

# Implementación y automatización del laboratorio de mediciones de compatibilidad electromagnética para la prestación de servicios a los Institutos de Investigación del Comando de la Aeronáutica y a las empresas aeroespaciales

*Implementation and automation of the electromagnetic compatibility measurement laboratory to provide services to Aeronautical Command Research Institutes and companies in the aerospace sector*

*Implantação e automatização do laboratório de medições de compatibilidade eletromagnética para prestação de serviços aos Institutos de Pesquisa do Comando da Aeronáutica e empresas do setor aeroespacial*

Sérgio Baptista de Oliveira<sup>I</sup>  
Carlos do Nascimento Santos<sup>II</sup>

## RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar los ensayos técnicos de compatibilidad electromagnética (EMC) en un equipo, minimizando la interferencia electromagnética (EMI) en su funcionamiento normal para el que fue diseñado, realizados en un laboratorio en un área militar, a nivel de desarrollo, según las normas técnicas estandarizadas internacionalmente. Este laboratorio, que es innovador para el Comando de la Aeronáutica en este tipo de prestación de servicios, se ha puesto en marcha y se encuentra en la fase de automatización con el uso de un software específico, desarrollado para barrer la ejecución de la gama de frecuencias que es repetitiva durante el proceso de ciertos tipos de ensayo requeridos por la norma. Este laboratorio fue creado para servir principalmente al diseño espacial y a la aviación militar del Comando de la Aeronáutica, pero este servicio puede extenderse a otras instituciones militares aeroespaciales, de institutos de investigación e incluso puede servir a proyectos de desarrollo en el área aeroespacial civil. Para demostrar la capacidad técnica de este laboratorio innovador y desplegado para prestar este tipo de servicio en EMC, en nivel de desarrollo y con expectativas de acreditación por parte del INMETRO, se

realizaron ensayos de un sistema de diseño espacial militar de la aeronáutica siguiendo todos los niveles y normas establecidos en una norma técnica internacional militar específica requerida.

**Palabras clave:** EMC. EMI. Normas técnicas. Laboratorio de ensayos. Desarrollo.

## ABSTRACT

*This article aims to present the technical tests of electromagnetic compatibility (EMC) in an equipment, minimizing the electromagnetic interference (EMI) in its normal operation for which it was designed, performed in a military area laboratory, at a development level, according to international technical standards. This laboratory, which is innovative for the Air Force Command in this type of service provision, was implemented and is undergoing automation with the use of specific softwares, developed to scan the execution of the frequency range that is repetitive during the processing of certain types of tests required by the technical standard. This laboratory was created to serve mainly space projects and military aviation systems of the Air Force Command,*

I. Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial (DCTA) – São José dos Campos/SP – Brasil. Mayor Especialista en Armamento de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB). *Email:* sergiosbo@ifi.cta.br

II. Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial (DCTA) – São José dos Campos/SP – Brasil. Doctor en Ingeniería Mecánica en el área de Materiales por la Universidad Estadual Paulista (UNESP). *Email:* nascimentocons@ifi.cta.br

Recibido: 21/11/18

Aceptado: 24/07/19

*but this service can be extended to other military aerospace institutions, such as research institutes, and can even attend development projects in the civil aerospace area. To demonstrate the technical capacity of this innovative and recently implemented laboratory to provide this type of service at EMC, at a development level and with future expectations for accreditation by INMETRO, some tests were carried out in a military space design system of aeronautics, following all levels and standards established and required in a specific international military technical standard, required.*

**Keywords:** EMC. EMI. Technical standards. Testing laboratory. Development.

## RESUMEN

*Este artículo tiene como objetivo presentar las pruebas técnicas de compatibilidad electromagnética (EMC) en un equipo, minimizando la interferencia electromagnética (EMI) en su funcionamiento normal para el que fue diseñado, realizadas en un laboratorio en el área militar, a nivel de desarrollo, de acuerdo con normas técnicas estandarizadas internacionalmente. Este laboratorio, que es innovador para el Comando de la Fuerza Aérea en este tipo de prestación de servicios, se implementó y está siendo automatizado con el uso de un software específico, desarrollado para escanear la ejecución del rango de frecuencia que es repetitivo durante el proceso de ciertos tipos de pruebas requeridas por la norma. Este laboratorio fue creado para servir principalmente proyectos espaciales y sistemas de aviación militar del Comando de la Fuerza Aérea, pero este servicio puede extenderse a otras instituciones aeroespaciales militares, de institutos de investigación, e incluso puede asistir a proyectos de desarrollo en el área aeroespacial civil. Para demostrar la capacidad técnica de este laboratorio innovador e implementado para proporcionar este tipo de servicio en EMC, a nivel de desarrollo y con expectativas futuras para la acreditación por INMETRO, se realizaron pruebas en un sistema de diseño de espacio militar de aeronáutica que sigue todos los niveles y estándares establecido en una norma técnica militar internacional específica, requerida.*

**Palabras clave:** EMC. EMI. Normas técnicas. Laboratorio de pruebas. Desarrollo.

## 1 INTRODUCCIÓN

Todos los sistemas con equipos eléctricos y electrónicos son susceptibles a ciertos niveles de ruido de interferencia electromagnética (EMI) o son también potenciales generadores, de modo que pueden o no afectar su funcionamiento normal al que han

sido proyectados. Tales interferencias pueden ser a nivel de emisión conducida (CE) o de susceptibilidad conducida (CS), en su cable o en los cableados. Estas señales también pueden provenir del efecto indirecto de los rayos atmosféricos que caen en las aeronaves o en las líneas de transmisión de energía.

La interferencia por emisiones irradiadas (RE) o por susceptibilidades irradiadas (RS) proviene de su circuito electrónico, o por radiofrecuencia (RF) en todos los tipos de telecomunicaciones. Cerca de las regiones de los aeropuertos, estaciones meteorológicas, lanzadores de cohetes, tenemos radar, navegación, comunicación, señales de telemetría que interfieren como campos electromagnéticos irradiados de alta intensidad (HIRF).

El entorno electromagnético en el que se inserta este sistema debe ser analizado en términos de su compatibilidad electromagnética, es decir, este sistema debe funcionar correctamente sin ser interferido y sin interferir como fuente generadora de EMI y que afectará el funcionamiento de otros equipos en esta región. Según la forma y el lugar en que se utilice, ya sea en una zona civil o militar, el equipo se desarrollará y certificará en laboratorios calificados y acreditados con personal calificado, aplicando normas técnicas aceptadas y, en algunas aplicaciones, normas armonizadas elaboradas por comités técnicos internacionales que se reúnen periódicamente, estudiando y promoviendo actualizaciones.

Los gobiernos del mundo tienen agencias certificadoras que supervisan la producción y la venta de estos diversos equipos. Uno de los grandes efectos de las interferencias electrónicas, en el ámbito militar, es la conocida guerra electrónica en la que se realizan acciones para impedir o reducir el uso efectivo del espectro electromagnético del enemigo, así como para destruir, neutralizar o degradar su capacidad de combate, utilizando energía electromagnética o armamento que emplea la emisión intencionada del objetivo para guiar su equipo, ya sea en tierra, mar o aire. Estas medidas de ataque electrónico generalmente incluyen sistemas de navegación, comunicación de redes de datos, voz, enlaces. También mediante sistemas de radares de vigilancia, adquisición y (o) seguimiento o disparo, y sistemas ópticos infrarrojos y visuales. Este equipo está diseñado y debe estar blindado y no es susceptible a estos niveles de señales de interferencia electromagnética dañinas.

En el ámbito civil en la aviación, la marina, la industria automotriz o la industria de equipos electro electrónicos para las diversas aplicaciones, los ensayos de compatibilidad electromagnética también son necesarias y equivalentes, sin embargo, los niveles de blindaje de

estas señales electromagnéticas indeseables no son tan rigurosos y elevados, lo que llevaría a la mejora del producto final. Por lo tanto, la necesidad de normas específicas y su precisión para cada área de aplicación.

Durante ciertos tipos de ensayos, hemos definido rangos de frecuencia que se barren, paso a paso, haciendo que el proceso sea repetitivo, lo que a menudo es cansado y consume mucho tiempo para el especialista en ejecución, por lo que la necesidad de desarrollar un *software* de automatización específico para ese ensamblaje concreto con el equipo de ensayo y la repetibilidad de la ejecución.

En este artículo pretendemos presentar los ensayos de compatibilidad electromagnéticos realizados en equipos del área aeroespacial, con tecnología de defensa, en un laboratorio implementado en la fase de automatización para cumplir con el Comando de la Aeronáutica.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este artículo la principal aplicabilidad será para el área militar de la fuerza aérea y aeroespacial teniendo como principal norma técnica utilizada la norma militar MIL-STD-461, Revisión G.

En los ensayos de compatibilidad electromagnética, de acuerdo con las principales normas técnicas militares o civiles utilizadas se dividen en emisiones conducidas (CE), o susceptibilidades conducidas (CS), o emisiones irradiadas (RE), o susceptibilidades irradiadas (RS). En estos tipos de ensayos se utiliza *Line Impedance Stabilization Network* (LISN) como una de las funciones de la línea de alimentación en corriente eléctrica alterna o continua del equipo bajo ensayo (ESE) para asegurar la no interferencia en estas señales.

### 2.1 Ensayo de emisión conducida CE102

Este ensayo se utiliza para verificar las emisiones electromagnéticas conducidas ruidosas que se producen a través de los cables de alimentación del equipo bajo ensayo (ESE). Según la MIL-STD-461 el rango de frecuencia especificado para el ensayo es de 10 kHz a 10 MHz. Debe incluir los cables de retorno y los que son fuentes de otros equipos que no formaban parte del ESE, pero que influyen en él.

Establecidos y ajustados por la norma a los límites aceptables de ruido de interferencia que debe cumplir el equipo ESE, la configuración del ensayo se monta en el laboratorio mediante la supervisión del funcionamiento del ESE de forma continua para evaluar si funcionará adecuadamente dentro del rango de frecuencias y los límites especificados.

### 2.2 Ensayo de susceptibilidad conducida CS101

Según la MIL-STD-461 el rango de frecuencia especificado para el ensayo es de 30 Hz a 150 kHz. Este ensayo se utiliza para verificar la capacidad del ESE para soportar señales ruidosas acopladas a cables de alimentación de baja frecuencia. Es aplicable a los equipos y subsistemas de corriente alterna, limitada a la corriente eléctrica menor o igual a 30 amperios por fase y a los conductores de alimentación de entrada con corriente continua, sin incluir los retornos.

Si el ESE funciona con corriente continua (CC) o alterna (CA), este ensayo es normalmente aplicable en el rango de 30 Hz a 150 kHz. Si el ESE funciona con corriente alterna, este ensayo es aplicable a partir de la segunda armónica de la frecuencia de alimentación del ESE que se extiende hasta 150 kHz.

Una vez establecidas por la norma los límites aceptables de ruido de interferencia que debe soportar el equipo ESE, la configuración del ensayo debe establecerse en el laboratorio y esta señal debe aplicarse al ESE, vigilándolo constantemente, para evaluar si funcionará adecuadamente dentro del rango de frecuencias especificado.

### 2.3 Ensayo de susceptibilidad conducida CS114

Según la MIL-STD-461, el rango de frecuencia especificado para el ensayo es de 10 kHz a 200 MHz. Este procedimiento de ensayo se utiliza para verificar la capacidad del ESE para soportar señales ruidosas acopladas a los cables de interconexión y de alimentación de este equipo en este rango de frecuencia.

Una vez establecidos por la norma los límites aceptables para el ruido de interferencia que debe soportar el equipo de ESE, se debe montar la configuración del ensayo en laboratorio y esta señal debe aplicarse a ESE y supervisarse constantemente para evaluar si funcionará adecuadamente dentro del rango de frecuencias especificado.

### 2.4 Ensayo de susceptibilidad conducida CS115

En este ensayo se inyectan señales pulsantes ruidosas en los cables de alimentación o de datos del ESE. Este procedimiento de ensayo se utiliza para verificar la capacidad del ESE para soportar los impulsos de estas señales ruidosas acopladas a los sistemas de energía, datos o sistemas de puesta a tierra de los cables de interconexión. El nivel de pulso usado para el ensayo se especifica de acuerdo con la MIL-STD-461.

Una vez que se establece este nivel, se configura el ensayo de laboratorio y esta señal se aplica al ESE,

monitoreándolo constantemente para evaluar si funcionará adecuadamente.

## 2.5 Ensayo de susceptibilidad conducida CS116

En este ensayo, según la norma MIL-STD-461, se inyecta una señal ruidosa de corriente eléctrica transitoria sinusoidal amortiguada en el rango de frecuencia de 10 kHz a 100 MHz. Esta señal se inyecta en la fuente de alimentación o en los cables de señal de datos del ESE.

Establecido por la norma, este nivel de señal se configura en el ensayo de laboratorio y se aplica la señal al ESE, monitoreándolo en todo momento, para verificar su capacidad para soportar señales acopladas a los cables de alimentación, datos o sistemas de puesta a tierra de los cables de interconexión, es decir, el ESE debe funcionar correctamente en presencia de estos pulsos transitorios de señales dentro de este rango de frecuencia especificado.

## 2.6 Ensayo de emisión irradiada RE102

Este ensayo, según la norma MIL-STD-461, se utiliza para verificar las emisiones irradiadas de campos eléctricos del ESE, así como sus subsistemas y cableado asociado que puedan interferir con otros equipos instalados en este entorno.

Este ensayo se realiza en una cámara anecoica y normalmente es aplicable en el rango de frecuencia de 10 kHz a 18 GHz. Por encima de 30 MHz se aplican las polarizaciones vertical y horizontal de las antenas. Dependiendo del rango de frecuencia aplicado, se debe utilizar una antena con características propias. Se conocen como antena ROD, para barrer el rango de 9 kHz a 30 MHz, antena BICONILOG, para barrer el rango de 26 MHz a 6 GHz, y antena DOUBLE RIDGE HORN, para barrer el rango de 750 MHz a 18 GHz.

Las antenas están posicionadas a un metro de distancia del ESE y a 1,20 m del suelo, según la norma. La intensidad del campo eléctrico irradiado por el ESE se vigila en el rango de frecuencias especificado y su límite se compara con el especificado por la norma. El resultado de esta vigilancia se representa en un gráfico con los límites medidos e irradiados del ESE y el especificado por la norma.

## 2.7 Ensayo de susceptibilidad irradiada RS103

Este ensayo, de acuerdo con la norma MIL-STD-461, se utiliza para verificar la capacidad del ESE para soportar las emisiones irradiadas de la interferencia del campo eléctrico a él, a sus subsistemas y al cableado asociado de otros equipos instalados en esa vecindad o de otras fuentes en ese entorno.

Este ensayo puede realizarse en una cámara anecoica o de reverberación. La intensidad del campo eléctrico es de 20 voltios por metro para los proyectos espaciales y de 200 voltios por metro para la aviación militar, según la norma. Este requisito se aplica normalmente en el rango de frecuencias de 10 kHz a 18 GHz. Por encima de 30 MHz se aplican las polarizaciones vertical y horizontal de las antenas. Este ensayo es similar al RE102, sólo que ahora el ESE, su cableado y sus subsistemas están siendo irradiados por el campo eléctrico emitido por las antenas. Según el rango de frecuencias aplicado, se debe utilizar una antena con sus propias características. Se conocen como antena ROD, para barrer el rango de 9 kHz a 30 MHz, antena BICONILOG, para barrer el rango de 26 MHz a 6 GHz, y antena DOUBLE RIDGE HORN, para barrer el rango de 750 MHz a 18 GHz.

Las antenas se colocan a un metro de distancia del ESE, o de su cableado, y a una altura de 1,20 m del suelo, según la norma.

El límite de la intensidad del campo eléctrico se ajusta de acuerdo con la norma para su aplicación en proyectos de la fuerza aérea o aeroespaciales. Constantemente, durante el ensayo, un sensor de campo eléctrico se posiciona lo más cerca posible del ESE, su cableado y subsistemas para comprobar la intensidad del campo eléctrico irradiado en este montaje. El ensayo, de acuerdo con su complejidad, puede repetirse varias veces en las que se varían las posiciones del sensor y la antena para barrer todos los puntos críticos de este sistema de montaje, como se especifica en la norma.

## 3 METODOLOGÍA

El principal objetivo de esta metodología técnica es demostrar la capacidad del laboratorio para realizar este tipo de ensayo de EMC, con perspectivas de ampliar esta prestación de servicios, a nivel de desarrollo, pero con expectativas de acreditación.

Para demostrar los ensayos de compatibilidad EMC en este laboratorio del DCTA/IFI, se utilizó un cierto sistema que conforma un vehículo aeroespacial del DCTA/IAE, conservando algunos detalles técnicos debido al secreto de la tecnología militar involucrada, así como el montaje para probarlo. Este sistema tiene uno o más dispositivos ESE que consisten en su cableado, sus conectores y subsistemas. Tanto la configuración de la disposición de este sistema como los equipos para el ensayo y la mesa de montaje son estándares que siguen la norma. La mesa de ensayo de EMC utilizada en el laboratorio siguen



la norma MIL-STD-461, con plan de tierra en placa metálica de cobre y conexiones de tierra en malla de tierra externa del laboratorio proyectados para esa finalidad. Los equipos del laboratorio de ensayo representados en las figuras y utilizados en cada tipo de ensayo están discriminados y/ o representados por letras A, B, C, D, E, F, o G. Los otros que no son discriminados son sólo una parte del banco de ensayos y se utilizarán según el tipo de ensayo. Este sistema ESE es normalmente operado por el diseñador, durante el ensayo de laboratorio, como si estuviera operando en condiciones normales en su vehículo espacial, de manera que su operabilidad normal puede ser analizada dentro de los límites de EMI aceptables por la norma utilizada. Las normas que seguimos o incluso el equipo utilizado en el laboratorio son actualizando constantemente.

El Laboratorio del DCTA/IFI dispone de documentos técnicos de procedimientos internos para la ejecución de este tipo de ensayos que siguen estrictamente lo determinado por la norma, especificando las fases de ajuste del equipo y de ensayo del sistema ESE y su cableado que se evalúan constantemente y, si es necesario, se emite una nueva revisión. Los datos de los resultados presentados por el laboratorio, dependiendo del tipo de ensayo, pueden ser proporcionados en gráficos o tablas, pero si el sistema funcionó o no correctamente sólo el diseñador puede declarar.

### 3.1 Ensayo de emisión conducida CE102

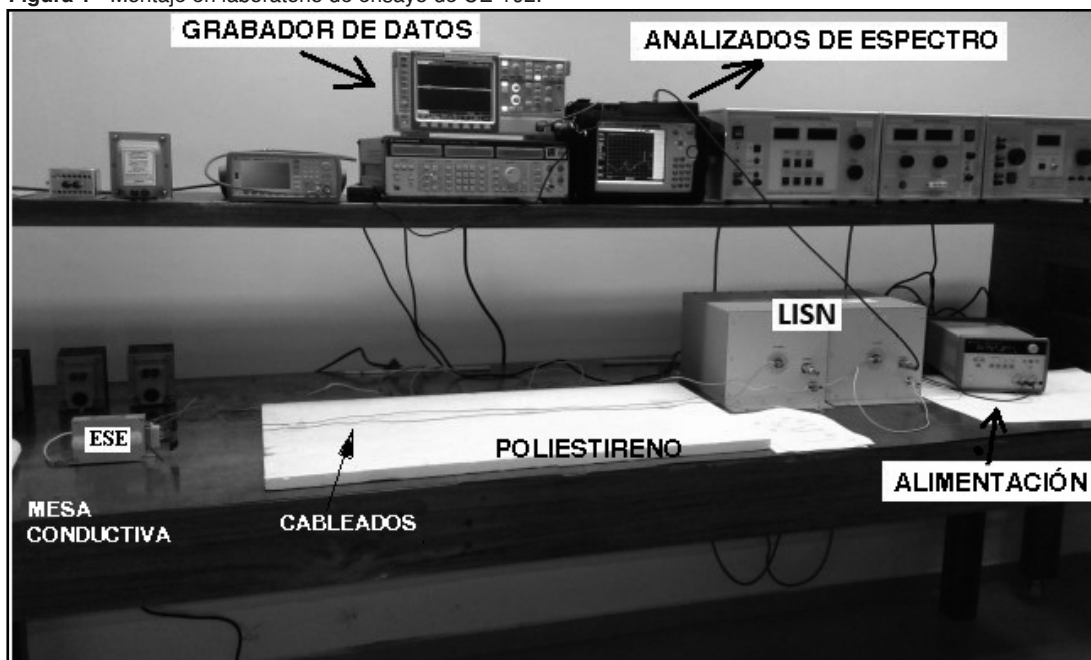
Para este tipo de ensayo, la primera fase se denomina calibración, según la norma en la que se realiza la verificación y el ajuste del equipo, sin el ESE, de acuerdo con los niveles especificados en esa norma mediante la exploración del rango de frecuencias de 10 kHz a 10 MHz. La segunda fase, ya con el equipo ajustado y utilizando el ESE, es el ensayo a través de la cual se observa este tipo de emisión conducida. El conjunto representativo de este ensayo de laboratorio se describe en la Figura 1 y el equipo utilizado en este ensayo están detallados en ella.

En este ensayo se comprobaron las señales de las emisiones electromagnéticas conducidas a través de los cables de alimentación del ESE, es decir, se evaluó la señal que interfería con ese equipo con respecto al límite aceptable por la norma y que se ajustó en la primera fase. También incluía los cables de retorno y los que son fuentes de otros equipos que no forman parte del ESE, pero que deberían influir en él. El ESE, el LISN y el equipo están dispuestos en una parte conductora del banco de ensayos. El cableado está bajo material aislante, en el caso de la espuma de poliestireno.

La Figura 2 presenta el resultado medido del nivel de la señal ruidosa (amplitud de la señal en decibelios micro volts - dBuV) en el ESE, comparado al límite establecido por la norma en el rango de frecuencia especificada.

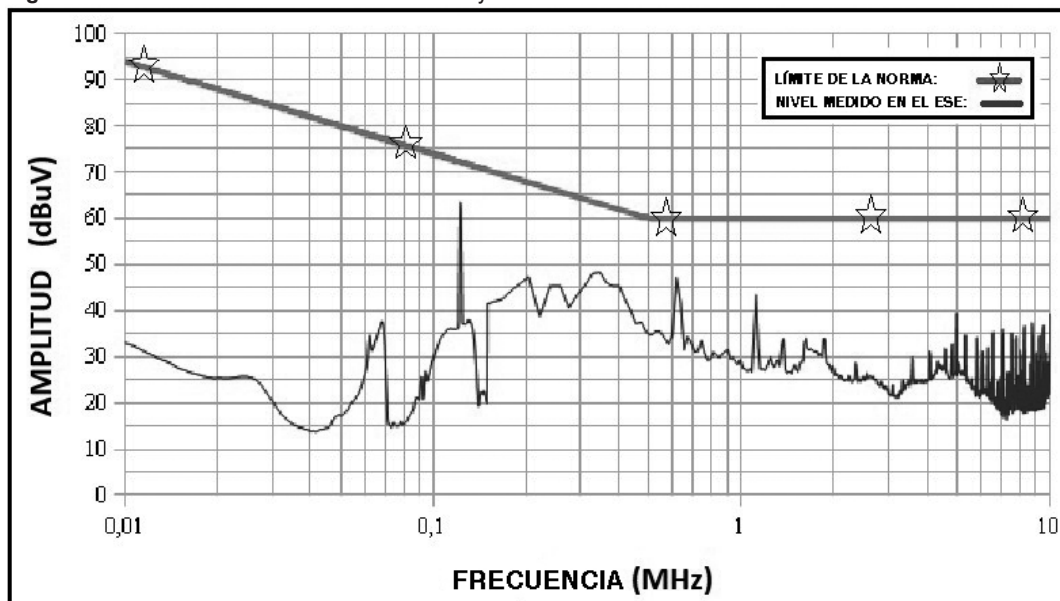
Las distancias de cableado, el equipo y el sistema ESE en general siguen los estándares de la norma, aunque no están indicados en el montaje de la Figura 1.

Figura 1 - Montaje en laboratorio de ensayo de CE-102.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

Figura 2 - Modelo de resultado obtenido del ensayo de emisión conducida sobre el ESE.



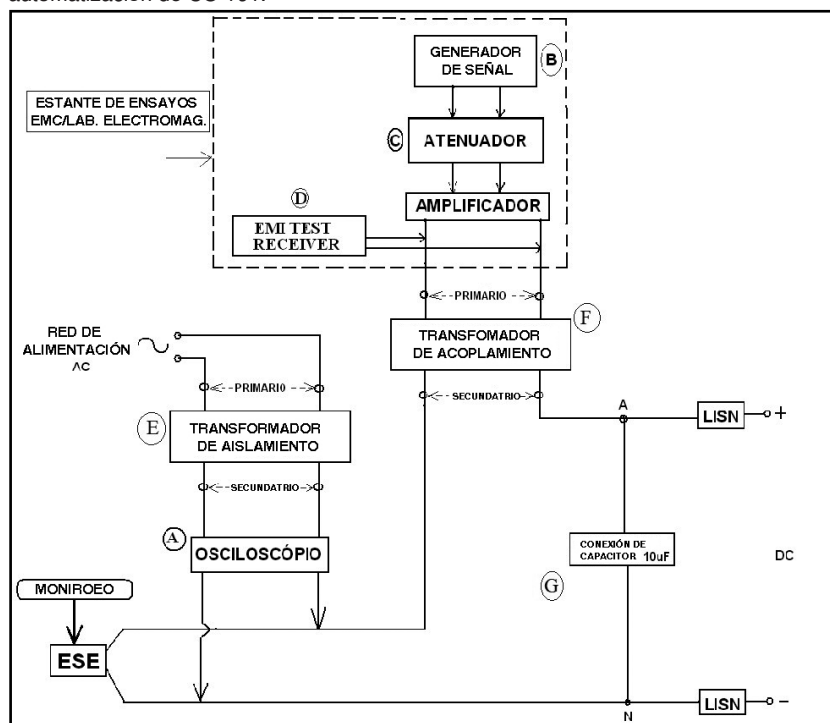
Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

### 3.2 Ensayo de susceptibilidad conducida CS101

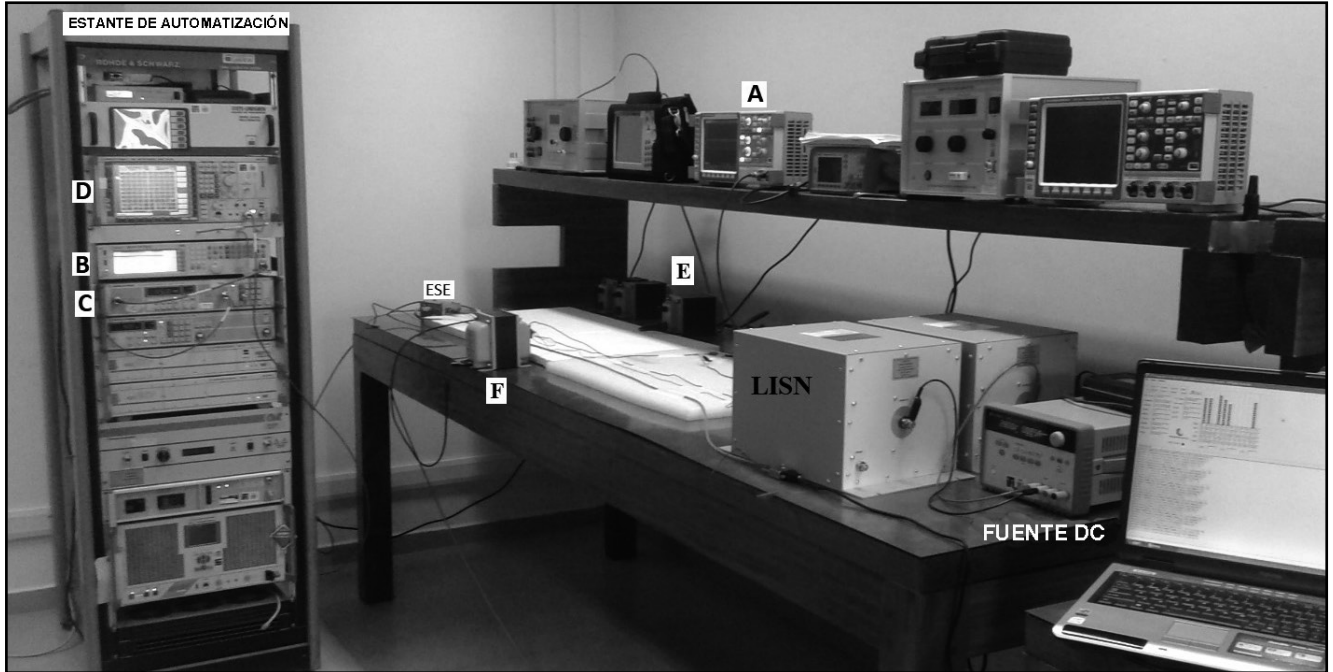
Para ese tipo de ensayo, la primera fase se llama calibración, según la norma en que se hace la verificación y ajuste solamente de los equipos, sin el ESE, conforme los niveles especificados en esa norma barriendo el rango de frecuencia de 30 Hz a 150 kHz. La segunda fase, ya

con los equipos ajustados y que utiliza el ESE, es el de ensayo en que será observado ese tipo de susceptibilidad conducida. En este caso, este nivel de señal es barrido en los cables de alimentación del ESE en el rango de frecuencia de la primera fase. La representación y el montaje, para este ensayo con bastidor de automatización del laboratorio, se describen en las Figuras 3 y 4.

Figura 3 - Diagrama de montaje con bastidor de laboratorio portátil para ensayos con automatización de CS-101.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

**Figura 4** - Montaje en laboratorio de ensayo de CS-101 con ESE y su cableado.

**Fuente:** Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA con el bastidor de automatización.

El laboratorio del IFI tiene y ha desarrollado un estante de automatización portátil, donde se monta e integra el equipo necesario para este tipo de ensayo. Estos equipos funcionan de forma automática, controlados y programados por software para ejecutar cada tipo de ensayo característico de acuerdo con la norma. El cableado de ensayo interconecta el ESE y la LISN. Los equipos utilizados para ese tipo de ensayo están representados por las letras A, B, C, D, E, F y G respectivamente. El capacitor G que no aparece en la Figura 4, está conectado a la fase positiva de alimentación del ESE siendo acoplado en la salida de la LISN. El amplificador está acoplado a la salida del generador de señal en el estante de automatización.

Los demás sólo están en la mesa y se utilizarán según el tipo de ensayo. El ESE, la LISN y el equipo están dispuestos en la parte conductora de la mesa de ensayos. El cableado está bajo un material aislante, una espuma de poliestireno. Las distancias del cableado, el equipo y el sistema ESE siguen los estándares de la norma, pero no se indican en el montaje de la Figura 4.

Durante el ensayo, el funcionamiento del sistema es constantemente monitoreado y cualquier mal funcionamiento es registrado o no por el diseñador.

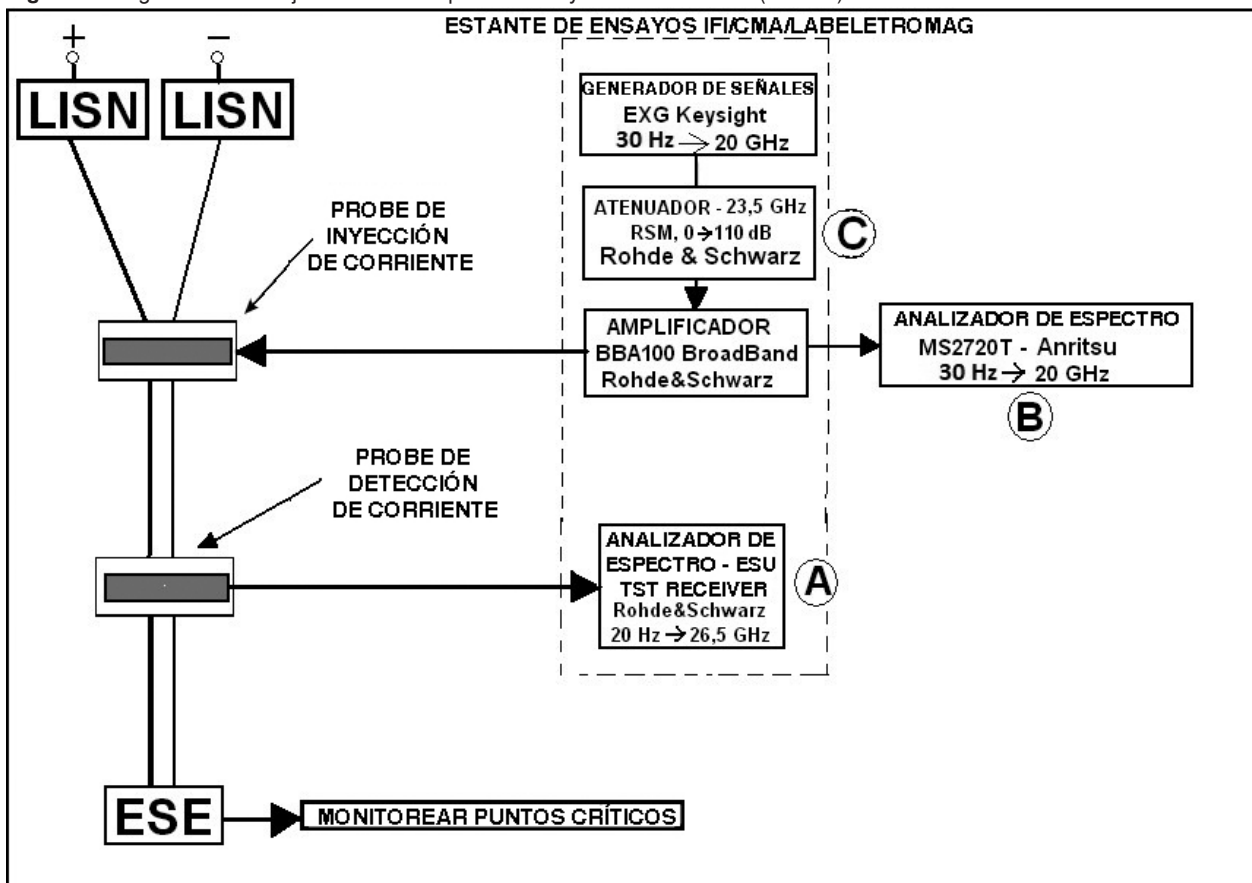
### 3.3 Ensayo de susceptibilidad conducida CS114

Para este tipo de ensayo, la primera fase se denomina calibración, según la norma de características de diseño del FAB y el Espacial, en la que el ajuste se hace sólo del equipo, sin el ESE, según los niveles especificados en esa norma, barriendo el rango de frecuencias de 10 kHz a 200 MHz. La segunda fase, ya con el equipo ajustado y utilizando el ESE, es el ensayo para la que se observa este tipo de susceptibilidad realizada. Los montajes para el ensayo automatizado con estante de laboratorio se describen en las Figuras 5 y 6. Los cables de ensayo están interconectando el ESE y la LISN. En este ensayo se utilizan dos equipos A y B como receptores de señal.

Después de ajustar el equipo de ensayo, se hace un barrido de este nivel de señal en los cables de suministro e interconexión del ESE en el rango de frecuencia especificado. En el ensayo se verificó la capacidad del ESE para soportar señales ruidosas acopladas a su fuente de alimentación y a los cables de interconexión.

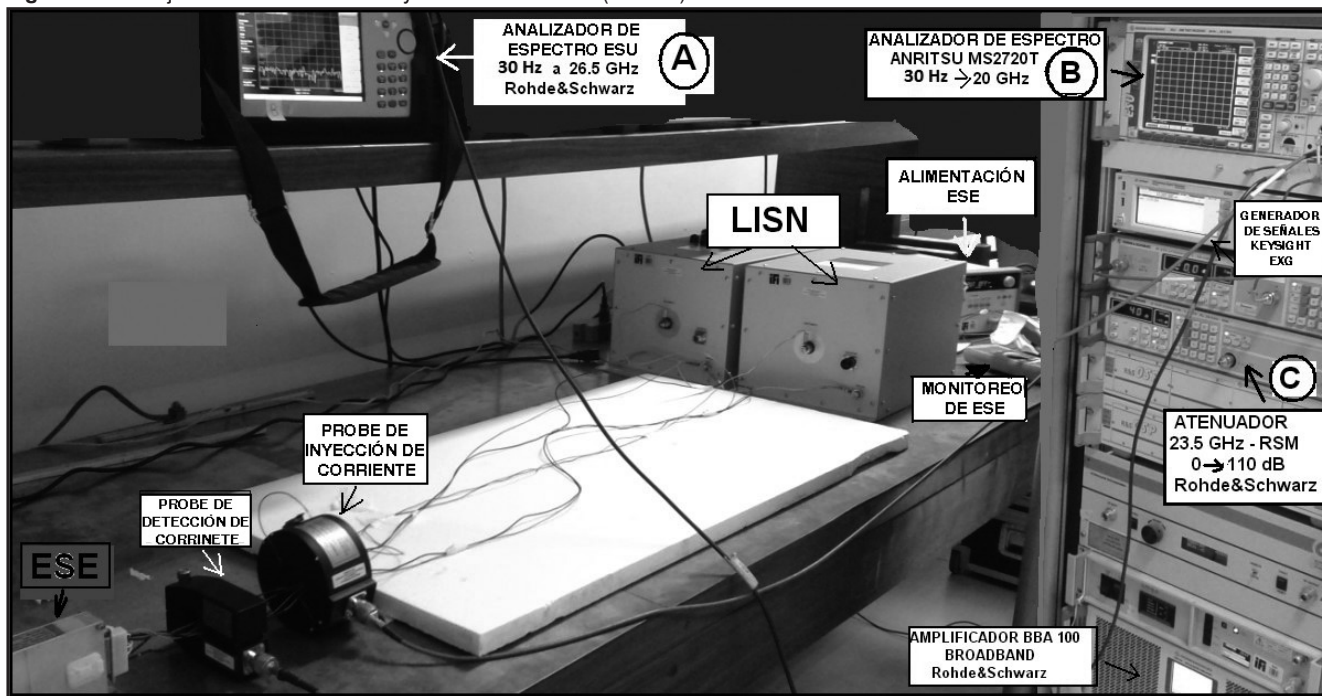
Durante el ensayo se monitorea constantemente el funcionamiento del sistema, siendo registrada cualquier anomalía o no por el diseñador.

Figura 5 - Diagrama de montaje en laboratorio para el ensayo automatizado de (CS-114).



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

Figura 6 - Montaje en laboratorio de ensayo automatizado de (CS-114).



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.



### 3.4 Ensayo de susceptibilidad conducida CS115

Para este tipo de ensayo, la primera fase se llama calibración, según los niveles de señal de la norma, en la que sólo se hace la verificación y el ajuste del equipo, sin el ESE. En la segunda fase, ya con el equipo ajustado, las señales pulsadas se inyectan en los cables de alimentación o de datos del ESE, donde se observará este tipo de susceptibilidad conducida. El montaje para el ensayo se describe en la Figura 7. El equipo A es la probe de inyección de señal, el B es la de medición, C es un atenuador de señal para no dañar el osciloscopio y D son los espaciadores de 5 cm. Los cables de ensayo están interconectando el ESE y la LISN. Los otros equipos no discriminados están sólo en la mesa y algunos son de señal de alimentación de ESE.

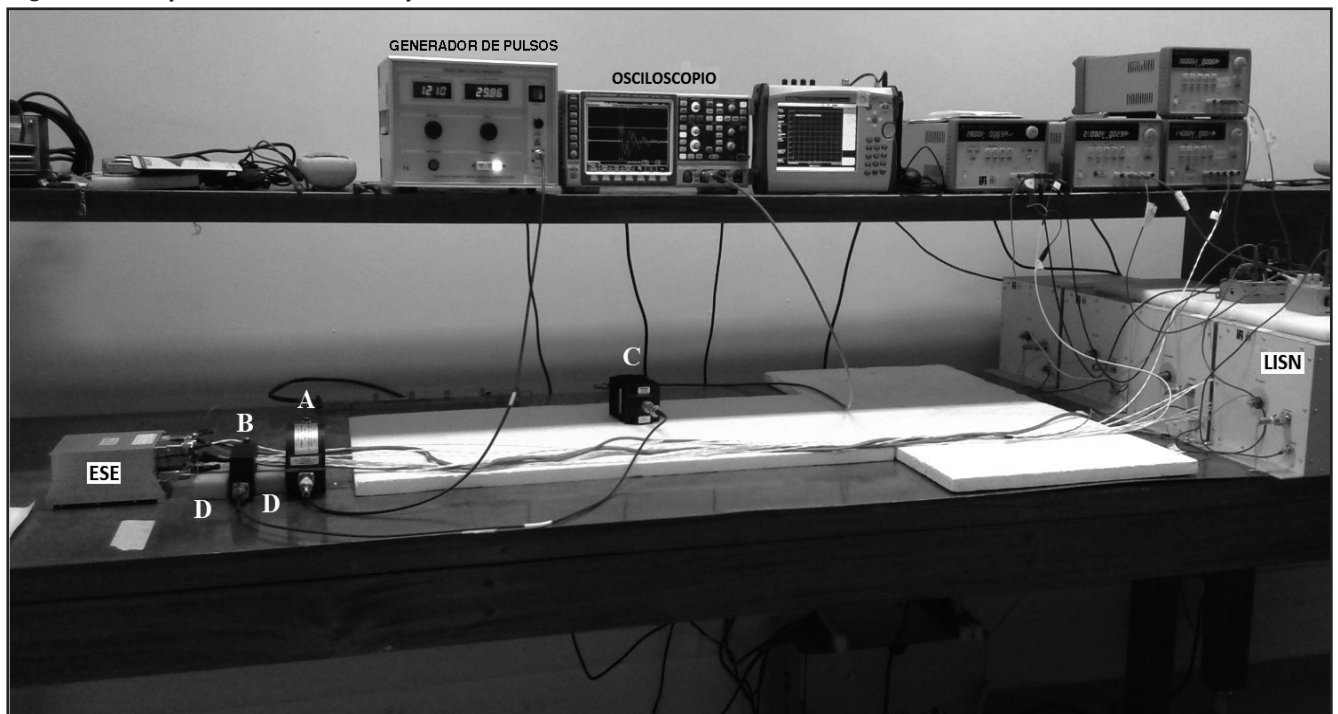
El ensayo verifica la capacidad del ESE para soportar el impulso de señales de interferencia acopladas a sus cables de alimentación, datos o los sistemas de puesta a tierra de sus cables de interconexión. Durante el ensayo, el funcionamiento del sistema es monitoreado constantemente, con cualquier anomalía registrada o no por el diseñador.

### 3.5 Ensayo de susceptibilidad conducida CS116

Para este tipo de ensayo, la primera fase se denomina calibración, según niveles de señal según la norma, en la que se realizan verificaciones y ajustes solo al equipo, sin el ESE. En la segunda fase, ya con los equipos ajustados, esta señal de corriente eléctrica transitoria sinusoidal amortiguada se inyecta, en el rango de frecuencias de 10 kHz a 100 MHz, en los cables de alimentación o en las señales de datos del ESE donde se observará este tipo de susceptibilidad conducida. El montaje del laboratorio para el ensayo se describe en la Figura 8. Los cables de ensayo están conectados al ESE y al LISN. Los espaciadores de 5 cm están representados por A, el equipo B es la probe de medición y C es la probe de inyección de señales. El resto de los equipos no discriminados están sólo en la mesa. No son parte de este ensayo.

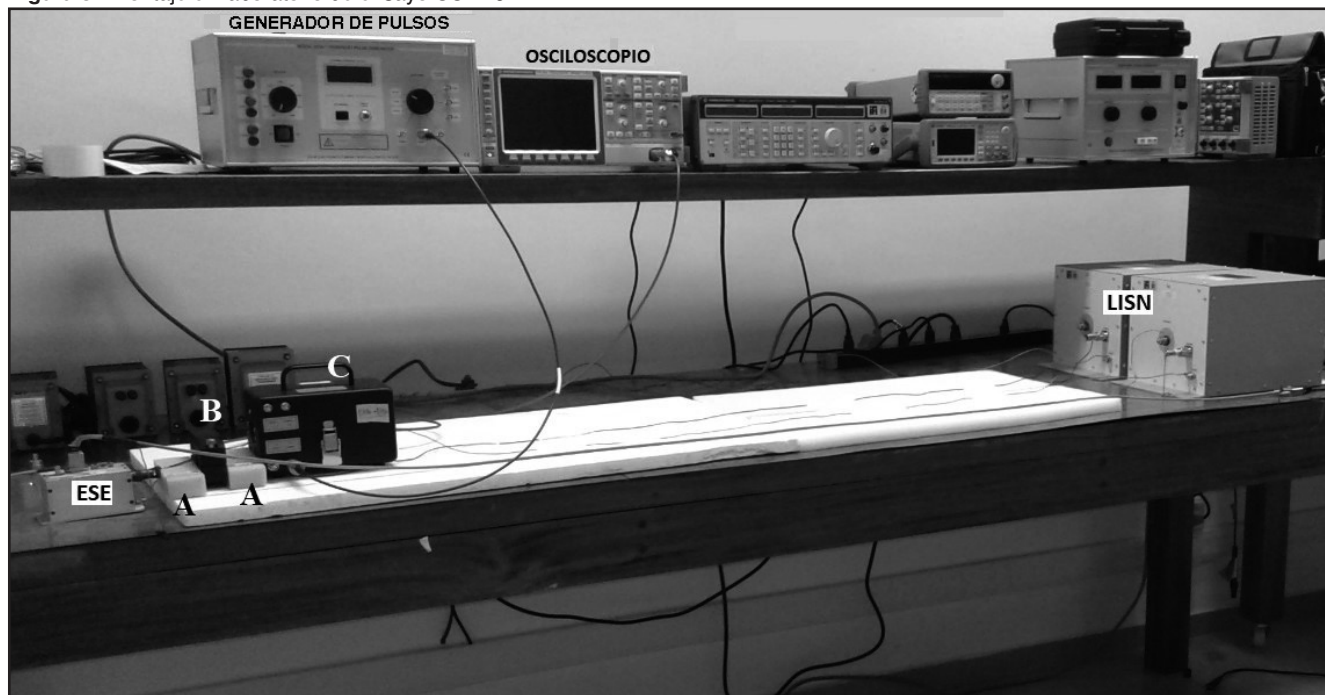
El ensayo verifica la capacidad del ESE para soportar tales señales de interferencia acopladas a sus cables de alimentación o señales de datos en el rango de frecuencia especificado. Durante el ensayo, el funcionamiento del sistema es constantemente monitoreado y cualquier mal funcionamiento o falla es registrada por el diseñador.

Figura 7 - Montaje en laboratorio de ensayo CS115.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

Figura 8 - Montaje en laboratorio de ensayo CS-116.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

### 3.6 Ensayo de emisión irradiada RE102

En la primera fase de este tipo de ensayo, llamada calibración por la norma, se realizan los ajustes y la verificación del equipo y las antenas, según los límites de la intensidad del campo eléctrico (amplitud en decibelios microvoltios por metro - dBuV/m) aceptables por la norma. En esta fase se posicionan las antenas ROD, BICONILOG y DOUBLE RIDGE HORN, de acuerdo con su rango de frecuencia entre 10 kHz a 18 GHz, a un metro de distancia del ESE o de sus cables y altura del suelo de 1,20 m.

En la segunda fase de ensayo, con el equipo ESE funcionando normalmente, se mide la intensidad del campo eléctrico irradiado en dBuV/m por ese sistema constituido por el ESE y por sus cables. Estos niveles de emisión producen efectos de señal ruidosa y deben estar entre los límites establecidos en la norma y ajustados en la primera fase. Dependiendo de la complejidad de este sistema y del tamaño de su cableado, este ensayo puede repetirse varias veces hasta que cubra todo el ángulo de cobertura de las antenas. Las configuraciones de los montajes para el ensayo en laboratorio son descritas en la Figura 9 de 10 kHz a 30 MHz, en la Figura 10 de 30 MHz a 200 MHz y en la Figura 11 de 200 MHz a 18 GHz, respectivamente. Los cables para ensayo interconectan el ESE y la LISN y están sobre espuma de poliestireno.

Este tipo de ensayo se realiza en el interior de la cámara anecoica del laboratorio del IFI que tiene absorbedores de EMI, justamente para garantizar

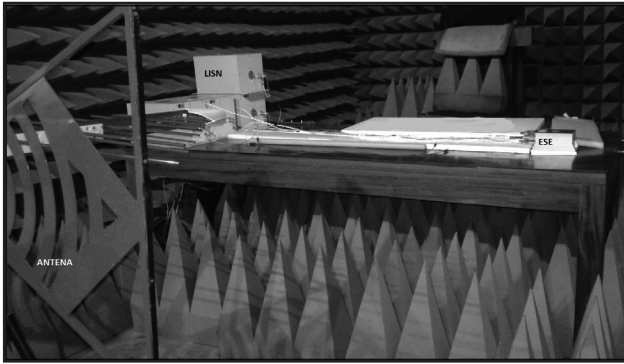
Figura 9 - Posicionamiento de la antena ROD para ensayo de RE-102.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

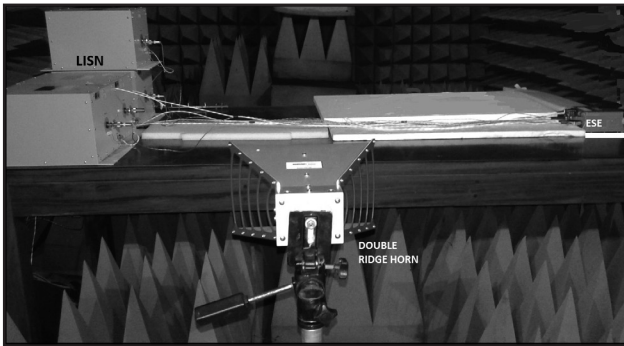
que las señales electromagnéticas, presentes en esa configuración, son sólo los provenientes del sistema ESE más el cable y que se miden por las antenas en su interior. Los otros equipos que forman parte del sistema de medición de las antenas están dispuestos en la parte exterior de la cámara y están montados según el estante de automatización portátil del IFI, conforme exhibido se miden por las antenas en su interior. Los otros equipos que forman parte del sistema de medición de las antenas están dispuestos en la parte exterior de la cámara y están montados según el estante de automatización portátil del IFI, conforme exhibido en la Figura 4. Durante el ensayo se monitorea constantemente el funcionamiento del ESE, barriendo los rangos de frecuencia establecidos.

**Figura 10** - Posicionamiento de la antena BICONILOG para ensayo de RE-102.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

**Figura 11** - Posicionamiento de la antena DOUBLE RIDGE HORN para ensayo de RE-102.



Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

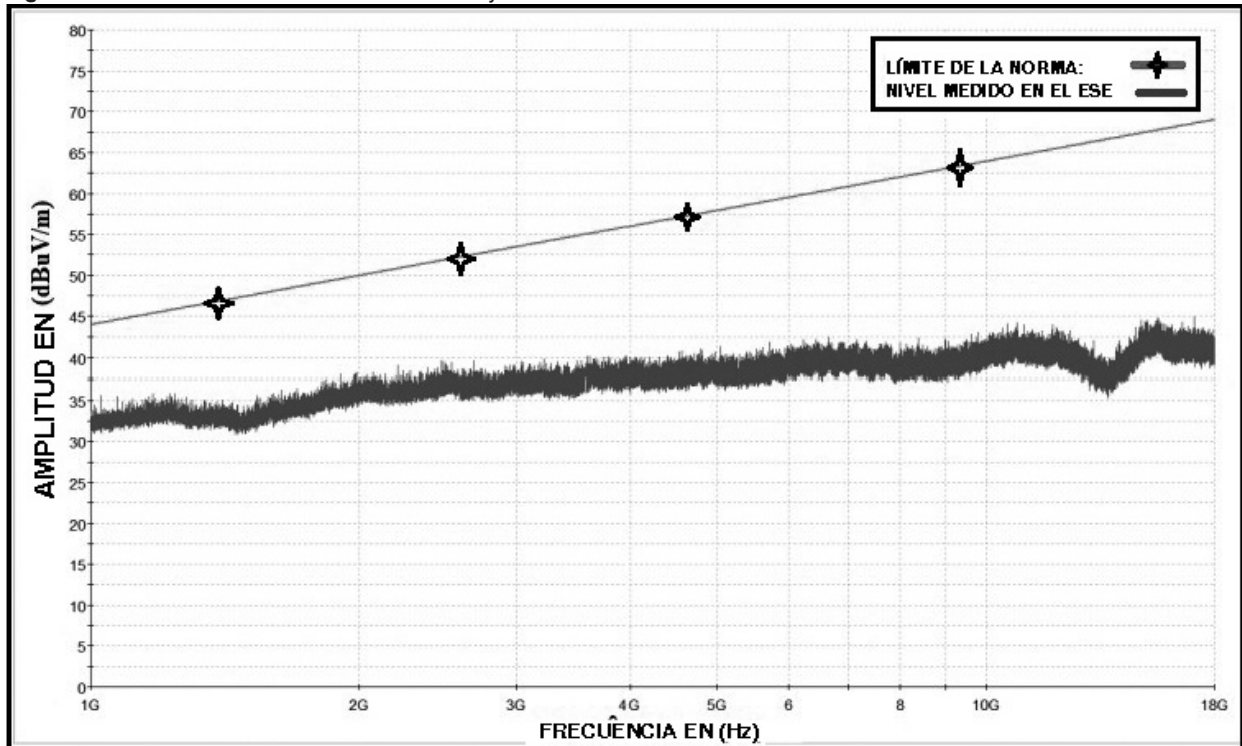
Parte del resultado de la medida de los niveles de emisión irradiados del ESE, comparados con los niveles aceptables por la norma, son presentados en la Figura 12. El rango de frecuencia presentado está entre 1GHz y 18 GHz en polarización horizontal con el nivel de amplitud de señal irradiada de campo eléctrico en dBuV/m.

### 3.7 Ensayo de susceptibilidad irradiada RS103

En la primera fase de este tipo de ensayo, también llamada calibración por la norma, se hacen el ajuste y la verificación de los equipos y de las antenas, según límites de intensidad de campo eléctrico (amplitud en decibelios de microvoltios por metro - dBuV/m) aceptables por la norma. En esta fase se posicionan las antenas ROD, BICONILOG y DOUBLE RIDGE HORN, de acuerdo con su rango de frecuencia entre 10 kHz y 18 GHz, a un metro de distancia del ESE o de sus cables y altura del suelo de 1,20 m.

Este ensayo es similar al RE102, sin embargo, solo ahora las antenas irradian una señal ruidosa de campo eléctrico, inicialmente ajustada sobre el sistema ESE y el cableado. Esta señal es monitoreada constantemente por un sensor de intensidad de campo eléctrico, ubicado lo más cerca posible de

**Figura 12** - Modelo de resultado obtenido del ensayo de RE102 en el ESE.

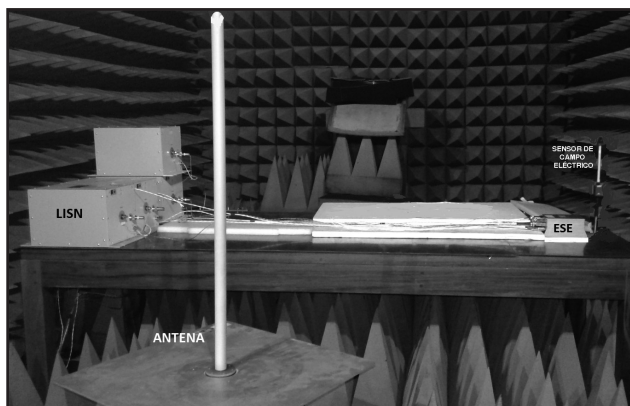


Fuente: Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.



este sistema. La intensidad del campo eléctrico es de 20 voltios por metro, especificada en la norma para proyectos espaciales. Las configuraciones de los montajes para el ensayo en laboratorio son descritas en la Figura 13 de 10 kHz a 30 MHz, en la Figura 14 de 30 MHz a 200 MHz y en la Figura 15 de 200 MHz a 18 GHz, respectivamente.

**Figura 13** - Antena ROD para ensayo de RS -103 ejecutado en laboratorio.



**Fuente:** Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

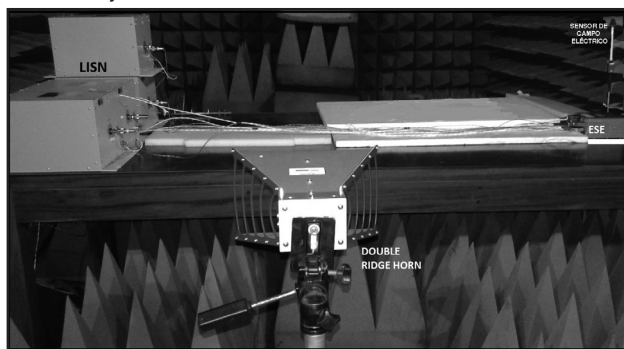
Este tipo de ensayo se realizó en el interior de la cámara anecoica del laboratorio del IFI, que cuenta con absorbentes EMI precisamente para asegurar que las señales electromagnéticas, en este caso el campo eléctrico, generados e irradiados en este conjunto del sistema ESE más el cableado son sólo las que provienen de las antenas en su interior. Los demás equipos que forman parte del sistema de generación de señales para las antenas y la medición de la señal del sensor de campo eléctrico se dispusieron fuera de la cámara y se montaron de acuerdo con el estante de automatización portátil del IFI, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 14** - Antena BICONILOG para ensayo de RS-103 ejecutado en laboratorio.



**Fuente:** Laboratorio de ensaios eletromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

**Figura 15** - Antena DOUBLE RIDGE HORN para ensayo de RS-103, ejecutado en laboratorio.



**Fuente:** Laboratorio de ensayos electromagnéticos DCTA/IFI/CMA.

Durante el ensayo, el funcionamiento del sistema es monitoreado constantemente, con cualquier anomalía registrada o no por el diseñador.

#### 4 CONCLUSION

Este artículo se presentan los ensayos de compatibilidad electromagnética EMC en un sistema desarrollado en el área aeroespacial de tecnología de defensa del Comando de la Aeronáutica, para el Instituto Aeroespacial, IAE, teniendo principalmente como referencia el requisito técnico MIL-STD-461 de la norma americana, con su revisión G.

El Laboratorio de Ensayos Electromagnéticos (Labeletromag) de la División de Confiabilidad Metrológica, CMA, en el Instituto de Fomento y Coordinación Industrial, IFI, del Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial DCTA, en São José dos Campos (SP), se encuentra implantado, en fase de automatización, pero ya realiza estos tipos de servicios técnico-especializados de ensayos de EMC en emisiones o susceptibilidades conducidas, (CE) y (CS), y emisiones o susceptibilidades irradiadas, (RE) y (RS), en nivel de desarrollo de producto para atender proyectos en el área aeroespacial de tecnología de defensa del Comando de la Aeronáutica.

Servicio que puede, lógicamente, se extender a otras instituciones militares del Ministerio de Defensa, a las industrias civiles en el sector aeroespacial, a los establecimientos de enseñanza y de investigación. Ese tipo de prestación de servicio innovador, en esta área en el IFI y para el Comando de la Aeronáutica, ya ha realizado ensayos para un proyecto de armas de la Marina y tiene al Ejército también en asociación. El laboratorio ha puesto



a disposição uma associação de desenvolvimento para projetos de aviação militar ou civil de EMBRAER, visto que seus ensaios de desenvolvimento e certificação são executados quase totalmente no exterior.

La norma seguida por la aviación civil, la principal de las cuales es la RTCA/DO-160, Revisión G, a través de las secciones 18 a 23, se puede realizar en gran parte en este laboratorio. En el Brasil, el principal laboratorio que ha podido prestar este tipo de servicio ha sido el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE), pero, con la gran demanda de sus servicios por parte de la industria nacional automovilística, la espera para la ejecución de los ensayos termina

comprometida por otros sectores de las áreas militar o civil aeroespaciales de investigación y desarrollo.

Este tipo de servicio técnico ofrecido es de gran importancia para la autonomía y el desarrollo del país, ya que gran parte de este servicio se realiza en el extranjero. El laboratorio también cuenta con una cámara de reverberación en funcionamiento para realizar ensayos de susceptibilidad a la irradiación, siendo la única del país. Con la implementación de Labeltromag en el IFI, se ha ofrecido una alternativa para satisfacer la demanda de este servicio en el Brasil.

## REFERENCIAS

AR, RF/Microwave Instrumentation. Disponível em: <http://www.arworld.us>. Acesso em: 12 set. 2018.

DEPARTMENT OF DEFENSE INTERFACE STANDARD, **Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment**, MIL-STD-461, Rev. G, Washington, DC, 2007.

EMC 2018 Testing Guide. **Interference Technology Guide Series**. Disponível em: <http://www.interferencetechnology.com>. Acesso em: 14 nov. 2018.

ETS.LINDGREN COMPANY. **EMC Test and Measurement**, Disponível em: <http://www.ets-lindgren.com>. Acesso em: 20 Set. 2018.

FISHER, F. A.; PLUMER, J. A.; PERALA, R. A. **Lightning protection of aircraft**. 3. ed. Pittsfield, MA: Lightning Technologies Inc., 1990.

FISHER, F. A.; PLUMER, J. A. **Lightning protection of aircraft**. National Aeronautics and Space Administration. NASA Reference Publication N° 1008, Washington, DC, 1977.

KEYSIGHT TECHNOLOGIES, **EMC Teste e**

**Medição**, Disponível em: <http://www.keysight.com/br>. Acesso em: 16 ago. 2018.

MILITARY & AEROSPACE EMC 2018 Guide. **Interference Technology Guide Series**, Disponível em: <http://www.interferencetechnology.com>. Acesso em: 17 out. 2018.

MORGAN, D. A Handbook for EMC Testing and Measurement, **IET Electrical Measurement Series 8**, 2007.

RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR AERONAUTICS. **Environmental conditions and test procedures for airborne equipment**. RTCA / DO-160, rev. G, Washington, DC, 2010.

ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG. **EMC Teste e Medição**. Disponível em: <http://www.rohde-schwarz.com/br>.

SOLAR ELECTRONICS COMPANY. **Equipments for EMI**. Disponível em: <http://www.solar-emc.com>. Acesso em: 18 set. 2018.

USER TEST PLANNING GUIDE. **Electromagnetic Interference/Compatibility (EMI/EMC) – Control Test and Measurement Facility**, NASA-Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas, 2016.