-3.83E-10	2.83E-09	9.02E-09	1.53E-08
0.2	1.57E-08	7.79E-09	5.95E-09	3.66E-09	1.60E-10	-3.00E-10	-1.30E-10	-3.00E-10	1.60E-10	6.60E-10	2.95E-09	7.79E-09	1.47E-08
0.15	1.52E-08	7.83E-09	5.52E-09	2.21E-09	9.60E-10	7.20E-10	-4.00E-11	-2.80E-10	9.60E-10	2.21E-09	5.52E-09	7.83E-09	1.52E-08
0.1	1.58E-08	8.14E-09	6.52E-09	2.22E-09	1.60E-10	8.00E-11	-6.30E-11	8.00E-11	1.60E-10	1.22E-09	5.52E-09	8.14E-09	1.48E-08
0.05	1.66E-08	1.07E-08	7.93E-09	3.65E-09	2.71E-09	1.71E-09	1.04E-09	-2.90E-10	7.10E-10	1.65E-09	5.93E-09	8.73E-09	1.66E-08
0	1.66E-08	9.59E-09	6.74E-09	2.46E-09	1.56E-09	6.00E-10	-7.00E-11	-4.00E-10	5.60E-10	1.46E-09	6.74E-09	8.59E-09	1.66E-08
-0.05	1.66E-08	8.73E-09	6.93E-09	1.65E-09	7.10E-10	7.10E-10	4.00E-11	-2.90E-10	7.10E-10	1.65E-09	5.93E-09	8.73E-09	1.46E-08
-0.1	1.58E-08	8.14E-09	6.52E-09	2.22E-09	1.60E-10	8.00E-11	-6.30E-11	8.00E-11	1.60E-10	1.22E-09	5.52E-09	8.14E-09	1.48E-08
-0.15	1.52E-08	7.83E-09	5.52E-09	2.21E-09	9.60E-10	7.20E-10	-4.00E-11	-2.80E-10	9.60E-10	1.21E-09	5.52E-09	7.83E-09	1.52E-08
-0.2	1.57E-08	7.79E-09	5.95E-09	1.66E-09	1.60E-10	-3.00E-10	-1.30E-10	-3.00E-10	1.60E-10	6.60E-10	1.95E-09	7.79E-09	1.47E-08
-0.25	1.53E-08	7.02E-09	4.83E-09	6.17E-10	8.10E-10	1.00E-10	-8.20E-10	-9.00E-10	-1.90E-10	6.17E-10	1.83E-09	8.02E-09	1.53E-08
-0.3	1.50E-08	7.53E-09	4.19E-09	1.40E-10	-9.90E-10	-9.90E-10	-1.02E-09	-9.90E-10	-9.90E-10	-8.60E-10	1.19E-09	7.53E-09	1.60E-08
-0.35	1.58E-08	7.29E-09	4.04E-09	1.27E-09	8.20E-10	5.00E-10	3.60E-10	-5.00E-10	-1.80E-10	1.27E-09	2.04E-09	8.29E-09	1.58E-08
-0.4	1.68E-08	9.29E-09	4.35E-09	1.04E-09	2.88E-10	6.45E-10	3.93E-10	-3.55E-10	-7.12E-10	1.04E-09	2.35E-09	7.29E-09	1.68E-08
-0.45	1.68E-08	9.49E-09	4.10E-09	1.42E-09	4.34E-10	4.79E-10	1.10E-10	-5.21E-10	-1.57E-09	1.42E-09	2.10E-09	8.49E-09	1.68E-08
-0.5	1.69E-08	9.86E-09	4.21E-09	2.34E-09	2.14E-10	-2.30E-11	4.99E-10	-2.30E-11	-7.86E-10	4.34E-09	3.21E-09	8.86E-09	1.79E-08
-0.55	1.80E-08	1.13E-08	4.57E-09	2.70E-09	5.33E-10	6.10E-11	4.86E-10	6.10E-11	5.33E-10	1.70E-09	4.57E-09	1.03E-08	1.80E-08
-0.6	1.82E-08	1.19E-08	5.08E-09	3.33E-09	1.24E-09	1.60E-09	9.41E-10	5.96E-10	2.24E-09	2.33E-09	6.08E-09	1.09E-08	1.82E-08
-0.65	1.94E-08	1.34E-08	5.59E-09	4.06E-09	2.17E-09	2.41E-09	1.69E-09	2.41E-09	3.17E-09	3.06E-09	6.59E-09	1.24E-08	1.94E-08
-0.7	1.95E-08	1.39E-08	6.99E-09	4.72E-09	3.12E-09	3.32E-09	3.57E-09	3.32E-09	4.12E-09	4.72E-09	7.99E-09	1.39E-08	1.95E-08

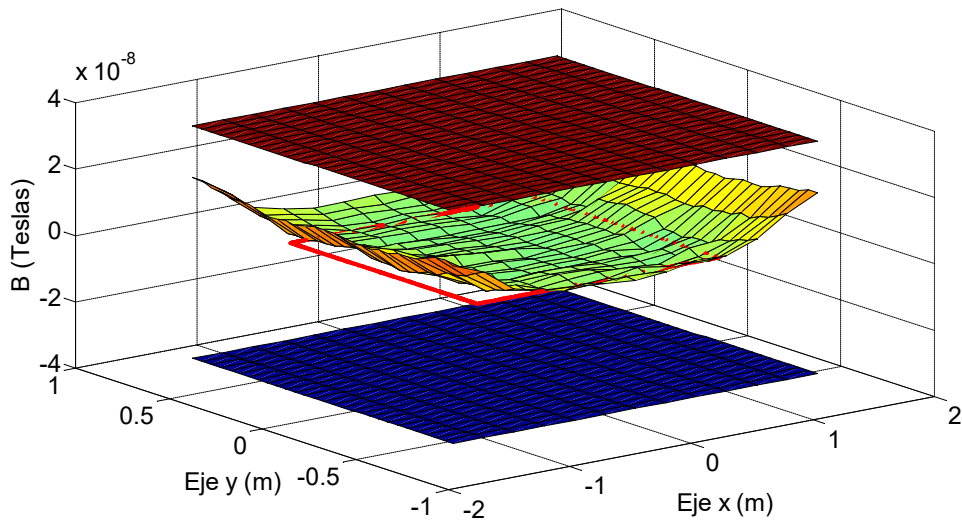


Fig. 3.44 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5I

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 0.50\text{m}$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de 100mA , haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.38 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.50\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	5.00E-08	6.80E-08	9.20E-08	1.16E-07	1.27E-07	1.32E-07	1.31E-07	1.32E-07	1.24E-07	1.13E-07	9.30E-08	6.60E-08	5.00E-08
0.65	5.20E-08	7.10E-08	1.03E-07	1.26E-07	1.38E-07	1.40E-07	1.40E-07	1.39E-07	1.34E-07	1.20E-07	9.80E-08	7.00E-08	5.10E-08
0.6	5.20E-08	7.60E-08	1.09E-07	1.35E-07	1.48E-07	1.51E-07	1.50E-07	1.50E-07	1.44E-07	1.30E-07	1.08E-07	7.40E-08	5.30E-08
0.55	5.40E-08	7.90E-08	1.19E-07	1.46E-07	1.57E-07	1.60E-07	1.62E-07	1.58E-07	1.55E-07	1.40E-07	1.14E-07	7.70E-08	5.50E-08
0.5	5.50E-08	8.50E-08	1.27E-07	1.56E-07	1.68E-07	1.70E-07	1.72E-07	1.72E-07	1.64E-07	1.51E-07	1.21E-07	8.20E-08	5.70E-08
0.45	5.70E-08	8.80E-08	1.33E-07	1.65E-07	1.77E-07	1.81E-07	1.83E-07	1.81E-07	1.75E-07	1.61E-07	1.27E-07	8.30E-08	5.80E-08
0.4	5.90E-08	9.20E-08	1.43E-07	1.73E-07	1.82E-07	1.87E-07	1.89E-07	1.87E-07	1.84E-07	1.71E-07	1.35E-07	8.80E-08	5.90E-08
0.35	6.00E-08	9.30E-08	1.49E-07	1.82E-07	1.92E-07	1.93E-07	1.94E-07	1.93E-07	1.92E-07	1.79E-07	1.40E-07	9.40E-08	6.10E-08
0.3	6.10E-08	9.70E-08	1.53E-07	1.84E-07	1.95E-07	1.96E-07	1.96E-07	1.96E-07	1.94E-07	1.83E-07	1.46E-07	9.80E-08	6.30E-08
0.25	6.30E-08	1.02E-07	1.58E-07	1.92E-07	2.01E-07	2.02E-07	2.01E-07	2.00E-07	2.00E-07	1.91E-07	1.53E-07	1.01E-07	6.40E-08
0.2	6.40E-08	1.03E-07	1.63E-07	1.95E-07	2.04E-07	2.04E-07	2.05E-07	2.03E-07	2.03E-07	1.95E-07	1.58E-07	1.03E-07	6.40E-08
0.15	6.50E-08	1.06E-07	1.65E-07	1.99E-07	2.08E-07	2.07E-07	2.06E-07	2.06E-07	2.07E-07	1.99E-07	1.67E-07	1.05E-07	6.50E-08
0.1	6.60E-08	1.08E-07	1.69E-07	2.00E-07	2.10E-07	2.08E-07	2.06E-07	2.07E-07	2.08E-07	2.01E-07	1.69E-07	1.07E-07	6.50E-08
0.05	6.80E-08	1.09E-07	1.70E-07	2.04E-07	2.12E-07	2.10E-07	2.08E-07	2.08E-07	2.10E-07	2.03E-07	1.70E-07	1.09E-07	6.60E-08
0	6.80E-08	1.08E-07	1.69E-07	2.04E-07	2.12E-07	2.10E-07	2.08E-07	2.08E-07	2.10E-07	2.03E-07	1.70E-07	1.09E-07	6.60E-08
-0.05	6.70E-08	1.08E-07	1.70E-07	2.02E-07	2.11E-07	2.09E-07	2.07E-07	2.07E-07	2.10E-07	2.02E-07	1.69E-07	1.08E-07	6.60E-08
-0.1	6.60E-08	1.07E-07	1.69E-07	2.00E-07	2.10E-07	2.08E-07	2.06E-07	2.07E-07	2.08E-07	2.01E-07	1.69E-07	1.07E-07	6.50E-08
-0.15	6.50E-08	1.06E-07	1.65E-07	1.99E-07	2.08E-07	2.07E-07	2.05E-07	2.06E-07	2.07E-07	1.99E-07	1.67E-07	1.05E-07	6.50E-08
-0.2	6.40E-08	1.03E-07	1.63E-07	1.94E-07	2.04E-07	2.04E-07	2.02E-07	2.03E-07	2.03E-07	1.95E-07	1.57E-07	1.03E-07	6.40E-08
-0.25	6.30E-08	1.01E-07	1.58E-07	1.90E-07	2.00E-07	2.01E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	1.91E-07	1.52E-07	1.00E-07	6.30E-08
-0.3	6.10E-08	9.70E-08	1.53E-07	1.84E-07	1.94E-07	1.95E-07	1.95E-07	1.95E-07	1.93E-07	1.83E-07	1.45E-07	9.70E-08	6.20E-08
-0.35	6.00E-08	9.30E-08	1.49E-07	1.80E-07	1.90E-07	1.92E-07	1.93E-07	1.92E-07	1.90E-07	1.79E-07	1.39E-07	9.30E-08	6.00E-08
-0.4	5.80E-08	9.20E-08	1.43E-07	1.72E-07	1.83E-07	1.86E-07	1.87E-07	1.86E-07	1.83E-07	1.71E-07	1.34E-07	8.70E-08	5.80E-08
-0.45	5.70E-08	8.80E-08	1.33E-07	1.64E-07	1.75E-07	1.79E-07	1.81E-07	1.79E-07	1.73E-07	1.61E-07	1.25E-07	8.40E-08	5.70E-08
-0.5	5.50E-08	8.40E-08	1.25E-07	1.54E-07	1.65E-07	1.69E-07	1.71E-07	1.70E-07	1.63E-07	1.49E-07	1.20E-07	8.00E-08	5.60E-08
-0.55	5.30E-08	7.90E-08	1.17E-07	1.44E-07	1.56E-07	1.59E-07	1.59E-07	1.57E-07	1.53E-07	1.39E-07	1.12E-07	7.60E-08	5.40E-08
-0.6	5.20E-08	7.50E-08	1.08E-07	1.34E-07	1.45E-07	1.50E-07	1.49E-07	1.47E-07	1.43E-07	1.29E-07	1.05E-07	7.30E-08	5.20E-08
-0.65	5.10E-08	7.10E-08	1.01E-07	1.24E-07	1.35E-07	1.39E-07	1.39E-07	1.37E-07	1.33E-07	1.19E-07	9.70E-08	6.90E-08	5.10E-08
-0.7	4.90E-08	6.70E-08	9.10E-08	1.14E-07	1.25E-07	1.30E-07	1.30E-07	1.29E-07	1.23E-07	1.11E-07	9.00E-08	6.50E-08	4.90E-08

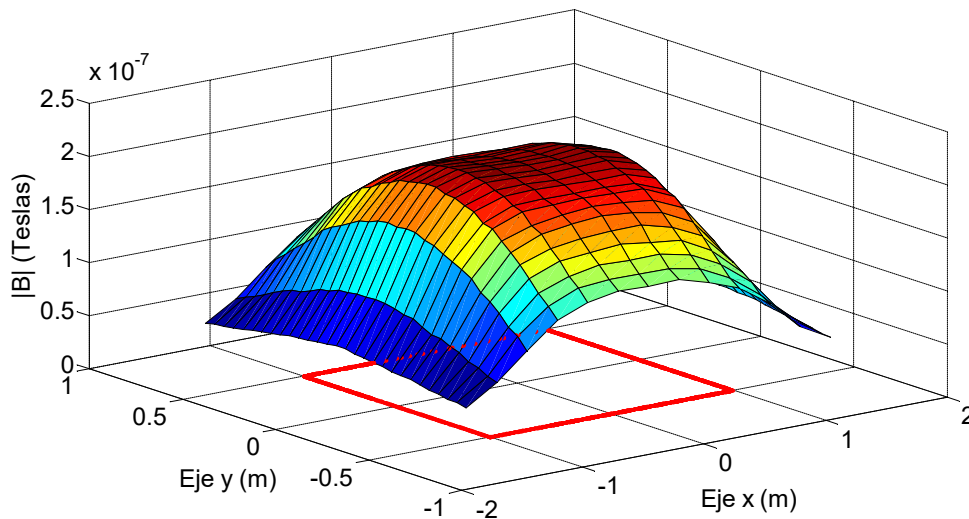


Fig. 3.45 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1\text{m}$, alimentada con 100mA y $z = 0.50\text{m}$.

Tabla 3.39 $|B|$ calculado para una espira de 2×1 m, alimentada con 100mA y $z = 0.50\text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.89E-08	6.22E-08	9.20E-08	1.17E-07	1.30E-07	1.35E-07	1.37E-07	1.35E-07	1.30E-07	1.17E-07	9.20E-08	6.22E-08	3.89E-08
0.65	4.13E-08	6.72E-08	1.01E-07	1.28E-07	1.42E-07	1.47E-07	1.49E-07	1.47E-07	1.42E-07	1.28E-07	1.01E-07	6.72E-08	4.13E-08
0.6	4.37E-08	7.22E-08	1.10E-07	1.39E-07	1.54E-07	1.59E-07	1.60E-07	1.59E-07	1.54E-07	1.39E-07	1.10E-07	7.22E-08	4.37E-08
0.55	4.60E-08	7.73E-08	1.19E-07	1.51E-07	1.65E-07	1.70E-07	1.71E-07	1.70E-07	1.65E-07	1.51E-07	1.19E-07	7.73E-08	4.60E-08
0.5	4.83E-08	8.23E-08	1.28E-07	1.61E-07	1.76E-07	1.80E-07	1.81E-07	1.80E-07	1.76E-07	1.61E-07	1.28E-07	8.23E-08	4.83E-08
0.45	5.04E-08	8.70E-08	1.36E-07	1.71E-07	1.85E-07	1.89E-07	1.90E-07	1.89E-07	1.85E-07	1.71E-07	1.36E-07	8.70E-08	5.04E-08
0.4	5.25E-08	9.14E-08	1.43E-07	1.80E-07	1.93E-07	1.97E-07	1.97E-07	1.97E-07	1.93E-07	1.80E-07	1.43E-07	9.14E-08	5.25E-08
0.35	5.43E-08	9.54E-08	1.50E-07	1.87E-07	2.00E-07	2.03E-07	2.03E-07	2.03E-07	2.00E-07	1.87E-07	1.50E-07	9.54E-08	5.43E-08
0.3	5.60E-08	9.89E-08	1.56E-07	1.94E-07	2.06E-07	2.08E-07	2.08E-07	2.08E-07	2.06E-07	1.94E-07	1.56E-07	9.89E-08	5.60E-08
0.25	5.75E-08	1.02E-07	1.60E-07	1.99E-07	2.10E-07	2.12E-07	2.12E-07	2.12E-07	2.10E-07	1.99E-07	1.60E-07	1.02E-07	5.75E-08
0.2	5.87E-08	1.04E-07	1.64E-07	2.03E-07	2.14E-07	2.15E-07	2.14E-07	2.15E-07	2.14E-07	2.03E-07	1.64E-07	1.04E-07	5.87E-08
0.15	5.96E-08	1.06E-07	1.67E-07	2.06E-07	2.16E-07	2.17E-07	2.16E-07	2.17E-07	2.16E-07	2.06E-07	1.67E-07	1.06E-07	5.96E-08
0.1	6.03E-08	1.08E-07	1.69E-07	2.08E-07	2.18E-07	2.18E-07	2.17E-07	2.18E-07	2.18E-07	2.08E-07	1.69E-07	1.08E-07	6.03E-08
0.05	6.07E-08	1.09E-07	1.70E-07	2.09E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.18E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.09E-07	1.70E-07	1.09E-07	6.07E-08
0	6.09E-08	1.09E-07	1.71E-07	2.09E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.18E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.09E-07	1.71E-07	1.09E-07	6.09E-08
-0.05	6.07E-08	1.09E-07	1.70E-07	2.09E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.18E-07	2.19E-07	2.19E-07	2.09E-07	1.70E-07	1.09E-07	6.07E-08
-0.1	6.03E-08	1.08E-07	1.69E-07	2.08E-07	2.18E-07	2.18E-07	2.17E-07	2.18E-07	2.18E-07	2.08E-07	1.69E-07	1.08E-07	6.03E-08
-0.15	5.96E-08	1.06E-07	1.67E-07	2.06E-07	2.16E-07	2.17E-07	2.16E-07	2.17E-07	2.16E-07	2.06E-07	1.67E-07	1.06E-07	5.96E-08
-0.2	5.87E-08	1.04E-07	1.64E-07	2.03E-07	2.14E-07	2.15E-07	2.14E-07	2.15E-07	2.14E-07	2.03E-07	1.64E-07	1.04E-07	5.87E-08
-0.25	5.75E-08	1.02E-07	1.60E-07	1.99E-07	2.10E-07	2.12E-07	2.12E-07	2.12E-07	2.10E-07	1.99E-07	1.60E-07	1.02E-07	5.75E-08
-0.3	5.60E-08	9.89E-08	1.56E-07	1.94E-07	2.06E-07	2.08E-07	2.08E-07	2.08E-07	2.06E-07	1.94E-07	1.56E-07	9.89E-08	5.60E-08
-0.35	5.43E-08	9.54E-08	1.50E-07	1.87E-07	2.00E-07	2.03E-07	2.03E-07	2.03E-07	2.00E-07	1.87E-07	1.50E-07	9.54E-08	5.43E-08
-0.4	5.25E-08	9.14E-08	1.43E-07	1.80E-07	1.93E-07	1.97E-07	1.97E-07	1.97E-07	1.93E-07	1.80E-07	1.43E-07	9.14E-08	5.25E-08
-0.45	5.04E-08	8.70E-08	1.36E-07	1.71E-07	1.85E-07	1.89E-07	1.90E-07	1.89E-07	1.85E-07	1.71E-07	1.36E-07	8.70E-08	5.04E-08
-0.5	4.83E-08	8.23E-08	1.28E-07	1.61E-07	1.76E-07	1.80E-07	1.81E-07	1.80E-07	1.76E-07	1.61E-07	1.28E-07	8.23E-08	4.83E-08
-0.55	4.60E-08	7.73E-08	1.19E-07	1.51E-07	1.65E-07	1.70E-07	1.71E-07	1.70E-07	1.65E-07	1.51E-07	1.19E-07	7.73E-08	4.60E-08
-0.6	4.37E-08	7.22E-08	1.10E-07	1.39E-07	1.54E-07	1.59E-07	1.60E-07	1.59E-07	1.54E-07	1.39E-07	1.10E-07	7.22E-08	4.37E-08
-0.65	4.13E-08	6.72E-08	1.01E-07	1.28E-07	1.42E-07	1.47E-07	1.49E-07	1.47E-07	1.42E-07	1.28E-07	1.01E-07	6.72E-08	4.13E-08
-0.7	3.89E-08	6.22E-08	9.20E-08	1.17E-07	1.30E-07	1.35E-07	1.37E-07	1.35E-07	1.30E-07	1.17E-07	9.20E-08	6.22E-08	3.89E-08

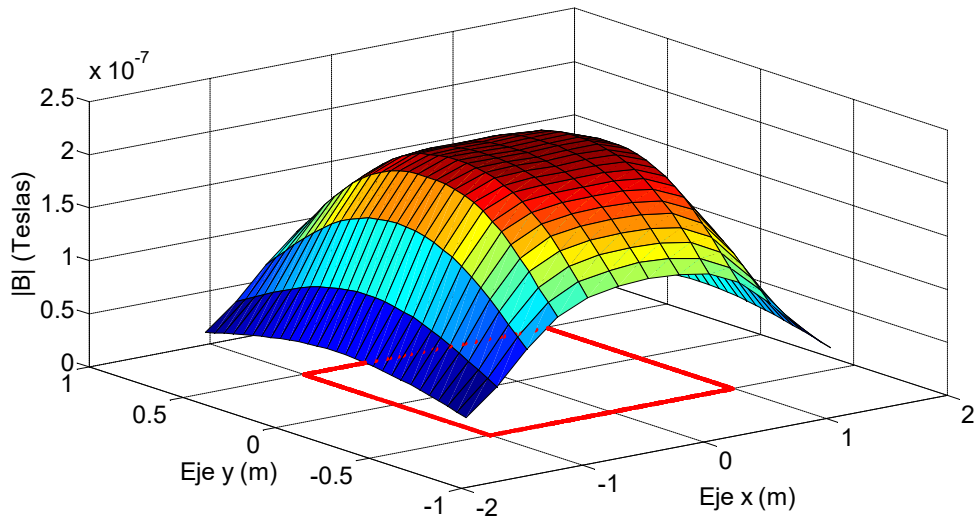


Fig. 3.46 $|B|$ calculado para una espira de 2×1 m, alimentada con 100mA y $z = 0.50\text{m}$.

Tabla 3.40 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.50m

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.11E-08	5.84E-09	-2.80E-11	-5.50E-10	-2.76E-09	-3.36E-09	-5.87E-09	-3.36E-09	-5.76E-09	-3.55E-09	9.72E-10	3.84E-09	1.11E-08
0.65	1.07E-08	3.85E-09	2.17E-09	-1.88E-09	-3.67E-09	-7.18E-09	-8.61E-09	-8.18E-09	-7.67E-09	-7.88E-09	-2.83E-09	2.85E-09	9.70E-09
0.6	8.34E-09	3.76E-09	-8.50E-10	-4.35E-09	-7.52E-09	-7.81E-09	-1.01E-08	-8.81E-09	-9.52E-09	-9.35E-09	-1.85E-09	1.76E-09	9.34E-09
0.55	8.01E-09	1.69E-09	1.50E-10	-4.61E-09	-7.93E-09	-9.88E-09	-9.03E-09	-1.19E-08	-9.93E-09	-1.06E-08	-4.85E-09	-3.14E-10	9.01E-09
0.5	6.73E-09	2.72E-09	-5.80E-10	-5.32E-09	-9.57E-09	-1.01E-08	-9.00E-09	-8.05E-09	-1.16E-08	-1.03E-08	-6.58E-09	-2.76E-10	8.73E-09
0.45	6.56E-09	9.88E-10	-2.80E-09	-6.17E-09	-8.13E-09	-8.04E-09	-6.78E-09	-8.04E-09	-1.01E-08	-1.02E-08	-8.80E-09	-4.01E-09	7.56E-09
0.4	6.52E-09	5.79E-10	-3.00E-10	-6.92E-09	-1.14E-08	-9.71E-09	-8.21E-09	-9.71E-09	-9.42E-09	-8.92E-09	-8.30E-09	-3.42E-09	6.52E-09
0.35	5.66E-09	-2.42E-09	-9.30E-10	-5.45E-09	-8.37E-09	-1.00E-08	-9.27E-09	-1.00E-08	-8.37E-09	-8.45E-09	-9.93E-09	-1.42E-09	6.66E-09
0.3	4.99E-09	-1.95E-09	-2.61E-09	-9.72E-09	-1.10E-08	-1.20E-08	-1.20E-08	-1.20E-08	-1.20E-08	-1.07E-08	-9.61E-09	-9.45E-10	6.99E-09
0.25	5.54E-09	4.00E-11	-2.33E-09	-6.77E-09	-9.38E-09	-9.79E-09	-1.06E-08	-1.18E-08	-1.04E-08	-7.77E-09	-7.33E-09	-9.60E-10	6.54E-09
0.2	5.34E-09	-1.43E-09	-1.10E-09	-7.68E-09	-9.69E-09	-1.06E-08	-1.23E-08	-1.16E-08	-1.07E-08	-7.68E-09	-6.10E-09	-1.43E-09	5.34E-09
0.15	5.38E-09	-3.50E-10	-1.96E-09	-6.58E-09	-8.08E-09	-9.56E-09	-1.11E-08	-1.06E-08	-9.08E-09	-6.58E-09	4.00E-11	-1.35E-09	5.38E-09
0.1	5.70E-09	2.80E-10	4.00E-11	-7.56E-09	-7.67E-09	-9.85E-09	-1.13E-08	-1.09E-08	-9.67E-09	-6.56E-09	4.00E-11	-7.20E-10	4.70E-09
0.05	7.28E-09	4.60E-10	-1.40E-10	-4.71E-09	-6.68E-09	-8.57E-09	-9.92E-09	-1.06E-08	-8.88E-09	-5.71E-09	-1.40E-10	4.60E-10	5.28E-09
0	7.15E-09	-8.10E-10	-1.53E-09	-5.09E-09	-6.88E-09	-8.80E-09	-1.01E-08	-1.08E-08	-8.88E-09	-6.09E-09	-5.30E-10	1.90E-10	5.15E-09
-0.05	6.28E-09	-5.40E-10	-1.40E-10	-6.71E-09	-7.58E-09	-9.57E-09	-1.09E-08	-1.16E-08	-8.88E-09	-6.71E-09	-1.14E-09	-5.40E-10	5.28E-09
-0.1	5.70E-09	-7.20E-10	4.00E-11	-7.56E-09	-7.67E-09	-9.85E-09	-1.13E-08	-1.09E-08	-9.67E-09	-6.56E-09	4.00E-11	-7.20E-10	4.70E-09
-0.15	5.38E-09	-3.50E-10	-1.96E-09	-6.58E-09	-8.08E-09	-9.56E-09	-1.11E-08	-1.06E-08	-9.08E-09	-6.58E-09	4.00E-11	-1.35E-09	5.38E-09
-0.2	5.34E-09	-1.43E-09	-1.10E-09	-8.68E-09	-9.69E-09	-1.06E-08	-1.23E-08	-1.16E-08	-1.07E-08	-7.68E-09	-7.10E-09	-1.43E-09	5.34E-09
-0.25	5.54E-09	-9.60E-10	-2.33E-09	-8.77E-09	-1.04E-08	-1.08E-08	-1.16E-08	-1.18E-08	-1.04E-08	-7.77E-09	-8.33E-09	-1.96E-09	5.54E-09
-0.3	4.99E-09	-1.95E-09	-2.61E-09	-9.72E-09	-1.20E-08	-1.30E-08	-1.30E-08	-1.30E-08	-1.30E-08	-1.07E-08	-1.06E-08	-1.95E-09	5.99E-09
-0.35	5.66E-09	-2.42E-09	-9.30E-10	-7.45E-09	-1.04E-08	-1.10E-08	-1.03E-08	-1.10E-08	-1.04E-08	-8.45E-09	-1.09E-08	-2.42E-09	5.66E-09
-0.4	5.52E-09	5.79E-10	-3.00E-10	-7.92E-09	-1.04E-08	-1.07E-08	-1.02E-08	-1.07E-08	-1.04E-08	-8.92E-09	-9.30E-09	-4.42E-09	5.52E-09
-0.45	6.56E-09	9.88E-10	-2.80E-09	-7.17E-09	-1.01E-08	-1.00E-08	-8.78E-09	-1.00E-08	-1.21E-08	-1.02E-08	-1.08E-08	-3.01E-09	6.66E-09
-0.5	6.73E-09	1.72E-09	-2.58E-09	-7.32E-09	-1.06E-08	-1.11E-08	-1.00E-08	-1.01E-08	-1.26E-08	-1.23E-08	-7.58E-09	-2.28E-09	7.73E-09
-0.55	7.01E-09	1.69E-09	-1.85E-09	-6.61E-09	-8.93E-09	-1.09E-08	-1.20E-08	-1.29E-08	-1.19E-08	-1.16E-08	-6.85E-09	-1.31E-09	8.01E-09
-0.6	8.34E-09	2.76E-09	-1.85E-09	-5.35E-09	-8.52E-09	-8.81E-09	-1.11E-08	-1.18E-08	-1.05E-08	-1.04E-08	-4.85E-09	7.64E-10	8.34E-09
-0.65	9.70E-09	3.85E-09	1.70E-10	-3.88E-09	-6.67E-09	-8.18E-09	-9.61E-09	-1.02E-08	-8.67E-09	-8.88E-09	-3.83E-09	1.85E-09	9.70E-09
-0.7	1.01E-08	4.84E-09	-1.03E-09	-2.55E-09	-4.76E-09	-5.36E-09	-6.87E-09	-6.36E-09	-6.76E-09	-5.55E-09	-2.03E-09	2.84E-09	1.01E-08

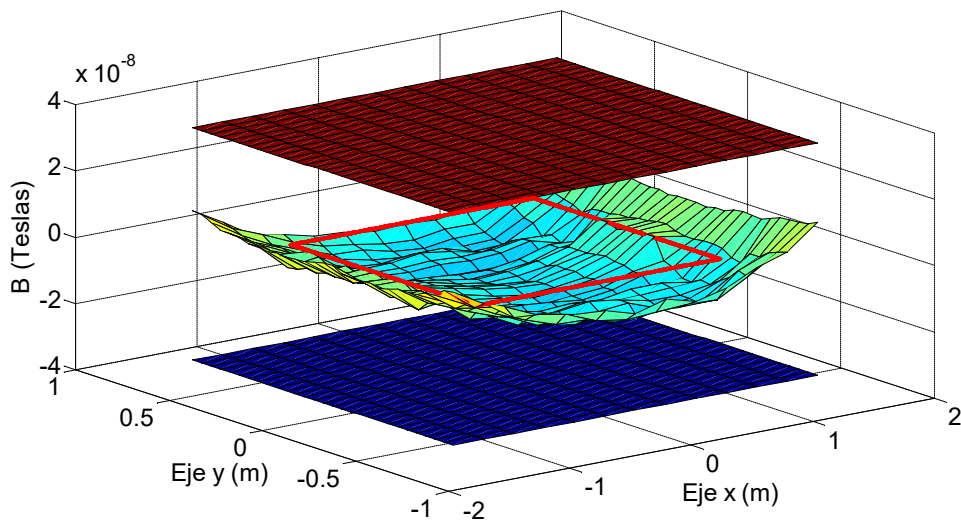


Fig. 3.47 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5m

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 1m$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de $10mA$, haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.41 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $10mA$ y $z = 1m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.65	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.6	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.55	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.5	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.45	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.4	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.35	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.3	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.25	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.2	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.15	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.1	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.05	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.05	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.1	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.15	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.2	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.25	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.3	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.35	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.4	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.45	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.5	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.55	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.6	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.65	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.7	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08

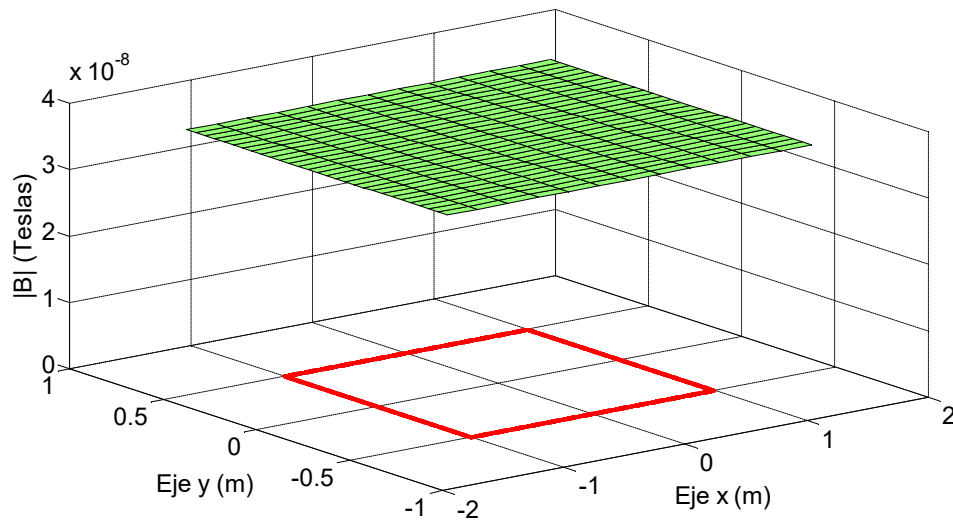


Fig. 3.48 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $10mA$ y $z = 1m$.

Tabla 3.42 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{ m}$, alimentada con 10 mA y $z = 1 \text{ m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.48E-09	3.31E-09	4.20E-09	4.99E-09	5.56E-09	5.89E-09	5.99E-09	5.89E-09	5.56E-09	4.99E-09	4.20E-09	3.31E-09	2.48E-09
0.65	2.58E-09	3.46E-09	4.40E-09	5.24E-09	5.84E-09	6.18E-09	6.29E-09	6.18E-09	5.84E-09	5.24E-09	4.40E-09	3.46E-09	2.58E-09
0.6	2.67E-09	3.60E-09	4.60E-09	5.49E-09	6.11E-09	6.46E-09	6.57E-09	6.46E-09	6.11E-09	5.49E-09	4.60E-09	3.60E-09	2.67E-09
0.55	2.76E-09	3.74E-09	4.80E-09	5.73E-09	6.38E-09	6.74E-09	6.86E-09	6.74E-09	6.38E-09	5.73E-09	4.80E-09	3.74E-09	2.76E-09
0.5	2.84E-09	3.87E-09	4.98E-09	5.95E-09	6.63E-09	7.01E-09	7.12E-09	7.01E-09	6.63E-09	5.95E-09	4.98E-09	3.87E-09	2.84E-09
0.45	2.92E-09	4.00E-09	5.16E-09	6.17E-09	6.87E-09	7.26E-09	7.37E-09	7.26E-09	6.87E-09	6.17E-09	5.16E-09	4.00E-09	2.92E-09
0.4	3.00E-09	4.12E-09	5.32E-09	6.37E-09	7.10E-09	7.49E-09	7.61E-09	7.49E-09	7.10E-09	6.37E-09	5.32E-09	4.12E-09	3.00E-09
0.35	3.07E-09	4.22E-09	5.47E-09	6.56E-09	7.30E-09	7.70E-09	7.82E-09	7.70E-09	7.30E-09	6.56E-09	5.47E-09	4.22E-09	3.07E-09
0.3	3.13E-09	4.32E-09	5.61E-09	6.72E-09	7.48E-09	7.89E-09	8.01E-09	7.89E-09	7.48E-09	6.72E-09	5.61E-09	4.32E-09	3.13E-09
0.25	3.18E-09	4.40E-09	5.72E-09	6.86E-09	7.64E-09	8.05E-09	8.17E-09	8.05E-09	7.64E-09	6.86E-09	5.72E-09	4.40E-09	3.18E-09
0.2	3.23E-09	4.47E-09	5.82E-09	6.98E-09	7.77E-09	8.18E-09	8.31E-09	8.18E-09	7.77E-09	6.98E-09	5.82E-09	4.47E-09	3.23E-09
0.15	3.26E-09	4.53E-09	5.89E-09	7.07E-09	7.87E-09	8.29E-09	8.41E-09	8.29E-09	7.87E-09	7.07E-09	5.89E-09	4.53E-09	3.26E-09
0.1	3.29E-09	4.57E-09	5.95E-09	7.14E-09	7.94E-09	8.36E-09	8.49E-09	8.36E-09	7.94E-09	7.14E-09	5.95E-09	4.57E-09	3.29E-09
0.05	3.30E-09	4.59E-09	5.98E-09	7.18E-09	7.99E-09	8.41E-09	8.53E-09	8.41E-09	7.99E-09	7.18E-09	5.98E-09	4.59E-09	3.30E-09
0	3.31E-09	4.60E-09	5.99E-09	7.20E-09	8.00E-09	8.42E-09	8.55E-09	8.42E-09	8.00E-09	7.20E-09	5.99E-09	4.60E-09	3.31E-09
-0.05	3.30E-09	4.59E-09	5.98E-09	7.18E-09	7.99E-09	8.41E-09	8.53E-09	8.41E-09	7.99E-09	7.18E-09	5.98E-09	4.59E-09	3.30E-09
-0.1	3.29E-09	4.57E-09	5.95E-09	7.14E-09	7.94E-09	8.36E-09	8.49E-09	8.36E-09	7.94E-09	7.14E-09	5.95E-09	4.57E-09	3.29E-09
-0.15	3.26E-09	4.53E-09	5.89E-09	7.07E-09	7.87E-09	8.29E-09	8.41E-09	8.29E-09	7.87E-09	7.07E-09	5.89E-09	4.53E-09	3.26E-09
-0.2	3.23E-09	4.47E-09	5.82E-09	6.98E-09	7.77E-09	8.18E-09	8.31E-09	8.18E-09	7.77E-09	6.98E-09	5.82E-09	4.47E-09	3.23E-09
-0.25	3.18E-09	4.40E-09	5.72E-09	6.86E-09	7.64E-09	8.05E-09	8.17E-09	8.05E-09	7.64E-09	6.86E-09	5.72E-09	4.40E-09	3.18E-09
-0.3	3.13E-09	4.32E-09	5.61E-09	6.72E-09	7.48E-09	7.89E-09	8.01E-09	7.89E-09	7.48E-09	6.72E-09	5.61E-09	4.32E-09	3.13E-09
-0.35	3.07E-09	4.22E-09	5.47E-09	6.56E-09	7.30E-09	7.70E-09	7.82E-09	7.70E-09	7.30E-09	6.56E-09	5.47E-09	4.22E-09	3.07E-09
-0.4	3.00E-09	4.12E-09	5.32E-09	6.37E-09	7.10E-09	7.49E-09	7.61E-09	7.49E-09	7.10E-09	6.37E-09	5.32E-09	4.12E-09	3.00E-09
-0.45	2.92E-09	4.00E-09	5.16E-09	6.17E-09	6.87E-09	7.26E-09	7.37E-09	7.26E-09	6.87E-09	6.17E-09	5.16E-09	4.00E-09	2.92E-09
-0.5	2.84E-09	3.87E-09	4.98E-09	5.95E-09	6.63E-09	7.01E-09	7.12E-09	7.01E-09	6.63E-09	5.95E-09	4.98E-09	3.87E-09	2.84E-09
-0.55	2.76E-09	3.74E-09	4.80E-09	5.73E-09	6.38E-09	6.74E-09	6.86E-09	6.74E-09	6.38E-09	5.73E-09	4.80E-09	3.74E-09	2.76E-09
-0.6	2.67E-09	3.60E-09	4.60E-09	5.49E-09	6.11E-09	6.46E-09	6.57E-09	6.46E-09	6.11E-09	5.49E-09	4.60E-09	3.60E-09	2.67E-09
-0.65	2.58E-09	3.46E-09	4.40E-09	5.24E-09	5.84E-09	6.18E-09	6.29E-09	6.18E-09	5.84E-09	5.24E-09	4.40E-09	3.46E-09	2.58E-09
-0.7	2.48E-09	3.31E-09	4.20E-09	4.99E-09	5.56E-09	5.89E-09	5.99E-09	5.89E-09	5.56E-09	4.99E-09	4.20E-09	3.31E-09	2.48E-09

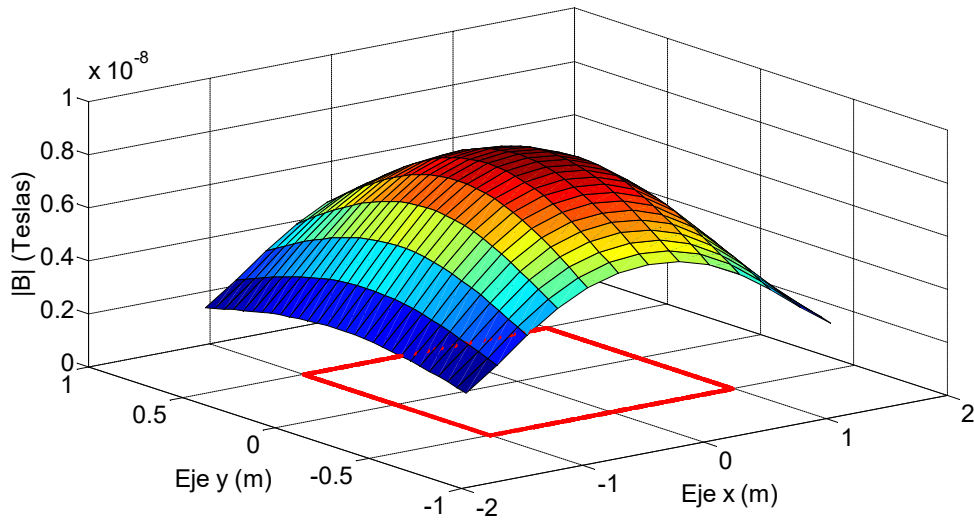


Fig. 3.49 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{ m}$, alimentada con 10 mA y $z = 1 \text{ m}$.

Tabla 3.43 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 1m

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.45E-08	3.37E-08	3.28E-08	3.20E-08	3.14E-08	3.11E-08	3.10E-08	3.11E-08	3.14E-08	3.20E-08	3.28E-08	3.37E-08	3.45E-08
0.65	3.44E-08	3.35E-08	3.26E-08	3.18E-08	3.12E-08	3.08E-08	3.07E-08	3.08E-08	3.12E-08	3.18E-08	3.26E-08	3.35E-08	3.44E-08
0.6	3.43E-08	3.34E-08	3.24E-08	3.15E-08	3.09E-08	3.05E-08	3.04E-08	3.05E-08	3.09E-08	3.15E-08	3.24E-08	3.34E-08	3.43E-08
0.55	3.42E-08	3.33E-08	3.22E-08	3.13E-08	3.06E-08	3.03E-08	3.01E-08	3.03E-08	3.06E-08	3.13E-08	3.22E-08	3.33E-08	3.42E-08
0.5	3.42E-08	3.31E-08	3.20E-08	3.10E-08	3.04E-08	3.00E-08	2.99E-08	3.00E-08	3.04E-08	3.10E-08	3.20E-08	3.31E-08	3.42E-08
0.45	3.41E-08	3.30E-08	3.18E-08	3.08E-08	3.01E-08	2.97E-08	2.96E-08	2.97E-08	3.01E-08	3.08E-08	3.18E-08	3.30E-08	3.41E-08
0.4	3.40E-08	3.29E-08	3.17E-08	3.06E-08	2.99E-08	2.95E-08	2.94E-08	2.95E-08	2.99E-08	3.06E-08	3.17E-08	3.29E-08	3.40E-08
0.35	3.39E-08	3.28E-08	3.15E-08	3.04E-08	2.97E-08	2.93E-08	2.92E-08	2.93E-08	2.97E-08	3.04E-08	3.15E-08	3.28E-08	3.39E-08
0.3	3.39E-08	3.27E-08	3.14E-08	3.03E-08	2.95E-08	2.91E-08	2.90E-08	2.91E-08	2.95E-08	3.03E-08	3.14E-08	3.27E-08	3.39E-08
0.25	3.38E-08	3.26E-08	3.13E-08	3.01E-08	2.94E-08	2.90E-08	2.88E-08	2.90E-08	2.94E-08	3.01E-08	3.13E-08	3.26E-08	3.38E-08
0.2	3.38E-08	3.25E-08	3.12E-08	3.00E-08	2.92E-08	2.88E-08	2.87E-08	2.88E-08	2.92E-08	3.00E-08	3.12E-08	3.25E-08	3.38E-08
0.15	3.37E-08	3.25E-08	3.11E-08	2.99E-08	2.91E-08	2.87E-08	2.86E-08	2.87E-08	2.91E-08	2.99E-08	3.11E-08	3.25E-08	3.37E-08
0.1	3.37E-08	3.24E-08	3.10E-08	2.98E-08	2.91E-08	2.86E-08	2.85E-08	2.86E-08	2.91E-08	2.98E-08	3.10E-08	3.24E-08	3.37E-08
0.05	3.37E-08	3.24E-08	3.10E-08	2.98E-08	2.90E-08	2.86E-08	2.85E-08	2.86E-08	2.90E-08	2.98E-08	3.10E-08	3.24E-08	3.37E-08
0	3.37E-08	3.24E-08	3.10E-08	2.98E-08	2.90E-08	2.86E-08	2.85E-08	2.86E-08	2.90E-08	2.98E-08	3.10E-08	3.24E-08	3.37E-08
-0.05	3.37E-08	3.24E-08	3.10E-08	2.98E-08	2.90E-08	2.86E-08	2.85E-08	2.86E-08	2.90E-08	2.98E-08	3.10E-08	3.24E-08	3.37E-08
-0.1	3.37E-08	3.24E-08	3.10E-08	2.98E-08	2.90E-08	2.86E-08	2.85E-08	2.86E-08	2.91E-08	2.99E-08	3.10E-08	3.24E-08	3.37E-08
-0.15	3.37E-08	3.25E-08	3.11E-08	2.99E-08	2.91E-08	2.87E-08	2.86E-08	2.87E-08	2.91E-08	2.99E-08	3.11E-08	3.25E-08	3.37E-08
-0.2	3.38E-08	3.25E-08	3.12E-08	3.00E-08	2.92E-08	2.88E-08	2.87E-08	2.88E-08	2.92E-08	3.00E-08	3.12E-08	3.25E-08	3.38E-08
-0.25	3.38E-08	3.26E-08	3.13E-08	3.01E-08	2.94E-08	2.90E-08	2.88E-08	2.90E-08	2.94E-08	3.01E-08	3.13E-08	3.26E-08	3.38E-08
-0.3	3.39E-08	3.27E-08	3.14E-08	3.03E-08	2.95E-08	2.91E-08	2.90E-08	2.91E-08	2.95E-08	3.03E-08	3.14E-08	3.27E-08	3.39E-08
-0.35	3.39E-08	3.28E-08	3.15E-08	3.04E-08	2.97E-08	2.93E-08	2.92E-08	2.93E-08	2.97E-08	3.04E-08	3.15E-08	3.28E-08	3.39E-08
-0.4	3.40E-08	3.29E-08	3.17E-08	3.06E-08	2.99E-08	2.95E-08	2.94E-08	2.95E-08	2.99E-08	3.06E-08	3.17E-08	3.29E-08	3.40E-08
-0.45	3.41E-08	3.30E-08	3.18E-08	3.08E-08	3.01E-08	2.97E-08	2.96E-08	2.97E-08	3.01E-08	3.08E-08	3.18E-08	3.30E-08	3.41E-08
-0.5	3.42E-08	3.31E-08	3.20E-08	3.10E-08	3.04E-08	3.00E-08	2.99E-08	3.00E-08	3.04E-08	3.10E-08	3.20E-08	3.31E-08	3.42E-08
-0.55	3.42E-08	3.33E-08	3.22E-08	3.13E-08	3.06E-08	3.03E-08	3.01E-08	3.03E-08	3.06E-08	3.13E-08	3.22E-08	3.33E-08	3.42E-08
-0.6	3.43E-08	3.34E-08	3.24E-08	3.15E-08	3.09E-08	3.05E-08	3.04E-08	3.05E-08	3.09E-08	3.15E-08	3.24E-08	3.34E-08	3.43E-08
-0.65	3.44E-08	3.35E-08	3.26E-08	3.18E-08	3.12E-08	3.08E-08	3.07E-08	3.08E-08	3.12E-08	3.18E-08	3.26E-08	3.35E-08	3.44E-08
-0.7	3.45E-08	3.37E-08	3.28E-08	3.20E-08	3.14E-08	3.11E-08	3.10E-08	3.11E-08	3.14E-08	3.20E-08	3.28E-08	3.37E-08	3.45E-08

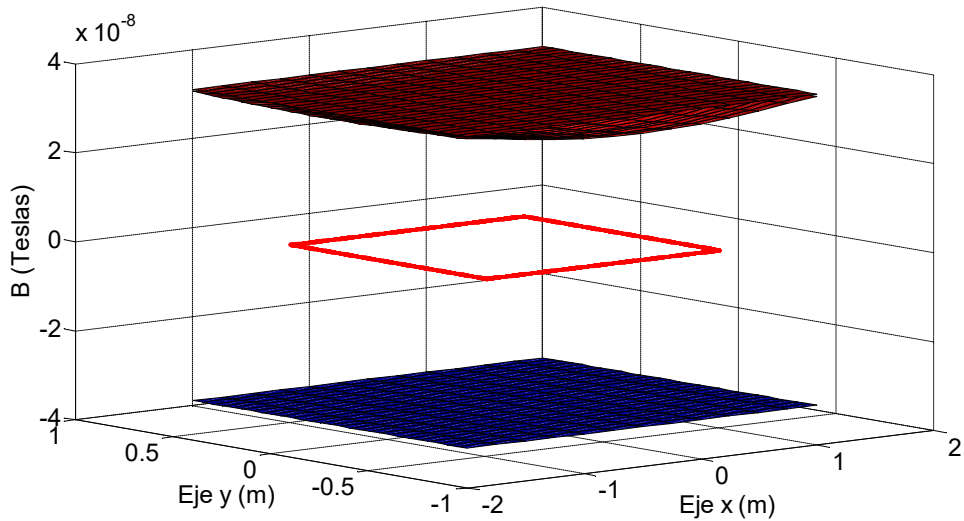


Fig. 3.50 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5n

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z = 1m$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de $20mA$, haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.44 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $20mA$ y $z = 1m$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.65	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.6	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.55	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.5	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.45	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.4	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.35	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.3	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.25	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.2	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.15	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.1	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.05	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
0	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.05	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.1	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.15	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.2	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.25	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.3	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.35	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.4	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.45	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.5	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.55	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.6	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.65	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.7	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08	3.70E-08

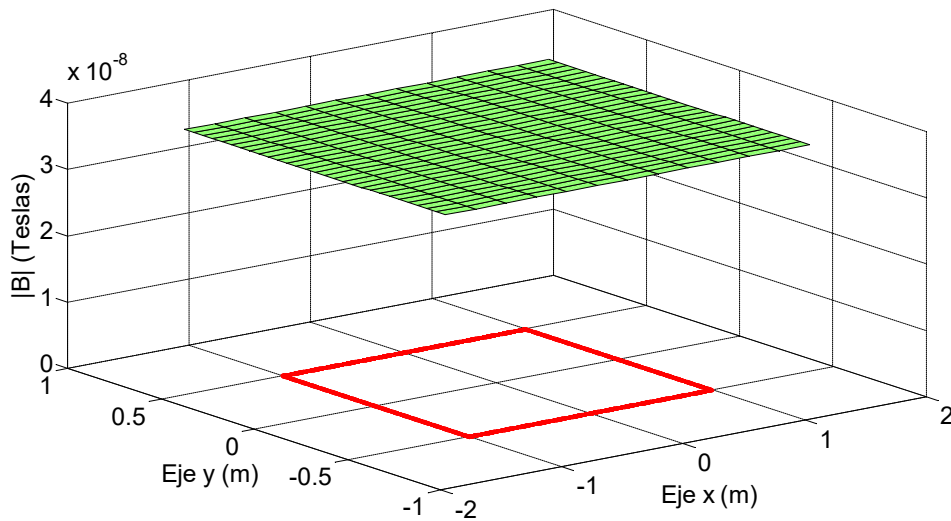


Fig. 3.51 $|B|$ medido para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $20mA$ y $z = 1m$.

Tabla 3.45 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 1 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.96E-09	6.62E-09	8.40E-09	9.98E-09	1.11E-08	1.18E-08	1.20E-08	1.18E-08	1.11E-08	9.98E-09	8.40E-09	6.62E-09	4.96E-09
0.65	5.15E-09	6.91E-09	8.81E-09	1.05E-08	1.17E-08	1.24E-08	1.26E-08	1.24E-08	1.17E-08	1.05E-08	8.81E-09	6.91E-09	5.15E-09
0.6	5.34E-09	7.20E-09	9.20E-09	1.10E-08	1.22E-08	1.29E-08	1.31E-08	1.29E-08	1.22E-08	1.10E-08	9.20E-09	7.20E-09	5.34E-09
0.55	5.52E-09	7.48E-09	9.59E-09	1.15E-08	1.28E-08	1.35E-08	1.37E-08	1.35E-08	1.28E-08	1.15E-08	9.59E-09	7.48E-09	5.52E-09
0.5	5.69E-09	7.74E-09	9.96E-09	1.19E-08	1.33E-08	1.40E-08	1.42E-08	1.40E-08	1.33E-08	1.19E-08	9.96E-09	7.74E-09	5.69E-09
0.45	5.85E-09	8.00E-09	1.03E-08	1.23E-08	1.37E-08	1.45E-08	1.48E-08	1.45E-08	1.37E-08	1.23E-08	1.03E-08	8.00E-09	5.85E-09
0.4	6.00E-09	8.23E-09	1.06E-08	1.27E-08	1.42E-08	1.50E-08	1.52E-08	1.50E-08	1.42E-08	1.27E-08	1.06E-08	8.23E-09	6.00E-09
0.35	6.14E-09	8.45E-09	1.09E-08	1.31E-08	1.46E-08	1.54E-08	1.56E-08	1.54E-08	1.46E-08	1.31E-08	1.09E-08	8.45E-09	6.14E-09
0.3	6.26E-09	8.64E-09	1.12E-08	1.34E-08	1.50E-08	1.58E-08	1.60E-08	1.58E-08	1.50E-08	1.34E-08	1.12E-08	8.64E-09	6.26E-09
0.25	6.37E-09	8.80E-09	1.14E-08	1.37E-08	1.53E-08	1.61E-08	1.63E-08	1.61E-08	1.53E-08	1.37E-08	1.14E-08	8.80E-09	6.37E-09
0.2	6.45E-09	8.94E-09	1.16E-08	1.40E-08	1.55E-08	1.64E-08	1.66E-08	1.64E-08	1.55E-08	1.40E-08	1.16E-08	8.94E-09	6.45E-09
0.15	6.52E-09	9.05E-09	1.18E-08	1.41E-08	1.57E-08	1.66E-08	1.68E-08	1.66E-08	1.57E-08	1.41E-08	1.18E-08	9.05E-09	6.52E-09
0.1	6.57E-09	9.13E-09	1.19E-08	1.43E-08	1.59E-08	1.67E-08	1.70E-08	1.67E-08	1.59E-08	1.43E-08	1.19E-08	9.13E-09	6.57E-09
0.05	6.61E-09	9.18E-09	1.20E-08	1.44E-08	1.60E-08	1.68E-08	1.71E-08	1.68E-08	1.60E-08	1.44E-08	1.20E-08	9.18E-09	6.61E-09
0	6.62E-09	9.19E-09	1.20E-08	1.44E-08	1.60E-08	1.68E-08	1.71E-08	1.68E-08	1.60E-08	1.44E-08	1.20E-08	9.19E-09	6.62E-09
-0.05	6.61E-09	9.18E-09	1.20E-08	1.44E-08	1.60E-08	1.68E-08	1.71E-08	1.68E-08	1.60E-08	1.44E-08	1.20E-08	9.18E-09	6.61E-09
-0.1	6.57E-09	9.13E-09	1.19E-08	1.43E-08	1.59E-08	1.67E-08	1.70E-08	1.67E-08	1.59E-08	1.43E-08	1.19E-08	9.13E-09	6.57E-09
-0.15	6.52E-09	9.05E-09	1.18E-08	1.41E-08	1.57E-08	1.66E-08	1.68E-08	1.66E-08	1.57E-08	1.41E-08	1.18E-08	9.05E-09	6.52E-09
-0.2	6.45E-09	8.94E-09	1.16E-08	1.40E-08	1.55E-08	1.64E-08	1.66E-08	1.64E-08	1.55E-08	1.40E-08	1.16E-08	8.94E-09	6.45E-09
-0.25	6.37E-09	8.80E-09	1.14E-08	1.37E-08	1.53E-08	1.61E-08	1.63E-08	1.61E-08	1.53E-08	1.37E-08	1.14E-08	8.80E-09	6.37E-09
-0.3	6.26E-09	8.64E-09	1.12E-08	1.34E-08	1.50E-08	1.58E-08	1.60E-08	1.58E-08	1.50E-08	1.34E-08	1.12E-08	8.64E-09	6.26E-09
-0.35	6.14E-09	8.45E-09	1.09E-08	1.31E-08	1.46E-08	1.54E-08	1.56E-08	1.54E-08	1.46E-08	1.31E-08	1.09E-08	8.45E-09	6.14E-09
-0.4	6.00E-09	8.23E-09	1.06E-08	1.27E-08	1.42E-08	1.50E-08	1.52E-08	1.50E-08	1.42E-08	1.27E-08	1.06E-08	8.23E-09	6.00E-09
-0.45	5.85E-09	8.00E-09	1.03E-08	1.23E-08	1.37E-08	1.45E-08	1.48E-08	1.45E-08	1.37E-08	1.23E-08	1.03E-08	8.00E-09	5.85E-09
-0.5	5.69E-09	7.74E-09	9.96E-09	1.19E-08	1.33E-08	1.40E-08	1.42E-08	1.40E-08	1.33E-08	1.19E-08	9.96E-09	7.74E-09	5.69E-09
-0.55	5.52E-09	7.48E-09	9.59E-09	1.15E-08	1.28E-08	1.35E-08	1.37E-08	1.35E-08	1.28E-08	1.15E-08	9.59E-09	7.48E-09	5.52E-09
-0.6	5.34E-09	7.20E-09	9.20E-09	1.10E-08	1.22E-08	1.29E-08	1.31E-08	1.29E-08	1.22E-08	1.10E-08	9.20E-09	7.20E-09	5.34E-09
-0.65	5.15E-09	6.91E-09	8.81E-09	1.05E-08	1.17E-08	1.24E-08	1.26E-08	1.24E-08	1.17E-08	1.05E-08	8.81E-09	6.91E-09	5.15E-09
-0.7	4.96E-09	6.62E-09	8.40E-09	9.98E-09	1.11E-08	1.18E-08	1.20E-08	1.18E-08	1.11E-08	9.98E-09	8.40E-09	6.62E-09	4.96E-09

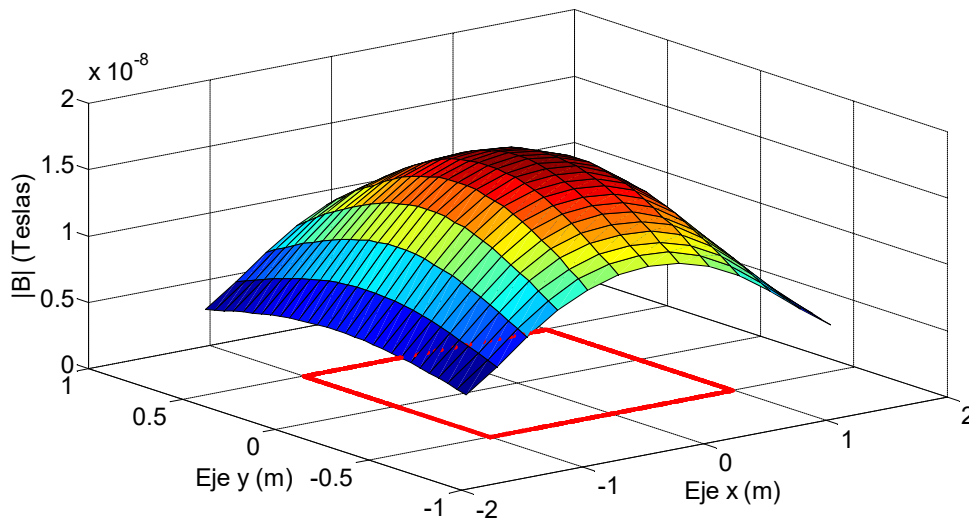


Fig. 3.52 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 20mA y $z = 1 \text{m}$.

Tabla 3.46 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 1m

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.20E-08	3.04E-08	2.86E-08	2.70E-08	2.59E-08	2.52E-08	2.50E-08	2.52E-08	2.59E-08	2.70E-08	2.86E-08	3.04E-08	3.20E-08
0.65	3.18E-08	3.01E-08	2.82E-08	2.65E-08	2.53E-08	2.46E-08	2.44E-08	2.46E-08	2.53E-08	2.65E-08	2.82E-08	3.01E-08	3.18E-08
0.6	3.17E-08	2.98E-08	2.78E-08	2.60E-08	2.48E-08	2.41E-08	2.39E-08	2.41E-08	2.48E-08	2.60E-08	2.78E-08	2.98E-08	3.17E-08
0.55	3.15E-08	2.95E-08	2.74E-08	2.55E-08	2.42E-08	2.35E-08	2.33E-08	2.35E-08	2.42E-08	2.55E-08	2.74E-08	2.95E-08	3.15E-08
0.5	3.13E-08	2.93E-08	2.70E-08	2.51E-08	2.37E-08	2.30E-08	2.28E-08	2.30E-08	2.37E-08	2.51E-08	2.70E-08	2.93E-08	3.13E-08
0.45	3.12E-08	2.90E-08	2.67E-08	2.47E-08	2.33E-08	2.25E-08	2.23E-08	2.25E-08	2.33E-08	2.47E-08	2.67E-08	2.90E-08	3.12E-08
0.4	3.10E-08	2.88E-08	2.64E-08	2.43E-08	2.28E-08	2.20E-08	2.18E-08	2.20E-08	2.28E-08	2.43E-08	2.64E-08	2.88E-08	3.10E-08
0.35	3.09E-08	2.86E-08	2.61E-08	2.39E-08	2.24E-08	2.16E-08	2.14E-08	2.16E-08	2.24E-08	2.39E-08	2.61E-08	2.86E-08	3.09E-08
0.3	3.07E-08	2.84E-08	2.58E-08	2.36E-08	2.20E-08	2.12E-08	2.10E-08	2.12E-08	2.20E-08	2.36E-08	2.58E-08	2.84E-08	3.07E-08
0.25	3.06E-08	2.82E-08	2.56E-08	2.33E-08	2.17E-08	2.09E-08	2.07E-08	2.09E-08	2.17E-08	2.33E-08	2.56E-08	2.82E-08	3.06E-08
0.2	3.05E-08	2.81E-08	2.54E-08	2.30E-08	2.15E-08	2.06E-08	2.04E-08	2.06E-08	2.15E-08	2.30E-08	2.54E-08	2.81E-08	3.05E-08
0.15	3.05E-08	2.79E-08	2.52E-08	2.29E-08	2.13E-08	2.04E-08	2.02E-08	2.04E-08	2.13E-08	2.29E-08	2.52E-08	2.79E-08	3.05E-08
0.1	3.04E-08	2.79E-08	2.51E-08	2.27E-08	2.11E-08	2.03E-08	2.00E-08	2.03E-08	2.11E-08	2.27E-08	2.51E-08	2.79E-08	3.04E-08
0.05	3.04E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.26E-08	2.10E-08	2.02E-08	1.99E-08	2.02E-08	2.10E-08	2.26E-08	2.50E-08	2.78E-08	3.04E-08
0	3.04E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.26E-08	2.10E-08	2.02E-08	1.99E-08	2.02E-08	2.10E-08	2.26E-08	2.50E-08	2.78E-08	3.04E-08
-0.05	3.04E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.26E-08	2.10E-08	2.02E-08	1.99E-08	2.02E-08	2.10E-08	2.26E-08	2.50E-08	2.78E-08	3.04E-08
-0.1	3.04E-08	2.79E-08	2.51E-08	2.27E-08	2.11E-08	2.03E-08	2.00E-08	2.03E-08	2.11E-08	2.27E-08	2.51E-08	2.79E-08	3.04E-08
-0.15	3.05E-08	2.79E-08	2.52E-08	2.29E-08	2.13E-08	2.04E-08	2.02E-08	2.04E-08	2.13E-08	2.29E-08	2.52E-08	2.79E-08	3.05E-08
-0.2	3.05E-08	2.81E-08	2.54E-08	2.30E-08	2.15E-08	2.06E-08	2.04E-08	2.06E-08	2.15E-08	2.30E-08	2.54E-08	2.81E-08	3.05E-08
-0.25	3.06E-08	2.82E-08	2.56E-08	2.33E-08	2.17E-08	2.09E-08	2.07E-08	2.09E-08	2.17E-08	2.33E-08	2.56E-08	2.82E-08	3.06E-08
-0.3	3.07E-08	2.84E-08	2.58E-08	2.36E-08	2.20E-08	2.12E-08	2.10E-08	2.12E-08	2.20E-08	2.36E-08	2.58E-08	2.84E-08	3.07E-08
-0.35	3.09E-08	2.86E-08	2.61E-08	2.39E-08	2.24E-08	2.16E-08	2.14E-08	2.16E-08	2.24E-08	2.39E-08	2.61E-08	2.86E-08	3.09E-08
-0.4	3.10E-08	2.88E-08	2.64E-08	2.43E-08	2.28E-08	2.20E-08	2.18E-08	2.20E-08	2.28E-08	2.43E-08	2.64E-08	2.88E-08	3.10E-08
-0.45	3.12E-08	2.90E-08	2.67E-08	2.47E-08	2.33E-08	2.25E-08	2.23E-08	2.25E-08	2.33E-08	2.47E-08	2.67E-08	2.90E-08	3.12E-08
-0.5	3.13E-08	2.93E-08	2.70E-08	2.51E-08	2.37E-08	2.30E-08	2.28E-08	2.30E-08	2.37E-08	2.51E-08	2.70E-08	2.93E-08	3.13E-08
-0.55	3.15E-08	2.95E-08	2.74E-08	2.55E-08	2.42E-08	2.35E-08	2.33E-08	2.35E-08	2.42E-08	2.55E-08	2.74E-08	2.95E-08	3.15E-08
-0.6	3.17E-08	2.98E-08	2.78E-08	2.60E-08	2.48E-08	2.41E-08	2.39E-08	2.41E-08	2.48E-08	2.60E-08	2.78E-08	2.98E-08	3.17E-08
-0.65	3.18E-08	3.01E-08	2.82E-08	2.65E-08	2.53E-08	2.46E-08	2.44E-08	2.46E-08	2.53E-08	2.65E-08	2.82E-08	3.01E-08	3.18E-08
-0.7	3.20E-08	3.04E-08	2.86E-08	2.70E-08	2.59E-08	2.52E-08	2.50E-08	2.52E-08	2.59E-08	2.70E-08	2.86E-08	3.04E-08	3.20E-08

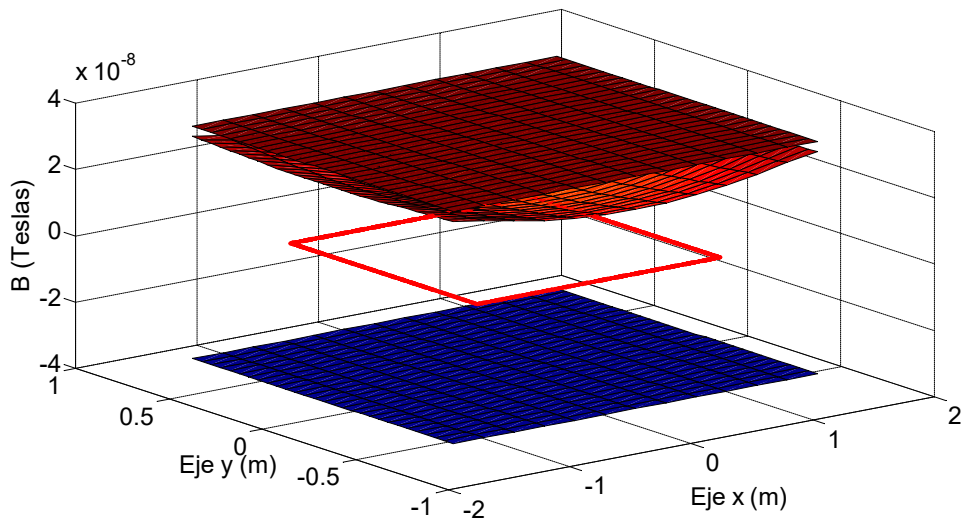


Fig. 3.53 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5o

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z=1m$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de $50mA$, haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.47 $|B|$ medido para una espira de $2x1m$, alimentada con $50mA$ y $z = 1m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.65	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.20E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.6	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.70E-08
0.55	3.70E-08	3.80E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.40E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.80E-08	3.70E-08
0.5	3.70E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.80E-08	3.70E-08
0.45	3.70E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.40E-08	4.50E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.20E-08	3.80E-08	3.70E-08
0.4	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.60E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.40E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
0.35	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.60E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.80E-08	4.80E-08	4.50E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
0.3	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.50E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.80E-08	4.80E-08	4.50E-08	4.30E-08	3.90E-08	3.70E-08
0.25	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.50E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.60E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
0.2	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.50E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.60E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
0.15	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.60E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
0.1	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.90E-08	5.10E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
0.05	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.10E-08	4.90E-08	5.10E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
0	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
-0.05	3.70E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.60E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
-0.1	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.70E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.60E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.70E-08
-0.15	3.70E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.80E-08	5.00E-08	4.90E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.60E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.70E-08
-0.2	3.70E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.90E-08	5.00E-08	4.80E-08	4.50E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.25	3.70E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.60E-08	4.80E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.80E-08	4.50E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.3	3.70E-08	3.90E-08	4.20E-08	4.50E-08	4.80E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.90E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.20E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.35	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.70E-08	4.80E-08	4.70E-08	4.80E-08	4.60E-08	4.40E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.4	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.70E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.70E-08	4.60E-08	4.30E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08
-0.45	3.70E-08	3.80E-08	4.10E-08	4.30E-08	4.60E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.70E-08	4.50E-08	4.30E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08
-0.5	3.70E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.50E-08	4.60E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08
-0.55	3.70E-08	3.80E-08	4.00E-08	4.20E-08	4.50E-08	4.50E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.80E-08	3.70E-08
-0.6	3.70E-08	3.70E-08	4.00E-08	4.10E-08	4.40E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.40E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.00E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.65	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	4.10E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.10E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08
-0.7	3.70E-08	3.70E-08	3.90E-08	4.00E-08	4.30E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.20E-08	4.10E-08	4.00E-08	3.90E-08	3.70E-08	3.70E-08

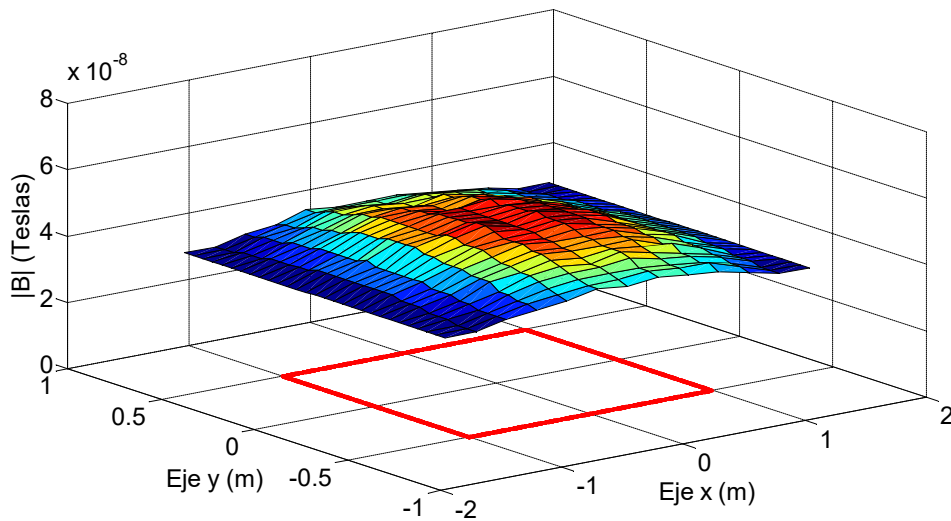


Fig. 3.54 $|B|$ medido para una espira de $2x1m$, alimentada con $50mA$ y $z = 1m$.

Tabla 3.48 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 1 \text{m}$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.24E-08	1.66E-08	2.10E-08	2.50E-08	2.78E-08	2.94E-08	2.99E-08	2.94E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.10E-08	1.66E-08	1.24E-08
0.65	1.29E-08	1.73E-08	2.20E-08	2.62E-08	2.92E-08	3.09E-08	3.14E-08	3.09E-08	2.92E-08	2.62E-08	2.20E-08	1.73E-08	1.29E-08
0.6	1.33E-08	1.80E-08	2.30E-08	2.74E-08	3.06E-08	3.23E-08	3.29E-08	3.23E-08	3.06E-08	2.74E-08	2.30E-08	1.80E-08	1.33E-08
0.55	1.38E-08	1.87E-08	2.40E-08	2.86E-08	3.19E-08	3.37E-08	3.43E-08	3.37E-08	3.19E-08	2.86E-08	2.40E-08	1.87E-08	1.38E-08
0.5	1.42E-08	1.94E-08	2.49E-08	2.98E-08	3.32E-08	3.50E-08	3.56E-08	3.50E-08	3.32E-08	2.98E-08	2.49E-08	1.94E-08	1.42E-08
0.45	1.46E-08	2.00E-08	2.58E-08	3.09E-08	3.44E-08	3.63E-08	3.69E-08	3.63E-08	3.44E-08	3.09E-08	2.58E-08	2.00E-08	1.46E-08
0.4	1.50E-08	2.06E-08	2.66E-08	3.19E-08	3.55E-08	3.74E-08	3.80E-08	3.74E-08	3.55E-08	3.19E-08	2.66E-08	2.06E-08	1.50E-08
0.35	1.53E-08	2.11E-08	2.74E-08	3.28E-08	3.65E-08	3.85E-08	3.91E-08	3.85E-08	3.65E-08	3.28E-08	2.74E-08	2.11E-08	1.53E-08
0.3	1.56E-08	2.16E-08	2.80E-08	3.36E-08	3.74E-08	3.94E-08	4.00E-08	3.94E-08	3.74E-08	3.36E-08	2.80E-08	2.16E-08	1.56E-08
0.25	1.59E-08	2.20E-08	2.86E-08	3.43E-08	3.82E-08	4.02E-08	4.09E-08	4.02E-08	3.82E-08	3.43E-08	2.86E-08	2.20E-08	1.59E-08
0.2	1.61E-08	2.24E-08	2.91E-08	3.49E-08	3.88E-08	4.09E-08	4.15E-08	4.09E-08	3.88E-08	3.49E-08	2.91E-08	2.24E-08	1.61E-08
0.15	1.63E-08	2.28E-08	2.95E-08	3.54E-08	3.94E-08	4.14E-08	4.21E-08	4.14E-08	3.94E-08	3.54E-08	2.95E-08	2.28E-08	1.63E-08
0.1	1.64E-08	2.28E-08	2.98E-08	3.57E-08	3.97E-08	4.18E-08	4.24E-08	4.18E-08	3.97E-08	3.57E-08	2.98E-08	2.28E-08	1.64E-08
0.05	1.65E-08	2.29E-08	2.99E-08	3.59E-08	3.99E-08	4.20E-08	4.27E-08	4.20E-08	3.99E-08	3.59E-08	2.99E-08	2.29E-08	1.65E-08
0	1.65E-08	2.30E-08	3.00E-08	3.60E-08	4.00E-08	4.21E-08	4.28E-08	4.21E-08	4.00E-08	3.60E-08	3.00E-08	2.30E-08	1.65E-08
-0.05	1.65E-08	2.29E-08	2.99E-08	3.59E-08	3.99E-08	4.20E-08	4.27E-08	4.20E-08	3.99E-08	3.59E-08	2.99E-08	2.29E-08	1.65E-08
-0.1	1.64E-08	2.28E-08	2.98E-08	3.57E-08	3.97E-08	4.18E-08	4.24E-08	4.18E-08	3.97E-08	3.57E-08	2.98E-08	2.28E-08	1.64E-08
-0.15	1.63E-08	2.28E-08	2.95E-08	3.54E-08	3.94E-08	4.14E-08	4.21E-08	4.14E-08	3.94E-08	3.54E-08	2.95E-08	2.28E-08	1.63E-08
-0.2	1.61E-08	2.24E-08	2.91E-08	3.49E-08	3.88E-08	4.09E-08	4.15E-08	4.09E-08	3.88E-08	3.49E-08	2.91E-08	2.24E-08	1.61E-08
-0.25	1.59E-08	2.20E-08	2.86E-08	3.43E-08	3.82E-08	4.02E-08	4.09E-08	4.02E-08	3.82E-08	3.43E-08	2.86E-08	2.20E-08	1.59E-08
-0.3	1.56E-08	2.16E-08	2.80E-08	3.36E-08	3.74E-08	3.94E-08	4.00E-08	3.94E-08	3.74E-08	3.36E-08	2.80E-08	2.16E-08	1.56E-08
-0.35	1.53E-08	2.11E-08	2.74E-08	3.28E-08	3.65E-08	3.85E-08	3.91E-08	3.85E-08	3.65E-08	3.28E-08	2.74E-08	2.11E-08	1.53E-08
-0.4	1.50E-08	2.06E-08	2.66E-08	3.19E-08	3.55E-08	3.74E-08	3.80E-08	3.74E-08	3.55E-08	3.19E-08	2.66E-08	2.06E-08	1.50E-08
-0.45	1.46E-08	2.00E-08	2.58E-08	3.09E-08	3.44E-08	3.63E-08	3.69E-08	3.63E-08	3.44E-08	3.09E-08	2.58E-08	2.00E-08	1.46E-08
-0.5	1.42E-08	1.94E-08	2.49E-08	2.98E-08	3.32E-08	3.50E-08	3.56E-08	3.50E-08	3.32E-08	2.98E-08	2.49E-08	1.94E-08	1.42E-08
-0.55	1.38E-08	1.87E-08	2.40E-08	2.86E-08	3.19E-08	3.37E-08	3.43E-08	3.37E-08	3.19E-08	2.86E-08	2.40E-08	1.87E-08	1.38E-08
-0.6	1.33E-08	1.80E-08	2.30E-08	2.74E-08	3.06E-08	3.23E-08	3.29E-08	3.23E-08	3.06E-08	2.74E-08	2.30E-08	1.80E-08	1.33E-08
-0.65	1.29E-08	1.73E-08	2.20E-08	2.62E-08	2.92E-08	3.09E-08	3.14E-08	3.09E-08	2.92E-08	2.62E-08	2.20E-08	1.73E-08	1.29E-08
-0.7	1.24E-08	1.66E-08	2.10E-08	2.50E-08	2.78E-08	2.94E-08	2.99E-08	2.94E-08	2.78E-08	2.50E-08	2.10E-08	1.66E-08	1.24E-08

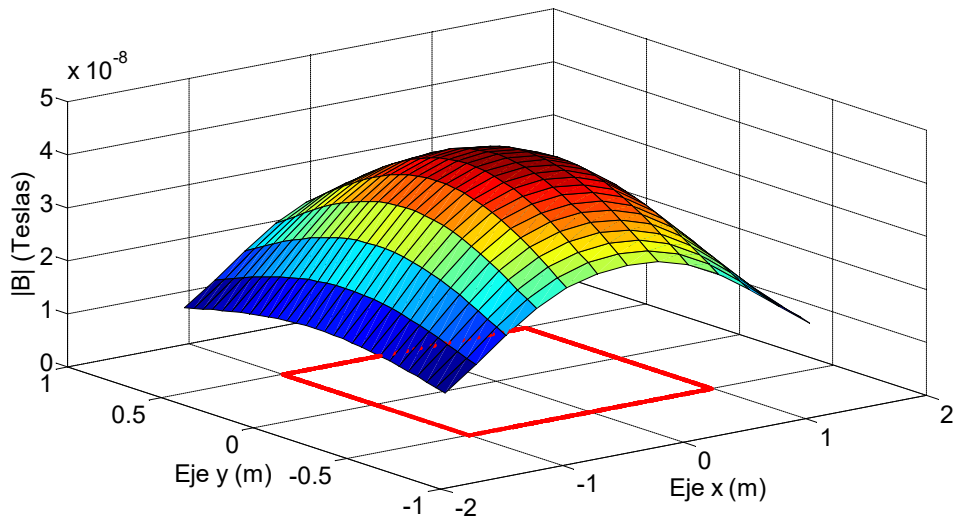


Fig. 3.55 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1 \text{m}$, alimentada con 50mA y $z = 1 \text{m}$.

Tabla 3.49 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 1m

Eje y (m) \ Eje x (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.46E-08	2.04E-08	1.80E-08	1.50E-08	1.32E-08	1.36E-08	1.21E-08	1.36E-08	1.42E-08	1.60E-08	1.80E-08	2.04E-08	2.46E-08
0.65	2.41E-08	1.97E-08	1.70E-08	1.48E-08	1.28E-08	1.21E-08	1.16E-08	1.31E-08	1.38E-08	1.68E-08	1.80E-08	1.97E-08	2.41E-08
0.6	2.37E-08	1.90E-08	1.60E-08	1.36E-08	1.24E-08	1.17E-08	1.11E-08	1.17E-08	1.24E-08	1.46E-08	1.70E-08	1.90E-08	2.37E-08
0.55	2.32E-08	1.93E-08	1.50E-08	1.34E-08	1.21E-08	1.13E-08	1.07E-08	1.23E-08	1.21E-08	1.44E-08	1.70E-08	1.93E-08	2.32E-08
0.5	2.28E-08	1.86E-08	1.51E-08	1.22E-08	1.18E-08	1.10E-08	9.39E-09	1.20E-08	1.18E-08	1.32E-08	1.61E-08	1.86E-08	2.28E-08
0.45	2.24E-08	1.80E-08	1.42E-08	1.31E-08	1.06E-08	1.07E-08	9.13E-09	1.07E-08	1.16E-08	1.41E-08	1.62E-08	1.80E-08	2.24E-08
0.4	2.20E-08	1.84E-08	1.44E-08	1.21E-08	1.05E-08	1.06E-08	8.96E-09	9.66E-09	1.15E-08	1.21E-08	1.54E-08	1.84E-08	2.20E-08
0.35	2.17E-08	1.79E-08	1.36E-08	1.12E-08	9.50E-09	9.51E-09	7.90E-09	9.51E-09	1.05E-08	1.22E-08	1.46E-08	1.79E-08	2.17E-08
0.3	2.14E-08	1.74E-08	1.30E-08	1.14E-08	9.59E-09	9.57E-09	7.96E-09	8.57E-09	1.06E-08	1.14E-08	1.50E-08	1.74E-08	2.14E-08
0.25	2.11E-08	1.80E-08	1.34E-08	1.07E-08	9.81E-09	8.77E-09	7.15E-09	8.77E-09	9.81E-09	1.17E-08	1.44E-08	1.80E-08	2.11E-08
0.2	2.09E-08	1.76E-08	1.29E-08	1.01E-08	9.16E-09	8.09E-09	7.47E-09	9.09E-09	9.16E-09	1.11E-08	1.39E-08	1.76E-08	2.09E-08
0.15	2.07E-08	1.74E-08	1.25E-08	1.06E-08	8.65E-09	8.57E-09	6.94E-09	8.57E-09	9.65E-09	1.06E-08	1.35E-08	1.74E-08	2.07E-08
0.1	2.06E-08	1.72E-08	1.22E-08	1.03E-08	9.28E-09	9.19E-09	6.56E-09	8.19E-09	9.28E-09	1.13E-08	1.32E-08	1.72E-08	2.06E-08
0.05	2.05E-08	1.71E-08	1.21E-08	1.11E-08	9.06E-09	8.96E-09	6.33E-09	8.96E-09	9.06E-09	1.11E-08	1.31E-08	1.71E-08	2.05E-08
0	2.05E-08	1.70E-08	1.20E-08	1.10E-08	7.98E-09	7.88E-09	6.25E-09	7.88E-09	8.98E-09	1.10E-08	1.30E-08	1.70E-08	2.05E-08
-0.05	2.05E-08	1.71E-08	1.31E-08	1.11E-08	8.06E-09	7.96E-09	6.33E-09	7.96E-09	9.06E-09	1.01E-08	1.31E-08	1.71E-08	2.05E-08
-0.1	2.06E-08	1.72E-08	1.22E-08	1.13E-08	8.28E-09	8.19E-09	6.56E-09	8.19E-09	9.28E-09	1.03E-08	1.32E-08	1.72E-08	2.06E-08
-0.15	2.07E-08	1.74E-08	1.25E-08	1.06E-08	8.65E-09	8.57E-09	6.94E-09	8.57E-09	9.65E-09	1.06E-08	1.25E-08	1.74E-08	2.07E-08
-0.2	2.09E-08	1.66E-08	1.29E-08	1.11E-08	9.16E-09	8.09E-09	7.47E-09	9.09E-09	9.16E-09	1.01E-08	1.29E-08	1.66E-08	2.09E-08
-0.25	2.11E-08	1.70E-08	1.34E-08	1.17E-08	9.81E-09	8.77E-09	6.15E-09	8.77E-09	9.81E-09	1.07E-08	1.34E-08	1.70E-08	2.11E-08
-0.3	2.14E-08	1.74E-08	1.40E-08	1.14E-08	1.06E-08	8.57E-09	6.96E-09	9.57E-09	9.59E-09	1.14E-08	1.40E-08	1.74E-08	2.14E-08
-0.35	2.17E-08	1.79E-08	1.36E-08	1.12E-08	1.05E-08	9.51E-09	7.90E-09	9.51E-09	9.50E-09	1.12E-08	1.36E-08	1.79E-08	2.17E-08
-0.4	2.20E-08	1.84E-08	1.44E-08	1.21E-08	1.15E-08	9.56E-09	7.96E-09	9.56E-09	1.05E-08	1.11E-08	1.44E-08	1.84E-08	2.20E-08
-0.45	2.24E-08	1.80E-08	1.52E-08	1.21E-08	1.16E-08	9.71E-09	8.13E-09	1.07E-08	1.06E-08	1.21E-08	1.42E-08	1.80E-08	2.24E-08
-0.5	2.28E-08	1.86E-08	1.51E-08	1.32E-08	1.18E-08	1.10E-08	9.39E-09	9.96E-09	1.08E-08	1.22E-08	1.51E-08	1.86E-08	2.28E-08
-0.55	2.32E-08	1.93E-08	1.60E-08	1.34E-08	1.31E-08	1.13E-08	9.73E-09	1.13E-08	1.21E-08	1.34E-08	1.60E-08	1.93E-08	2.32E-08
-0.6	2.37E-08	1.90E-08	1.70E-08	1.36E-08	1.34E-08	1.17E-08	1.01E-08	1.17E-08	1.24E-08	1.46E-08	1.70E-08	1.90E-08	2.37E-08
-0.65	2.41E-08	1.97E-08	1.70E-08	1.48E-08	1.38E-08	1.21E-08	1.16E-08	1.21E-08	1.28E-08	1.48E-08	1.70E-08	1.97E-08	2.41E-08
-0.7	2.46E-08	2.04E-08	1.80E-08	1.50E-08	1.52E-08	1.26E-08	1.21E-08	1.26E-08	1.32E-08	1.50E-08	1.80E-08	2.04E-08	2.46E-08

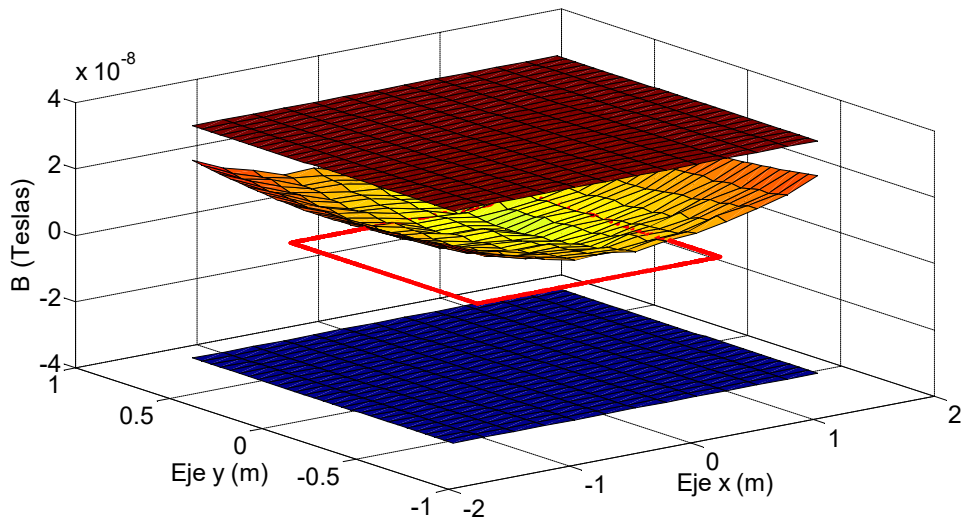


Fig. 3.56 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

Ensayo 5p

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos para las lecturas realizadas a una altura de $z=1m$ sobre el plano de la espira, aplicando una corriente de $100mA$, haciendo un barrido a lo largo del plano “xy”.

Tabla 3.50 $|B|$ medido para una espira de $2x1m$, alimentada con $100mA$ y $z = 1m$

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	4.10E-08	4.50E-08	5.00E-08	5.50E-08	5.90E-08	6.20E-08	6.10E-08	6.20E-08	6.00E-08	5.60E-08	5.00E-08	4.50E-08	4.10E-08
0.65	4.10E-08	4.50E-08	5.10E-08	5.60E-08	6.10E-08	6.30E-08	6.30E-08	6.40E-08	6.20E-08	5.70E-08	5.20E-08	4.60E-08	4.10E-08
0.6	4.10E-08	4.60E-08	5.20E-08	5.90E-08	6.20E-08	6.50E-08	6.50E-08	6.60E-08	6.30E-08	5.90E-08	5.30E-08	4.60E-08	4.10E-08
0.55	4.20E-08	4.70E-08	5.40E-08	6.00E-08	6.50E-08	6.70E-08	6.70E-08	6.80E-08	6.50E-08	6.10E-08	5.40E-08	4.70E-08	4.20E-08
0.5	4.20E-08	4.70E-08	5.50E-08	6.10E-08	6.60E-08	6.90E-08	6.90E-08	7.00E-08	6.60E-08	6.30E-08	5.60E-08	4.70E-08	4.20E-08
0.45	4.20E-08	4.80E-08	5.50E-08	6.30E-08	6.80E-08	7.20E-08	7.10E-08	7.10E-08	6.90E-08	6.40E-08	5.70E-08	4.80E-08	4.20E-08
0.4	4.30E-08	5.00E-08	5.70E-08	6.40E-08	7.00E-08	7.40E-08	7.30E-08	7.30E-08	7.00E-08	6.60E-08	5.80E-08	5.00E-08	4.30E-08
0.35	4.40E-08	5.10E-08	5.80E-08	6.50E-08	7.10E-08	7.50E-08	7.40E-08	7.50E-08	7.20E-08	6.70E-08	5.90E-08	5.10E-08	4.40E-08
0.3	4.40E-08	5.20E-08	5.90E-08	6.70E-08	7.20E-08	7.60E-08	7.60E-08	7.60E-08	7.40E-08	6.80E-08	6.00E-08	5.20E-08	4.40E-08
0.25	4.40E-08	5.10E-08	6.00E-08	6.80E-08	7.40E-08	7.70E-08	7.70E-08	7.80E-08	7.50E-08	7.00E-08	6.10E-08	5.10E-08	4.40E-08
0.2	4.40E-08	5.20E-08	6.00E-08	6.80E-08	7.50E-08	7.80E-08	7.90E-08	7.90E-08	7.50E-08	7.10E-08	6.20E-08	5.20E-08	4.40E-08
0.15	4.40E-08	5.30E-08	6.00E-08	7.20E-08	7.50E-08	7.90E-08	8.00E-08	7.90E-08	7.70E-08	7.20E-08	6.30E-08	5.30E-08	4.40E-08
0.1	4.50E-08	5.20E-08	6.10E-08	7.30E-08	7.60E-08	8.00E-08	7.90E-08	8.00E-08	7.80E-08	7.30E-08	6.30E-08	5.20E-08	4.50E-08
0.05	4.50E-08	5.30E-08	6.10E-08	7.30E-08	7.60E-08	8.00E-08	8.00E-08	8.10E-08	7.80E-08	7.30E-08	6.40E-08	5.30E-08	4.50E-08
0	4.50E-08	5.30E-08	6.10E-08	7.30E-08	7.60E-08	8.00E-08	8.00E-08	8.00E-08	7.70E-08	7.30E-08	6.10E-08	5.30E-08	4.50E-08
-0.05	4.50E-08	5.30E-08	6.10E-08	7.30E-08	7.70E-08	8.10E-08	8.00E-08	8.10E-08	7.70E-08	7.00E-08	6.20E-08	5.30E-08	4.50E-08
-0.1	4.50E-08	5.30E-08	6.10E-08	7.40E-08	7.60E-08	8.00E-08	8.00E-08	8.00E-08	7.70E-08	7.00E-08	6.20E-08	5.30E-08	4.50E-08
-0.15	4.50E-08	5.20E-08	6.00E-08	7.10E-08	7.50E-08	7.90E-08	8.00E-08	8.00E-08	7.50E-08	7.00E-08	6.00E-08	5.20E-08	4.50E-08
-0.2	4.50E-08	5.20E-08	6.00E-08	7.10E-08	7.60E-08	7.90E-08	7.90E-08	8.10E-08	7.50E-08	6.80E-08	6.00E-08	5.20E-08	4.50E-08
-0.25	4.40E-08	5.10E-08	5.90E-08	7.00E-08	7.60E-08	7.90E-08	7.90E-08	7.90E-08	7.40E-08	6.80E-08	6.00E-08	5.10E-08	4.40E-08
-0.3	4.40E-08	5.10E-08	5.90E-08	6.80E-08	7.50E-08	7.60E-08	7.60E-08	7.80E-08	7.20E-08	6.70E-08	5.90E-08	5.10E-08	4.40E-08
-0.35	4.40E-08	5.00E-08	5.90E-08	6.70E-08	7.30E-08	7.40E-08	7.50E-08	7.50E-08	7.10E-08	6.50E-08	5.80E-08	5.00E-08	4.40E-08
-0.4	4.30E-08	4.90E-08	5.80E-08	6.60E-08	7.20E-08	7.30E-08	7.30E-08	7.30E-08	7.00E-08	6.40E-08	5.70E-08	4.90E-08	4.30E-08
-0.45	4.20E-08	4.80E-08	5.60E-08	6.30E-08	7.10E-08	7.10E-08	7.10E-08	7.20E-08	6.80E-08	6.30E-08	5.50E-08	4.80E-08	4.20E-08
-0.5	4.20E-08	4.70E-08	5.40E-08	6.20E-08	6.80E-08	6.90E-08	6.90E-08	6.90E-08	6.60E-08	6.10E-08	5.40E-08	4.70E-08	4.20E-08
-0.55	4.20E-08	4.70E-08	5.30E-08	6.10E-08	6.70E-08	6.70E-08	6.70E-08	6.70E-08	6.40E-08	6.00E-08	5.30E-08	4.70E-08	4.20E-08
-0.6	4.20E-08	4.60E-08	5.20E-08	5.80E-08	6.50E-08	6.50E-08	6.50E-08	6.50E-08	6.20E-08	5.80E-08	5.20E-08	4.60E-08	4.20E-08
-0.65	4.10E-08	4.50E-08	5.10E-08	5.70E-08	6.20E-08	6.30E-08	6.20E-08	6.30E-08	6.00E-08	5.70E-08	5.00E-08	4.50E-08	4.10E-08
-0.7	4.10E-08	4.40E-08	4.90E-08	5.50E-08	6.10E-08	6.00E-08	6.00E-08	6.10E-08	5.80E-08	5.50E-08	5.00E-08	4.40E-08	4.10E-08

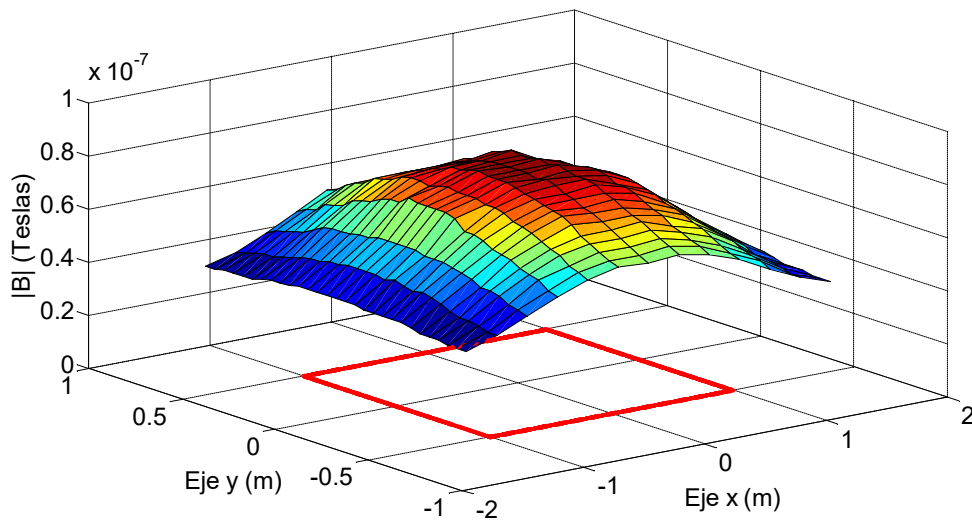


Fig. 3.57 $|B|$ medido para una espira de $2x1m$, alimentada con $100mA$ y $z = 1m$.

Tabla 3.51 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $100mA$ y $z = 1m$

Eje x (m) \ Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	2.48E-08	3.31E-08	4.20E-08	4.99E-08	5.56E-08	5.89E-08	5.99E-08	5.89E-08	5.56E-08	4.99E-08	4.20E-08	3.31E-08	2.48E-08
0.65	2.58E-08	3.46E-08	4.40E-08	5.24E-08	5.84E-08	6.18E-08	6.29E-08	6.18E-08	5.84E-08	5.24E-08	4.40E-08	3.46E-08	2.58E-08
0.6	2.67E-08	3.60E-08	4.60E-08	5.49E-08	6.11E-08	6.46E-08	6.57E-08	6.46E-08	6.11E-08	5.49E-08	4.60E-08	3.60E-08	2.67E-08
0.55	2.76E-08	3.74E-08	4.80E-08	5.73E-08	6.38E-08	6.74E-08	6.86E-08	6.74E-08	6.38E-08	5.73E-08	4.80E-08	3.74E-08	2.76E-08
0.5	2.84E-08	3.87E-08	4.98E-08	5.95E-08	6.63E-08	7.01E-08	7.12E-08	7.01E-08	6.63E-08	5.95E-08	4.98E-08	3.87E-08	2.84E-08
0.45	2.92E-08	4.00E-08	5.16E-08	6.17E-08	6.87E-08	7.26E-08	7.37E-08	7.26E-08	6.87E-08	6.17E-08	5.16E-08	4.00E-08	2.92E-08
0.4	3.00E-08	4.12E-08	5.32E-08	6.37E-08	7.10E-08	7.49E-08	7.61E-08	7.49E-08	7.10E-08	6.37E-08	5.32E-08	4.12E-08	3.00E-08
0.35	3.07E-08	4.22E-08	5.47E-08	6.56E-08	7.30E-08	7.70E-08	7.82E-08	7.70E-08	7.30E-08	6.56E-08	5.47E-08	4.22E-08	3.07E-08
0.3	3.13E-08	4.32E-08	5.61E-08	6.72E-08	7.48E-08	7.89E-08	8.01E-08	7.89E-08	7.48E-08	6.72E-08	5.61E-08	4.32E-08	3.13E-08
0.25	3.18E-08	4.40E-08	5.72E-08	6.86E-08	7.64E-08	8.05E-08	8.17E-08	8.05E-08	7.64E-08	6.86E-08	5.72E-08	4.40E-08	3.18E-08
0.2	3.23E-08	4.47E-08	5.82E-08	6.98E-08	7.77E-08	8.18E-08	8.31E-08	8.18E-08	7.77E-08	6.98E-08	5.82E-08	4.47E-08	3.23E-08
0.15	3.26E-08	4.53E-08	5.89E-08	7.07E-08	7.87E-08	8.29E-08	8.41E-08	8.29E-08	7.87E-08	7.07E-08	5.89E-08	4.53E-08	3.26E-08
0.1	3.29E-08	4.57E-08	5.95E-08	7.14E-08	7.94E-08	8.36E-08	8.49E-08	8.36E-08	7.94E-08	7.14E-08	5.95E-08	4.57E-08	3.29E-08
0.05	3.30E-08	4.59E-08	5.98E-08	7.18E-08	7.99E-08	8.41E-08	8.53E-08	8.41E-08	7.99E-08	7.18E-08	5.98E-08	4.59E-08	3.30E-08
0	3.31E-08	4.60E-08	5.99E-08	7.20E-08	8.00E-08	8.42E-08	8.55E-08	8.42E-08	8.00E-08	7.20E-08	5.99E-08	4.60E-08	3.31E-08
-0.05	3.30E-08	4.59E-08	5.98E-08	7.18E-08	7.99E-08	8.41E-08	8.53E-08	8.41E-08	7.99E-08	7.18E-08	5.98E-08	4.59E-08	3.30E-08
-0.1	3.29E-08	4.57E-08	5.95E-08	7.14E-08	7.94E-08	8.36E-08	8.49E-08	8.36E-08	7.94E-08	7.14E-08	5.95E-08	4.57E-08	3.29E-08
-0.15	3.26E-08	4.53E-08	5.89E-08	7.07E-08	7.87E-08	8.29E-08	8.41E-08	8.29E-08	7.87E-08	7.07E-08	5.89E-08	4.53E-08	3.26E-08
-0.2	3.23E-08	4.47E-08	5.82E-08	6.98E-08	7.77E-08	8.18E-08	8.31E-08	8.18E-08	7.77E-08	6.98E-08	5.82E-08	4.47E-08	3.23E-08
-0.25	3.18E-08	4.40E-08	5.72E-08	6.86E-08	7.64E-08	8.05E-08	8.17E-08	8.05E-08	7.64E-08	6.86E-08	5.72E-08	4.40E-08	3.18E-08
-0.3	3.13E-08	4.32E-08	5.61E-08	6.72E-08	7.48E-08	7.89E-08	8.01E-08	7.89E-08	7.48E-08	6.72E-08	5.61E-08	4.32E-08	3.13E-08
-0.35	3.07E-08	4.22E-08	5.47E-08	6.56E-08	7.30E-08	7.70E-08	7.82E-08	7.70E-08	7.30E-08	6.56E-08	5.47E-08	4.22E-08	3.07E-08
-0.4	3.00E-08	4.12E-08	5.32E-08	6.37E-08	7.10E-08	7.49E-08	7.61E-08	7.49E-08	7.10E-08	6.37E-08	5.32E-08	4.12E-08	3.00E-08
-0.45	2.92E-08	4.00E-08	5.16E-08	6.17E-08	6.87E-08	7.26E-08	7.37E-08	7.26E-08	6.87E-08	6.17E-08	5.16E-08	4.00E-08	2.92E-08
-0.5	2.84E-08	3.87E-08	4.98E-08	5.95E-08	6.63E-08	7.01E-08	7.12E-08	7.01E-08	6.63E-08	5.95E-08	4.98E-08	3.87E-08	2.84E-08
-0.55	2.76E-08	3.74E-08	4.80E-08	5.73E-08	6.38E-08	6.74E-08	6.86E-08	6.74E-08	6.38E-08	5.73E-08	4.80E-08	3.74E-08	2.76E-08
-0.6	2.67E-08	3.60E-08	4.60E-08	5.49E-08	6.11E-08	6.46E-08	6.57E-08	6.46E-08	6.11E-08	5.49E-08	4.60E-08	3.60E-08	2.67E-08
-0.65	2.58E-08	3.46E-08	4.40E-08	5.24E-08	5.84E-08	6.18E-08	6.29E-08	6.18E-08	5.84E-08	5.24E-08	4.40E-08	3.46E-08	2.58E-08
-0.7	2.48E-08	3.31E-08	4.20E-08	4.99E-08	5.56E-08	5.89E-08	5.99E-08	5.89E-08	5.56E-08	4.99E-08	4.20E-08	3.31E-08	2.48E-08

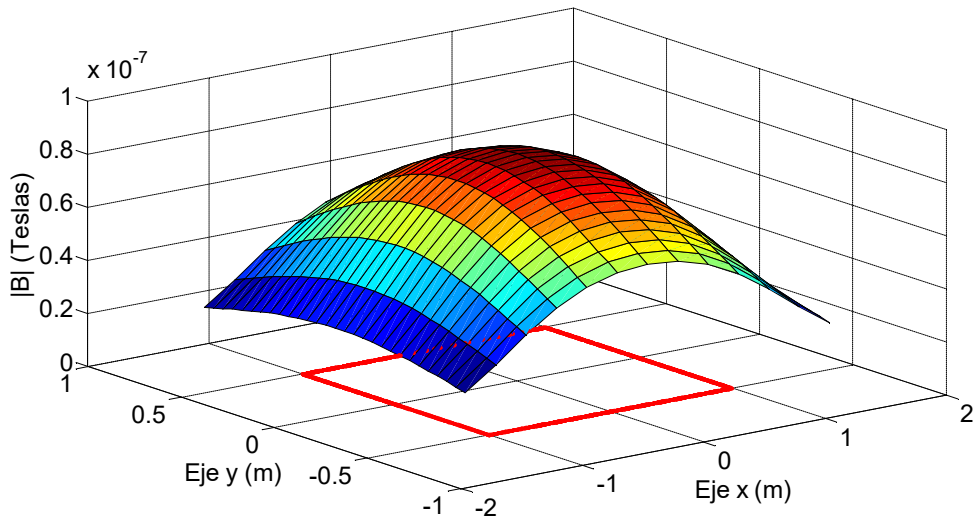


Fig. 3.58 $|B|$ calculado para una espira de $2 \times 1m$, alimentada con $100mA$ y $z = 1m$.

Tabla 3.52 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 1m

Eje x (m) Eje y (m)	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
0.7	1.62E-08	1.19E-08	7.99E-09	5.08E-09	3.38E-09	3.14E-09	1.11E-09	3.14E-09	4.38E-09	6.08E-09	7.99E-09	1.19E-08	1.62E-08
0.65	1.52E-08	1.04E-08	6.97E-09	3.59E-09	2.59E-09	1.22E-09	1.90E-10	2.22E-09	3.59E-09	4.59E-09	7.97E-09	1.04E-08	1.52E-08
0.6	1.43E-08	1.00E-08	5.98E-09	4.13E-09	8.55E-10	3.51E-10	-7.47E-10	1.35E-09	1.86E-09	4.13E-09	6.98E-09	1.00E-08	1.43E-08
0.55	1.44E-08	9.62E-09	6.04E-09	2.75E-09	1.20E-09	-4.23E-10	-1.55E-09	5.77E-10	1.20E-09	3.75E-09	6.04E-09	9.62E-09	1.44E-08
0.5	1.36E-08	8.28E-09	5.18E-09	1.46E-09	-3.46E-10	-1.07E-09	-2.23E-09	-7.40E-11	-3.46E-10	3.46E-09	6.18E-09	8.28E-09	1.36E-08
0.45	1.28E-08	8.02E-09	3.42E-09	1.29E-09	-7.47E-10	-5.72E-10	-2.75E-09	-1.57E-09	2.53E-10	2.29E-09	5.42E-09	8.02E-09	1.28E-08
0.4	1.30E-08	8.85E-09	3.78E-09	2.74E-10	-9.76E-10	-8.86E-10	-3.08E-09	-1.89E-09	-9.76E-10	2.27E-09	4.78E-09	8.85E-09	1.30E-08
0.35	1.33E-08	8.78E-09	3.28E-09	-5.65E-10	-2.01E-09	-1.99E-09	-4.20E-09	-1.99E-09	-1.01E-09	1.44E-09	4.28E-09	8.78E-09	1.33E-08
0.3	1.27E-08	8.82E-09	2.95E-09	-2.04E-10	-2.81E-09	-2.86E-09	-4.08E-09	-2.86E-09	-8.12E-10	7.96E-10	3.95E-09	8.82E-09	1.27E-08
0.25	1.22E-08	6.99E-09	2.79E-09	-6.25E-10	-2.37E-09	-3.47E-09	-4.71E-09	-2.47E-09	-1.37E-09	1.38E-09	3.79E-09	6.99E-09	1.22E-08
0.2	1.17E-08	7.29E-09	1.82E-09	-1.81E-09	-2.67E-09	-3.81E-09	-4.05E-09	-2.81E-09	-2.67E-09	1.19E-09	3.82E-09	7.29E-09	1.17E-08
0.15	1.14E-08	7.74E-09	1.05E-09	1.26E-09	-3.70E-09	-3.87E-09	-4.12E-09	-3.87E-09	-1.70E-09	1.26E-09	4.05E-09	7.74E-09	1.14E-08
0.1	1.21E-08	6.35E-09	1.50E-09	1.58E-09	-3.44E-09	-3.63E-09	-5.88E-09	-3.63E-09	-1.44E-09	1.58E-09	3.80E-09	6.35E-09	1.21E-08
0.05	1.20E-08	7.11E-09	1.16E-09	1.17E-09	-3.89E-09	-4.09E-09	-5.35E-09	-3.09E-09	-1.89E-09	1.17E-09	4.16E-09	7.11E-09	1.20E-08
0	1.19E-08	7.03E-09	1.05E-09	1.04E-09	-4.04E-09	-4.24E-09	-5.50E-09	-4.24E-09	-3.04E-09	1.04E-09	4.05E-09	7.03E-09	1.19E-08
-0.05	1.20E-08	7.11E-09	1.16E-09	1.17E-09	-2.89E-09	-3.09E-09	-5.35E-09	-3.09E-09	-2.89E-09	-1.83E-09	2.16E-09	7.11E-09	1.20E-08
-0.1	1.21E-08	7.35E-09	1.50E-09	2.58E-09	-3.44E-09	-3.63E-09	-4.88E-09	-3.63E-09	-2.44E-09	-1.42E-09	2.50E-09	7.35E-09	1.21E-08
-0.15	1.24E-08	6.74E-09	1.05E-09	2.56E-10	-3.70E-09	-3.87E-09	-4.12E-09	-2.87E-09	-3.70E-09	-7.44E-10	1.05E-09	6.74E-09	1.24E-08
-0.2	1.27E-08	7.29E-09	1.82E-09	1.19E-09	-1.67E-09	-2.81E-09	-4.05E-09	-8.12E-10	-2.67E-09	-1.81E-09	1.82E-09	7.29E-09	1.27E-08
-0.25	1.22E-08	6.99E-09	1.79E-09	1.38E-09	-3.74E-10	-3.47E-09	-3.71E-09	-1.47E-09	-2.37E-09	-6.25E-10	2.79E-09	6.99E-09	1.22E-08
-0.3	1.27E-08	7.82E-09	2.95E-09	7.96E-10	1.88E-10	-2.86E-09	-4.08E-09	-8.57E-10	-2.81E-09	-2.04E-10	2.95E-09	7.82E-09	1.27E-08
-0.35	1.33E-08	7.78E-09	4.28E-09	1.44E-09	-6.00E-12	-2.99E-09	-3.20E-09	-2.99E-09	-2.01E-09	-5.65E-10	3.28E-09	7.78E-09	1.33E-08
-0.4	1.30E-08	7.85E-09	4.78E-09	2.27E-09	1.02E-09	-1.89E-09	-3.08E-09	-1.89E-09	-9.76E-10	2.74E-10	3.78E-09	7.85E-09	1.30E-08
-0.45	1.28E-08	8.02E-09	4.42E-09	1.29E-09	2.25E-09	-1.57E-09	-2.75E-09	-5.72E-10	-7.47E-10	1.29E-09	3.42E-09	8.02E-09	1.28E-08
-0.5	1.36E-08	8.28E-09	4.18E-09	2.46E-09	1.65E-09	-1.07E-09	-2.23E-09	-1.07E-09	-3.46E-10	1.46E-09	4.18E-09	8.28E-09	1.36E-08
-0.55	1.44E-08	9.62E-09	5.04E-09	3.75E-09	3.20E-09	-4.23E-10	-1.55E-09	-4.23E-10	1.99E-10	2.75E-09	5.04E-09	9.62E-09	1.44E-08
-0.6	1.53E-08	1.00E-08	5.98E-09	3.13E-09	3.86E-09	3.51E-10	-7.47E-10	3.51E-10	8.55E-10	3.13E-09	5.98E-09	1.00E-08	1.53E-08
-0.65	1.52E-08	1.04E-08	6.97E-09	4.59E-09	3.59E-09	1.22E-09	-8.50E-10	1.22E-09	1.59E-09	4.59E-09	5.97E-09	1.04E-08	1.52E-08
-0.7	1.62E-08	1.09E-08	6.99E-09	5.08E-09	5.38E-09	1.14E-09	1.08E-10	2.14E-09	2.38E-09	5.08E-09	7.99E-09	1.09E-08	1.62E-08

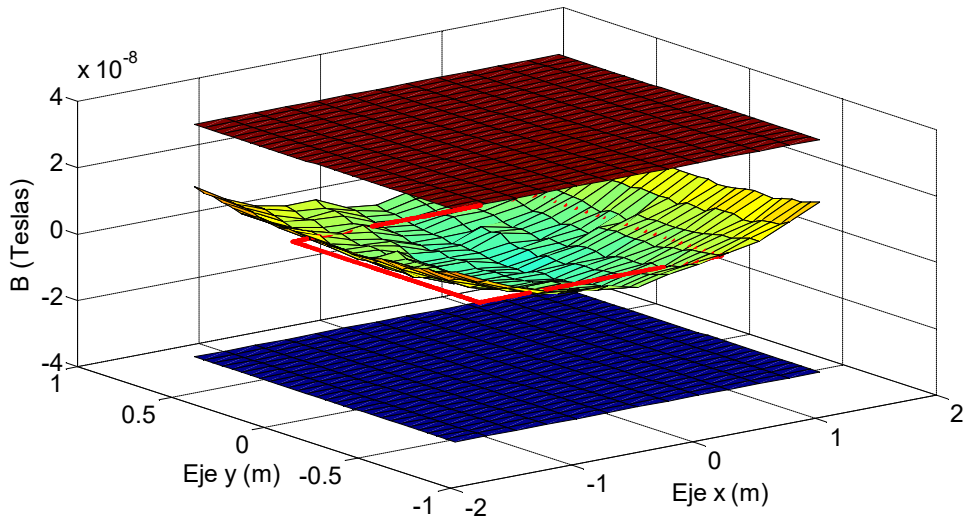


Fig. 3.59 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.

3.1.6 Conclusiones

Comparando los resultados de los ensayos se puede observar, que al aumentar la corriente o al disminuir la distancia de lectura desde el plano de la espira, los picos máximos de campo magnético se localizan en los bordes la espira. Por tanto, las lecturas realizadas a distancias cortas y con niveles de corrientes altos, provocaran niveles de campo magnético máximos localizados en los bordes de la espira, con pendientes bastantes pronunciadas. Estas condiciones dificultan una correcta lectura del campo magnético en posiciones cercanas a los bordes, debido a las dimensiones del instrumento; por lo que cualquier variación en la posición del instrumento provocara una lectura diferente a la esperada. Este efecto se puede observar en los ensayos 5c y 5d, donde la diferencia entre los valores medidos y calculados, en los bordes de la espira son mayores al rango de tolerancia del instrumento.

Para tener una comparación objetiva entre los valores calculados y los valores medidos, se puede optar por comparar los valores que se encuentran en el centro de la espira, en esta zona las diferencias entre los puntos circundantes presentan menor variación, evitando con esto cualquier error cometido al momento de ubicar el instrumento de medición. En la tabla 3.53 se muestra la diferencia entre la lectura realizada y los valores calculados, para los ensayos anteriormente descritos.

Tabla 3.53 Diferencia entre valores medidos y calculados en el centro de la espira

Ensayo	Posición (m)			Tamaño de la espira (m)	Numero de vueltas	Corriente aplicada a la espira (mA)	Lectura-Calculo (nT)
	x	y	z				
1	0	0	0.0825	1.20x0.46	4	57.83	27.7
2	0	0	0.0825	1.30x0.80	5	57.01	3.36
3	0	0	0.0825	1.20x0.46	5 exteriores y 4 interiores	51.8	22
4	0.01	0	0.0825	1.30x0.80	5	53.01	-13.3
5a	0	0	0.1	2x1	5	10	9.25
5b	0	0	0.1	2x1	5	20	0.492
5c	0	0	0.1	2x1	5	50	-9.41
5d	0	0	0.1	2x1	5	100	-11.5
5e	0	0	0.2	2x1	5	10	9.47
5f	0	0	0.2	2x1	5	20	1.95
5g	0	0	0.2	2x1	5	50	-5.63
5h	0	0	0.2	2x1	5	100	-16.3
5i	0	0	0.5	2x1	5	10	25.2
5j	0	0	0.5	2x1	5	20	14.4
5k	0	0	0.5	2x1	5	50	-0.07
5l	0	0	0.5	2x1	5	100	-10.1
5m	0	0	1	2x1	5	10	28
5n	0	0	1	2x1	5	20	19.9
5o	0	0	1	2x1	5	50	6.25
5p	0	0	1	2x1	5	100	-5.5

De la tabla anterior se puede observar que las diferencias entre los valores de campo magnético medidos y calculados, se encuentran dentro del rango de tolerancia del instrumento ($\pm 35\text{nT}$). Por lo tanto, se puede concluir que el modelo teórico predice correctamente el comportamiento del campo magnético, tanto para espiras rectangulares como para espiras dobles.

3.2 Análisis del acoplamiento entre espiras magnéticas

Hasta ahora se ha analizado el campo magnético generado por una espira, pero el interés de este trabajo es utilizar este fenómeno como medio de comunicación. Para ello es necesario utilizar una espira receptora. La ley de Faraday establece lo siguiente [2]:

$$FEM = \oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (3.30)$$

De la Ec. (3.30) se observa, que es posible inducir una fuerza electromotriz (FEM) en un conductor en presencia de un campo magnético variable en el tiempo. Si el receptor es una espira rectangular ubicada en el plano XY paralela a la espira emisora, la FEM inducida dependerá del área que ocupa la espira receptora, del campo magnético que la atraviesa de forma perpendicular (B_z) y de la frecuencia. Estos tres aspectos serán determinantes en la magnitud de la FEM inducida. Ver Fig. 3.60.

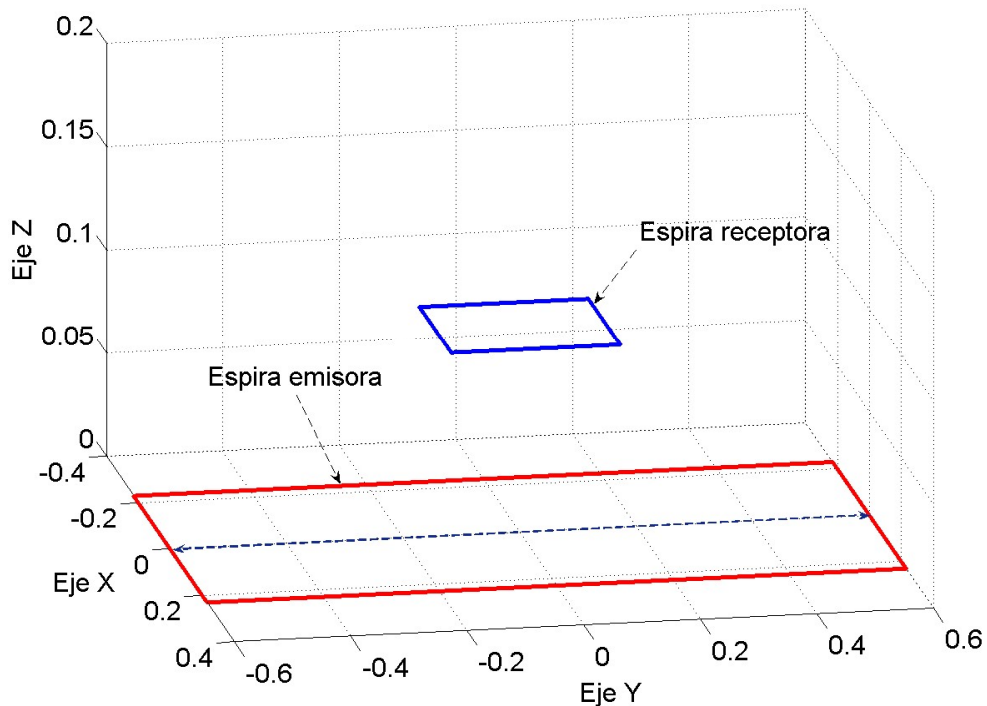


Fig. 3.60 Espira emisora y receptora.

3.2.1 Análisis teórico del acoplamiento magnético entre espiras magnéticas rectangulares

Retomando los resultados del análisis de campo magnético generado por una espira rectangular, se observa que las ecuaciones que la describen son complejas, ver Ec. (3.17). Por tanto, al realizar los cálculos de la FEM inducida en una espira, es muy complicado obtener un resultado analítico, por lo que es necesario una solución numérica.

Se ha optado por la regla de Simpson 1/3 para resolver la integral. Este método plantea una forma sencilla de calcular la integral, utilizando la evaluación de la función a integrar en tres puntos distintos dentro de un intervalo acotado por “a” y “b”. En la Ec. (3.31) se muestra la regla de Simpson 1/3 para una dimensión [9].

$$I \cong (b - a) \frac{f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)}{6} \quad (3.31)$$

donde:

$$x_0 = a$$

$$x_1 = (a + b)/2$$

$$x_2 = b$$

Debido a que la integral es sobre la superficie, se tendrá que realizar una integral doble. Para ello se toman nueve puntos con se muestra en la Fig. 3.61. En la Ec. (3.32) se muestra la forma en cómo se aplica la integración doble, con este método.

$$I_1 \cong (x_2 - x_0) \frac{f(x_0, y_0) + 4f(x_1, y_0) + f(x_2, y_0)}{6}$$

$$I_2 \cong (x_2 - x_0) \frac{f(x_0, y_1) + 4f(x_1, y_1) + f(x_2, y_1)}{6}$$

$$I_3 \cong (x_2 - x_0) \frac{f(x_0, y_2) + 4f(x_1, y_2) + f(x_2, y_2)}{6}$$

$$I_{doble} \cong (y_2 - y_0) \frac{I_1 + 4I_2 + I_3}{6} \quad (3.32)$$

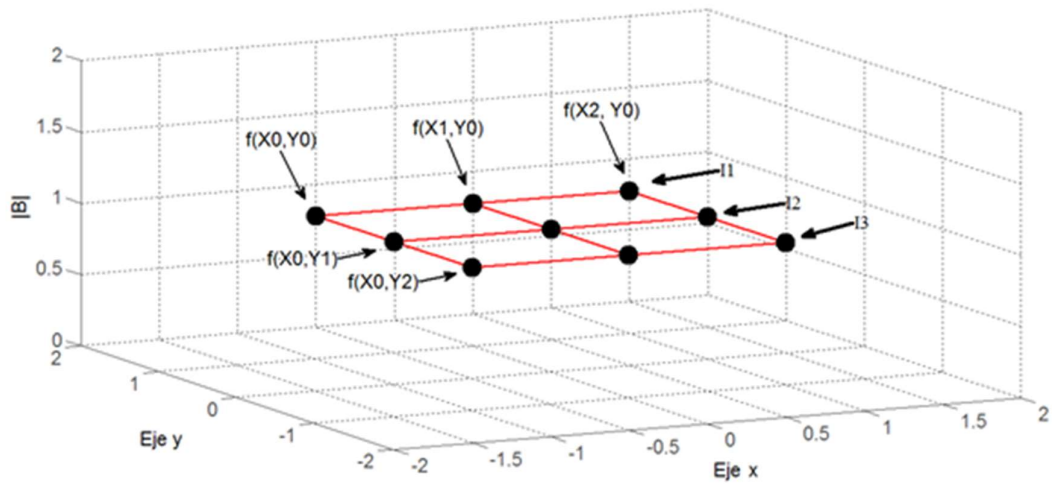


Fig. 3.61 Ubicación de los puntos para realizar la integración doble sobre la espira receptora.

El método de la integración doble aplicada a la espira receptora, se aplicó dividiendo la espira en pequeña secciones, en la Fig. 3.62 se muestra una de estas secciones. El resultado obtenido de todas las secciones que forman a la espira receptora, son sumados para obtener el resultado final de la integral. El tamaño de las secciones en que se divide la espira, está en función de las variaciones de la pendiente de la señal a integrar. En el caso del campo magnético generado por una espira rectangular, las variaciones no son tan abruptas. Para los cálculos posteriores, si dividió la espira receptora en 100 secciones.

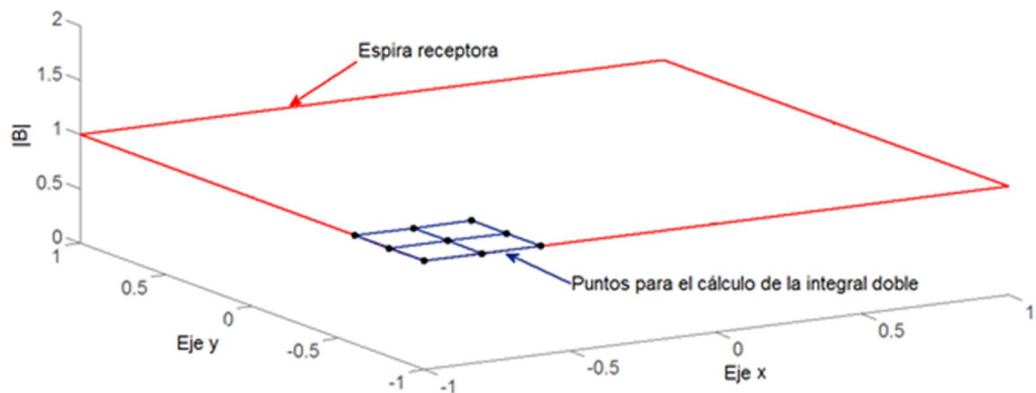


Fig. 3.62 Sección dentro de la espira receptora.

Si ambas espiras son colocadas de forma paralela al plano XY (ver Fig. 3.60), la FEM inducida estará en función de la componente B_z , generada por la espira emisora. B_z está definida por la Ec. (3.17). Por tanto, los valores para realizar la integral doble corresponden a la magnitud de B_z .

Con la integración del campo magnético en el área que ocupa la espira receptora, se puede calcular la FEM inducida, aplicando la ley de Faraday Ec. (3.30). En esta ecuación se observa que el resultado de la integración tiene que ser derivada con respecto al tiempo, por tanto el único parámetro que se encuentra en función del tiempo es la señal de corriente eléctrica aplicada a la espira emisora, si se considera una señal senoidal, al derivar tendremos un cambio de fase entre la señal de corriente emitida y la FEM inducida, además de este cambio de fase la FEM inducida también será dependiente de la frecuencia de la señal emitida, ya que al derivar la señal senoidal se obtiene una constante que multiplica el resultado final y este valor corresponde a la frecuencia angular de la señal emitida.

Después de conocer el comportamiento del campo magnético generado por una espira rectangular, es necesario tener un programa que simule la tensión que se puede inducir en una segunda espira situada en el área de influencia de la emisora. Basado en el análisis teórico, se implementó el siguiente programa en Matlab.

```

%%% NIVEL DE VOLTAJE DEBIDO A ACOPLAMIENTO MAGNÉTICO %%%

% En esta simulación se tienen dos espiras que se encuentra en forma
% paralela con respecto al plano que forman

% "z" representa la distancia en metros entre ambos planos de las
% espiras
% "NE" representa el número de vueltas de la espira emisora
% "NR" representa el número de vueltas de la espira receptora

clc
clear all

z=0.5;
NE=5;
NR=5;

%%% DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DE LA ESPIRA RECEPTORA %%%

% "Rex" representa el tamaño en metros de la espira receptora paralela
% al
% eje X
% "Rey" representa el tamaño en metros de la espira receptora paralela
% al

```

```

%     eje Y

Rex=0.3;
Rey=0.2;

% DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESPIRA EMISORA%

% "Ancho" representa la longitud en metros del conductor paralelo al
eje
%     X
% "Largo" representa la longitud en metros del conductor paralelo al
eje
%     Y
% "u" representa la permeabilidad magnética en el vacío
% "I" representa la corriente eléctrica en amperes que circula por la
%     espira
% "Wf" representa la frecuencia angular de la señal emitida

Ancho=2;
Largo=1;
u=4*pi*1e-7;
Ie=100e-3;
Wf=2*pi*100000;
a=Ancho/2;
b=Largo/2;

%% DEFINICIÓN DEL ÁREA DONDE SE REALIZARA LA LECTURA %%

% "Bix" límite inferior sobre el eje X
% "Bfx" límite superior sobre el eje X
% "Biy" límite inferior sobre el eje Y
% "Bfy" límite superior sobre el eje Y

Bix=-1;
Bfx=1;
Biy=-.6;
Bfy=.6;

%% DENSIDAD DE PUNTOS DONDE SE REALIZA EL CÁLCULO %%

% El punto de referencia de la espira receptora en su centro
% Los desplazamientos se realizan conforme a este parámetro

% "nrx" número de puntos a analizar a lo largo del eje X
% "nry" número de puntos a analizar a lo largo del eje Y
% "Bx" desplazamiento en el eje X para el análisis
% "By" desplazamiento en el eje Y para el análisis

nrx=10;
nry=6;
Bx=(Bfx-Bix)/nrx;
By=(Bfy-Biy)/nry;

%% APLICACIÓN DEL MÉTODO DE INTEGRACIÓN NUMÉRICA %%

% Se utilizan las ecuaciones del campo magnético para determinar

```

```

% la cantidad el voltaje que se induce en la espira receptora.
% Como ambas espiras están ubicadas en forma paralela sobre el plano
XY
% la componente que contribuye a la inducción es Bz
% Los cálculos se realizan en diferentes puntos dentro del área
definida

ccy=0;
for Iy=0:nry

    Ly=Biy+Iy*By-Rey/2;
    Hy=Biy+Iy*By+Rey/2;
    Py=Biy+Iy*By;
    ccy=ccy+1;

    for Ix=0:nrx

        Lx=Bix+Ix*Bx-Rex/2;
        Hx=Bix+Ix*Bx+Rex/2;
        Px=Bix+Ix*Bx;
        m=10;
        n=10;
        Incx=(Hx-Lx)/n;
        Incy=(Hy-Ly)/m;

        for h = 1:m

            ci= Ly+Incy*(h-1);
            di= Ly+Incy*(h);
            hyy=(di-ci)/2;

            for e = 1:n

                ai= Lx+Incx*(e-1);
                bi= Lx+Incx*(e);
                hxx=(bi-ai)/2;
                ym=ci+hyy;
                xm=ai+hxx;
                x=[ai xm bi];
                y=[ci ym di];

                for i=1:3;

                    for j=1:3;

                        c1=-a-x(i);
                        c2=a-x(i);
                        d1=-b-y(j);
                        d2=b-y(j);
                        r1=((a+x(i)).^2+(y(j)+b).^2+z.^2).^0.5;
                        r2=((a-x(i)).^2+(y(j)+b).^2+z.^2).^0.5;
                        r3=((a+x(i)).^2+(y(j)-b).^2+z.^2).^0.5;
                        r4=((a-x(i)).^2+(y(j)-b).^2+z.^2).^0.5;
                        Ay1=(x(i)+a)/(r1*(r1+d1));
                        Ay2=(x(i)-a)/(r2*(r2+d1));
                        Ay3=(x(i)+a)/(r3*(r3+d2));
                        Ay4=(x(i)-a)/(r4*(r4+d2));
                        Ax1=(y(j)+b)/(r1*(r1+c1));
                        Ax2=(y(j)+b)/(r2*(r2+c2));
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

Ax3=(y(j)-b)/(r3*(r3+c1));
Ax4=(y(j)-b)/(r4*(r4+c2));
Factor=(u*Ie)/(4*pi);
f(i,j)=abs(NE*Factor*((Ay2-Ay1+Ay3-Ay4)-(Ax1-Ax2-
Ax3+Ax4)));

end

end

A=(hyy/3)*(f(1,1)+4*f(1,2)+f(1,3));
B=(hyy/3)*(f(2,1)+4*f(2,2)+f(2,3));
C=(hyy/3)*(f(3,1)+4*f(3,2)+f(3,3));
I(e,h)=(hxx/3)*(A+4*B+C);
end

end

inicial=0;
for K=1:m

for L=1:n
integral=inicial+I(L,K);
inicial=integral;

end

end

Ex(Ix+1,ccy)=Px;
Ey(Ix+1,ccy)=Py;
Rzi(Ix+1,ccy)=1000*Wf*NR*integral; % El resultado se
multiplica % por 1000 para ver en la
gráfica % valores de mili-volts (mV)
% en el eje Z

end

end

surf(Ex,Ey, Rzi)

```

Este programa permite simular el voltaje inducido en una espira receptora, en función del campo magnético generado por una espira emisora. En este programa se tiene control sobre el número de vueltas y las dimensiones de ambas espiras. Además incluye otras variables importantes, como la distancia entre los planos paralelos de ambas espiras, la corriente que alimenta a la espira emisora y la frecuencia de la señal. Otro elemento que se puede controlar con este programa, es el área que se desea observar. Si se ejecuta el programa con los datos descritos anteriormente, se obtiene el resultado que se muestra en la Fig. 3.63.

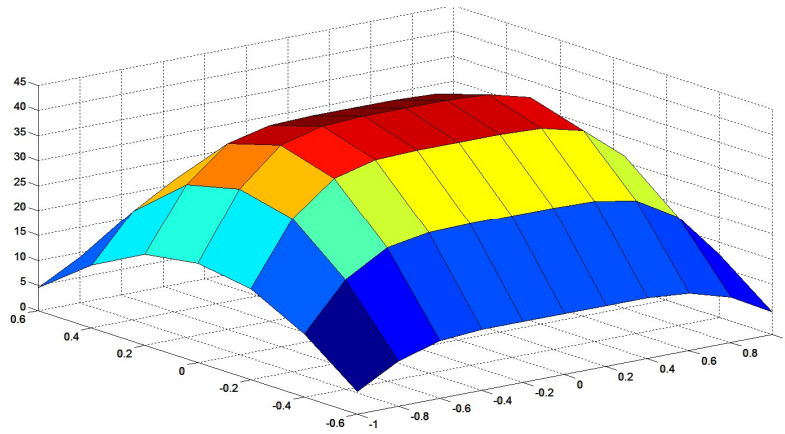


Fig. 3.63 Voltaje inducido con una altura de 0.50m.

En la Fig. 3.63 el plano horizontal xy representa la ubicación espacial sobre la espira emisora a una altura de 0.50m donde fue colocada la espira receptora. El eje z representa el nivel de voltaje inducido en mV. Si se desea cambiar el área de observación, se puede modificar el programa, por ejemplo en la sección de la definición del área donde se realizará la lectura, cambiamos $B_{ix} = -0.1$; $B_{fx} = 0.1$; $B_{iy} = -0.1$; $B_{fy} = 0.1$; con esto se observará los valores en una área en el centro de la espira emisora, en un área de 0.20 x 0.20m. En la Fig. 3.64 se observa el resultado.

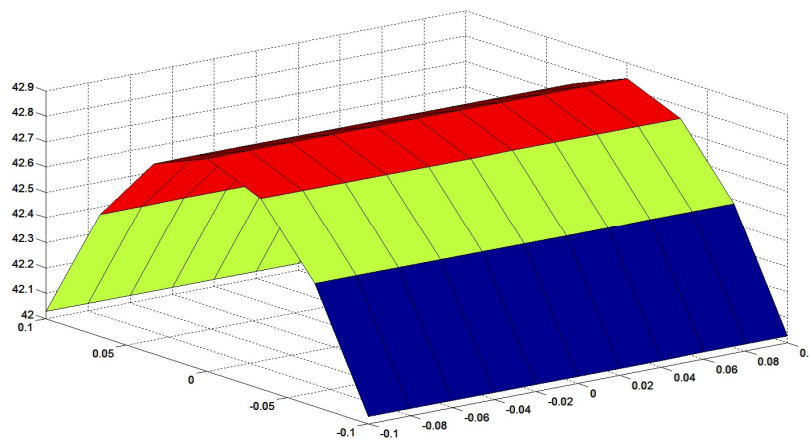


Fig. 3.64 Voltaje inducido con una altura de 0.50m en un área central de 0.20 x 0.20m.

Si se tiene una espira emisora con las siguientes características:

- Espira rectangular de 2 x 1m.
- Número de vueltas: 5
- Corriente que circula por la espira: senoidal de 100mA de amplitud y una frecuencia de 14 kHz:

$$I = (100mA)\text{sen}(2\pi(14\text{kHz})t)$$

y como espira receptora una espira con las siguientes características:

- Espira rectangular de 0.30 x 0.20m.
- Número de vueltas: 5

Utilizando el sistema de cálculo descrito anteriormente, se calculan los valores máximos de la FEM inducida sobre la espira receptora, cuando ésta se sitúa sobre distintos puntos de la espira emisora y siempre con una distancia entre espiras de 1m, ver Fig. 3.65.

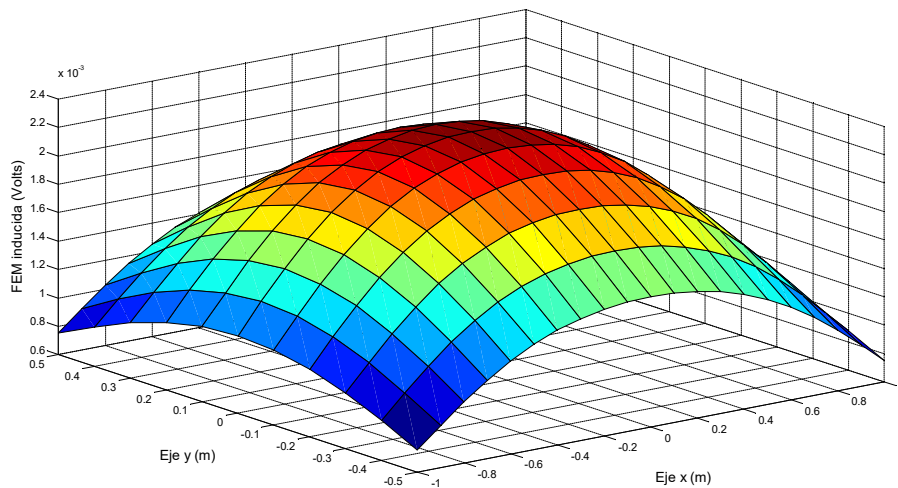


Fig. 3.65 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 1m.

En la Fig. 3.66 se muestra los valores de la FEM inducida en la espira receptora cuando está hace un recorrido por el centro de la espira emisora, sobre el eje X, a la misma distancia entre espiras (1m).

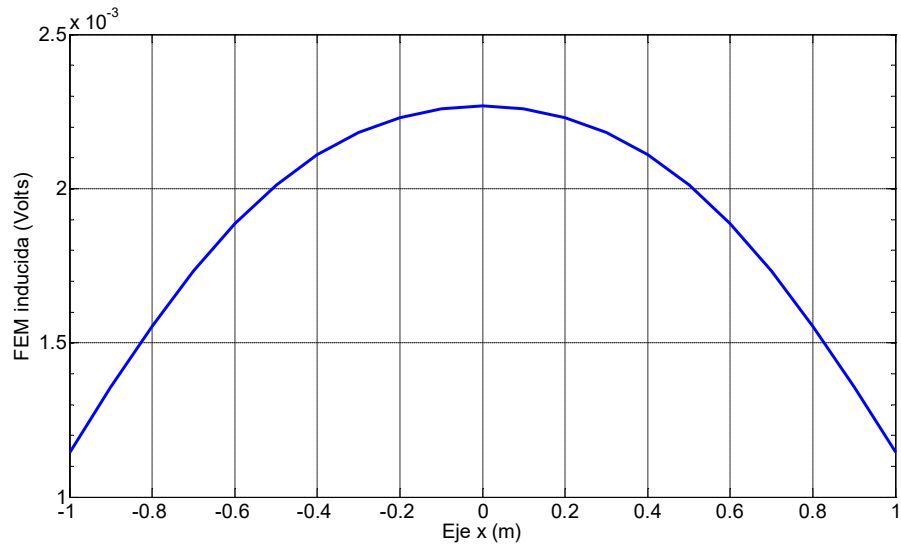


Fig. 3.66 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje X.

En la Fig. 3.67 se observan los valores máximos de la FEM inducida en la espira receptora, cuando ésta se sitúa sobre distintos puntos de la espira emisora y siempre con una distancia entre espiras de 0.50m

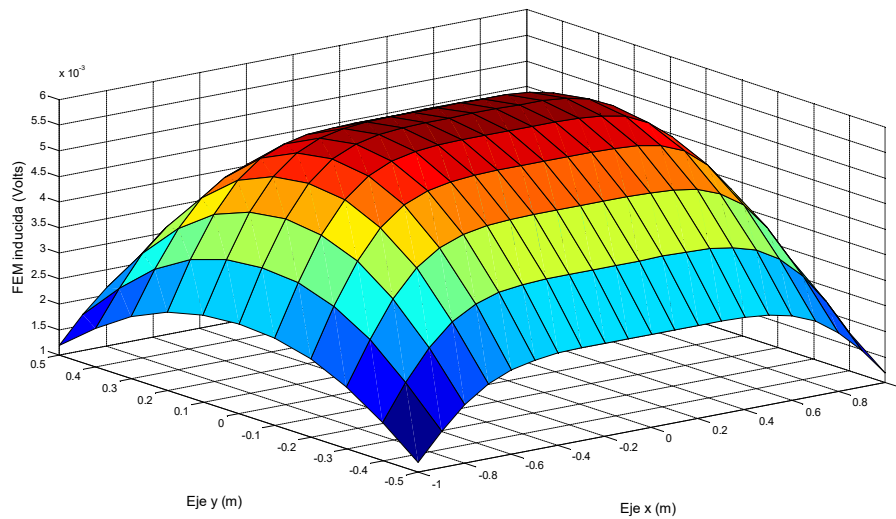


Fig. 3.67 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 0.50m.

En la Fig. 3.68 se muestra los valores de la FEM inducida en la espira receptora cuando está hace un recorrido por el centro de la espira emisora, sobre el eje X, a una distancia entre espiras de 0.50m.

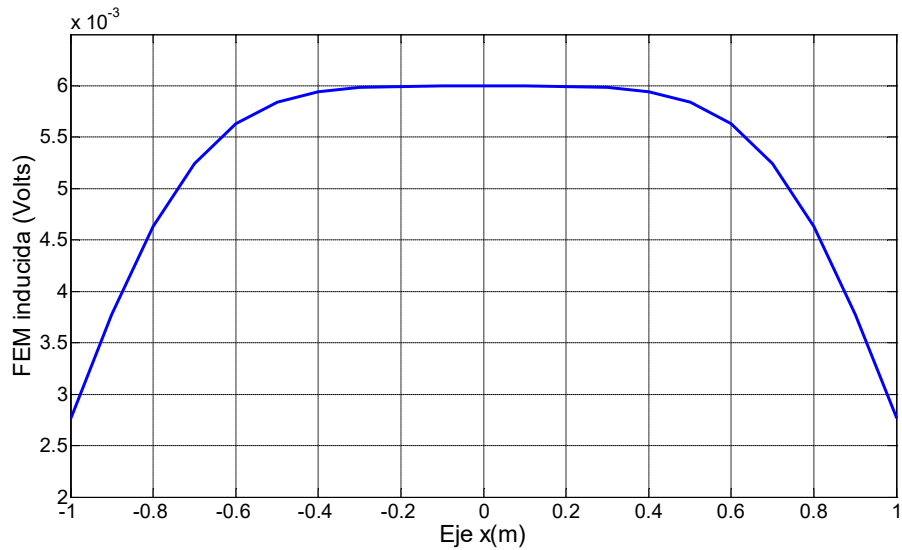


Fig. 3.68 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje X.

En la Fig. 3.69 se observan los valores máximos de la FEM inducida en la espira receptora, cuando ésta se sitúa sobre distintos puntos de la espira emisora y siempre con una distancia entre espiras de 0.10m.

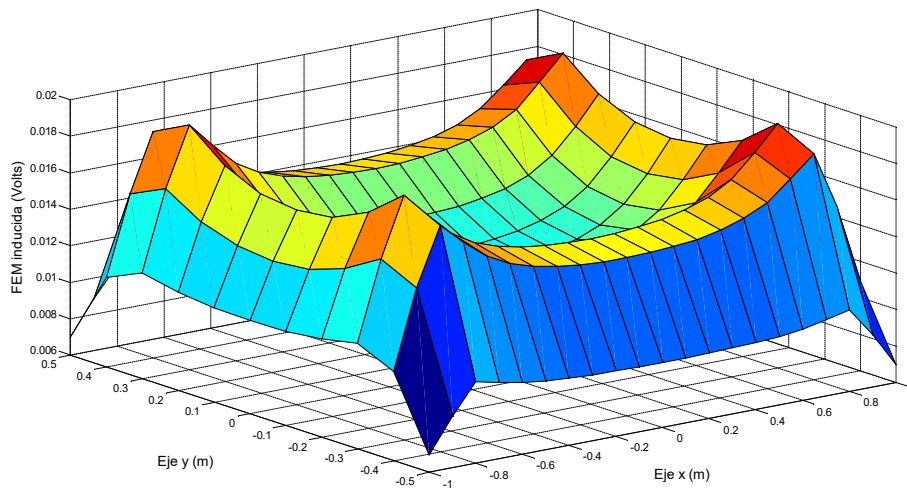


Fig. 3.69 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 0.10m.

En la Fig. 3.70 se muestra los valores de la FEM inducida en la espira receptora cuando está hace un recorrido por el centro de la espira emisora, sobre el eje X, a una distancia entre espiras de 0.10m.

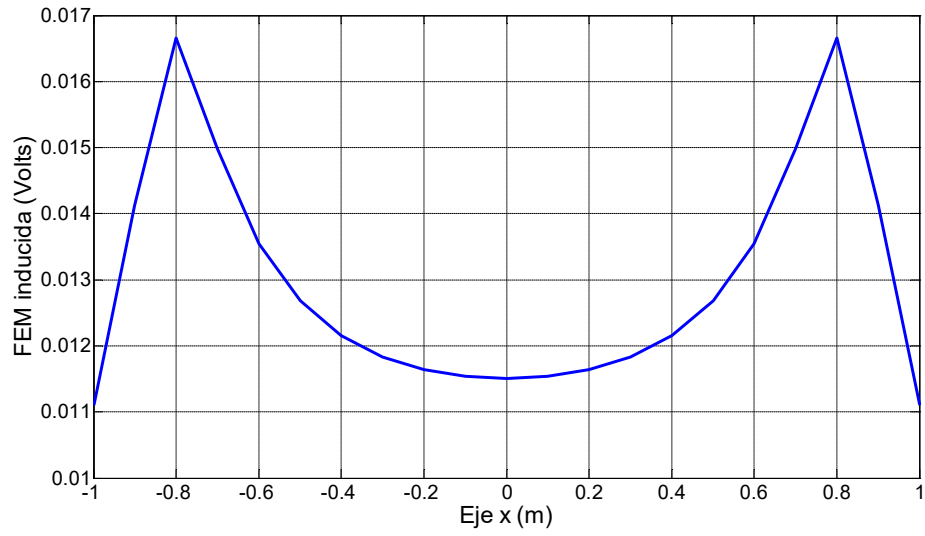


Fig. 3.70 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje X.

De las figuras anteriores se observa que la forma de la FEM inducida tiene una distribución similar al campo magnético generado por la espira emisora.

3.2.2 Relación de ensayos para la verificación del modelo de acoplamiento entre espiras magnéticas

Los ensayos se realizarán utilizando dos espiras magnéticas de diferentes dimensiones, colocadas en planos paralelos a diferentes distancias. La espira emisora se energizará con una señal senoidal con una frecuencia de 100 kHz y en la espira receptora se llevará a cabo la medición del voltaje inducido. Se eligió una frecuencia de 100kHz para mantener similitud con el ensayo 5 de la sección 3.2.1, donde se conoce la forma que tiene el campo magnético. Con esto será posible comprobar los valores de voltaje inducido medidos de forma experimental y los valores calculados de forma teórica.

Se plantea diseñar una espira rectangular de 2 x 1m de 6 vueltas que funcionará como emisora y como receptora una espira rectangular de 0.30 X 0.20m de 5 vueltas.

Ensayo 1

En este primer ensayo se ubicará la espira receptora a 0.10m sobre la espira emisora, con los planos de ambas espiras paralelos. La espira receptora se irá ubicando en diferentes puntos partiendo del centro de ambas espiras, realizando un desplazamiento de la espira receptora cada 0.25m, hasta cubrir completamente el área de la espira emisora.

Ensayo 2

Este ensayo es similar al ensayo 1, la diferencia radica en la altura entre los planos de ambas espiras que para este caso será de 0.20m.

Ensayo 3

Para este ensayo, la medida de tensión inducida en la espira receptora se realizará a una distancia de 0.50m entre ambas espiras. El recorrido de la espira receptora será completamente similar al de los ensayos 1 y 2.

Ensayo 4

En este ensayo la espira receptora será ubicada a 1m por encima del plano de la espira emisora, a esta distancia se realizará la medición del voltaje inducido.

3.2.3 Materiales y métodos para la verificación del modelo teórico

Para poder evaluar el modelo teórico desarrollado para el cálculo del voltaje inducido, se implementarán las espiras magnéticas (emisora y receptora). La espira emisora será energizada creando un campo magnético que inducirá un voltaje en la espira receptora. El voltaje inducido será medido y los resultados comparados con los obtenidos a través del modelo teórico.

El instrumento que se utilizará para medir el voltaje inducido, es un osciloscopio de la marca Tektronix modelo TDS 1012B, ver Fig. 3.71.



Fig. 3.71 Osciloscopio Tektronix modelo TDS 1012B.

Para alimentar a la espira emisora, se utilizó un generador de funciones de la marca RIGOL modelo DG4062, ver Fig. 3.72.



Fig. 3.72 Generador de funciones modelo RIGOL DG4062.

Ensayo

Diseño de una espira rectangular emisora con las siguientes características:

- Tipo de conductor: hilo de cobre esmaltado de 0.50mm de diámetro.
- Número de vueltas: 6
- Dimensiones: 2 x 1m.

Características de la señal que energizará a la espira:

- Frecuencia de la señal aplicada a la espira: 100 kHz.
- Tipo de señal: senoidal.
- Corriente que circula por la espira (RMS): 100 mA.

Diseño de una espira rectangular receptora con las siguientes características:

- Tipo de conductor: hilo de cobre esmaltado de 0.50mm de diámetro.
- Número de vueltas: 5
- Dimensiones: 0.30 x 0.20m.

Región donde se realizaran las lecturas del voltaje inducido:

Suponiendo que las espiras se encuentran centradas en el plano “xy”, coincidiendo el lado de mayor dimensión con el eje “x”, las lecturas se realizarán de la siguiente forma:

- Distancia entre los planos paralelos de ambas espiras: 0.10, 0.20, 0.50 y 1m.
- Posición: A lo largo del eje “x” y el eje “y” tomando lecturas cada 0.25m partiendo del centro, hasta cubrir el área de la espira de mayor dimensión (emisora).

3.2.4 Resultados

En esta sección se presentan la comparación entre los valores medidos y los valores calculados del voltaje inducido.

Ensayo 1

En la tabla 3.54, se muestran los valores del voltaje inducido medidos a una distancia de 0.10m entre el plano de ambas espiras. En la tabla 3.55, se muestran los valores del voltaje inducido, utilizando la integración numérica del campo magnético, para obtener el voltaje. En la tabla 3.56, se muestran el porcentaje de error entre ambas medidas. En la Fig. 3.73 se pueden observar las gráficas de los valores calculados y los medidos y en la Fig. 3.74 la diferencia porcentual entre ambos valores.

Tabla 3.54 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.10m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	71.2	102.2	93.4	91.8	91.2	91.9	93.6	102.8	70.9
	0.25	115.5	172.8	142.9	133.8	132.1	133.9	142.9	172.5	115.8
	0	110.3	150.1	119.2	110.5	108.5	110.9	120.1	150.4	109.8
	-0.25	115.4	172.2	142.8	133.5	131.9	133.9	143.1	172.4	115.6
	-0.5	71.4	102.6	93.2	91.7	91.3	91.5	93.8	102.5	71.5

Tabla 3.55 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.10m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	59.696	89.0915	83.6867	82.3144	81.9993	82.3144	83.6867	89.0915	59.696
	0.25	99.3202	153.6596	128.7137	121.2838	119.5495	121.2838	128.7137	153.6596	99.3202
	0	95.1935	136.422	108.7013	100.493	98.5956	100.493	108.7013	136.422	95.1935
	-0.25	99.3202	153.6596	128.7137	121.2838	119.5495	121.2838	128.7137	153.6596	99.3202
	-0.5	59.696	89.0915	83.6867	82.3144	81.9993	82.3144	83.6867	89.0915	59.696

Tabla 3.56 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.10m

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	19.27%	14.71%	11.61%	11.52%	11.22%	11.65%	11.85%	15.39%	18.77%
	0.25	16.29%	12.46%	11.02%	10.32%	10.50%	10.40%	11.02%	12.26%	16.59%
	0	15.87%	10.03%	9.66%	9.96%	10.05%	10.36%	10.49%	10.25%	15.34%
	-0.25	16.19%	12.07%	10.94%	10.07%	10.33%	10.40%	11.18%	12.20%	16.39%
	-0.5	19.61%	15.16%	11.37%	11.40%	11.34%	11.16%	12.08%	15.05%	19.77%

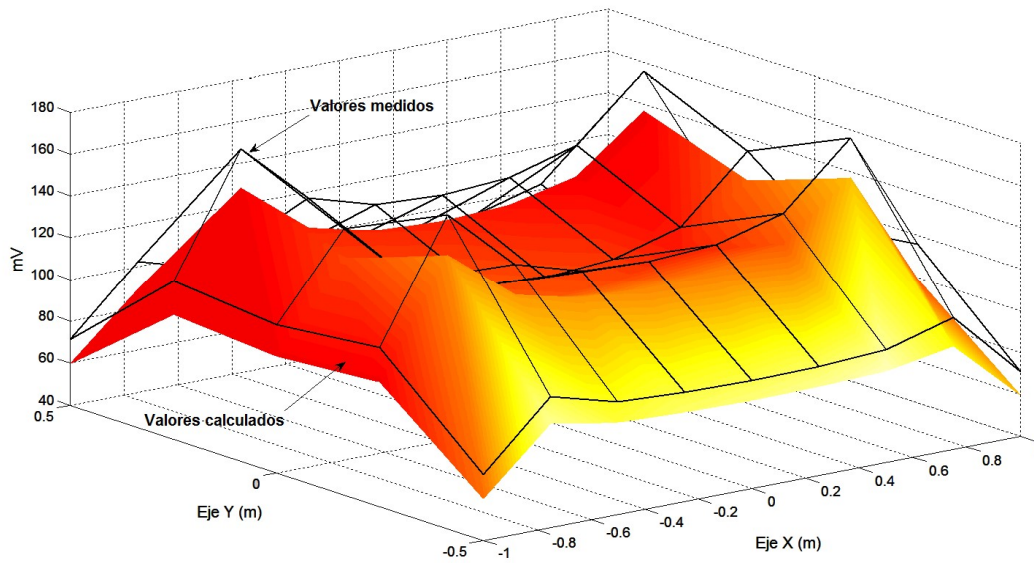


Fig. 3.73 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.10m de separación entre las espiras.

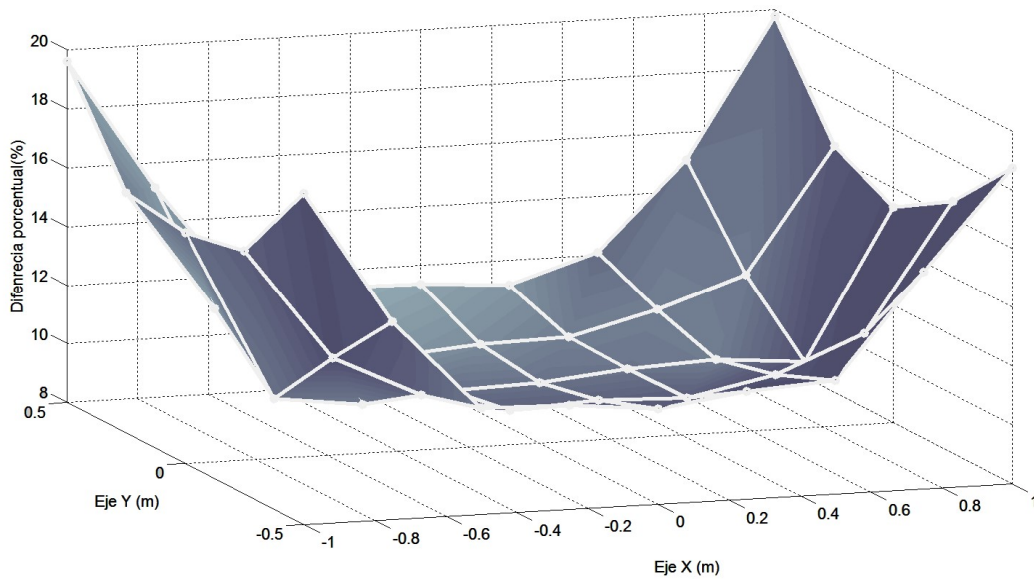


Fig. 3.74 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.10m de separación entre las espiras.

En la tabla 3.57, se muestra los valores del voltaje inducido medidos a una distancia de 0.20m entre el plano de ambas espiras. En la tabla 3.58, se muestran los valores calculados del voltaje inducido. En la tabla 3.59, se muestran el porcentaje de error entre ambas medidas. En la Fig. 3.75 se puede observar las gráficas de los valores calculados y los medidos y en la Fig. 3.76 la diferencia porcentual entre ambos valores.

Tabla 3.57 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.20m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	24.2	46.4	42.2	39.1	37.9	38.9	42.2	46.5	24.6
	0.25	53.9	114.2	108.2	102.5	100.2	102.6	108.1	114.3	53.7
	0	51.5	111.9	104.6	97.5	96.2	97.8	104.5	112	52.1
	-0.25	53.6	113.8	108.3	102.6	100.1	102.4	108.2	114.1	53.8
	-0.5	23.9	46.4	42.5	38.9	38.1	38.7	42.3	46.7	24.3

Tabla 3.58 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.20m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	20.8697	40.9648	37.7418	35.3258	34.6884	35.3258	37.7418	40.9648	20.8697
	0.25	46.8224	103.0195	98.1321	93.2983	91.9612	93.2983	98.1321	103.0195	46.8224
	0	45.843	100.943	95.1208	89.8161	88.3615	89.8161	95.1208	100.943	45.843
	-0.25	46.8224	103.0195	98.1321	93.2983	91.9612	93.2983	98.1321	103.0195	46.8224
	-0.5	20.8697	40.9648	37.7418	35.3258	34.6884	35.3258	37.7418	40.9648	20.8697

Tabla 3.59 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.20m

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	15.96%	13.27%	11.81%	10.68%	9.26%	10.12%	11.81%	13.51%	17.87%
	0.25	15.12%	10.85%	10.26%	9.86%	8.96%	9.97%	10.16%	10.95%	14.69%
	0	12.34%	10.85%	9.97%	8.56%	8.87%	8.89%	9.86%	10.95%	13.65%
	-0.25	14.48%	10.46%	10.36%	9.97%	8.85%	9.76%	10.26%	10.76%	14.90%
	-0.5	14.52%	13.27%	12.61%	10.12%	9.83%	9.55%	12.08%	14.00%	16.44%

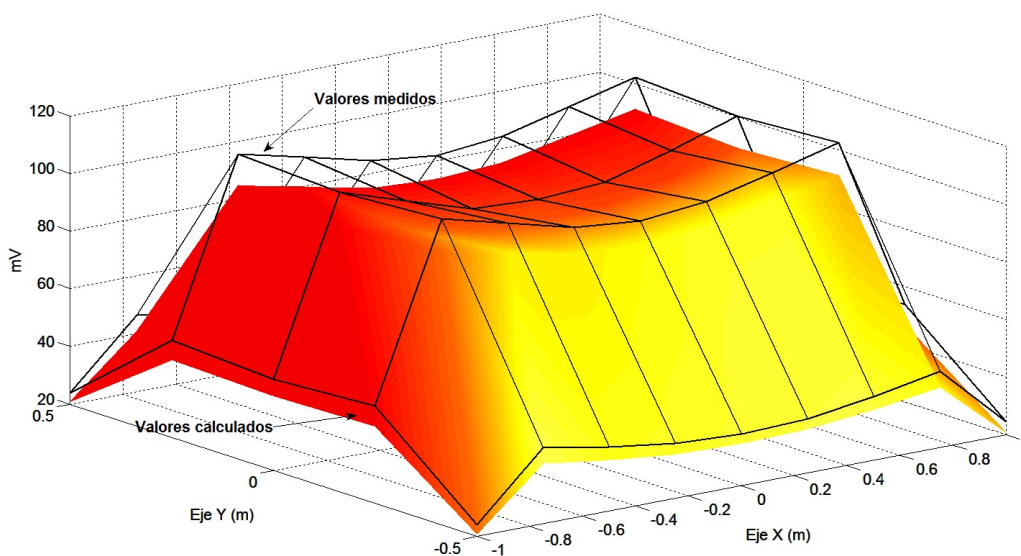


Fig. 3.75 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.20m de separación entre las espiras.

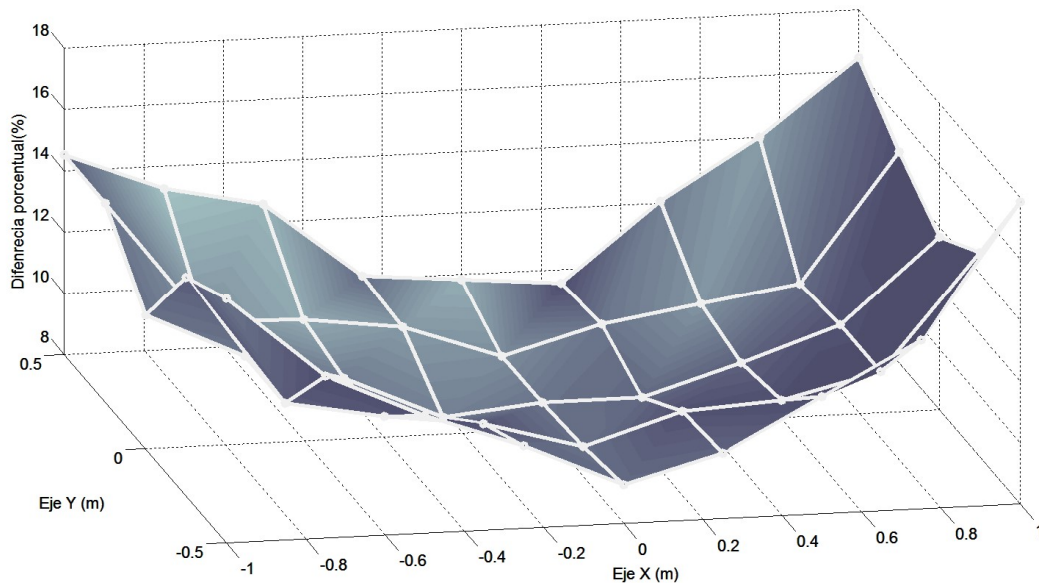


Fig. 3.76 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.20m de separación entre las espiras.

En la tabla 3.60, se muestra los valores del voltaje inducido medidos a una distancia de 0.50m entre el plano de ambas espiras. En la tabla 3.61, se muestran los valores calculados del voltaje inducido. En la tabla 3.62, se muestran el porcentaje de error entre ambas medidas. En la Fig. 3.77 se puede observar las gráficas de los valores calculados y los medidos y en la Fig. 3.78 la diferencia porcentual entre ambos valores.

Tabla 3.60 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.50m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	11.3	21.2	25.4	26.3	26.3	26.2	25.6	20.9	11.4
	0.25	22.4	39.2	46.2	47.8	48.1	47.9	47.5	40.1	22.2
	0	25.2	45.2	52.5	52.1	52.5	52.3	52.1	45.1	25.2
	-0.25	22.2	39.5	46.3	47.2	47.9	47.5	47.1	38.9	22.3
	-0.5	11.2	21.3	25.1	26.1	26.2	26.1	25.4	21	11.3

Tabla 3.61 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.50m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	10.2288	19.9197	23.6445	24.1753	24.1434	24.1753	23.6445	19.9197	10.2288
	0.25	20.4763	37.251	43.7692	44.8628	44.8957	44.8628	43.7692	37.251	20.4763
	0	23.6862	42.6033	50.0458	51.3473	51.4062	51.3473	50.0458	42.6033	23.6862
	-0.25	20.4763	37.251	43.7692	44.8628	44.8957	44.8628	43.7692	37.251	20.4763
	-0.5	10.2288	19.9197	23.6445	24.1753	24.1434	24.1753	23.6445	19.9197	10.2288

Tabla 3.62 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.50m

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	10.47%	6.43%	7.42%	8.79%	8.93%	8.38%	8.27%	4.92%	11.45%
	0.25	9.39%	5.23%	5.55%	6.55%	7.14%	6.77%	8.52%	7.65%	8.42%
	0	6.39%	6.10%	4.90%	1.47%	2.13%	1.86%	4.10%	5.86%	6.39%
	-0.25	8.42%	6.04%	5.78%	5.21%	6.69%	5.88%	7.61%	4.43%	8.91%
	-0.5	9.49%	6.93%	6.16%	7.96%	8.52%	7.96%	7.42%	5.42%	10.47%

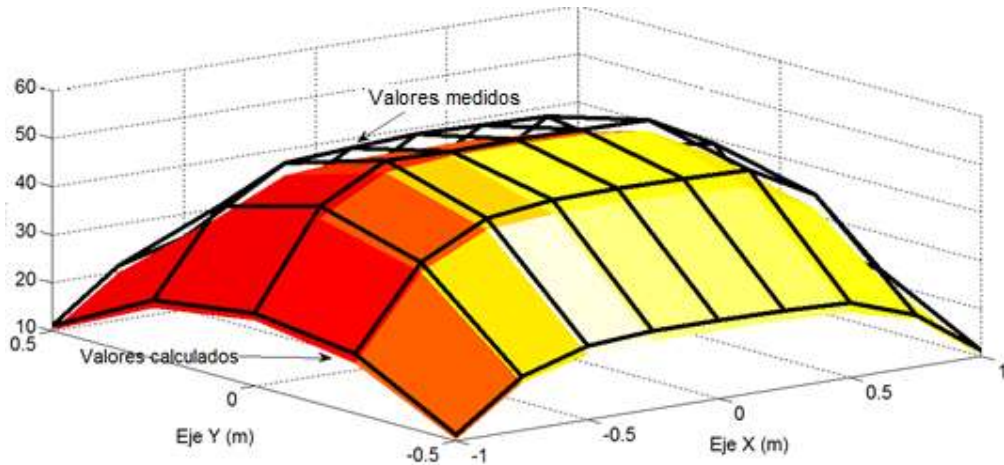


Fig. 3.77 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.50m de separación entre las espiras.

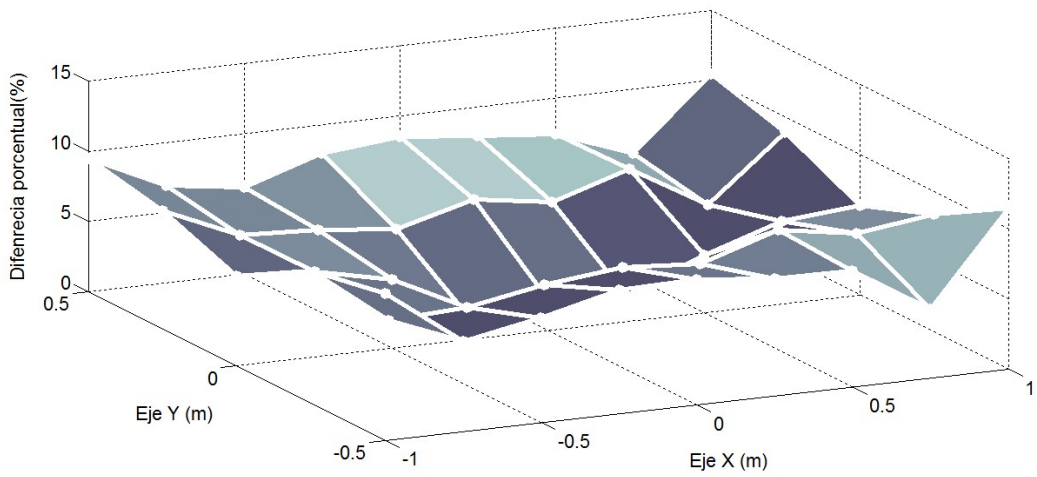


Fig. 3.78 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.50m de separación entre las espiras.

En la tabla 3.63, se muestra los valores del voltaje inducido medidos a una distancia de 1m entre el plano de ambas espiras. En la tabla 3.64, se muestran los valores calculados del voltaje inducido. En la tabla 3.65, se muestran el porcentaje de error entre ambas medidas. En la Fig. 3.79 se puede observar las gráficas de los valores calculados y los medios y en la Fig. 3.80 la diferencia porcentual entre ambos valores.

Tabla 3.63 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 1m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	6.9	9.8	11.8	12.8	13.2	12.9	11.9	9.7	6.9
	0.25	9.5	13.5	16.1	17.5	17.8	17.4	16.2	13.4	9.6
	0	10.3	14.8	17.5	19.2	19.5	19.1	17.8	14.5	10.7
	-0.25	9.4	13.4	16.1	17.6	17.7	17.5	16.3	13.5	9.7
	-0.5	6.9	9.9	11.7	12.7	13.1	12.8	12.2	9.8	6.7

Tabla 3.64 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 1m entre espiras

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	6.4546	9.3373	11.4708	12.6429	13.0001	12.6429	11.4708	9.3373	6.4546
	0.25	8.8691	12.7647	15.617	17.1593	17.6239	17.1593	15.617	12.7647	8.8691
	0	9.8189	14.1137	17.2491	18.937	19.4438	18.937	17.2491	14.1137	9.8189
	-0.25	8.8691	12.7647	15.617	17.1593	17.6239	17.1593	15.617	12.7647	8.8691
	-0.5	6.4546	9.3373	11.4708	12.6429	13.0001	12.6429	11.4708	9.3373	6.4546

Tabla 3.65 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 1m

		Eje X (m)								
		-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
Eje Y (m)	0.5	6.90%	4.96%	2.87%	1.24%	1.54%	2.03%	3.74%	3.88%	6.90%
	0.25	7.11%	5.76%	3.09%	1.99%	1.00%	1.40%	3.73%	4.98%	8.24%
	0	4.90%	4.86%	1.45%	1.39%	0.29%	0.86%	3.19%	2.74%	8.97%
	-0.25	5.99%	4.98%	3.09%	2.57%	0.43%	1.99%	4.37%	5.76%	9.37%
	-0.5	6.90%	6.03%	2.00%	0.45%	0.77%	1.24%	6.36%	4.96%	3.80%

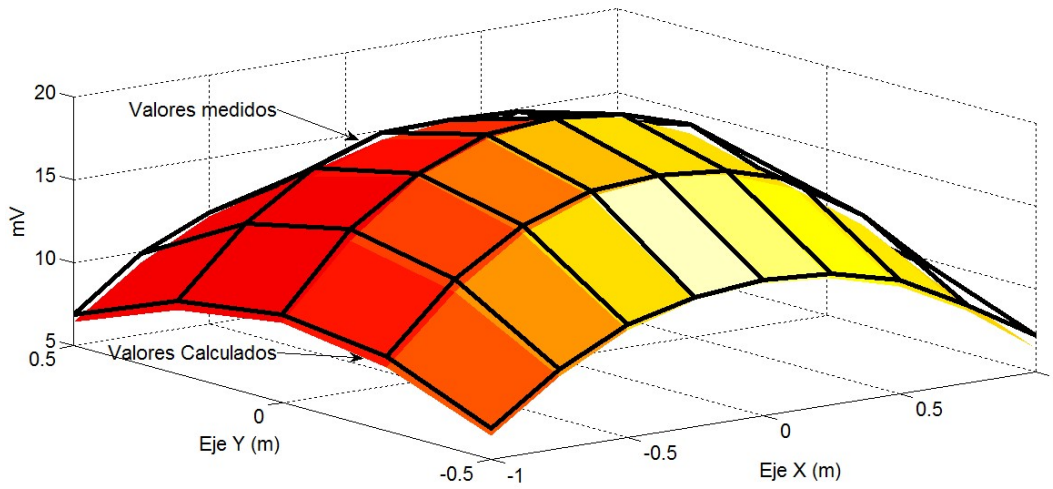


Fig. 3.79 Comparación de los valores de voltaje inducido a 1m de separación entre las espiras.

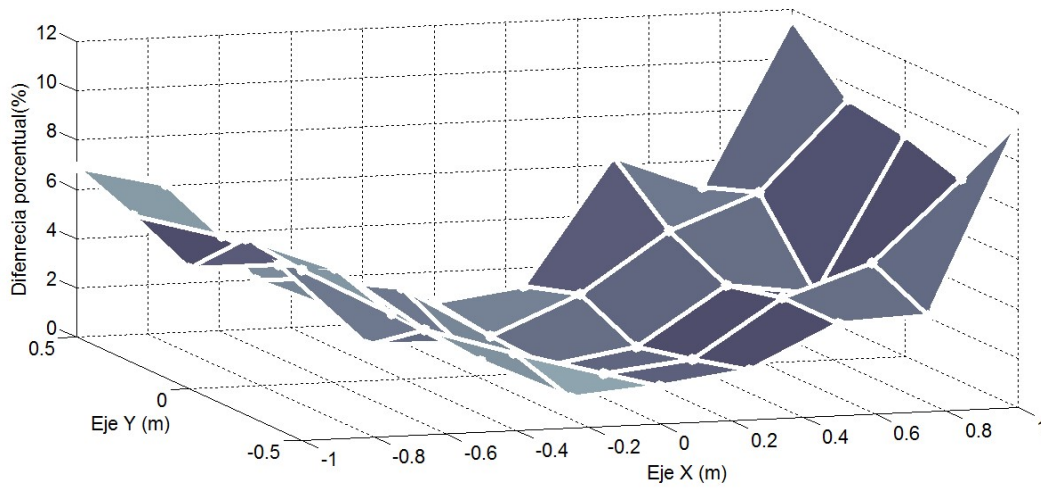


Fig. 3.80 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 1m de separación entre las espiras.

3.2.5 Conclusiones

Los resultados obtenidos de la comparación entre los niveles de voltaje medidos y los valores calculados, que se muestran en la sección 3.2.4, permiten observar que los mayores porcentajes de error se localizan a distancias por debajo de 0.50m entre ambos planos de las espiras y de forma específica en el contorno de la espira emisora. Esto se debe a que a estas distancias cortas los valores máximos del campo magnético se localizan justo sobre las secciones de los conductores de la espira. En el otro extremo se tiene que al alejarse del plano de la espira emisora, el campo magnético generado tiene una distribución con una pendiente más suave con sus valores máximos en el centro de la espira emisora, lo que evita cambios drásticos en la magnitud del campo magnético. Por lo tanto, a distancias por encima de 0.50m se tienen un porcentaje de error menor. En la tabla 3.66 se muestra el error máximo y el error mínimo entre los valores calculados y los valores medidos a las cuatro distancias propuestas entre ambos planos de las espiras.

Tabla 3.66 Comparación de errores a diferentes distancias entre espiras emisora y receptora

Distancia entre planos de las espiras (m)	% de error máximo	% de error mínimo
0.10	19.77	9.66
0.20	17.87	8.56
0.50	11.45	1.47
1.00	9.37	0.29

De la tabla 3.66 se puede observar que los cálculos de los niveles de voltaje inducido se encuentran con un error por debajo del 20%. Para distancias mayores a 0.50m el porcentaje de error se encuentra por debajo del 12%. Recordando que estos valores de porcentaje máximo se localizan en el contorno de la espira emisora. Si se toma el centro de la espira donde el campo generado tiene una pendiente más suave el porcentaje de error está por debajo del 10%.

Referencias

- [1] Traffic Detector Handbook, Third Edition ed., vol. I, 2006.
- [2] C. T. A. Johnk, Teoría Electromagnética campos y ondas, Limusa, 1999.
- [3] M. R. Spiegel, Fórmulas y tablas de matemática aplicada, Mc. Graw Hill, 1999.
- [5] Operating Manual: ELT-400 Exposure Level Tester, Germany: Narda Safety Test Solutions, 2003.
- [6] M. Zahn, Teoría Electromagnética, McGraw-Hill, 1983.
- [7] A. Arroyo y A. Mocholí, «Sistemas Sensores Empleados en ITS,» de *VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte*, Valencia, España, 2007.
- [8] J. H. Arroyo Núñez y A. Mocholí Salcedo, «Communication Between Magnetic Loops,» de *16th World Road Meeting*, Lisbon, Portugal, 2010.
- [9] S. C. Chapra y R. P. Canale, Métodos numéricos para ingenieros, Mc Graw Hill, 2010.

4 Discusión de resultados

4.1 Modelo teórico del campo magnético generado por espiras magnéticas

El modelo teórico desarrollado en este trabajo plantea un análisis del campo magnético generado por espiras magnéticas con formas rectangulares y dimensiones comparables a las espiras utilizadas para la detección de vehículos (2 x 1m) [1] [2]. Además de las dimensiones de las espiras el modelo teórico se centra en la magnitud del campo magnético a una altura que no supera el metro desde el plano de la espira. Esta altura fue propuesta suponiendo que un vehículo pueda llevar una espira receptora y establecer comunicación con la espira de la calzada.

4.1.1 Análisis de los resultados

El modelo teórico del campo magnético permite conocer la magnitud del campo en cualquier punto del espacio tal como se describe en la sección 3.1.1 [3] [4]. El instrumento que se utilizó para medir el campo magnético da una lectura que corresponde a la magnitud del campo magnético. Por tanto, es posible realizar la comparación entre los valores, calculados y medidos, del campo magnético.

En la tabla 4.1 puede observarse el error promedio entre los valores calculados y los valores medidos, tomando en consideración únicamente los valores sobre el eje central de la espira. Consideramos que la espira se encuentra centrada en el origen de coordenadas, con el lado mayor sobre el eje x desde -1 a 1m y lado menor sobre el eje y desde -0.50 a 0.50m, dando como resultado una espira de 2 x 1m. Los valores analizados corresponden a los que se encuentran en $x = 0$ y $y = -0.50$ a 0.50m.

Tabla 4.1 Comparación del error promedio calculado a diferentes alturas y diferentes corrientes de alimentación

Altura sobre el plano de la espira (m)	Corriente aplicada (mA)	Error promedio (%)
0.10	10	11.52
0.10	20	4.76
0.10	50	6.35
0.10	100	5.37
0.20	10	20.84
0.20	20	2.29
0.20	50	4.46
0.20	100	5.64
0.50	10	109.15
0.50	20	30.46
0.50	50	0.64
0.50	100	5.07
1	10	363.48
1	20	131.74
1	50	18.96
1	100	4.9

De la tabla 4.1 se puede observar que si la corriente de alimentación de la espira es de 10mA y se incrementamos la distancia, el error crece de forma exponencial como se observa en la Fig. 4.1.

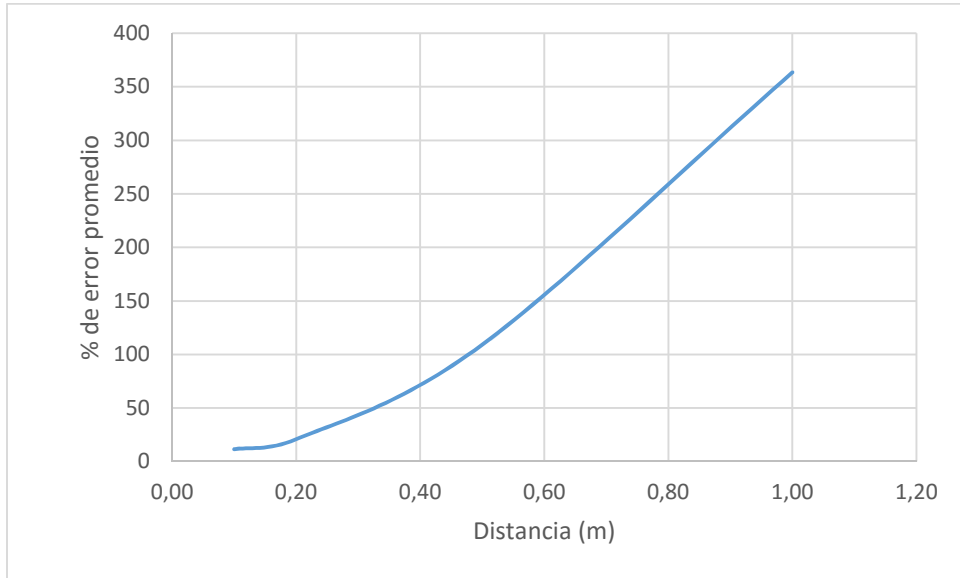


Fig. 4.1 Comparación del porcentaje de error en función de la distancia.

De la tabla 4.1 también se puede observar que si se deja constante la altura e incrementamos la corriente, el error promedio disminuye como se observa en la figura 4.2

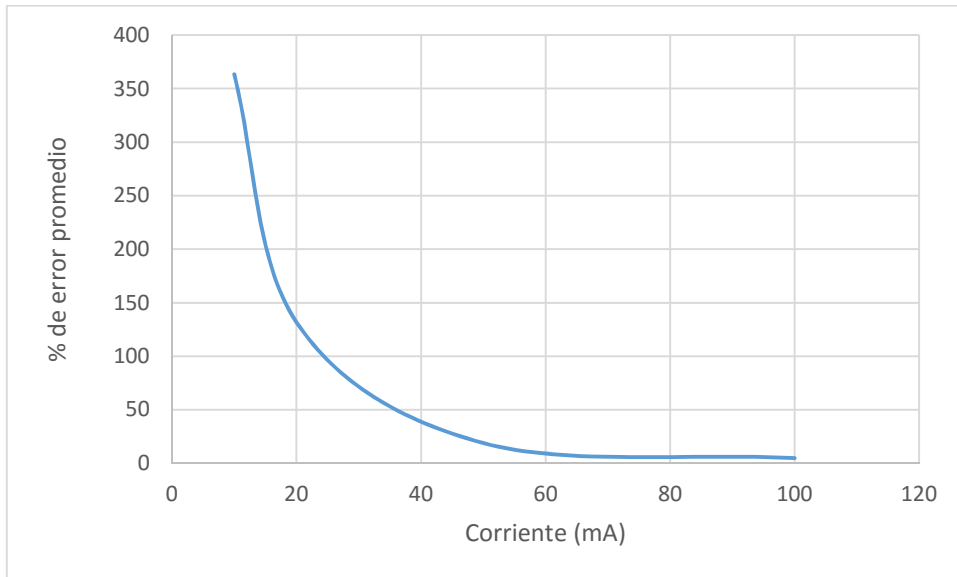


Fig. 4.2 Variación del error promedio a una distancia de 1m en función de la corriente.

Por tanto el programa desarrollado para el cálculo del campo magnético generado por una espira funciona como un simulador. Este simulador tiene un margen de error inferior al 10% cuando por la espira circula una corriente igual o mayor a 50mA y una distancia entre espiras menor a 0.50m. Para tener márgenes de error inferior al 10% a mayor distancia, es necesario incrementar la corriente o cambiar las características de la espira emisora.

El programa de simulación es una herramienta que ayuda a diseñar espiras magnéticas, experimentado de forma virtual con diferentes configuraciones permitiendo variar parámetros como dimensión de la espira, número de vueltas, corriente aplicada, altura y área de observación.

4.2 Acoplamiento entre espiras magnéticas

El acoplamiento magnético entre las espiras, es fundamental para conocer la cantidad de energía que puede ser captada por una espira receptora y con estos datos realizar el diseño del sistema lector. Los cálculos de la cantidad de energía recibida por la espira receptora en presencia de un campo magnético, se efectuaron de forma numérica, debido a la complejidad del modelo del campo magnético generado por una espira rectangular.

4.2.1 Análisis de los resultados

Partiendo del modelo teórico desarrollado para el campo magnético generado por una espira rectangular, se tomó únicamente la componente perpendicular al plano de las espiras. Las espiras fueron ubicadas en planos paralelos pero a diferentes distancias [5].

El modelo teórico que predice la distribución del campo magnético, permite observar que la región estable del campo se encuentra en el centro de la espira emisora. Por tanto, en la tabla 4.2, se observa el porcentaje de error entre los valores calculados y medidos del voltaje inducido, colocando de forma concéntrica ambas espiras a diferentes alturas [6] [7] [8]. Estos mismos resultados se presentan de forma gráfica en la Fig. 4.3.

Tabla 4.2 Porcentaje de error de los niveles de voltaje entre valores calculados y medidos a diferentes alturas

Distancia entre planos de las espiras (m)	% de error en el centro de ambos planos.
0.10	10.05
0.20	8.87
0.50	2.13
1.00	0.29

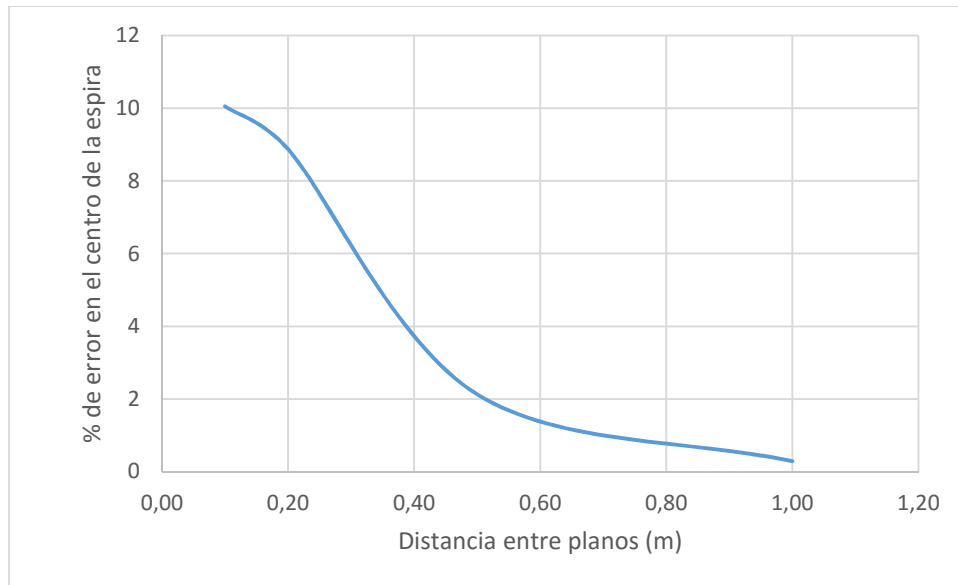


Fig. 4.3 Variación del porcentaje de error en el voltaje inducido a diferentes alturas.

De la Fig. 4.3 se puede observar que a distancias muy cercanas entre los planos de las espiras, el error es mayor, conforme se incrementa la separación entre ambos planos, el error disminuye. A distancias cortas la mayor intensidad del campo magnético se concentra alrededor del conductor que forma la espira magnética. Esto provoca cambios muy rápidos de la intensidad en función de la distancia desde la ubicación del conductor. En cambio cuando la distancia aumenta, la intensidad del campo magnético disminuye pero su distribución tiene una pendiente más suave, concentrando sus valores máximos en el centro de la espira.

Realizar mediciones, en regiones donde la intensidad del campo magnético tiene una distribución con pendiente más suave, permite realizar medidas comparativas entre los valores calculados y los medidos, minimizando el error debido a pequeñas variaciones en la ubicación de la espira receptora.

En la tabla 4.3 se presenta el error promedio tomando en consideración todos los valores de las mediciones realizadas sobre la espira emisora.

Tabla 4.3 Porcentaje de error promedio de los niveles de voltaje entre valores calculados y medidos a diferentes alturas

Distancia entre planos de las espiras (m)	% de error promedio.
0.10	12.79
0.20	11.58
0.50	6.86
1.00	6.67

Con un margen de error en el centro de la espira emisora inferior al 10%, cuando se supera una distancia entre las espiras de 0.20m, el programa de simulación podrá ser utilizado como una herramienta para conocer los niveles de señal que puede ser captadas, y con esto determinar los elementos que permitan acondicionar la señal recibida para establecer la comunicación entre ambas espiras.

4.3 Uso de las espiras magnéticas como medio de comunicación, en aplicaciones ITS

Como se ha puesto de manifiesto en la introducción de la tesis, los sistemas inteligentes de transporte requieren de dispositivos que permitan establecer una comunicación entre infraestructura y vehículos. El desarrollo tecnológico ha llevado a sistemas de comunicación con coberturas amplias y alta tasa de transferencia de datos. Sin embargo, para muchas aplicaciones se requiere de una comunicación de corto alcance, que permita transferir datos en lugares precisos. Por ejemplo, en sistemas de apoyo al desplazamiento de vehículos prioritarios, si éstos viajan por una avenida de doble sentido deberá transmitirse una información específica en función del sentido que lleven.

Es en estos casos donde las espiras magnéticas podrían ser una buena alternativa, para establecer una comunicación de corto alcance entre los vehículos y la infraestructura. Las ventajas que presentan éstas son:

- Las espiras magnéticas son dispositivos que se encuentran en muchas calzadas, de avenidas y autovías, así que es una infraestructura ya existente.
- La comunicación se realiza por acoplamiento magnético, dando lugar a unas interferencias mínimas.
- Las variaciones de la intensidad del campo magnético por presencia de agua, polvo o hielo son mínimas.
- El campo magnético decae rápidamente con la distancia.

Es por todo ello que se puede afirmar que las espiras magnéticas presentan una alternativa como medio de comunicación de corto alcance, transmitiendo datos de forma específica en el área que cubre la espira emisora/receptora. Además, esta área de cobertura reducida, se puede utilizar para transmitir datos de geolocalización. Actualmente se utilizan señales provenientes de satélites o de antenas de transmisión de telefonía móvil, pero existen zonas conocidas como cañones urbanos o el interior de túneles, donde estas señales se pierden y es imposible determinar la ubicación. Las espiras magnéticas podrían transmitir estos datos y cubrir estas regiones sin cobertura.

4.3.1 Transmisión de datos para la implementación en sistemas ITS

La primera etapa para la transmisión de datos utilizando espiras magnéticas como medio de comunicación, consistió en la implementación de un sistema de modulación ASK. Este tipo de modulación es una de las aplicadas para la transmisión de datos en los sistemas RFID. Esta modulación consiste en multiplicar la señal moduladora (información binaria) por una señal portadora de mayor frecuencia, ver Fig. 4.4. En este tipo de modulación, un uno lógico corresponde a presencia de señal y un cero lógico corresponde a la ausencia de señal.

El diagrama a bloques de la etapa de emisión se muestra en la Fig. 4.5. En esta etapa, básicamente la información digital es modulada, amplificada y emitida a través de la espira.

En la etapa de recepción la señal es amplificada, desmodulada y acondicionada para obtener la información que se ha recibido. En la Fig. 4.6 se observa el diagrama a bloques de esta etapa.

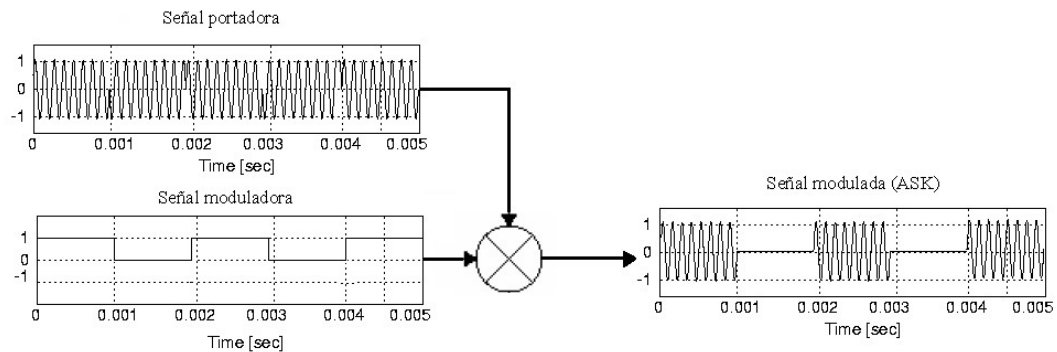


Fig. 4.4 Modulación ASK [6].

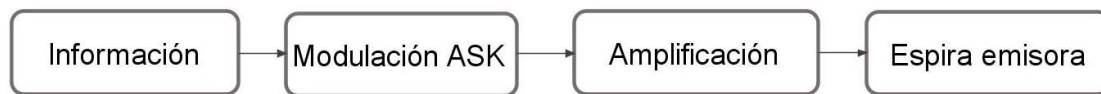


Fig. 4.5 Etapa de emisión.

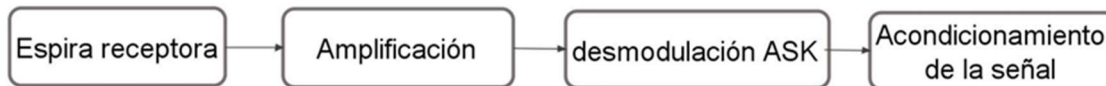


Fig. 4.6 Etapa de recepción.

Para diseñar el sistema de transmisión y recepción, se optó por la utilización de elementos discretos y una configuración sencilla, con la finalidad de que el sistema sea de fácil implementación y de bajo coste.

En la Fig. 4.7 se muestra el esquema del circuito utilizado en la etapa de emisión y en la Fig. 4.8 el esquema del circuito de recepción. En ambos esquemas se observa una conexión RS-232, que permite el envío y la recepción de datos desde el puerto serie de un ordenador. En la Fig. 4.9 y Fig. 4.10 se muestra la implementación física de los circuitos de emisión y recepción.

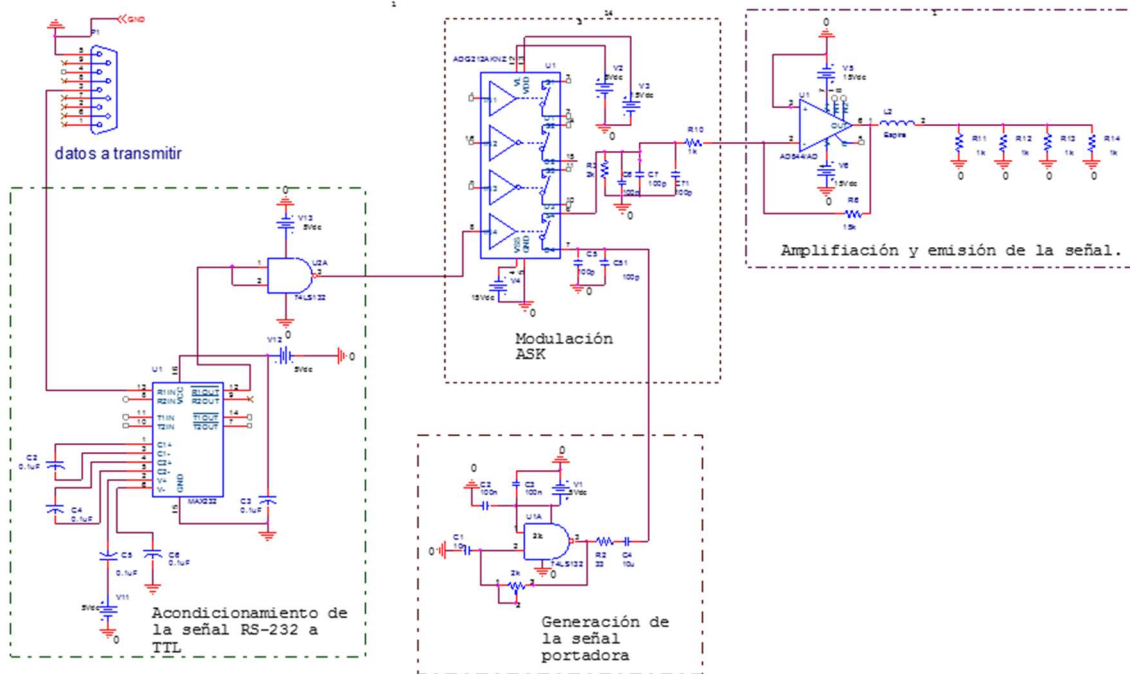


Fig. 4.7 Esquema del circuito de emisión.

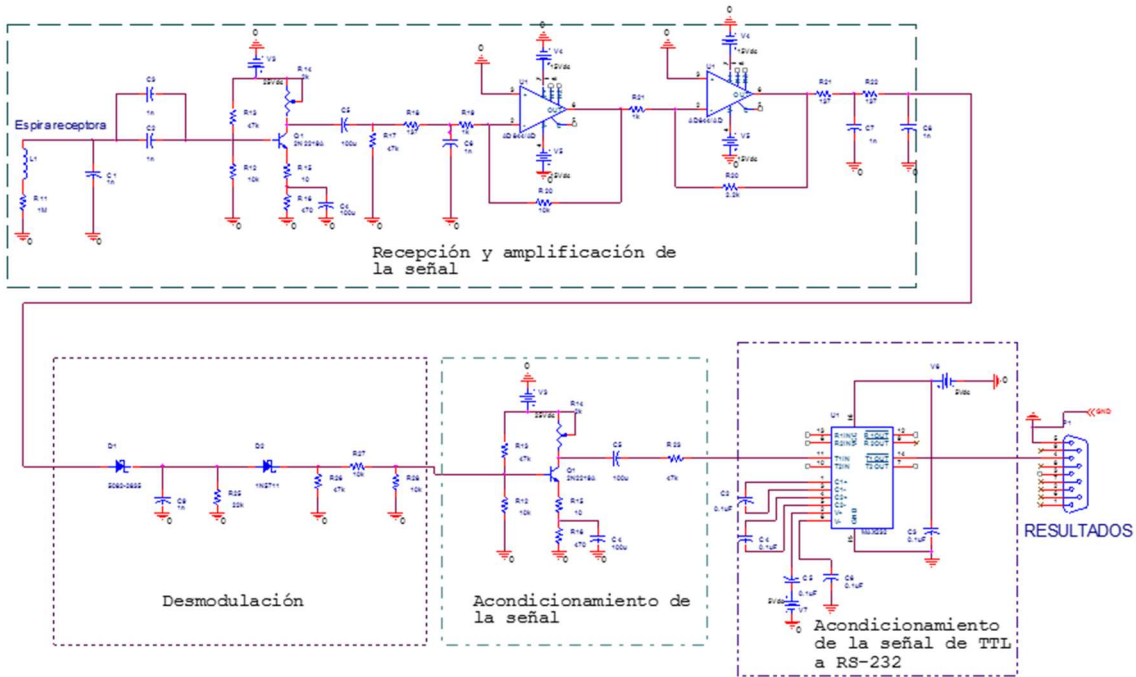


Fig. 4.8 Esquema del circuito de recepción.

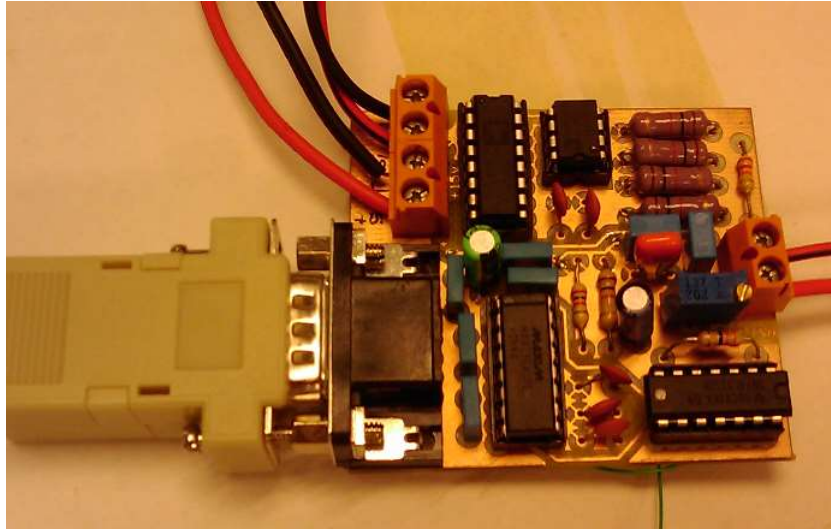


Fig. 4.9 Circuito de emisión.

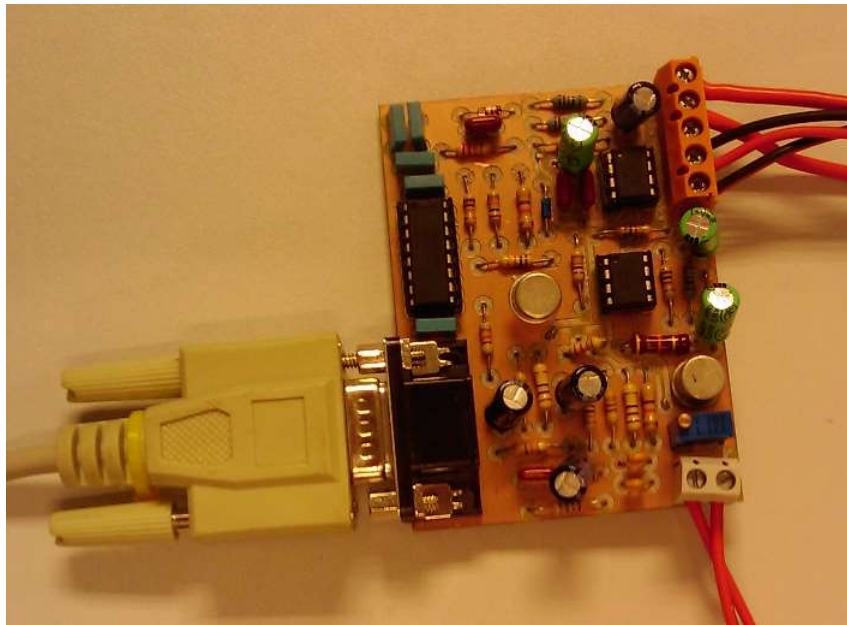


Fig. 4.10 Circuito de recepción.

El diseño de los circuitos de emisión y recepción se hizo tomando en consideración los resultados del modelo teórico desarrollado en esta tesis. Para esta prueba se utilizó como espira de emisión una espira de $2 \times 1 \text{ m}$ y 5 vueltas y como receptora una espira de $0.30 \times 0.20 \text{ m}$ y 10 vueltas. Para el cálculo teórico se consideró una corriente de alimentación de 50 mA RMS y una frecuencia de 600 kHz correspondientes a la señal portadora, ubicando las espiras con una separación de 0.50 m . Con estas características se obtuvieron los niveles de voltaje inducidos en la espira receptora que se muestran en la Fig. 4.11.

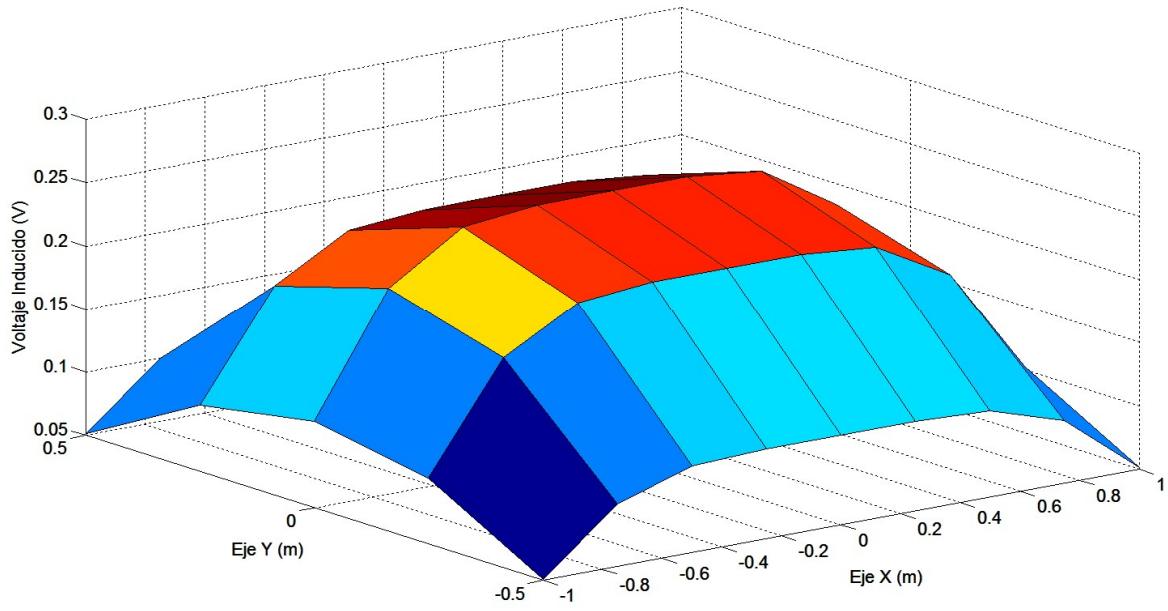


Fig. 4.11 Nivel de voltaje inducido en la espira receptora.

Utilizando el puerto serie de un ordenador, se envió en hexadecimal los siguientes valores: AA E3 AA, los cuales fueron emitidos a 9600 bits/seg. En la Fig. 4.12 se puede observar la señal, en el puerto serie del ordenador. Esta señal contiene la información que se necesita modular para su envío, en la Fig. 4.13 se observa la señal utilizada como portadora. En la Fig. 4.14 se puede ver la señal modulada. En la Fig. 4.15 se muestra la señal recibida por la espira receptora, ubicada a 0.50 m sobre el plano el plano de la emisora.

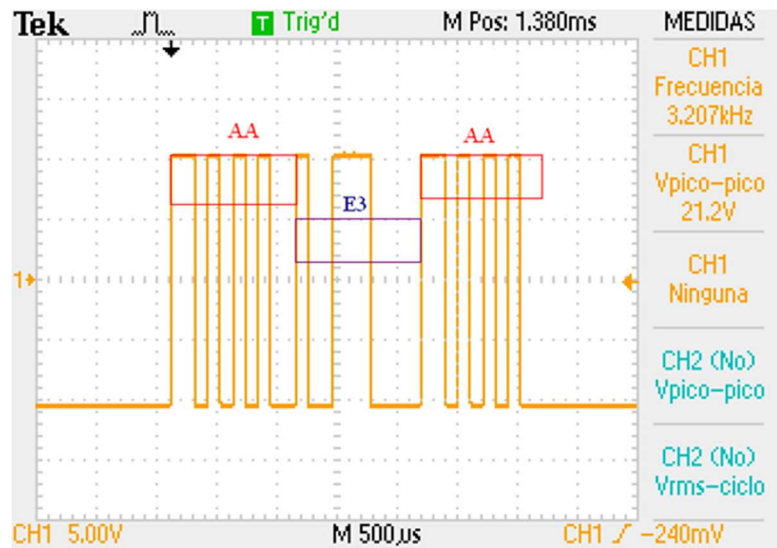


Fig. 4.12 Señal del puerto serie.

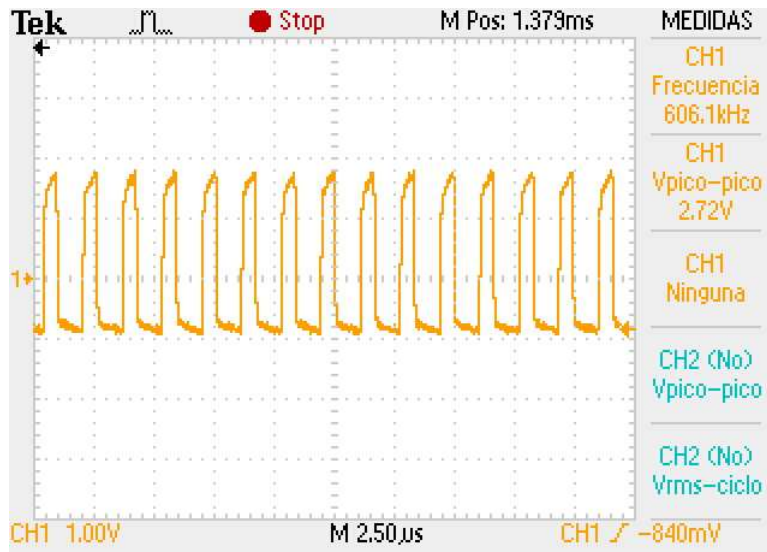


Fig. 4.13 Señal portadora.

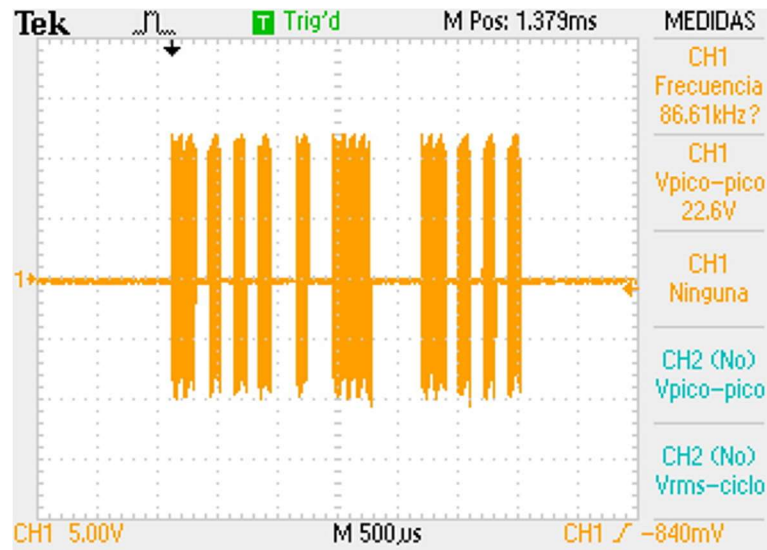


Fig. 4.14 Señal modulada.

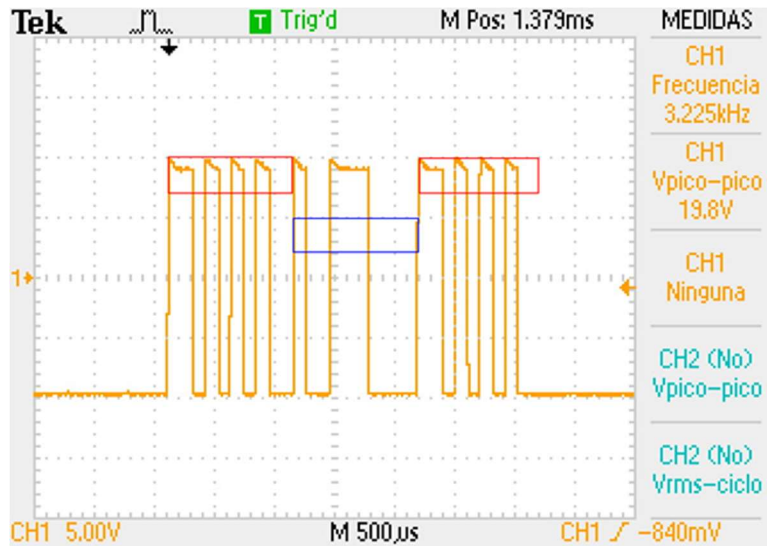


Fig. 4.15 Señal desmodulada.

Comparando las señales mostradas en las Figs. 4.12 y 4.15, se puede ver que es perfectamente posible establecer la transmisión de señal entre ambas espiras.

4.3.2 Envío de datos alfanuméricos simulando la matrícula de vehículos

Después de comprobar que es posible transmitir datos desde la espira mayor a la menor, la siguiente etapa consistió en comprobar la posibilidad de envío de una cadena de caracteres alfanuméricos, que simulara la matrícula de los coches, desde la espira menor a la mayor (desde el vehículo a la espira situada en la calzada). Para esta prueba se utilizó la espira de 0.30x0.20 m como espira emisora y como receptora la espira de 2x1m, con el mismo número de vueltas y las características descritas en la sección 4.3.1.

La utilización de la espira de menor dimensión como emisora, tiene como finalidad la posibilidad de poder ser implementada en un vehículo y poder establecer comunicación con la espira de mayor dimensión que será parte de la infraestructura en la calzada. En esta prueba los datos a transmitir fueron grabados en un microcontrolador, como se muestra en la Fig. 4.16.

Los datos recibidos y acondicionados fueron capturados a través del puerto serie de un ordenador. Para esta prueba se ubicó la espira emisora teniendo como referencia su centro, en diferentes puntos sobre un plano paralelo a 0.50 m de la espira receptora, ver Fig. 4.17.

En la Fig. 4.18 se puede observar los datos recibidos y visualizados a través de la pantalla del ordenador.

En la tabla 4.4 se presentan el número de errores al transmitir 1000 veces el código ABC123456, cada casillero corresponde a diferentes ubicaciones de la espira emisora, teniendo como referencia la espira receptora centrada en el origen.



Fig. 4.16 Datos transmitidos por el microcontrolador.

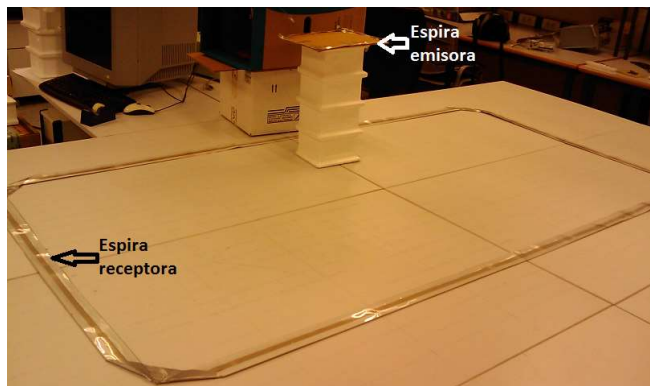


Fig. 4.17 Espiras emisora y receptora.

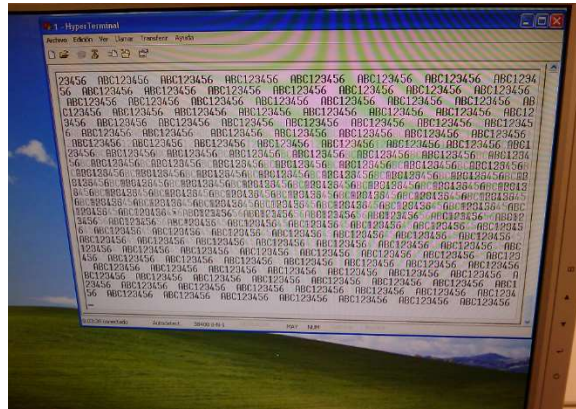


Fig. 4.18 Datos recibidos por el puerto serie del ordenador.

Tabla 4.4 Errores al transmitir a 9600 baudios

Eje x (m) Eje y (m)	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
0.5	1000	1000	115	97	99	103	28	15	31	950	1000
0.25	1000	12	0	0	0	0	0	0	0	3	1000
0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000
-0.25	1000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1000
-0.5	1000	997	107	16	41	0	0	0	4	922	1000

En la tabla 4.4 se aprecia, que cuando la espira emisora es ubicada fuera del área de la espira receptora (Eje X en -1.25 y 1.25) la transmisión de datos es nula. Otro punto de alta tasa de errores se localiza justo en ubicaciones cercanas a las esquinas de la espira receptora, por ejemplo en la ubicación X=-1 y Y=0.5. Los mejores resultados se localizan en el centro de la espira receptora. Por tanto, la transmisión de datos solamente se llevará a cabo cuando la espira emisora y la receptora se encuentren compartiendo área en planos paralelos.

Para aplicaciones ITS, el hecho de que la transmisión de datos únicamente se lleve a cabo dentro del área de la espira de mayor dimensión, permitirá conocer con precisión donde se realiza el intercambio de información.

A lo largo de la tesis también se han ensayado transmisiones en banda base, a mayor velocidad, con espiras situadas en vehículos en movimiento, proporcionando resultados satisfactorios, como se ha puesto de manifiesto en diversos proyectos de investigación [9] [10].

Referencias

- [1] J. H. Arroyo, R. Barrales, A. Mocholí, A. Arroyo y N. Gallegos, «Los Sistemas RFID y WAVE para Comunicaciones en Entornos ITS,» de *VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte*, Valencia, España., 2007.
- [2] A. Arroyo Núñez, T. Mengual Chuliá, A. Mocholí Salcedo y J. Arroyo Núñez, «Estudio Teórico y Práctico del Comportamiento de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico,» *Ciencia y Tecnología en la frontera. Número Especial 2008*. ISBN: 1665-9775, 2008.
- [3] A. Arroyo Núñez, T. Mengual Chuliá, A. Mocholí Salcedo y J. H. Arroyo Núñez, «Estudio Teórico del Campo Magnético y Perfil Magnético Real de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico.,» de *XV Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 08)*. ISBN: 978-84-96997-05-9, Cartagena, España., 2008.
- [4] J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo y L. F. Rebolledo Herrera, «Campo magnético generado por líneas conductoras de corriente eléctrica.,» de *4º Encuentro nacional de investigación*. ISBN: 978-607-95742-0-8, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México., 2011.
- [5] J. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo, R. Barrales Guadarrama y A. Arroyo Núñez, «Communication Between Magnetic Loops,» de *16th World Road Meeting*, Lisboa, Portugal, 2010.
- [6] J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo y I. J. Rivas Cambero, «Comunicación Inalámbrica de corto alcance,» de *Quinto encuentro de investigación*. ISBN: 978-607-95742, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México, 2012.
- [7] J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo y I. J. Rivas Cambero, «LEVELS OF INDUCED VOLTAGE BETWEEN RECTANGULAR MAGNETIC LOOPS,» *ITACA-WIICT 2014*. ISBN: 9788469711668, 2014.
- [8] J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo y I. J. Rivas Cambero, «Voltaje inducido entre espiras magnéticas rectangulares,» de *7º Encuentro de Investigación Congreso Internacional de Ciencia, Innovación y Tecnología*, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México., 2014.
- [9] M. D. EDUCACIÓN y R. ORS CAROT, *VI@LIBRE-SISTEMA AVANZADO PARA LA COORDINACION DE OPERATIVAS DE EMERGENCIA MEDIANTE VEHÍCULOS PRIORITARIOS (IPT-370000-2010-34-AR)*, 2010-2013.
- [10] S. ETRA I+D y A. Mocholí Salcedo, *MOVILIDAD Y AUTOMOCION EN REDES DE TRANSPORTE AVANZADO (MARTA)*, 2007-2011.

5 Conclusiones Finales

El desarrollo de esta tesis ha surgido como un trabajo de investigación que contribuya a potenciar el uso de las espiras magnéticas, de modo que, además de su utilización como sensor, puedan ser utilizadas como un medio de comunicación de corto alcance para los sistemas inteligentes de transporte.

5.1 Modelo teórico del campo magnético de una espira rectangular

La primera etapa en el desarrollo de la tesis fue el estudio y el modelado teórico del campo magnético generado por una espira rectangular. El trabajo se centró en el análisis del campo magnético a una distancia cercana al plano de la espira. Para validar el modelo teórico se realizó la implementación física de espiras rectangulares de diferentes dimensiones y se midió la magnitud del campo magnético generado. Al contrastar los resultados entre los valores calculados y los valores medidos, se obtuvo que el modelo teórico presenta un error inferior al 10% cuando la distancia al plano de la espira emisora supera los 0.50m.

Para la implementación de las espiras magnéticas, se utilizó alambre conductor y cable plano, obteniendo unos resultados completamente similares en ambos casos. El hecho de utilizar el cable plano abre la posibilidad de utilizar espiras magnéticas portátiles, que podrían ser ubicadas sobre cualquier vía sin alterar la infraestructura existente.

Con el modelo teórico es posible conocer la distribución del campo magnético a diferentes alturas. Con este modelado se puede conocer donde se tienen los valores máximos y los valores mínimos de la magnitud del campo magnético. Esta información es relevante para conocer el área de influencia de la espira emisora y determinar si puede causar interferencia con algún dispositivo electrónico sensible al campo magnético.

Cabe resaltar que el modelo teórico se ha presentado tanto para espiras rectangulares convencionales como para espiras dobles. Estas últimas están encontrando una amplia utilidad en sistemas capaces de detectar el sentido y la velocidad de circulación de los vehículos.

5.2 Modelo de la inducción magnética entres dos espiras rectangulares

Después de conocer el comportamiento del campo magnético generado por una espira magnética, la siguiente etapa en el desarrollo de la tesis consistió en ubicar una espira receptora que capturara el campo magnético generado y lo convirtiera en un nivel de voltaje con las características de la señal emitida. Basados en el principio de la inducción magnética y aplicando la ley de Faraday, se desarrolló un programa que, de forma numérica, calcula el nivel de voltaje captado por una espira receptora ubicada en forma paralela a la espira emisora. Para validar los valores calculados, se realizaron una serie de pruebas con implementación física de las espiras emisoras y receptoras, obteniendo un error entre los niveles de voltaje medidos y los calculados inferior al 10% cuando se superan los 0.50 m de separación entre ambas espiras. Esta distancia es de interés, pensando en su aplicación como medio de comunicación entre infraestructura y vehículos.

Este modelo permite tener control de las características físicas de las espiras (emisora y receptora), el tipo de señal que alimenta a la espira emisora y la distancia entre los planos paralelos de ambas espiras. Como resultado se obtiene el nivel de voltaje en cualquier punto del espacio.

Conocer el nivel de voltaje que puede captar la espira receptora en presencia de la espira emisora, permite establecer los parámetros adecuados para el dispositivo electrónico de acondicionamiento de la señal y recuperación de la información que está siendo transmitida por la espira emisora.

5.3 Diseño de espiras

El trabajo desarrollado en esta tesis ayuda a simular el campo magnético generado por una espira alimentada con una señal y el nivel de voltaje inducido entre dos espiras. Este tipo de simulación permite experimentar de manera virtual con diferentes configuraciones de espiras rectangulares, prediciendo de qué forma se comportará la espira una vez que sea implementada físicamente.

Se plantea como una herramienta de diseño que ayude para establecer sistemas de comunicación de corto alcance, haciendo uso del campo magnético como medio de transmisión de los datos por efectos de la inducción magnética.

5.4 Sistemas de comunicación de corto alcance

El campo magnético que se genera por una espira rectangular es más fuerte dentro del perímetro que forma la espira. Fuera de éste la magnitud del campo magnético decae rápidamente. Este comportamiento del campo magnético establece que la inducción magnética será más fuerte si la espira receptora se encuentra sobre la espira emisora. Por tanto, utilizando la inducción magnética como medio de comunicación, se puede desarrollar un sistema de comunicación de corto alcance que no radia señal que pueda interferir con otros sistemas. Además de que el espacio donde se establece la comunicación estará acotado por la dimensión de la espira.

Un sistema de comunicación de corto alcance que tiene una área de cobertura acotado, podría tener aplicaciones para la identificación y ubicación precisa de vehículos, enviar datos de ubicación en lugares donde no existe señal satelital (túneles), control de acceso a espacios restringidos, transferencia de información entre infraestructura y vehículos con precisión dependiendo del sentido de circulación, etc...

6 Líneas Futuras de investigación

El trabajo que se presenta en esta tesis, sienta las bases para potenciar el uso de las espiras magnéticas en los sistemas inteligentes de transporte. Con los resultados obtenidos es posible diseñar espiras magnéticas adecuadas para transmitir señales que porten información.

La siguiente etapa del trabajo consiste en desarrollar dispositivos electrónicos que adecuen la señal para transmitir y recibir información utilizando las espiras magnéticas.

Las aplicaciones para este tipo de sistema de comunicación de corto alcance, permitirá intercambiar información entre los vehículos y la infraestructura, dotando de información precisa a los usuarios de los medios de transporte terrestre. La transferencia de información tiene como objetivo dotar de elementos adicionales que ayuden a incrementar la seguridad en los desplazamientos.

La cantidad de información que puede intercambiarse entre los vehículos y la infraestructura, es otra de las líneas de investigación. En este caso hay que tener en consideración la velocidad de los vehículos, la cantidad de baudios máximos que soporta el sistema de comunicación y los elementos que podrían encontrarse entre ambas espiras. En este sentido en esta tesis se han presentado los resultados obtenidos con algunos prototipos que permitían transmitir datos a 9600 bits por segundo (bps). No obstante, durante el desarrollo de la tesis también se han ensayado transmisiones en banda base, a mayor velocidad (hasta 115 kbps), con espiras situadas en vehículos en movimiento, proporcionando resultados satisfactorios, como se ha puesto de manifiesto en diversos proyectos de investigación [9] [10]. Estos resultados plantean nuevos retos de investigación que permitan conocer el límite de transferencia de datos y la velocidad máxima a la que un coche pueda intercambiar información.

Finalmente teniendo conocimiento del comportamiento del sistema de comunicación de corto alcance utilizando inducción magnética, se pueden desarrollar diferentes aplicaciones entre las que podrían citarse:

- Detección de vehículos prioritarios y generación de *ondas verdes* que faciliten su circulación.

- Sistemas de geolocalización híbridos que utilicen las señales satelitales y la información presente en la infraestructura, para dar continuidad a la ubicación dentro de cañones urbanos y túneles.
- Sistemas de intercambio de información entre vehículos y la infraestructura de las condiciones climatológicas y el estado físico de las autovías.
- Avisos sobre aproximación a zonas de concentración de accidentes.
- Localización de vehículos robados.

Realmente la transferencia de información abre un abanico de posibilidades, para diferentes aplicaciones que tenga un alto impacto en los sistemas inteligentes de transporte.

Referencias

- [1] M. D. EDUCACIÓN y R. ORS CAROT, *VI@LIBRE-SISTEMA AVANZADO PARA LA COORDINACION DE OPERATIVAS DE EMERGENCIA MEDIANTE VEHÍCULOS PRIORITARIOS (IPT-370000-2010-34-AR)*, 2010-2013.
- [2] S. ETRA I+D y A. Mocholí Salcedo, *MOVILIDAD Y AUTOMOCION EN REDES DE TRANSPORTE AVANZADO (MARTA)*, 2007-2011.

7 Aportaciones

7.1 Trabajos colaterales desarrollados

El trabajo de investigación desarrollado en esta tesis ha servido para continuar con líneas de investigación en la Universidad Politécnica de Tulancingo, en México [1]. Dentro de esta institución se participa en el cuerpo académico de Control e Instrumentación [2], que tiene un impacto directo dentro de las maestrías de automatización y control y la maestría de energías renovables. En estas maestrías se están realizando trabajos de investigación que implican el estudio del campo magnético en las líneas de transmisión de energía eléctrica, estudio y diseño de sensores de corriente eléctrica y sistemas de control utilizando sensores magnéticos.

Como parte de los trabajos desarrollados dentro del cuerpo académico, se tiene una solicitud de patente que involucra sensores magnéticos, la patente lleva por nombre: *Alarma para niveles elevados de consume de corriente en hogares*, con número de folio MX/E/2014/058068 y como autores: C. Rueda Germán, J. H. Arroyo Núñez, I. Rivas Cambero.

La experiencia y la vinculación con el grupo de investigación del Instituto de Aplicaciones de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones Avanzadas de la Universidad Politécnica de Valencia, España, permite seguir desarrollando nuevas líneas de investigación en la Universidad Politécnica de Tulancingo, en México, como fruto de este trabajo de tesis.

7.2 Publicaciones, tesis y proyectos de fin de carrera

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se han desarrollado diferentes trabajos que están relacionados con la tarea central de esta tesis, que involucra publicaciones, participación en congresos, tesis de maestría y proyectos de fin de carrera, los cuales se presentan a continuación.

7.2.1 Publicación en Revistas

Autores: Antonio Mocholí-Salcedo¹, Humberto Arroyo-Núñez, Víctor Milián-Sánchez, María J. Palomo-Anaya, Alexander Arroyo-Núñez.

Título: MAGNETIC FIELD GENERATED BY THE LOOPS USED IN TRAFFIC CONTROL SYSTEMS

Editorial: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

Publicación: Aceptado para su publicación.

Fecha: Enero 2016

Autores: J. H. Arroyo-Núñez, A. Mocholí-Salcedo, I. Rivas-Camero, C. Rueda Germán, A. Arroyo-Núñez.

Título: Data transmission between magnetic loops

Editorial: ITACA

Congreso: Workshop on Innovation on Information and Communication Technologies (ITACA-WIICT 2015)

Publicación: ISBN: 978-84-608-4139-5

Fecha: 2015

Autores: J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo, I. Rivas Camero.

Título: LEVELS OF INDUCED VOLTAGE BETWEEN RECTANGULAR MAGNETIC LOOPS.

Editorial: ITACA

Congreso: Workshop on Innovation on Information and Communication Technologies (ITACA-WIICT 2014)

Publicación: ISBN: 9788469711668

Fecha: 2014

Autores: A. Arroyo Núñez, T. Mengual Chuliá, A. Mocholí Salcedo, J. H. Arroyo Núñez, R. Barrales Guadarrama, L.E. Gómez Aguilera.

Título: Estudio Teórico del Campo Magnético y Perfil Magnético Real de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico.

Tipo de participación: Ponencia.

Congreso: XV Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 08).

Publicación: ISBN: 978-84-96997-05-9

Lugar celebración: Cartagena, España.

Fecha: Septiembre 2008.

Autores: A. Arroyo Núñez, T. Mengual Chuliá, A. Mocholí Salcedo, J. H. Arroyo Núñez, M. N. Gallego.

Título: Estudio Teórico y Práctico del Comportamiento de Sensores de Espira Magnética en Sistemas de Control de Tráfico.

Tipo de participación: Ponencia.

Congreso: 1er. Congreso Internacional de Mecatrónica y 2do. Congreso Nacional UUPP.

Publicación ISBN: 1665-9775

Lugar celebración: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Fecha: 2 al 4 de abril 2008.

7.2.2 Publicación en Memorias

Autores: J. H. Arroyo-Núñez, A. Mocholí-Salcedo, I. Rivas-Camero, A. D. Vite-Rojo, C. Rueda-Germán

Título: Voltaje inducido entre espiras magnéticas rectangulares.

Congreso: 7º Encuentro de Investigación Congreso Internacional de Ciencia, Innovación y Tecnología.

Lugar celebración: Tulancingo, Hidalgo

Fecha: Septiembre 2014.

México.

Autores: J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo, I. J. Rivas Cambero, C. Rueda Germán.

Título: Comunicación Inalámbrica de corto alcance.

Congreso: Quinto encuentro de investigación.

Publicación: ISBN: 978-607-95742

Lugar celebración: Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. Fecha: Septiembre 2012.

Autores: J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo, L. F. Rebolledo Herrera, I. J. Rivas Cambero, C. Rueda Germán.

Título: Campo magnético generado por líneas conductoras de corriente eléctrica.

Congreso: 4º Encuentro nacional de investigación.

Publicación: ISBN 978-607-95742-0-8

Lugar celebración: Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. Fecha: 24 al 25 de Noviembre 2011.

Autores: J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo, R. Barrales Guadarrama, A. Arroyo Núñez.

Título: Communication Between Magnetic Loops

Congreso: 16th World Road Meeting.

Publicación: Proceedings.

Lugar celebración: Lisboa, Portugal. Fecha: 25 al 28 de Mayo 2010.

Autores: J. H. Arroyo Núñez, A. Mocholí Salcedo.

Título: Aplicación del RFID para la identificación de vehículos

Congreso: Jornada CRIA: TICs Y LOGÍSTICA EN EL SECTOR DEL AUTOMÓVIL

Publicación: Memoria

Lugar celebración: Valencia, España. Fecha: 11 de abril 2008.

Autores: Arroyo A., Mocholí A., Gallego N., Arroyo J. H., Tortajada A. B.

Título: Sistemas Sensores Empleados en ITS.

Congreso: VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte.

Publicación: Memoria.

Lugar celebración: Valencia, España.

Fecha: 18 - 20 septiembre 2007.

Autores: Arroyo J. H., Barrales R., Mocholí A., Arroyo A., Gallego N.

Título: Los Sistemas RFID y WAVE para Comunicaciones en Entornos ITS.

Tipo de participación: Ponencia.

Congreso: VII Congreso Español Sistemas Inteligentes de Transporte.

Publicación: Memoria.

Lugar celebración: Valencia, España.

Fecha: 18 - 20 septiembre 2007.

7.2.3 Tesis Dirigidas Nivel Maestría

Título: Análisis comparativo de diferentes sistemas de adquisición de datos, procedentes de tarjetas RFID, en cuanto a velocidad de transferencia y minimización de errores.

Autor: Mario Andrés Rodríguez López.

Universidad: Universidad Politécnica de Valencia. España.

Facultad / Escuela: Departamento de Ingeniería Electrónica.

Fecha: 9 de Diciembre 2009.

7.2.4 Proyectos de Fin de Carrera dirigidos

Título: Espiras magnéticas como detectores de vehículos.

Autor: Abraham Cazares Gutiérrez.

Universidad: Instituto Tecnológico Superior de Huanchinango, Puebla.

Facultad / Escuela: Ingeniería Eléctrica.

Fecha: 1 de febrero 2013.

Título: Sistema de comunicación bidireccional a través del puerto serie entre dos computadoras.

Autor: Mario Alberto Padilla Ibarra.

Universidad: Instituto Tecnológico de Zacatepec.

Facultad / Escuela: Ingeniería en sistemas computacionales.

Fecha: 25 de Junio 2010.

Título: Comprensión y cifrado de datos para la localización e identificación de vehículos.

Autor: Julio Cesar Cabrera Aguilar.

Universidad: Instituto Tecnológico de Zacatepec.

Facultad / Escuela: Ingeniería en sistemas computacionales.

Fecha: 25 de Junio 2010.

Referencias

- [1] U. P. d. Tulancingo, «www.upt.edu.mx,» [En línea].
- [2] U. P. d. Tulancingo,
«<http://www.upt.edu.mx/Contenido/Investigacion/Investigacion.html>,» [En línea].



El conjunto de aplicaciones informáticas y sistemas tecnológicos creados para mejorar la seguridad y eficiencia en el transporte terrestre (carreteras y ferrocarriles), facilitando la labor de control, gestión y seguimiento por parte de los responsables se conoce como Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS por sus siglas en inglés). Los ITS se han convertido en una necesidad, debido al crecimiento en el tráfico de vehículos que obliga a desarrollar estrategias para hacer mejor uso y sobre todo brindar seguridad a las personas que se desplazan por cualquier medio de transporte terrestre.

ENERO
2016