

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Centro de Tecnologías de Información y
Comunicaciones



PROGRAMAS DE ALTA ESPECIALIZACION TECNOLÓGICA

**Medición de radiaciones electromagnéticas no
ionizantes en CTIC**

Alumnos:

- Romero Catay Eder Angelo
- Ticse Torres Royer

Asesor:

- Dr. Carlos Javier Solano Salinas

Resumen

Una de las formas de transmisión de energía es la que se realiza a través de ondas electromagnéticas, estas se diferencian por la cantidad de energía que puedan transmitir y esto a su vez por su frecuencia. En el presente trabajo daremos una visión teórica de las ondas electromagnéticas(OEM) que producen radiación y pasaremos a explicar los métodos y procedimientos con los cuales determinaremos teóricamente la cantidad de radiación no ionizante presente en las instalaciones del laboratorio. Luego con la ayuda de un medidor de campos magnéticos determinaremos la cantidad de radiación magnética en los laboratorios y oficinas de CTIC.

Índice general

Parte I

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad el mundo donde vivimos tiene la tecnología y la información cada vez mas al alcance de todas las personas, por una parte esto es muy bueno para las empresas y los consumidores que podemos escoger cualquier equipo que nos permita recibir y enviar información.

En paralelo al crecimiento de la tecnología se hicieron estudios del impacto que recían los seres vivientes de parte de estos equipos, debido a que para establecer una comunicación o visualizar una imagen en un monitor, entre otros, se transmiten ondas electromagnéticas (OEM) y estas producen la radiación electromagnética, cabe resaltar que la mayoría de los aparatos aparatos electrónicos actuales emiten radiación electromagnética no ionizante (RNI), es decir que las OEM que producen RNI pertenecen a el rango de frecuencias bajas, estas no llevan una energía asociada suficiente para producir el proceso de ionización y sus efectos no pueden ser percibidos por los sentidos de los seres humanos, a menos que su intensidad alcance valores suficientemente elevados como para manifestarse a través de efectos térmicos.

Como ya lo dijimos el ser humano convive diariamente con fuentes generadoras de radiación no ionizante entre estas tenemos a las líneas de transmisión de energía eléctrica, estaciones de transformación de alta tensión, estaciones de radio difusión (AM y FM), estaciones de televisión por aire, servicio de telefonía celular móvil entre otros aparatos cuya tecnología ha dado lugar a las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en el ambiente urbano.

Nosotros para este trabajo en un inicio nos dedicaremos a presentar algunas consideraciones teóricas y dar un resultado de medida teórica de la potencia de radiación no ionizante en un laboratorio de computo. Luego con la ayuda de un medidor de campos magneticos verificaremos la existencia de radiación en las instalaciones del Centro de Tecnologías de Investigación y Comunicaciones CTIC.

Este informe está basado en las consideraciones tanto teóricas como prácticas de un estudio orientado a determinar la densidad de potencia esperada y la medida en forma experimental en las inmediaciones de una antena

de una estación base de tecnología GSM (Global System for Mobile Communications) que fue desarrollado por el Dr. Cesar Javier Solano Salinas y su tesista Loreleyn Flores.

1.1. Objetivo

Lo que nos proponemos en este informe es estudiar y encontrar un método para determinar teóricamente la potencia de radiación emitida por fuentes que en nuestro caso serán aparatos electrónicos .

Lo cual servirá para luego determinar experimentalmente la cantidad de radiación real a la cual estamos expuestos los integrantes del CTIC.

Capítulo 2

Fundamento Teórico

2.1. El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. El conjunto de todas las frecuencias se denomina espectro.

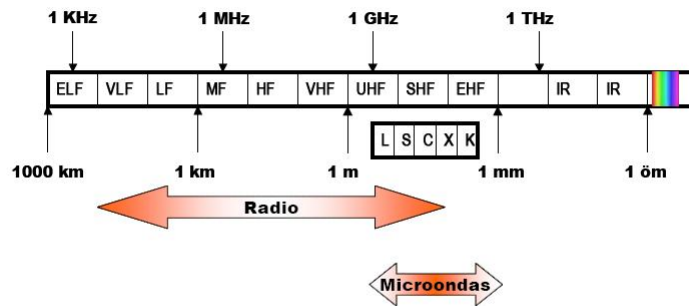


Figura 2.1: Espectro Electromagnético.

Las ondas se clasifican por bandas. Las denominaciones de las bandas de frecuencia se pueden realizar por décadas, como por ejemplo MF, HF, VHF, UHF.

Banda	Denominación	frec. mínima	frec. máxima	λ . máxima	λ . mínima
ELF	Extremely Low Frequency	-	3 kHz	-	100 km
VLF	Very Low Frequency	3 kHz	30kHz	100 km	10 km
LF	Low Frequency	30 kHz	300 kHz	10 km	1 km
MF	Medium Frequency	300 kHz	3 MHz	1 km	100 m
HF	High Frequency	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m
VHF	Very High Frequency	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm
SHF	Super High Frequency	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm
EHF	Extremely High Frequency	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm

Figura 2.2: Frecuencias

2.2. Ecuaciones de Maxwell.

2.2.1. Ecuaciones Diferenciales

Los fenómenos electromagnéticos se pueden describir a partir de cuatro ecuaciones de Maxwell.

Ley de Ampère

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_o \vec{J} + \mu_o \epsilon_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Ley de Faraday

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Ley de Gauss

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_o}$$

Ley de Gauss

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

2.2.2. Casos particulares de las ecuaciones de Maxwell

En el espacio libre las corrientes y las cargas son cero y las ecuaciones de Maxwell se pueden simplificar eliminando los términos correspondientes. Asimismo si las fuentes varían armónicamente con el tiempo, las ecuaciones electromagnéticas y sus soluciones se simplifican, utilizando para ello una notación fasorial, de forma que las derivadas respecto al tiempo se transforman en productos por el factor $j\omega$.

Finalmente para casos sin variación temporal, las ecuaciones toman las formas de electrostática y magnetostática.

Diferencial	Ley de Ampère	Ley de Faraday	Ley de Gauss	Ley de Gauss
Caso general	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
Espacio libre	$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\nabla \cdot \vec{D} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
Armónica	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + (\sigma + j\omega\epsilon)\vec{E}$	$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H}$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
Estacionario	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$	$\nabla \times \vec{E} = 0$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$

Figura 2.3: Unidades

2.2.3. Ecuaciones en forma integral

Las ecuaciones de Maxwell se pueden escribir en forma integral, aplicando para ello los teoremas de Stokes y de la divergencia

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \int \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{s}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \int \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{s}$$

$$\int \int \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int \int \int \rho d_v$$

$$\int \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

2.3. Ecuaciones de onda para los campos

2.3.1. Ecuaciones de Maxwell (Variación armónica)

Considerando que las fuentes varían armónicamente con el tiempo, las ecuaciones de Maxwell se pueden simplificar de la siguiente forma:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E}$$

2.3.2. Ecuación de continuidad

De las ecuaciones anteriores se deduce la ecuación de continuidad, tomando para ello la divergencia de la Ley de Ampère, y teniendo en cuenta que la divergencia del rotacional es cero.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E}$$

$$\nabla \cdot \nabla \times \vec{H} = \nabla \cdot \vec{J} + j\omega\epsilon \nabla \cdot \vec{E}$$

$$0 = \nabla \cdot \vec{J} + j\omega\epsilon \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \vec{J} + j\omega\rho = 0$$

Las ecuaciones de Maxwell, desde un punto de vista matemático son un sistema de ecuaciones diferenciales vectoriales de primer orden, apareciendo entremezclados los campos eléctricos y magnéticos. A continuación se van a obtener unas nuevas ecuaciones diferenciales, de segundo orden donde se encuentren separados los campos

2.3.3. Ecuación de onda para el campo eléctrico

Tomando el rotacional de la Ley de Faraday se obtiene la ecuación de onda para el campo eléctrico

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{E} &= -j\omega\mu\vec{H} \\ \nabla \times \nabla \times \vec{E} &= -j\omega\mu\nabla \times \vec{H} \\ \nabla\nabla.\vec{E} - \nabla^2\vec{E} &= -j\omega\mu(\vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E}) \\ \nabla^2\vec{E} + \omega^2\mu\epsilon\vec{E} &= j\omega\mu\vec{J} + \nabla\left[\frac{\rho}{\epsilon}\right]\end{aligned}$$

2.3.4. Ecuación de onda para el campo magnético

Tomando el rotacional de la Ley de Ampère se obtiene la ecuación de onda para el campo magnético.

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E} \\ \nabla \times \nabla \times \vec{H} &= \nabla \times \vec{J} + j\omega\epsilon\nabla \times \vec{E} \\ \nabla\nabla.\vec{H} - \nabla^2\vec{H} &= \nabla \times \vec{J} + \mu\omega^2\epsilon\vec{H} \\ \nabla^2\vec{H} + \omega^2\mu\epsilon\vec{H} &= -\nabla \times \vec{J}\end{aligned}$$

2.3.5. Definición de los potenciales

Para simplificar el cálculo de los campos eléctricos y magnéticos se puede recurrir a una funciones potenciales escalar y vector, que simplifiquen los cálculos. El potencial vector se puede definir teniendo en cuenta la ley de Gauss para el flujo magnético. Si se define B como el rotacional de un vector, automáticamente se cumple que la divergencia es cero

$$\nabla.\vec{B} = 0$$

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

El potencial escalar se puede definir a partir de la Ley de Faraday y de la definición del potencial vector. Teniendo en cuenta que el rotacional del gradiente de una función es cero, se puede definir el potencial escalar como:

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{E} &= -j\omega\mu\vec{H} \\ \nabla \times (\vec{E} + j\omega\vec{A}) &= 0 \\ \vec{E} + j\omega\vec{A} &= -\nabla\Phi\end{aligned}$$

2.3.6. Ecuaciones de onda de los potenciales

La ley de Ampère y las definiciones anteriores nos permiten obtener la siguiente ecuación de onda para el potencial vector eléctrico

$$\nabla^2 \vec{A} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{A} = -\mu \vec{J} + \nabla (\nabla \cdot \vec{A} + j\omega \mu \epsilon \Phi)$$

Utilizando la Ley de Gauss para el campo eléctrico se obtiene la ecuación de onda para el potencia escalar

$$\nabla^2 \Phi + \omega^2 \mu \epsilon \Phi = -\frac{\rho}{\epsilon} + (-j\omega \nabla \cdot \vec{A} + \omega^2 \mu \epsilon \Phi)$$

Se ha definido el campo magnético a partir del rotacional del potencial vector, pero es necesario definir también su divergencia. Esta relación se denomina condición de Lorentz.

$$\nabla \cdot \vec{A} + j\omega \mu \epsilon \Phi = 0$$

Es posible simplificar las expresiones de las ecuaciones de onda para los potenciales

$$\begin{aligned} \nabla^2 \Phi + k^2 \Phi &= -\frac{\rho}{\epsilon} \\ \nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} &= -\mu \vec{J} \end{aligned}$$

Donde $K = \omega^2 \mu \epsilon$.

2.3.7. Soluciones Integrales para los Potenciales

La solución a estas ecuaciones tiene la forma: Potencial escalar.

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon} \int \int \int \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|} \rho(\vec{r}') dv'$$

Potencial vectorial.

$$\vec{A} = \mu \int \int \int \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|} \vec{J}(\vec{r}') dv'$$

2.3.8. Expresiones generales de los campos

Los campos eléctricos y magnéticos se pueden obtener a partir de los potenciales mediante las expresiones siguientes

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = -j\omega \vec{A} - \nabla \Phi$$

Para calcular los campos es necesario calcular los gradientes y rotacionales de los potenciales.

$$\nabla \Phi(\vec{r}) = \frac{1}{\epsilon} \int \int \int \nabla G(\vec{r}, \vec{r}') \rho(\vec{r}') dv'$$

$$\nabla G(\vec{r}, \vec{r}') = \nabla \left(\frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \right) = \frac{dG(R)}{dR} \hat{R}$$

$$\nabla G(\vec{r}, \vec{r}') = \left(-jk - \frac{1}{R} \right) \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \hat{R}$$

$$\nabla \times \vec{A} = \mu \nabla \times \int \int \int G(\vec{r}, \vec{r}') J(\vec{r}') dv' = \mu \times \int \int \int \nabla G(\vec{r}, \vec{r}') \times J(\vec{r}') dv'$$

Finalmente, simplificando las anteriores expresiones se obtiene el campo eléctrico, válido en todos los puntos del espacio.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \int \int \hat{R} \rho(\vec{r}') \frac{e^{-jkR}}{4\pi R^2} dv' + \frac{jk}{4\pi\epsilon} \int \int \int \left(\rho(\vec{r}') \hat{R} - \frac{\omega\mu\epsilon}{k} \right) \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dv'$$

El campo magnético es

$$\vec{H} = -\frac{1}{4\pi} \int \int \int \hat{R} \times J(\vec{r}') \frac{e^{-jkR}}{R^2} dv' - \frac{jk}{4\pi} \int \int \int \left(\hat{R} \times J(\vec{r}') \right) \frac{e^{-jkR}}{R} dv'$$

A distancias muy cercanas a las fuentes predominan los campos que son proporcionales a $1/r^2$, mientras que a grandes distancias predominan los proporcionales a $1/r$.

2.3.9. Campos inducidos

Son proporcionales a $1/r^2$ y corresponden a las leyes de Coulomb y Biot y Savart, con un término adicional de fase. Si $k=0$ se obtienen las expresiones conocidas de los campos de una distribución de cargas y de corrientes.

$$\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \int \int \hat{R} \rho(\vec{r}') \frac{e^{-jkR}}{R^2} dv'$$

$$\vec{H}_i = -\frac{1}{4\pi} \int \int \int \hat{R} \times \vec{J}(\vec{r}') \frac{e^{-jkR}}{R^2} dv'$$

2.3.10. Campos radiados

Los campos radiados son proporcionales a $1/r$ y son los que contribuyen a la radiación a grandes distancias de las fuentes.

$$\vec{E}_r = \frac{jk}{4\pi\epsilon} \int \int \int \left(\rho(\vec{r}') \hat{R} - \frac{\omega\mu\epsilon}{k} \right) \frac{e^{-jkR}}{R} dv'$$

$$\vec{H}_r = -\frac{jk}{4\pi} \int \int \int \hat{R} \times \vec{J}(\vec{r}') \frac{e^{-jkR}}{R} dv'$$

Los campos radiados se pueden calcular a partir de las expresiones generales de los campos, realizando las correspondientes integrales. Si estamos a una distancia suficientemente grande de la antena, podemos hacer una serie de aproximaciones que nos simplificarán los cálculos. Se puede considerar que todas las ondas originadas en la antena siguen trayectorias paralelas hasta el punto de campo, es decir Al ser las trayectorias de los rayos paralelas, la

diferencia de caminos recorridos por las diferentes ondas se puede calcular como

$$R = r - \hat{r} \cdot \vec{r}'$$

Las ondas producidas en cada punto se pueden aproximar por una onda centrada en el origen de coordenadas con un desfase adicional equivalente a la diferencia de caminos.

Los campos magnéticos inducidos y radiados son iguales cuando se cumple la condición

$$\frac{1}{R^2} = \frac{k}{R}$$

$$R = \frac{\lambda}{2\pi}$$

2.3.11. Expresiones aproximadas para los campos radiados

Los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares entre sí y sólo tienen componentes tangenciales. La relación entre sus módulos es la impedancia característica del medio, que no debe confundirse con la eficiencia.

$$\vec{H} = -\frac{jk}{\mu} \hat{r} \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = -j\omega (\vec{A} - \hat{r} \vec{A}) = j\omega \hat{r} \times (r \times \vec{A})$$

$$\vec{E} = \eta (\vec{H} \times \hat{r})$$

Desarrollando los productos vectoriales, se pueden obtener las componentes de los campos radiados

$$E_r = 0, H_r = 0$$

$$E_\theta = -j\omega A_\theta, H_\theta = -\frac{E_\phi}{\eta}$$

$$E_\phi = -j\omega A_\phi, H_\phi = \frac{E_\theta}{\eta}$$

2.3.12. Vector de radiación

El potencial vector es el producto de dos términos, por una parte tenemos una onda esférica centrada en el origen de coordenadas, y por otra parte una integral que vamos a denominar vector de radiación \vec{N} .

$$\vec{A} = \frac{\mu e^{jkr}}{4\pi r} \int \int \int \vec{J}(\vec{r}') e^{jkr'} dv'$$

$$\vec{A} = \frac{\mu e^{jkr}}{4\pi r} \vec{N}$$

$$\vec{N} = \int \int \int \vec{J}(\vec{r}') e^{jkr'} dv'$$

El vector de radiación se puede considerar como la suma vectorial de todas las corrientes multiplicadas por un término que representa la diferencia de fase entre la onda que produce y la que tendría si la onda estuviera situada en el origen de coordenadas.

2.4. Antenas

Las antenas son las partes de los sistemas de telecomunicación específicamente diseñadas para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

También se pueden definir como los dispositivos que adaptan las ondas guiadas, que se transmiten por conductores o guías, a las ondas que se propagan en el espacio libre.

2.4.1. Diagrama de radiación

El diagrama de radiación de una antena se define como la representación gráfica de las características de radiación en función de la dirección angular.

Sistema de coordenadas

Se utilizará habitualmente un sistema de coordenadas esférico. Las tres variables de un sistema esférico son r, θ, ϕ .

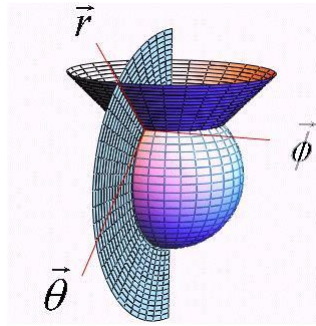


Figura 2.4: Sistema de coordenadas

2.4.2. Diagramas bidimensionales

Se puede representar el campo eléctrico, magnético o la densidad de potencia radiada. Dado que los campos son magnitudes vectoriales se pueden representar el módulo o la fase de sus componentes. Las formas de representación pueden ser tridimensionales o bidimensionales, en escalas lineal o logarítmica. La siguiente figura es la representación tridimensional de los campos radiados por una antena.

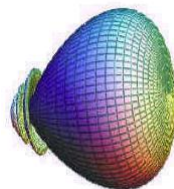


Figura 2.5: Diagrama tridimensional

Dada la dificultad de representar gráficamente el diagrama tridimensional se opta por representar cortes del diagrama en coordenadas polares

o cartesianas. Los cortes corresponden a la intersección del diagrama 3D con planos. Un corte bidimensional en coordenadas polares se representaría como

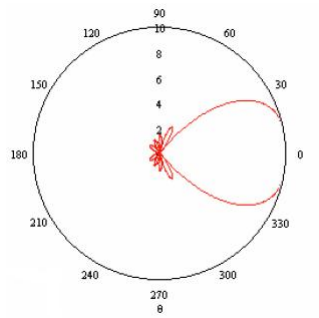


Figura 2.6: Diagrama bidimensional

En coordenadas cartesianas y escala logarítmica

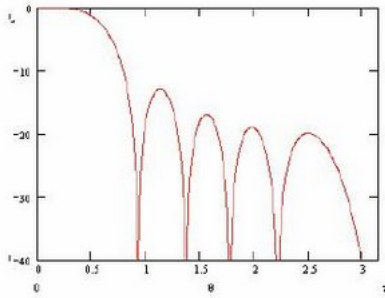


Figura 2.7: Diagrama logaritmico

2.5. Parametros fundamentales de las antenas

2.5.1. Densidad de potencia radiada

La densidad de potencia radiada se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son watios por metro cuadrado. Se puede calcular a partir de los valores eficaces de los campos como:

$$\vec{P}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H})$$

La relación entre el módulo del campo eléctrico y el módulo del campo magnético es la impedancia característica del medio

$$\left| \frac{\vec{E}}{\vec{H}} \right| = \eta$$

Por lo tanto, la densidad de potencia radiada también se puede calcular a partir de las dos componentes del campo eléctrico.

$$\vec{P}(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}^2 + E_{\phi}^2}{\eta}$$

La potencia total radiada se puede obtener como la integral de la densidad de potencia en una esfera que encierre a la antena.

$$W_r = \int \int \vec{P}(\theta, \phi) \vec{d}_s$$

La intensidad de radiación es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección. Las unidades son watios por estereorradián. Dicho parámetro es independiente de la distancia a la que se encuentre la antena emisora.

La relación entre la intensidad de radiación y la densidad de potencia radiada es:

$$K(\theta, \phi) = P(\theta, \phi) r^2$$

La potencia total radiada se puede calcular integrando la intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio.

$$W_r = \int \int K(\theta, \phi) d\Omega = \int \int K(\theta, \phi) \sin\theta d\Omega d\phi$$

2.5.2. Directividad

La Directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada.

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_r}{4\pi r^2}}$$

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la Directividad se refiere a la dirección de máxima radiación.

La directividad se puede obtener en general a partir del diagrama de radiación de la antena.

$$D(\theta, \phi) = \frac{P_{max}}{\int \int \frac{P(\theta, \phi) \sin\theta d\Omega d\phi}{4\pi r^2}}$$

Simplificando términos, resulta

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{\int \int \frac{P(\theta, \phi)}{P_{max}} \sin\theta d\Omega d\phi} = \frac{4\pi}{\Omega_e}$$

Ω_e se define como el ángulo sólido equivalente.

Para antenas directivas, con un solo lóbulo principal y lóbulos secundarios de nivel despreciable, se puede obtener una directividad aproximada considerando que se produce radiación uniforme en el ángulo sólido definido a partir de los anchos del haz a $-3dB$ en los dos planos principales del diagrama de radiación.

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{\theta_1 \theta_2}$$

2.5.3. Ganancia

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica *ideal*, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_e}{4\pi r^2}}$$

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la Ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación.

$$D(\theta, \phi) = \frac{P_{max}}{\frac{W_e}{4\pi r^2}}$$

En la definición de Directividad se habla de potencia radiada por la antena, mientras que en la definición de ganancia se habla de potencia entregada a la antena. La diferencia entre ambas potencias es la potencia disipada por la antena, debida a pérdidas óhmicas. La eficiencia se puede definir como la relación entre la potencia radiada por una antena y la potencia entregada a la misma. La eficiencia es un número comprendido entre 0 y 1. La relación entre la ganancia y la directividad es la eficiencia

$$G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) \eta$$

Si una antena no tiene pérdidas óhmicas, la Directividad y la Ganancia son iguales.

2.5.4. Polarización

La polarización de una antena es la polarización de la onda radiada por dicha antena en una dirección dada.

La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse. Hay una serie de casos particulares

Si la figura trazada es una recta, la onda se denomina linealmente polarizada, si es un círculo circularmente polarizada. El sentido de giro del campo eléctrico, para una onda que se aleja del observador, determina si la onda está polarizada circularmente a derechas o a izquierda. Si el sentido de giro coincide con las agujas del reloj, la polarización es circular a derechas. Si el sentido de giro es contrario a las agujas del reloj, la polarización es circular a izquierdas. El mismo convenio aplica a las ondas con polarización elíptica. Se define la relación axial de una onda polarizada elípticamente, como la relación entre los ejes mayor y menor de la elipse de polarización. La relación axial toma valores comprendidos entre 1 e infinito.

Los campos se pueden representar en notación fasorial. Para determinar la variación temporal es suficiente con determinar el valor real de cada una de las componentes.

2.5.5. Impedancia

La impedancia de una antena se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a$$

Se define la resistencia de radiación como la relación entre la potencia total radiada por una antena y el valor eficaz de la corriente en sus terminales de entrada, elevada al cuadrado.

Se define la resistencia óhmica de una antena como la relación entre la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas y la corriente en sus terminales al cuadrado.

Por lo tanto la resistencia de antena la podemos considerar como la suma de la resistencia de radiación y la resistencia óhmica.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a = (R_r + R_\Omega) + jX_a$$

La eficiencia de una antena se puede obtener a partir de las resistencias de radiación y óhmicas, teniendo en cuenta que es la relación entre la potencia total radiada y la potencia entregada a la antena.

$$\eta = \frac{W_t}{W_e} = \frac{W_t}{W_t + W_\Omega} = \frac{I^2 R_r}{I^2 (R_r + R_\Omega)} = \frac{R_r}{(R_r + R_\Omega)}$$

2.5.6. Area y longitud efectivas

El área efectiva se define como la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia incidente en una antena. La antena debe estar adaptada a la carga, de forma que la potencia transferida sea la máxima. La onda recibida debe estar adaptada en polarización a la antena

$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_i}$$

La longitud efectiva de una antena linealmente polarizada se define como la relación entre la tensión inducida en una antena en circuito abierto y el campo incidente en la misma.

$$l_{ef} = \frac{V_a}{E_i}$$

Capítulo 3

Esquemas de Regulación

Se entiende por **RNI** a aquellas radiaciones del espectro electromagnético que no tienen energía suficiente para ionizar la materia. En tal caso, la **Emisión** es la radiación producida por una única fuente de radiofrecuencia, mientras que la **Inmisión** es la radiación resultante del aporte de todas las fuentes de radiofrecuencias, cuyos campos están presentes en el lugar.

La **Exposición Poblacional o No Controlada**, corresponde a situaciones en donde el público en general puede estar expuesto a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos o en donde las personas expuestas, debido a su trabajo, pueden no saber de la potencial exposición y no pueden ejercer control sobre ella.

Los esquemas de regulación con que se cuentan para hacer las mediciones de las radiaciones no ionizantes, en este caso OEM, se clasifican en dos partes:

- **Método predictivo.**
- **Método de medición.**

Algunas compañías proponen emplear ambos métodos, para evitar mediciones y gastos innecesarios en aquellos casos simples y que, con ayuda de cálculos teóricos, se puede determinar que las RNI están por debajo de niveles predefinidos como seguros. Por otra parte, hay otras que aseguran que, dada la complejidad de las emisiones y el crecimiento del número de fuentes de radiofrecuencias, el único método posible para garantizar la no superación de límites predefinidos, es realizar mediciones según un protocolo específico.

Segun nuestro punto de vista, la aplicación de uno u otro método debe ser objeto de estudios particulares y dependen de:

- Los tipos de fuentes de radiofrecuencias.
- La densidad de las fuentes intervinientes y su emplazamiento, en el ámbito de medición.
- La potencia y las bandas de frecuencia de las fuentes intervinientes.
- La definición política en el esquema de regulación.

Viendo más en detalle el problema, podemos establecer la siguiente división conceptual, basado en la definición de Campo Cercano y Campo Lejano indicada en la siguiente figura:



- Si se considera Campo Lejano → evaluación de valores de RNI por cálculo, basado en Método de Predicción.
- Si se superan los límites de Máxima Exposición Permitida Poblacional (MEP) → se emplea Método de Medición.

3.1. Método de Predicción

Planteamos aquí un Sitio Mono-Antena, en donde las ecuaciones solamente son válidas para cálculos en el campo lejano, pero pueden utilizarse para predecir el peor de los casos:

$$r = \sqrt{\frac{(PRA)(1,64)(2,56)(F^2)}{4\pi S}}$$

$$r = \sqrt{\frac{(PIRE)(2,56)(F^2)}{4\pi S}}$$

Donde:

S: Densidad de Potencia Máxima (MEP) [$\frac{W}{m^2}$].

PRA y PIRE: Potencia en antena [W].

F: Atenuación en veces de la radiación para un ángulo dado de incidencia en el plano vertical, (F=1, peor caso).

2,56: Factor de reflexión empírico (campos reflejados adicionados en fase con campo incidente directo -60 %).

r: Distancia desde la antena [m].

Si la distancia desde la antena a todo punto accesible por el público en general es $\geq r$, no se requiere verificar el sitio mediante mediciones.

3.2. Método de Medición

Para su aplicación se deben realizar los siguientes pasos:

- Definición e inspección del lugar escogido para la medición y determinación de las fuentes de radiofrecuencia, tipos de emisión, características de irradiación y entorno circundante;
- Determinación del esquema de medición (campo cercano, campo lejano);
- Determinación del protocolo de medición a aplicar y el instrumental y sondas a emplear en el proceso de medición;
- Definición de puntos a medir, según el protocolo escogido y los puntos de mayor riesgo (externos e internos);
- Desarrollo de las mediciones y confección de informes.

El procedimiento particular de medición que se sigue, por ejemplo, en la regulación peruana, es:

- Campo Cercano se mide E, H o ambos .
- Campo Lejano se mide E o H y se obtiene S
- Secuencia: Se mide inmisión.
- Inmisión: empleo de instrumentos de banda ancha (detectores de radiación electromagnética no sintonizables), con sondas de medición E y H isotrópicas.
- Emisión: empleo de instrumentos de banda angosta (medidores de intensidad de campo, analizadores de espectros, etc., sintonizables), con antenas aptas para rangos de frecuencia de medición.
- Todos los instrumentos, antenas y sondas deben tener certificado de calibración (fabricante o laboratorio acreditado en país de origen).
- Registro del valor de la medición realizada, más las incertidumbres especificadas (fabricante), más el error del método empleado.

3.3. Monitoreo Continuo

Los métodos evaluados son de aplicaciones puntuales o repetitivas, pero con periodos largos de tiempo sin mediciones. Hoy hay nuevos modelos de mediciones, basados en detecciones continuas (7 x 24) de zonas potencialmente riesgosas, con datos publicados en Internet, de acceso libre para los ciudadanos, que deberían ser objeto de análisis y evaluación para su implementación, por parte de las autoridades con competencia en las RNI.

Aplicar este tipo de monitoreo, trae una serie de ventajas, a saber:

Población: dispone de datos objetivos, las 24 horas del día, para asegurarse que los valores de radiaciones están por debajo de los límites normativos.

Municipios: ofrecen a sus vecinos la tranquilidad que supone disponer de una red exhaustiva de monitorización de la radiación electromagnética.

Prestadores de Servicios: se reduce la percepción de peligro o alarma social que generan sus estaciones base.

3.4. Mediciones en CTIC

Para empezar a hacer mediciones en las instalaciones del CTIC primero debemos de hacer un calculo teórico aproximado de la radiación existente en un laboratorio, para esto vemos los posibles generadores (fuentes) de radiacion, los cuales son:

- Antenas del internet inalámbrico(wireless).
- Monitores LCD.
- CPU (los circuitos que lo componen).
- Aire acondicionado.

De los dispositivos electrónicos mencionados, cada uno de estos interviene en mayor o menor medida a la radiacion no ionizante existente en un laboratorio, pasaremos a analizar cada uno de estos dispositivos:

3.4.1. Antenas de internet inalámbrico(wireless)



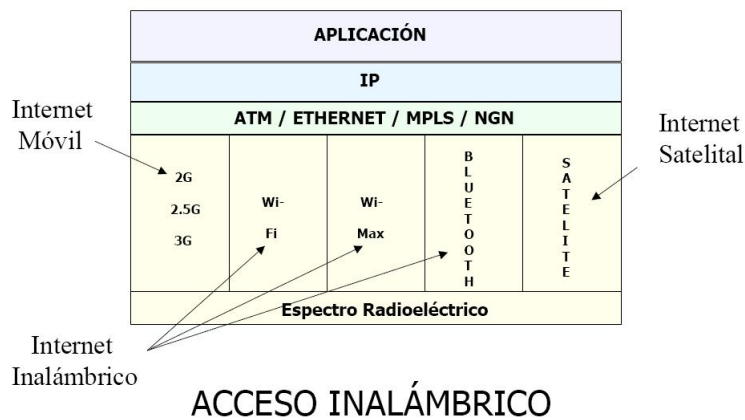
El uso de la tecnología basada en enlaces inalámbricos entre las redes de computadoras de los laboratorios de CTIC se encuentran en la banda de frecuencia de 2,45 GHz (2.450.000 Hertz o ciclos por segundo) operando bajo el estándar IEEE 802.11b.(véase la siguiente figura)

IEEE 802.11x

	FRECUENCIA OPERACION	VELOCIDAD TRANSMISION	MODULACION	COBERTURA	COMPATIBILIDAD	APLICACION
802.11	2.4GHz	1-2Mbps	FHSS ó DSSS	300 pies		
802.11a	5GHz	54Mbps	OFDM	60 pies	---	Usuarios concentrados; premisas pequeñas; performance alto (video, voz, imágenes y archivos grandes); requiere más access points; más canales por acceso points=más throughput y usuarios
802.11b (Wi-Fi)	2.4GHz	11Mbps	DSSS/CCK	300 pies	802.11g	Usuarios dispersos; premisas/distancias amplias; performance bajo (ej. acceso Internet); requiere menos access points; menos canales por acceso points=menos throughput y usuarios; interferencia RF (teléfonos inalámbricos, dispositivos bluetooth)
802.11g	2.4GHz	20-54Mbps	OFDM + RTS/CTS	300 pies	802.11a,b,g	Usuarios concentrados o dispersos; premisas/distancias pequeñas o amplias; performance alto; requiere menos access points; menos canales por acceso points=menos throughput y usuarios;

Figura 3.1: Standart IEEE

Y a continuación se muestra como está distribuido las frecuencias de las ondas ;que comunmente se utilizan para comunicación por internet, en el espectro electromagnético.



3.4.2. Monitores LCD

Los monitores de pantalla plana (también llamados FPD que significa pantallas de panel plano) se popularizan cada vez más, ya que ocupan menos espacio y son menos pesados que las tradicionales pantallas CRT.(tubo de rayos catodicos)

La LCD (pantalla de cristal líquido) se basa en una pantalla hecha de dos placas paralelas transparentes ranuradas y orientadas a 90° una de otra. El espacio entre ellas alberga una fina capa de líquido que contiene ciertas moléculas (cristales líquidos) que poseen la propiedad de orientarse cuando

se ven expuestas a la corriente eléctrica. Combinada con una fuente de luz, la primera placa actúa como un filtro de polarización, permitiendo el paso sólo de aquellos componentes de luz cuya oscilación es paralela a las ranuras.

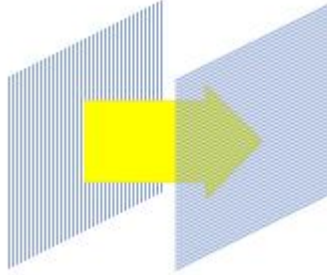


Figura 3.2: Monitor LCD

Durante la ausencia de corriente eléctrica, la segunda placa bloquea la luz, actuando como un filtro de polarización perpendicular.

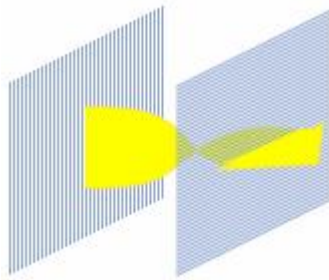


Figura 3.3: Monitor LCD

Cuando se encuentra encendida, los cristales se alinean de manera progresiva en la dirección del campo eléctrico y de esta manera pueden cruzar la segunda placa. Al controlar localmente la orientación de los cristales, es posible crear píxeles.

Además, la tecnología utilizada por los monitores de pantalla plana suele utilizar menos energía (inferior a 10 W, a diferencia de los 100 W de las pantallas CRT (Tubo de rayos catódicos) y emite menos radiación electromagnética que generan campos de frecuencia intermedia que van desde 300 Hz a 100 kHz, y que son más bajas que las radiofrecuencias y más altas que las frecuencias extremadamente bajas. La intensidad del campo electromagnético disminuye rápidamente al alejarse de la fuente de emisión. En las partes laterales y traseras de algunos monitores la intensidad de campo es menor por el blindaje metálico que lo protege.

Las radiaciones que inciden en un objeto pueden atravesarlo, ser absorbidas o reflejadas por él. La capacidad de penetración en un objeto de

una radiación dada depende de su longitud de onda y de las características del material.

La radiación ionizante producida por los monitores representa una fracción pequeña de la radiación de fondo.

Así, estos monitores solamente emiten una pequeña porción del espectro electromagnético, los posibles efectos en la salud debido a campos eléctricos o magnéticos solamente se han demostrado en el trabajo con CRT sin embargo. Los efectos biológicos de esta radiación de bajo nivel siguen siendo tema de controversia y su análisis está fuera del objetivo de este trabajo, por tanto es conveniente apagar el monitor cuando no se use, de manera de minimizar el tiempo de exposición.

3.4.3. CPU (los circuitos que lo componen)

La inmensa mayoría de estos, funcionan mediante mecanismos electrónicos que emiten radiaciones electromagnéticas de todo tipo de frecuencia y potencia. Una PC emite radiación electromagnética VLF (frecuencias intermedias) y radiación electromagnética ELF (frecuencias extremadamente bajas) muchos de ellos generan niveles de radiación que están por debajo de los niveles máximos permitidos debido al **blindaje del case metálico** que lo cubre aun así estas radiaciones suelen propagarse en los orificios de ventilación y mal garantizados paneles.

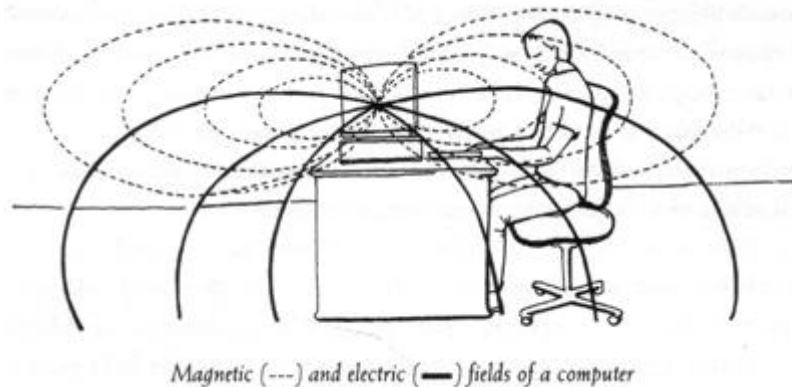


Figura 3.4: Campo eléctrico y magnético de una PC

3.4.4. Aire acondicionado

Existe una gran cantidad de elementos y situaciones que vician el aire y que, sobre todo, reducen de forma alarmante la concentración de iones negativos, altamente favorables para la salud. El empleo del aire acondicionado emite partículas cargadas positivamente (+) o ciertas dosis de radiactividad ligeramente ionizante, especialmente en ambientes cerrados, se ha demostrado que todos estos dispositivos eléctricos y situaciones varias generan grandes concentraciones de iones positivos (+), altamente perjudiciales para la salud. su enorme carga eléctrica positiva o el predominio de iones positivos (+) con respecto a los iones negativos (-); pero este desequilibrio iónico

también lo hallamos permanentemente en el interior de industrias, viviendas y oficinas.

3.5. Cálculo aproximado de radiación

Usando las ecuaciones válidas para calcular la potencia de radiación de campos lejanos producidos por una antena se obtienen los resultados que se presentará en la siguiente tabla, estos son calculados en una laboratorio de CTIC.

se uso la siguiente relación:

$$r = \sqrt{\frac{(PIRE)(2,56)(F^2)}{4\pi S}}$$

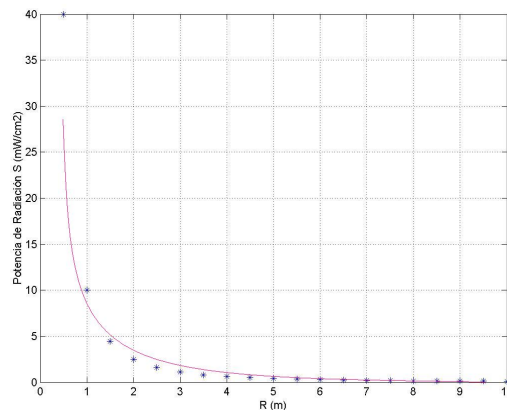
y se obtuvo los siguientes resultados de los cálculos de predicción:

R (m)	S (mw/cm2)
0,5	40
1	10
1,5	4,4444
2	2,5
2,5	1,6
3	1,1111
3,5	0,81
4	0,625
4,5	0,4938
5	0,4
5,5	0,3306
6	0,2778
6,5	0,2367
7	0,2041
7,5	0,1778
8	0,1563
8,5	0,1384
9	0,1235
9,5	0,1108
10	0,1

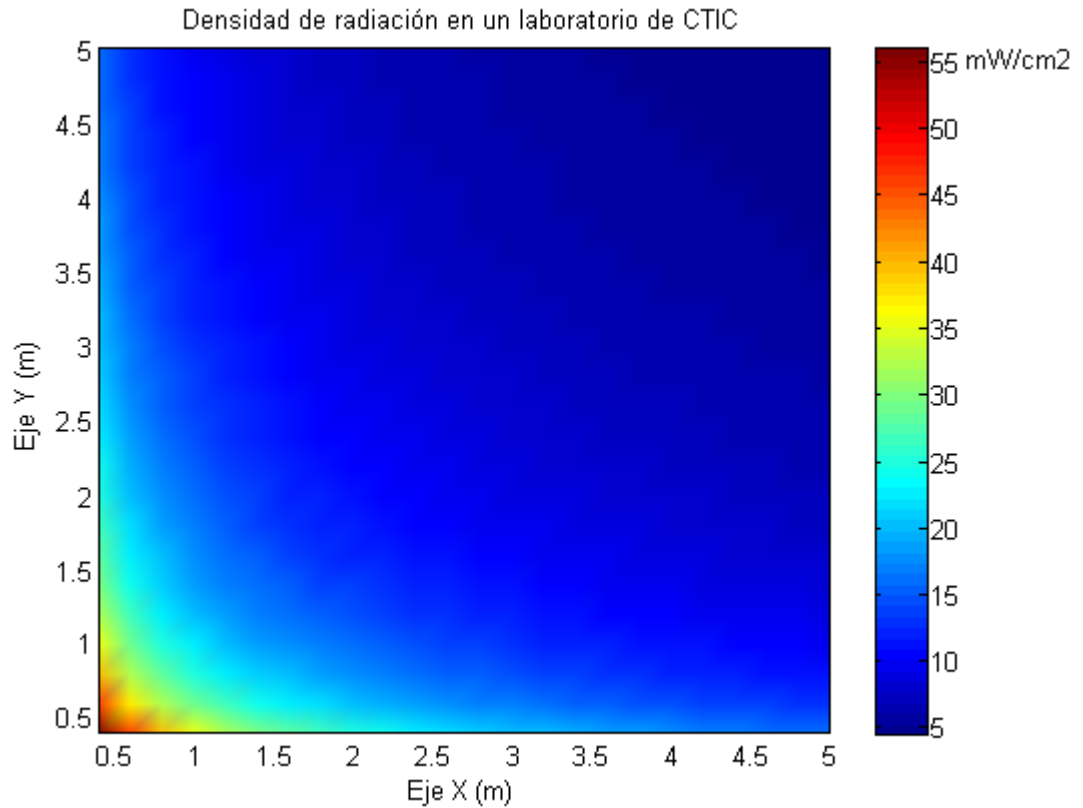
PIRE =	400 W	(teórico)
F =	1	(asumido)

Apartir de estos datos se pudo obtener la siguiente figura:

S (mW/cm²) Vs R(m)



Y de la tabla anterior se puede inferir un gráfico de densidad de radiación en un ambiente aproximado a un laboratorio de CTIC de $5 \times 15 \text{m}$.



A continuación se muestra la tabla de valores límites permitidos para el Perú dado por el D.S. 038-2003-MTC que establece los “**Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones**”.

Rango de Frecuencia	Frecuencia	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Densidad de Potencia (W/m^2)
TELEFONÍA MÓVIL CELULAR	870.03 – 879.99 MHz	28.752	2.187
	890.01 – 891.48 MHz	29.009	2.226
	869.04 – 870 MHz	28.661	2.173
TRONCALIZADO	851 – 869 MHz	28.504	2.15
PCS (A)	1930 – 1945 MHz	42.784	4.843

Parte II

Capítulo 4

Software para simulación de Antenas

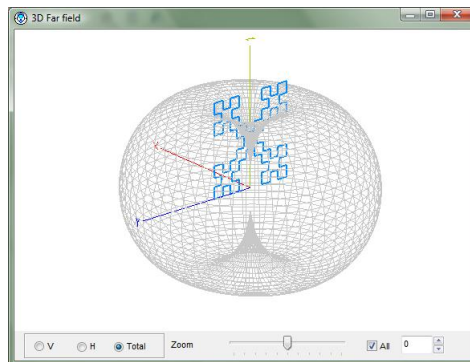
Para el trabajo a realizar necesitamos software que realice simulaciones de antenas, estos deben ser capaces de calcular las potencias y graficar la radiación electromagnética que emite dicha antena. En la actualidad existen muchos programas con las virtudes antes mencionadas, la mayoría de estos están basados o son versiones mejoradas del paquete **NEC**(Numerical Electromagnetics Code) que es un programa para modelación de antenas, es de código libre y está hecho en un inicio en el lenguaje Fortran y luego fue transcrito al lenguaje C.

MMANA-GAL

MMANA es un analizador de antenas basado en el método de momentos. MMANA-GAL funciona bajo Windows, es software libre, no consume muchos recursos de máquina. Es especializado en antenas hechas de conductores rectilíneos sin necesidad de plano de masa.

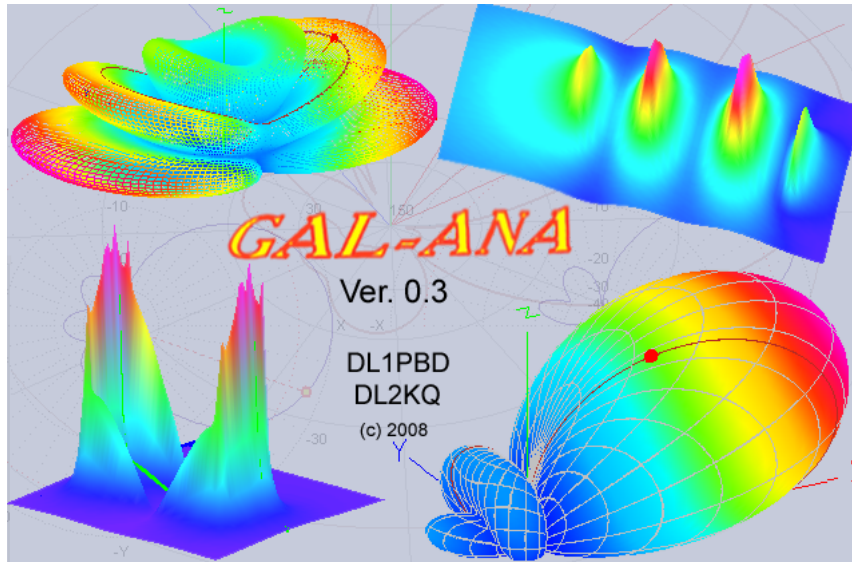
Algunas de las limitaciones de este programa, es el hecho que sólo puede modelar antenas compuestas de conductores rectilíneos, y desnudos. Y aunque ha mejorado en el tratamiento de la tierra o masa, no funciona bien cuando un conductor está a pocos centímetros del suelo.

La interfaz del programa es bastante simple, lo que si puede resultar un tanto complejo es la introducción de la estructura de la antena dependiendo de la misma. Permite obtener los parámetros básicos de una antena, como los diagramas de radiación, ganancia, adaptación de impedancia, etc.



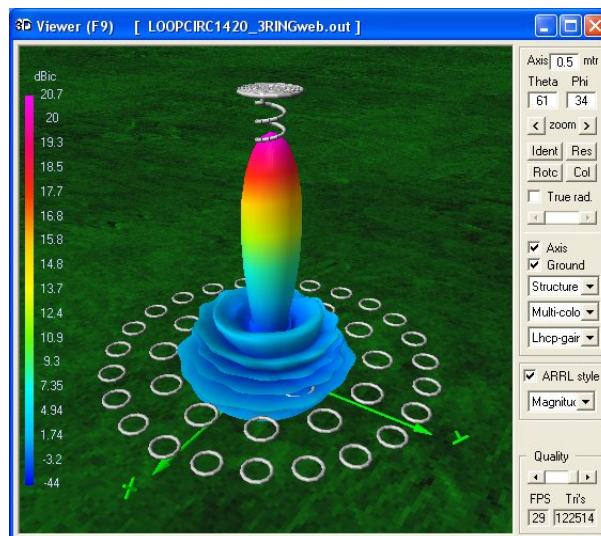
GAL-ANA

GAL-ANA no es software libre. Podría decirse que es una versión mejorada de MMANA-GAL, puesto que es realizado por los radioaficionados alemanes que mejoraron el MMANA, por cuanto posee características bastante parecidas a este.



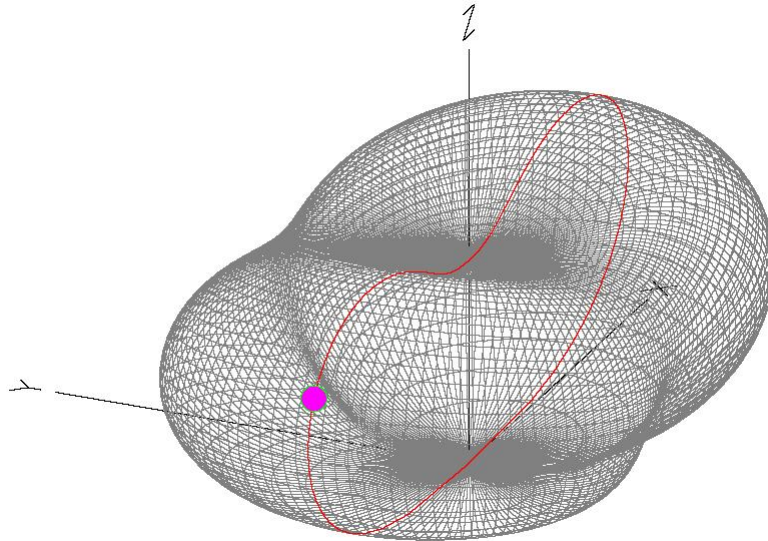
4NEC2

4NEC2 es de libre distribución, usa Nec2, Nec4 y es una herramienta basada en ventanas para crear, ver, optimizar y chequear estilos de geometrías de antenas en 2D y 3D y generar, presentar y/o comparar diagramas de radiación de campo cercano y lejano. Permite al igual que la mayoría de programas para esto, hallar diagramas de radiación, acople, eficiencia, etc. Presenta ventanas independientes para la geometría, vista en 3D, plots de eficiencia, etc. Presenta también una interfaz especial Built para facilitar la construcción de los modelos de antenas.



EZNEC

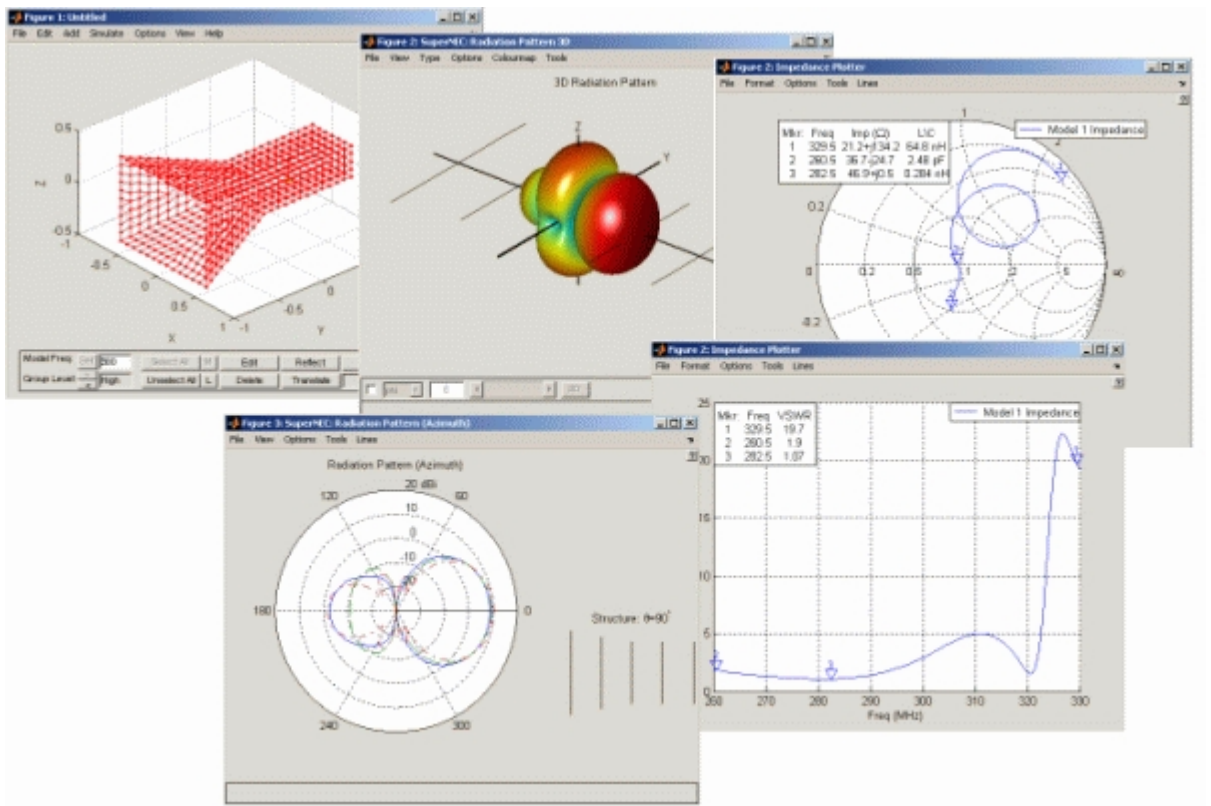
EZNEC, no es libre, se encuentra en su versión 5.0, se presentan tres distribuciones, una básica EZNEC, EZNEC+ y EZNEC pro. Parecido en su interfaz y proceso a seguir para simular a MMANA-GAL. El EZNEC+ está diseñado para una experiencia avanzada. La interfaz es idéntica a EZNEC, pero presenta mejores características, como: permite analizar antenas complejas (1500 segmentos versus 500 del programa estándar), análisis de campo lejano para polarización circular, double-precision, etc.



SuperNEC

SuperNEC utiliza el método de momentos electromagnéticos (EM) para la simulación, puede correr bajo plataformas Windows o Linux. Presenta una entrada GUI 3D fácil de usar basada en MatLab, hace uso de ensamblaje multi-nivel, provee una herramienta para crear la estructura inicial bastante sencilla. La salida provee toda la información necesaria para analizar antenas incluido diagramas de radiación en 3D&2D, diagrama de la carta de smith, acoplación, eficiencia, etc. SuperNEC incluye optimización de código para procesadores Intel, varios métodos de resolución rápida y ejecución en paralelo para optimizar el proceso en caso de problemas largos. SuperNEC puede ser utilizado para determinar el lugar óptimo para las antenas en estructuras como por ejemplo en aviones, etc.

No es software libre, y el costo depende del producto que se desee y de la utilización que se de al mismo, sea esta comercial o académica. El superNEC básico en versión comercial cuesta \$6080 y el académico \$1330. Se puede conseguir una versión Lite para utilización académica libre.



4.1. Métodos computacionales

Los principales métodos numéricos usadas en electromagnetismo son:

1. El método de los momentos(MoM)
2. El método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo(FDTD)
3. El método de los elementos finitos(FEM)

Problemas electromagnéticos que tengan geometrías simples pueden ser descritas usando sistemas de coordenadas básicas(rectangular, cilíndrico, esféricas)pueden algunas veces pueden ser solucionadas analíticamente. Dependiendo de la complejidad del problema, la solución puede ser obtenida por integración directa o usando técnicas como la separación de variables. Para la solución numérica mostramos los siguientes métodos:

4.1.1. Método de los momentos (MoM)

Este método de cálculo es uno de los más usados en la actualidad para determinar los campos emitidos o recibidos por estructuras radiantes. En el primer caso se supone que una fuente externa establece corrientes variables en el tiempo en los conductores de la antena, y se calcula los campos generados por ellas(antena emisora), mientras que el segundo supone que una onda (habitualmente plana) incide sobre una estructura induciendo corrientes variables en el tiempo sobre ella. Este último caso se puede analizar desde el punto de vista de una fuerza electromotriz (fem) inducida sobre los conductores(antena receptora) o con el objetivo de calcular los campos reirradiados por la estructura para analizar sus propiedades de dispersión(scattering) de ondas electromagnéticas.

El corazón del método reside en la linealidad de las ecuaciones de Maxwell, que desde el punto de vista matemático se puede representar mediante operadores lineales aplicados a funciones de las coordenadas espaciales y el tiempo. Por ejemplo las ecuaciones de onda para el campo magnético y eléctrico toman la forma:

$$\nabla^2 f - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = g \Rightarrow \left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) f = g \Rightarrow Lf = g$$

en esta ecuación g es la excitación o fuente(función conocida) y f es el campo o respuesta(incógnita a ser determinada) Este es un caso particular de la ecuación lineal: $L(f) = g$

donde L es un operador lineal.

Existen dos problemas básicos:

- El problema del análisis involucra hallar $f(r, t)$ dados L y $g(r, t)$, en este caso se conoce el sistema y la excitación, y se desea hallar la respuesta.
- El problema de síntesis involucra determinar L cuando se dan $f(r, t)$ y $g(r, t)$, en este caso dada la excitación y la respuesta deseada, se pide hallar el sistema que la produce.

Las funciones $f(r, t)$ satisfacen determinadas condiciones. Por una parte, es necesario poder definir un producto interno:

$$\langle f_1, f_2 \rangle = \langle f_2, f_1 \rangle$$

$$\langle \alpha f_1 + \beta f_2, f_3 \rangle = \alpha \langle f_1, f_3 \rangle + \beta \langle f_2, f_3 \rangle$$

$$\langle f, f^* \rangle \geq 0 \text{ si } f \neq 0$$

$\langle f, f^* \rangle = 0$ si $f = 0$, donde α y β son escalares. Si la solución de la ecuación operacional $L(f) = g$ existe, entonces existe el operador inverso L^{-1} definido por: $f = L^{-1}(g)$.

El método de los momentos es un procedimiento general de resolución de ecuaciones operacionales lineales. Las funciones solución se representan como un desarrollo en serie de funciones base f_1, f_2, \dots

$$f = \sum_n \alpha_n f_n$$

donde los factores α_n son coeficientes constantes. Generalmente las series son infinitas, y las funciones base forman un conjunto completo, aunque en los casos prácticos se obtienen series finitas que dan una solución aproximada al problema.

Definido el conjunto de funciones base, se tiene:

$$\sum_n \alpha_n L(f_n) = g$$

Definimos ahora un conjunto de funciones peso o funciones de testeo W_1, W_2, \dots con lo que nos queda:

$$\sum_n \langle W_m, L(f_n) \rangle = \langle W_m, g \rangle \quad m = 1, 2, \dots$$

Esto representa un conjunto de n ecuaciones lineales en los coeficientes α_n que puede escribirse en forma matricial como :

$$[L_{mn}][\alpha_n] = [g_m]$$

Si la matriz $[L_{mn}]$ es no singular, existe su inversa y podemos calcular los coeficientes α_n :

$$[\alpha_n] = [L_{mn}]^{-1}[g_m]$$

Esta solución se conoce como el método de Galerkin cuando se toma $w_n = f_n$. La elección del conjunto de funciones base es la clave para el adecuado comportamiento del método. Existen al menos dos formas de elegir:

- Ajuste por puntos. La integración involucrada en el cálculo de los elementos de la matriz $[L_{mn}]$ puede ser de difícil evaluación en términos prácticos. Una forma de obtener soluciones aproximadas es requerir que la condición $L(f) = g$ se cumpla solamente en un conjunto discreto de puntos de la región de interés.
- Bases subseccionales. En muchos casos se definen funciones base cada una de las cuales existe solo en subsecciones de la región de interés. Entonces cada coeficiente α_n afecta la aproximación a la solución f sólo sobre una subsección, lo que lleva a matrices más despobladas y de más sencilla inversión numérica.

Existen actualmente muchas implementaciones del método de momentos, algunas de ellas comerciales bajo diversas plataformas y otras de uso público. De estas últimas son relativamente accesibles y están razonablemente documentadas tres versiones: NEC-2, XLNEC y WIPL-DEMO.

4.1.2. Método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD)

De entre todas las técnicas numéricas que resuelven las ecuaciones de Maxwell con ayuda de un ordenador, el método de diferencias finitas (FD, del inglés Finite Difference) es una de las más antiguas y posiblemente la que menor contenido analítico tiene. En esencia, la aplicación de este método consiste en calcular la solución del problema diferencial original en un conjunto discreto de puntos, que suelen asociarse con los nudos de una red. En el método FD, este proceso de discretización se realiza mediante la aproximación de las derivadas parciales que aparecen en las ecuaciones de Maxwell -en cualquiera de sus versiones temporal o frecuencial- por operadores en diferencias finitas. Como resultado se obtiene un sistema de ecuaciones lineales que relacionan los campos en los distintos nudos de la red. El método FDTD, introducido por K. S. Yee en el año 1966, consiste en la sustitución de las derivadas parciales que aparecen en las ecuaciones de Maxwell del rotacional por cocientes de diferencias finitas centradas. Para poder llevar a cabo esta sustitución de diferenciales por incrementos, se discretiza el espacio-tiempo mediante una malla discreta. En consecuencia, el problema diferencial se transforma en un problema en diferencias (algebraico), es decir, en un sistema de ecuaciones lineales. El esquema de Yee para la discretización de las ecuaciones de Maxwell es el más famoso y de uso más frecuente dentro de la gama de métodos FDTD. El cálculo del campo eléctrico (magnético) en un nudo de la malla y en un instante de tiempo, sólo precisa de los valores del campo magnético (eléctrico) en los nudos adyacentes y en el instante de tiempo anterior. De esta forma, partiendo de unas condiciones iniciales, el método permite calcular la evolución temporal del campo electromagnético en la región de interés.

Comenzemos con las ecuaciones de Maxwell en un recinto sin fuentes de campo. Las ecuaciones de la divergencia: $\nabla \cdot E = 0$; $\nabla \cdot H = 0$ describen la transversabilidad de la propagación, mientras que las ecuaciones del rotor: $\nabla \times E + \frac{\partial H}{\partial t} = 0$; $\nabla \times H - \sigma E - \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} = 0$ establecen las relaciones de autosostenimiento de los campos en la propagación.

- Discretización de las ecuaciones de Maxwell según el esquema de Yee.

Las ecuaciones del rotor se pueden escribir por componentes en coordenadas cartesianas:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_x}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) & \frac{\partial H_y}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) & \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) \\ \frac{\partial E_x}{\partial t} &= \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \sigma E_x \right) & \frac{\partial E_y}{\partial t} &= \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - \sigma E_y \right) & \frac{\partial E_z}{\partial t} &= \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \sigma E_z \right) \end{aligned}$$

Definamos una grilla tridimensional cubica tal que el punto (i, j, k) está definido por: $x_i = ih$, $y_j = jh$, $z_k = kh$ y sea $f^n(i, j, k)$ el valor de cualquiera de las componentes del campo en ese punto y en el instante $n\Delta t$. Las derivadas

espaciales y temporales se pueden escribir por diferencias en la forma:

$$\frac{\partial f^n(i, j, k)}{\partial x} = \frac{f^n(i + 1/2, j, k) - f^n(i - 1/2, j, k)}{h}$$

$$\frac{\partial f^n(i, j, k)}{\partial t} = \frac{f^{n+1/2}(i, j, k) - f^{n-1/2}(i, j, k)}{\delta t}$$

Yee define una celda de calculo de modo que las componentes de los campos E y H son calculadas en posiciones interlaceadas y en pasos alternados de tiempo. En tres dimensiones se tiene la celda de Yee de la figura se observa que todas las componentes están presentes en cada cuarto de celda. Las seis ecuaciones diferenciales en las componentes, que surgen de las ecuaciones de rotor, llevan a las ecuaciones de diferencias de la forma:

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) \Rightarrow H_x^{n+1/2}(i, j + 1/2, k + 1/2) = H_x^{n-1/2}(i, j + 1/2, k + 1/2) + \frac{\Delta t}{\mu h} [E_y^n(i, j + 1/2, k + 1) - E_y^n(i, j + 1/2, k) + E_z^n(i, j, k + 1/2) - E_z^n(i, j + 1, k + 1/2)]$$

,de forma análoga para las demás componentes y para las componentes del campo eléctrico. E .

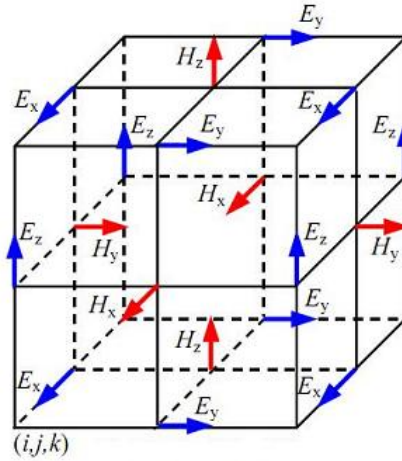


Figura 4.1: Celda de Yee 3D

El método FDTD se aplica habitualmente a problemas de propagación y dispersión (scattering) de ondas. Los dos problemas básicos son:

- determinar las condiciones de frontera de los campos en los bordes del recinto de integración,
- determinar la inclusión de las fuentes que dan origen al campo dentro del recinto de integración.

Dado que en la práctica no es posible trabajar con recintos infinitos, aún cuando el problema físico requiera una solución en un recinto ilimitado, se requiere introducir algún tipo de frontera artificial. Las fronteras deben colocarse lejos de las estructuras cuyo comportamiento se desea analizar. Las condiciones de frontera usadas para simular un recinto indefinido son

las condiciones de no reflexión o absorción. Estas condiciones simulan ondas que se propagan más allá de la frontera sin reflexión.

Hay numerosas implementaciones de FDTD en uso actualmente, ya que se trata del método más popular para la simulación de ondas que se propagan en guías, microstrips, y para cálculo de efectos de compatibilidad electromagnética (EMC), especialmente en circuitos impresos (PCB). Sin embargo, la mayoría son programas comerciales de alto costo. Hay una implementación gratuita, llamada WINFDTD

4.1.3. El método de los elementos finitos

Este método constituye un método numérico destinado a resolver mediante ecuaciones matriciales las ecuaciones diferenciales que se plantean en sistemas discretos (estructuras) o continuos (campos). En el caso de sistemas continuos, el método consiste en discretizar el dominio de interés en Elementos Finitos y resolver, mediante una función de prueba o de aproximación, la ecuación que rige el sistema en cada EF para luego sumar todas las soluciones.

Procedimiento de solución usando el método de elementos finitos.

El método de los elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos y la solución de cualquier problema utilizando este método contempla los siguientes pasos:

- El continuo se divide en un número finito de partes, “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos llamados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.
- Aplicar las condiciones de frontera (restricciones) y las cargas externas.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos.
- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas funciones de interpolación o funciones de forma.

El método de los elementos finitos, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un método discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos.

aunque puede realizarse una implementación del método adecuada a necesidades propias, ya existen comercialmente paquetes que implementan el método y que permiten acceder rápidamente a la solución de un análisis específico. Entre los numerosos paquetes comerciales disponibles destacan: ANSYS, COMSOL, ALGOR, NASTRAN, ABAQUS, DYNA-3D.

4.2. Medición de Campos Magneticos en CTIC

Como en este trabajo queremos demostrar experimentalmente, es decir medir la radiación electromagnética en las instalaciones de CTIC, necesitamos un equipo que se encuentre dentro del rango de frecuencias de 800 - 2.5 GHz varios de los cuales están descritos en la parte de Anexos. Al no disponer de forma inmediata de este equipo decidimos hacer medidas de campos magneticos ya que según la teoría los campos magneticos son generados por circuitos y cables por donde circula una corriente eléctrica.

Para tener una idea de la existencia de los campos magnéticos en las instalaciones de CTIC, nosotros usamos el medidor de campos magneticos (a falta de un medidor de campos electromagneticos) modelo **Magnetic Field Logger ML-1 de EnviroMentor**



Figura 4.2: Magnetic Filed Logger ML-1

Hicimos las medidas tomando en cuenta las dimensiones de cada ambiente sean estos los laboratorios, oficinas administrativas, y el auditorio. Como mostramos en las siguientes figuras la toma de datos se hizo a 3 alturas las cuales consideramos son representativas para mostrar una gráfica de radiación.

Como observamos en las figuras 4.3 y 4.4 los puntos de toma de datos fueron tomados dado la distribución de aparatos electrónicos dentro de cada ambiente, es decir si en un lugar habia mas aparatos tomabamos mas puntos y si habia pocos aparatos los puntos eran mas espaciados.

Todas las medidas fueron hechas a 30 , 90 y 180 cm cada esto debido a que tambien encontramos los aparatos distribuidos a distintas alturas dentro de los ambientes.

Puntos a medir primer piso

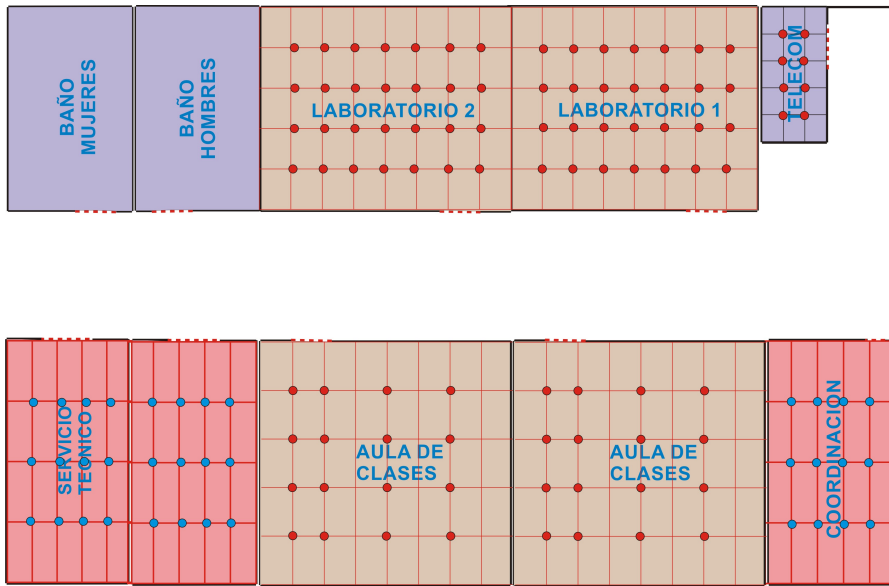


Figura 4.3: Primer Piso A

Puntos a medir segundo piso

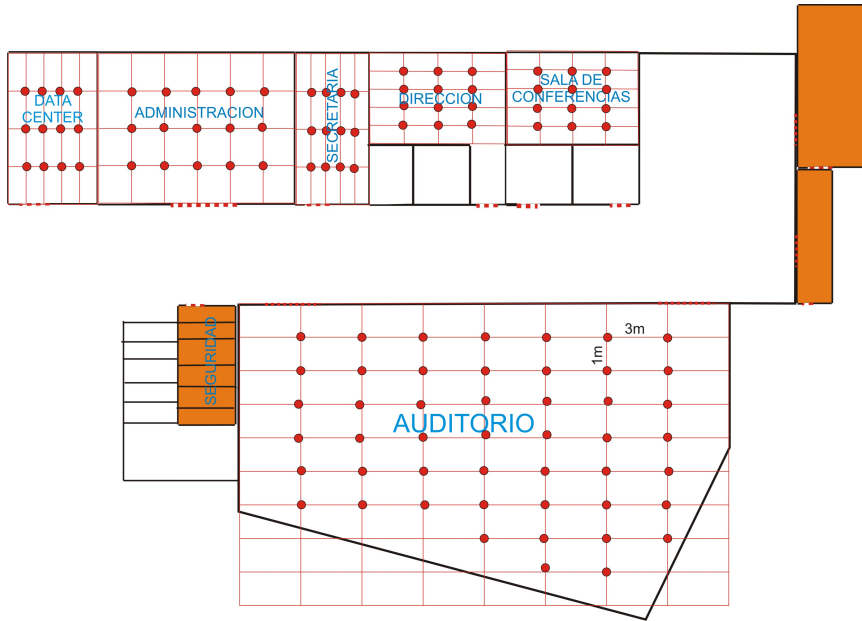


Figura 4.4: Primer Piso B

Medidas para el data center

Equipo de medida: Magnetic Field Logger ML-1		Campo Magnetico, 30Hz-2KHz Medidas en μT		
Lugar: Data Center		Fecha: 05-03-09		
Medidas en el punto:		Altura sobre el piso		
X(m)	Y(m)	30cm	90cm	180cm
0.8	1.5	0.07	0.04	0.03
0.8	3	0.17	0.15	0.16
0.8	4.5	0.02	0.02	0.02
1.6	1.5	0.6	0.06	0.03
1.6	3	0.42	0.27	0.07
1.6	4.5	0.09	0.08	0.05
2.4	1.5	0.02	0.06	0.03
2.4	3	0.14	0.09	0.03
2.4	4.5	0.11	0.08	0.19
3.2	1.5	0.01	0.01	0.02
3.2	3	0.04	0.03	0.01
3.2	4.5	0.06	0.1	0.52
*Punto de origen extremo superior derecha				

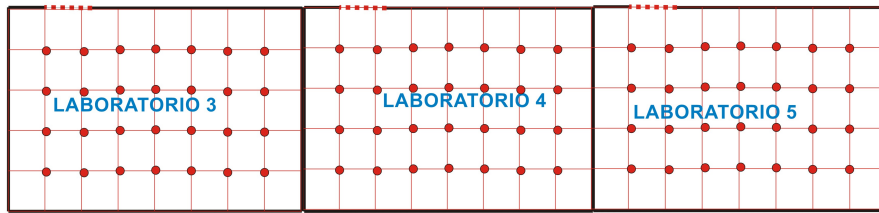
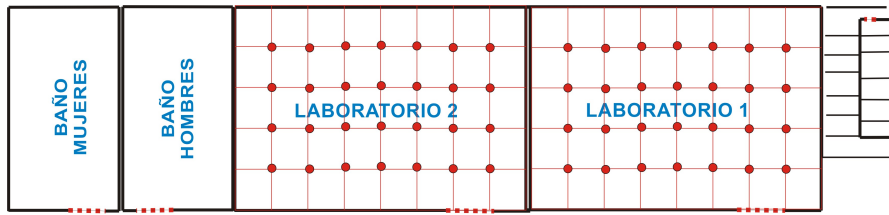


Figura 4.5: Segundo Piso A

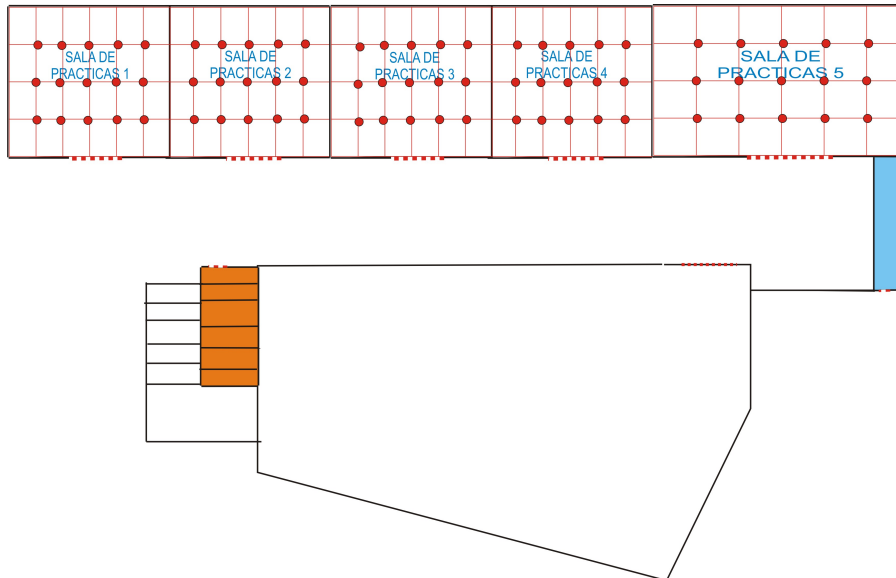


Figura 4.6: Segundo Piso B

Gráficos de Radiación para el Primer Piso

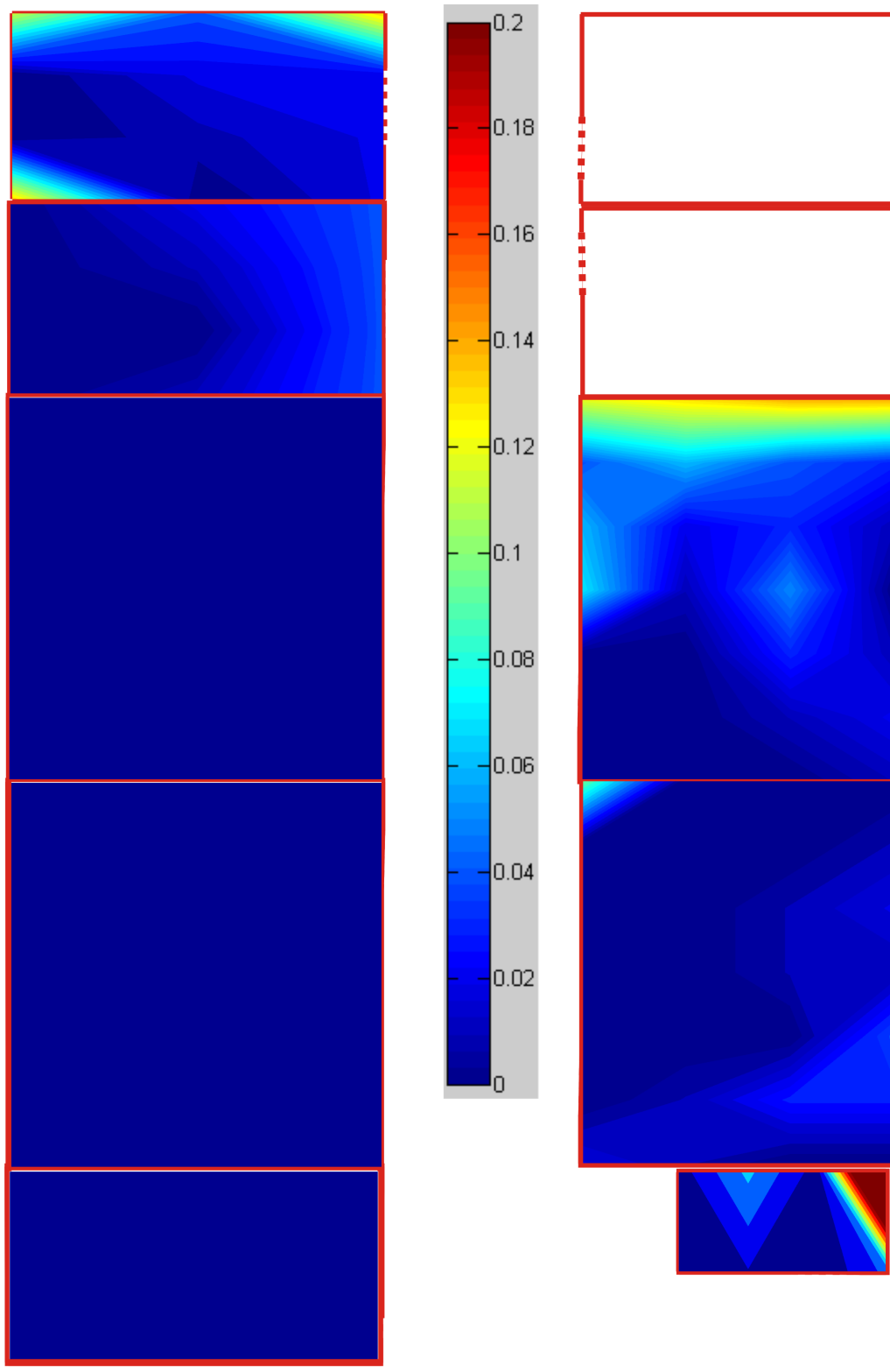


Figura 4.7: Primer Piso A-30 cm

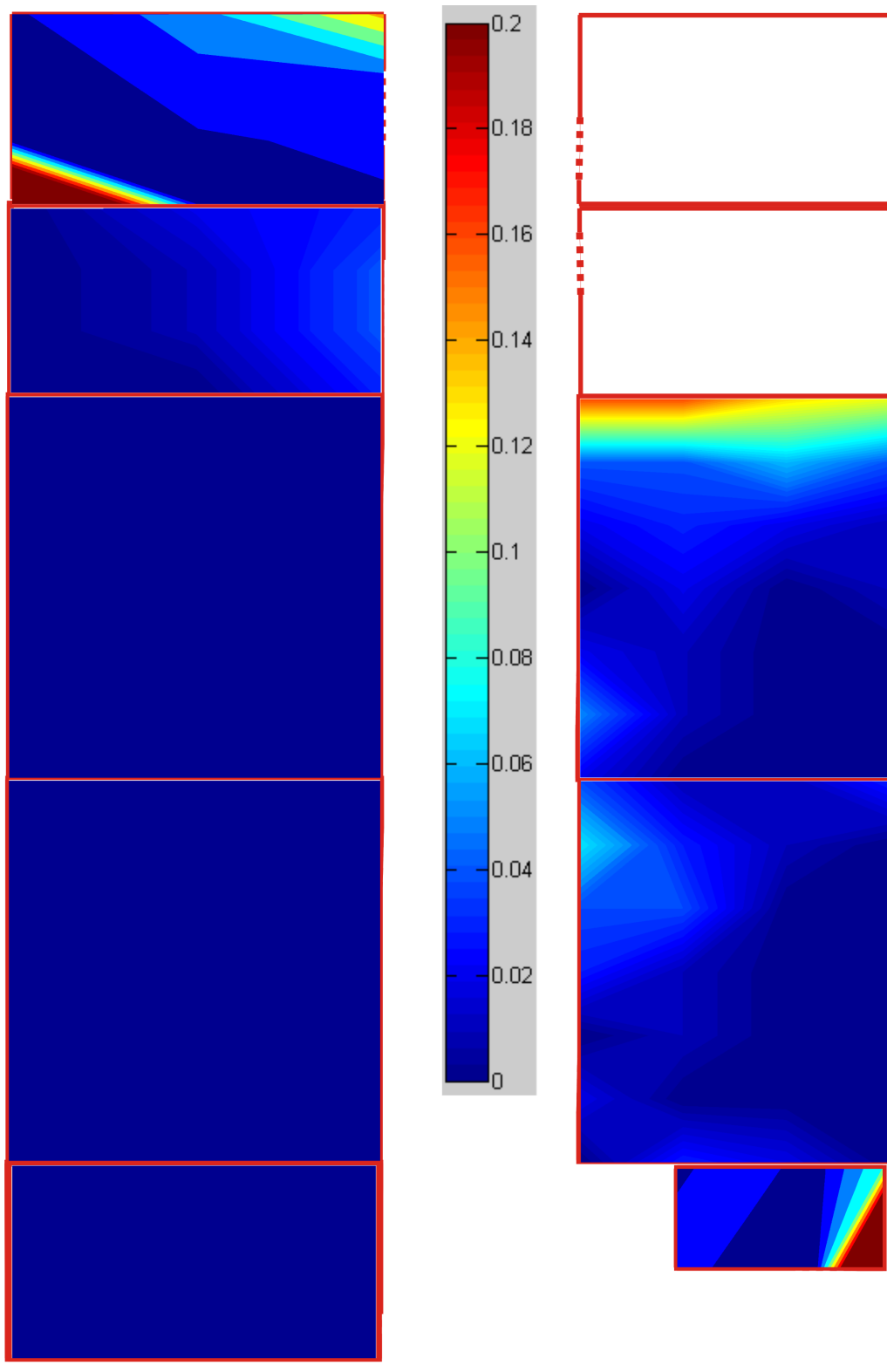


Figura 4.8: Primer Piso A-90 cm

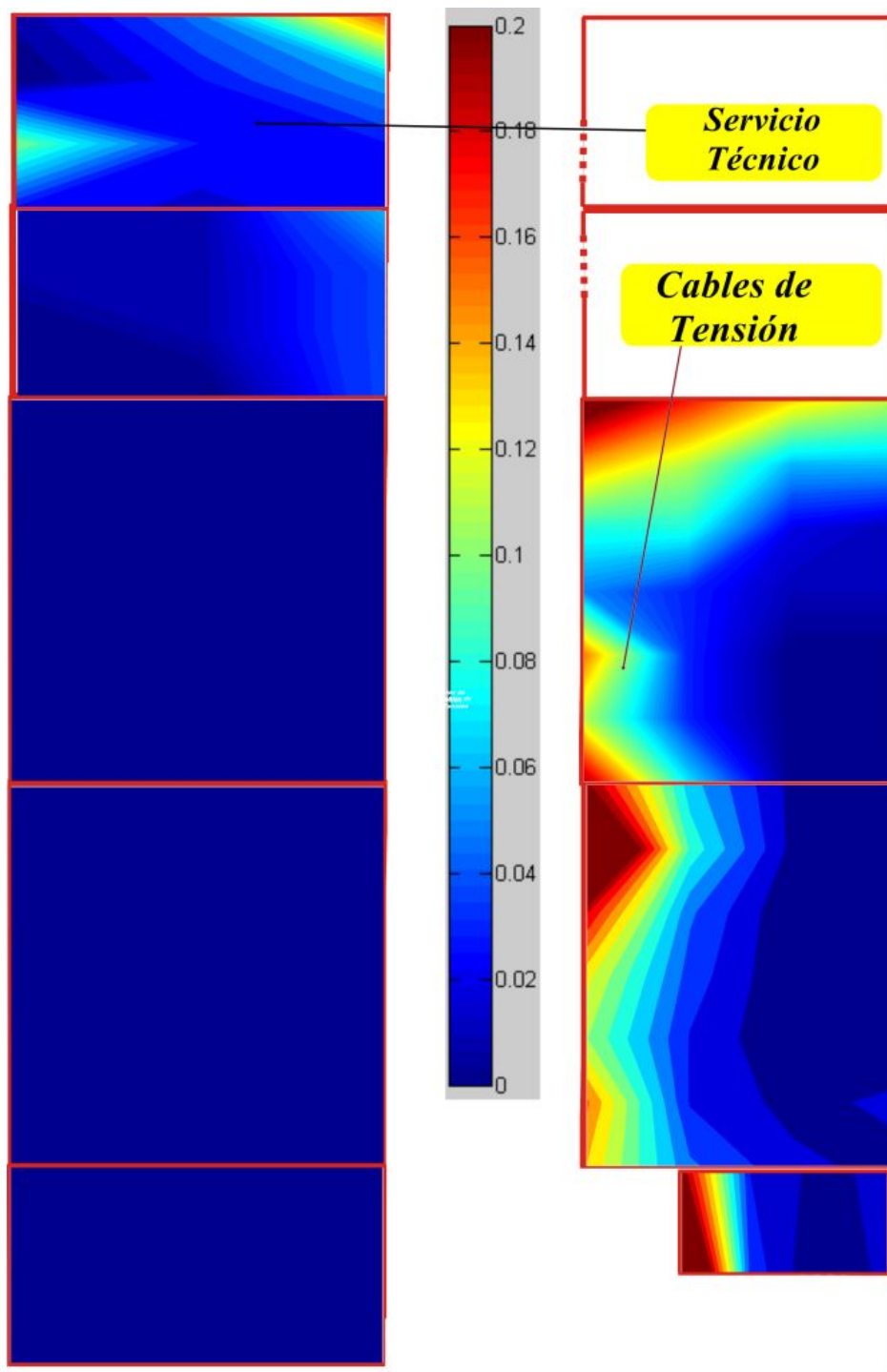


Figura 4.9: Primer Piso A-180 cm

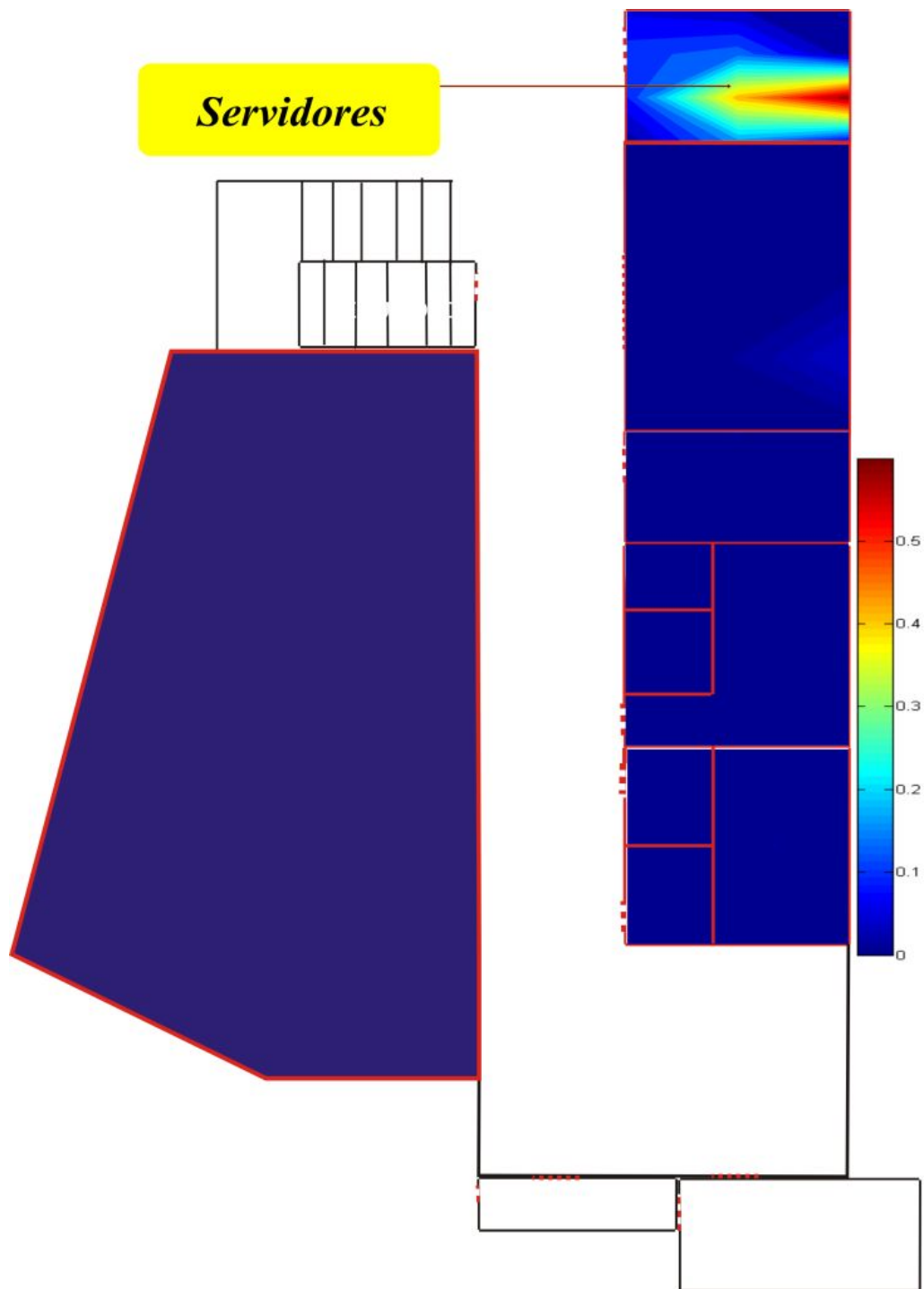


Figura 4.10: Primer Piso B-30 cm

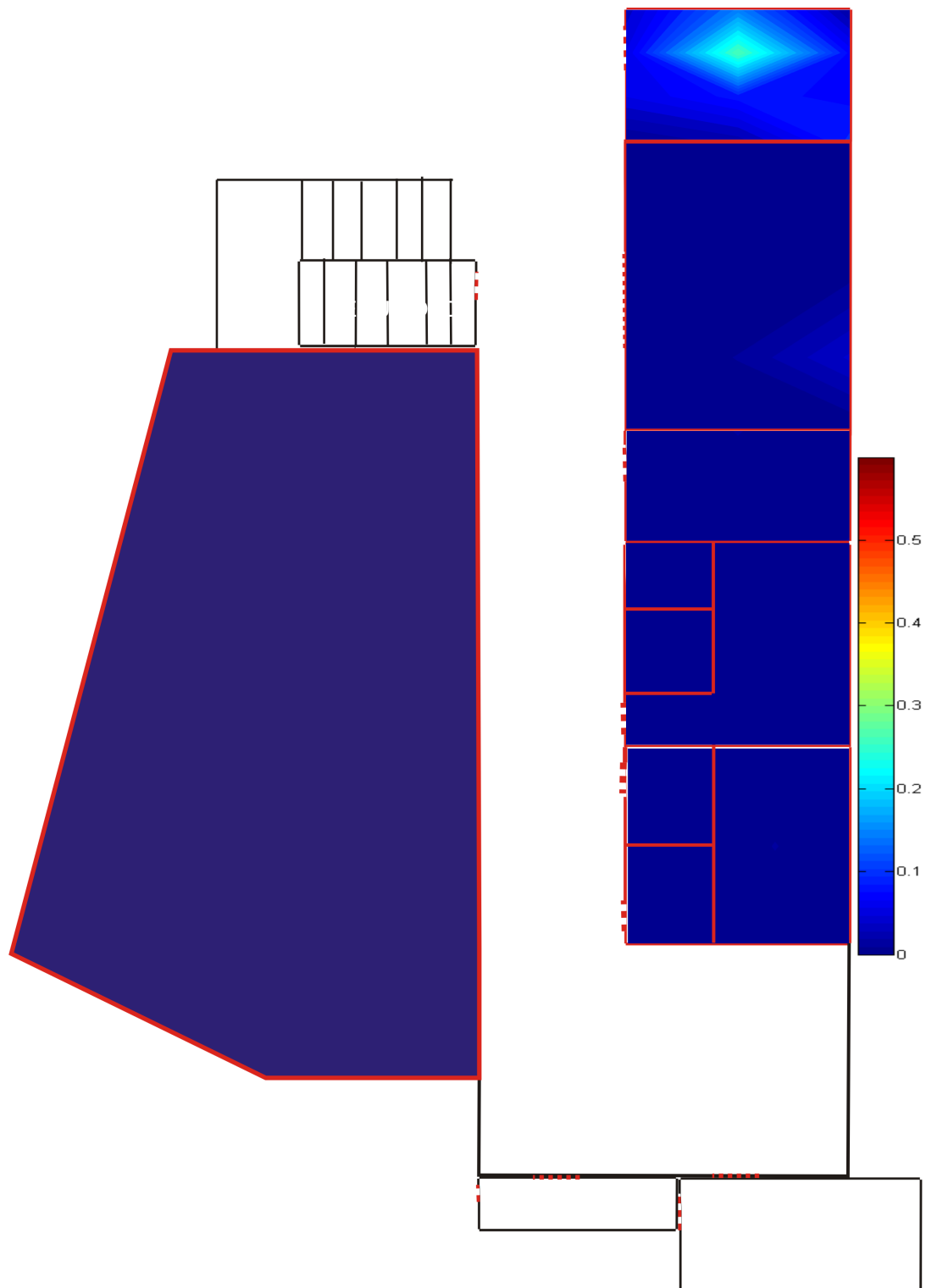


Figura 4.11: Primer Piso B-90 cm

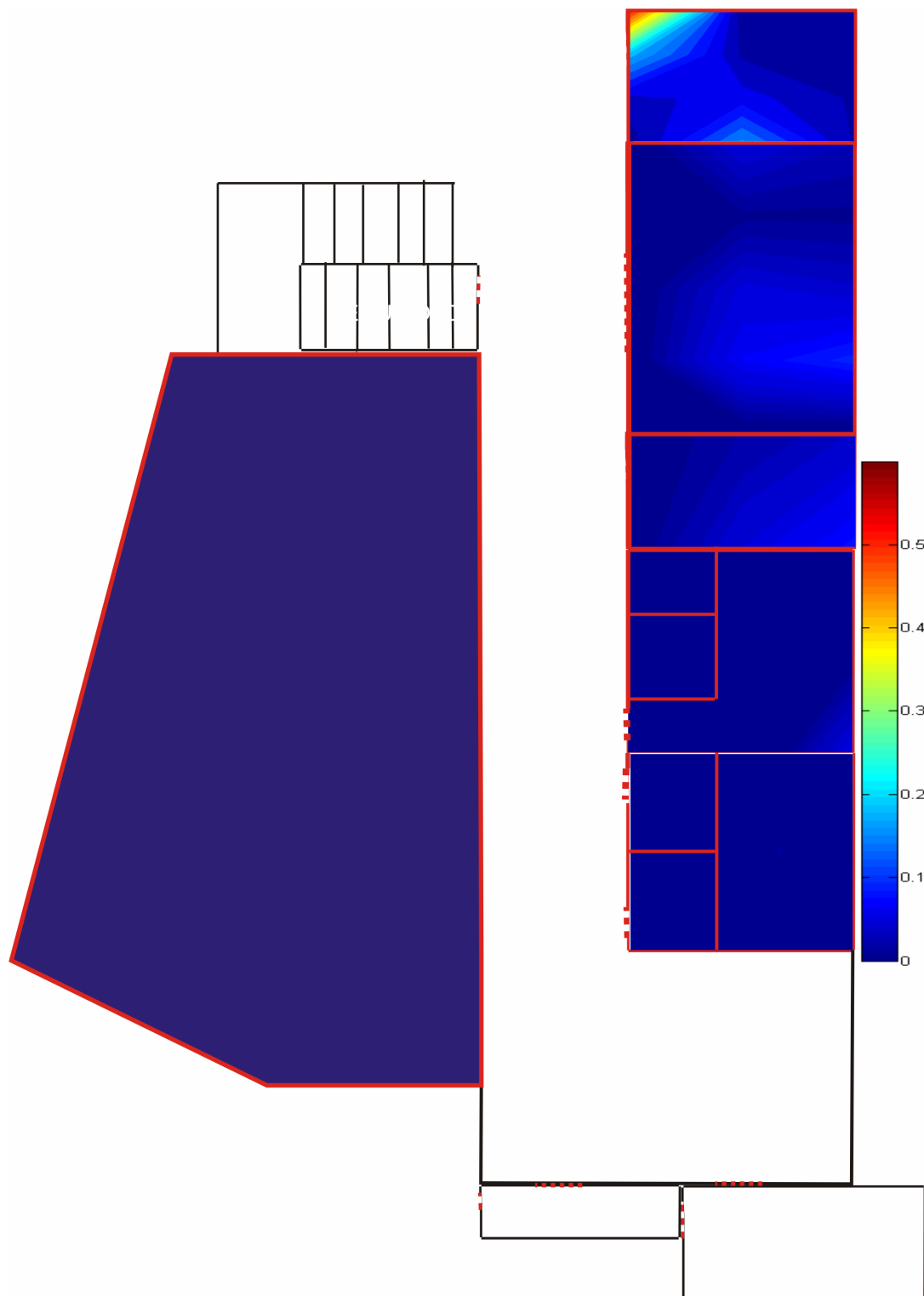


Figura 4.12: Primer Piso B-180 cm

Gráficos de Radiación para el Segundo Piso

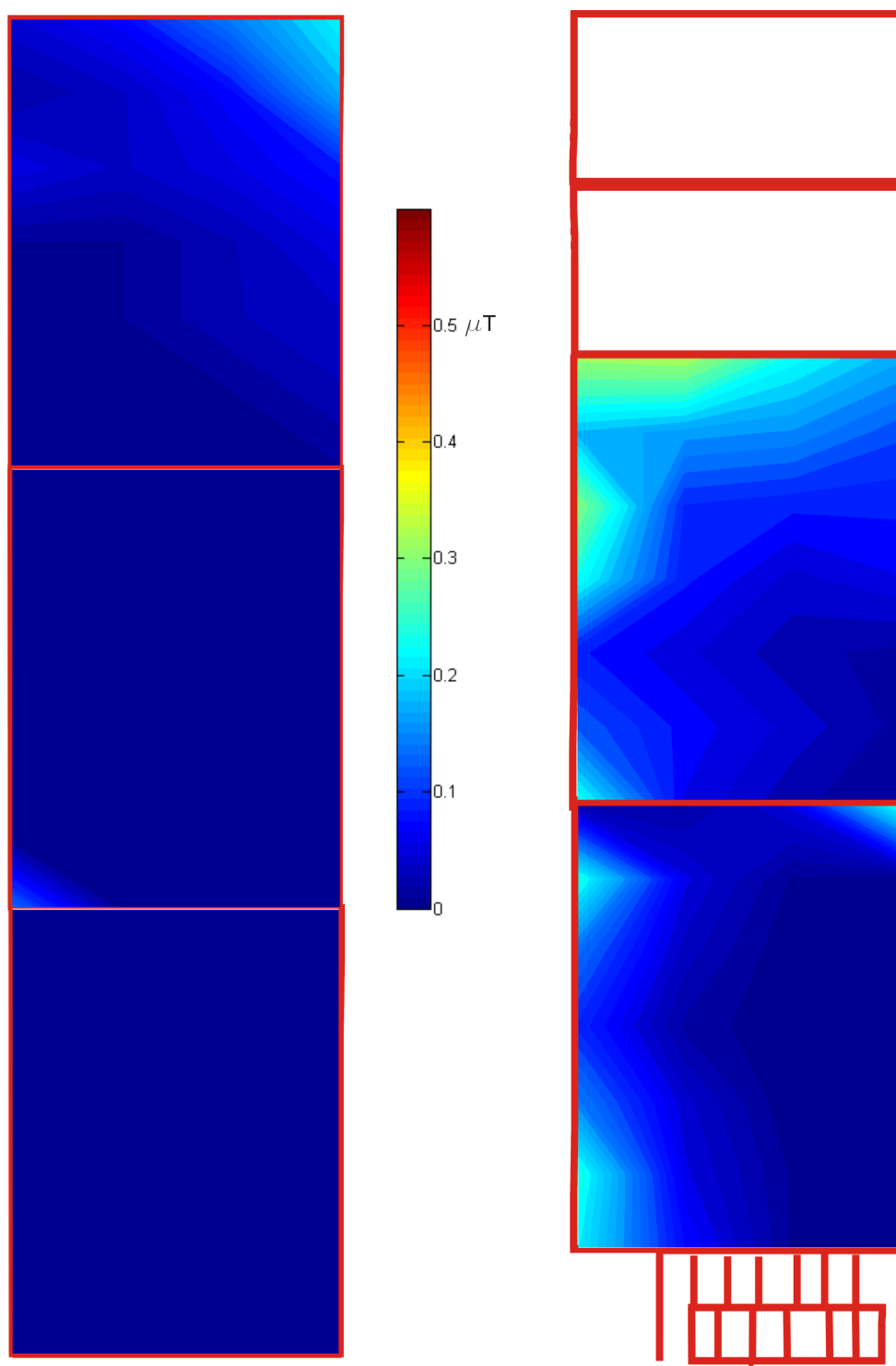


Figura 4.13: Segundo Piso A-30 cm

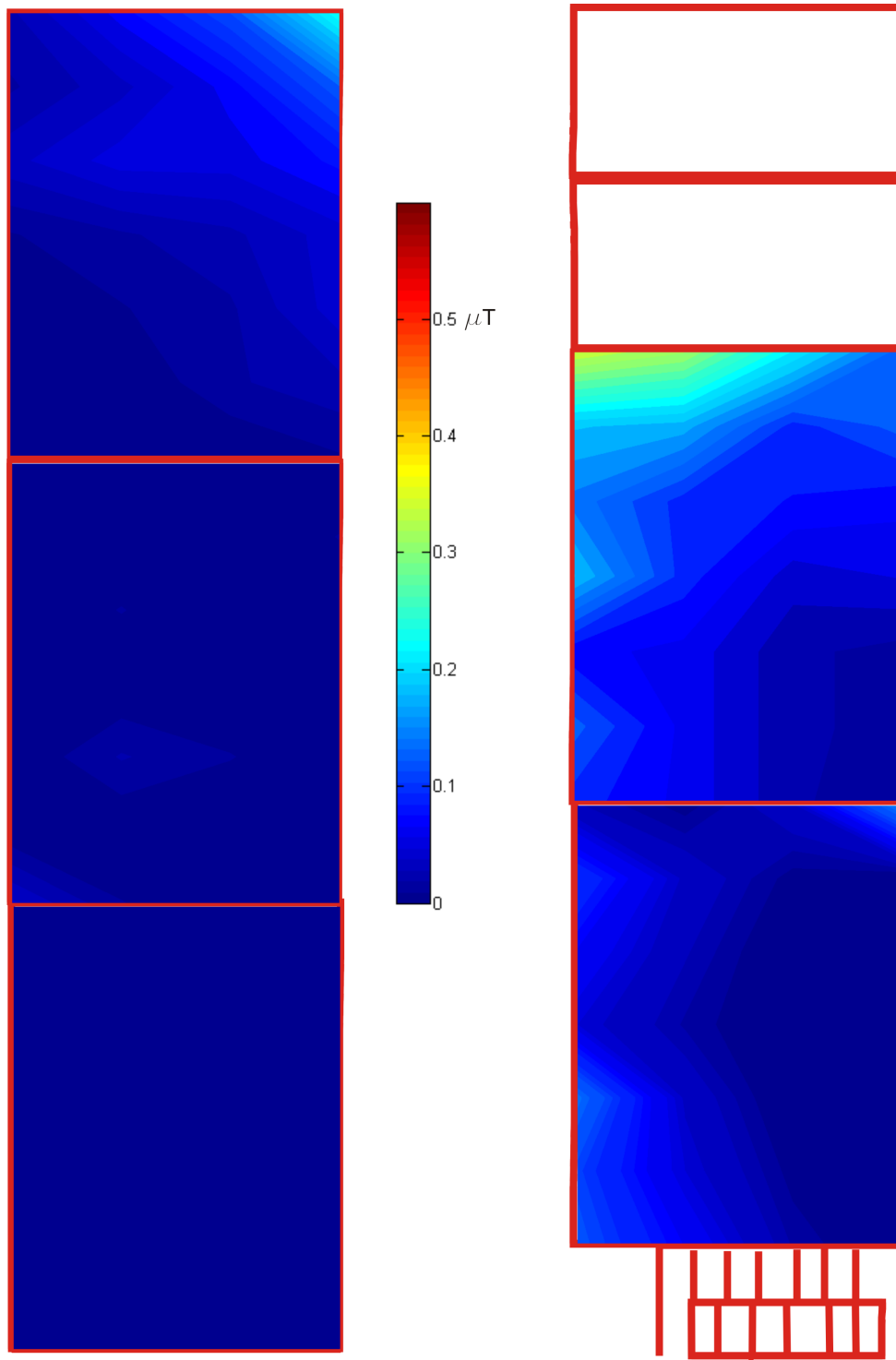


Figura 4.14: Segundo Piso A-90 cm

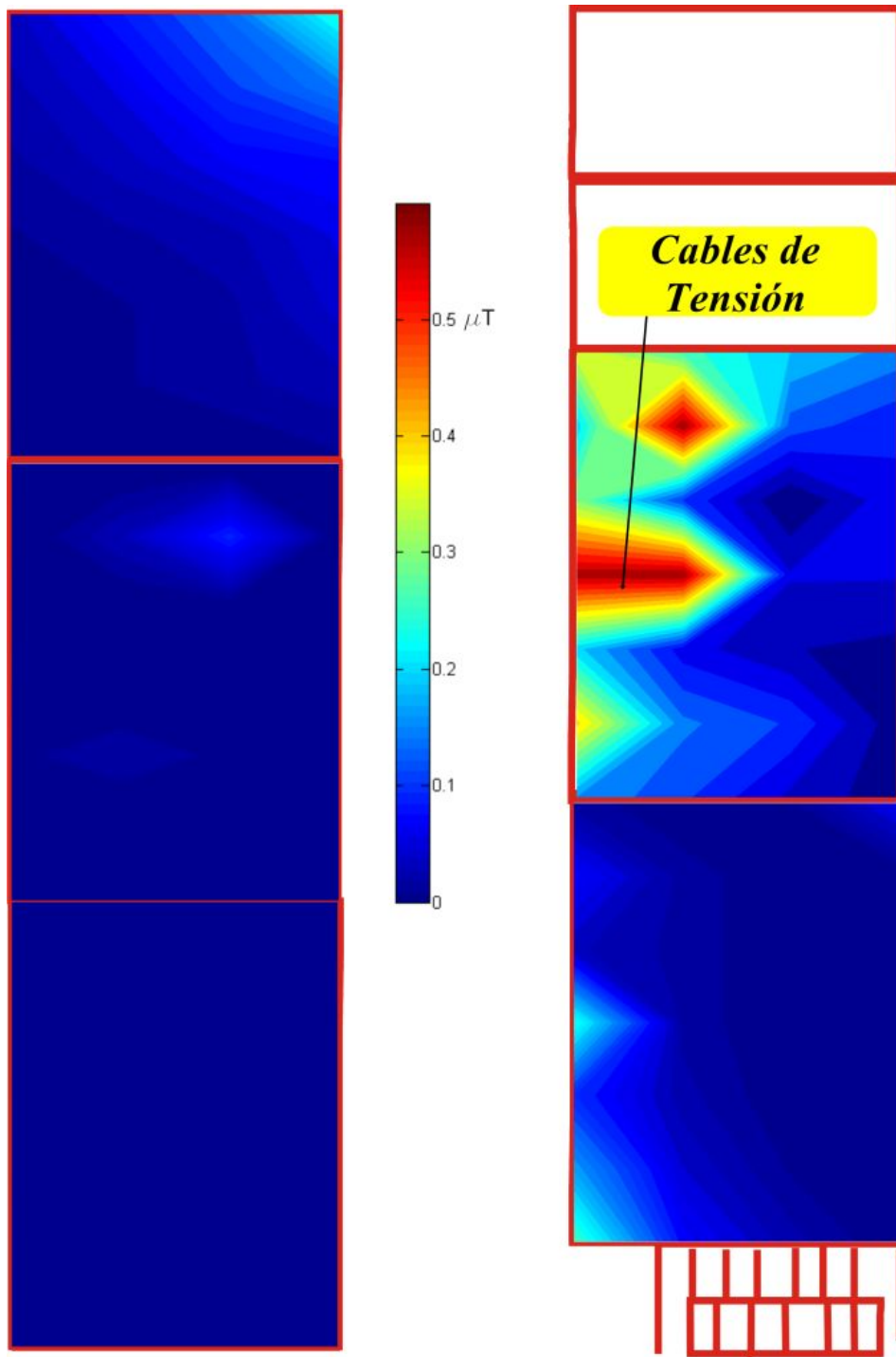


Figura 4.15: Segundo Piso A-180 cm

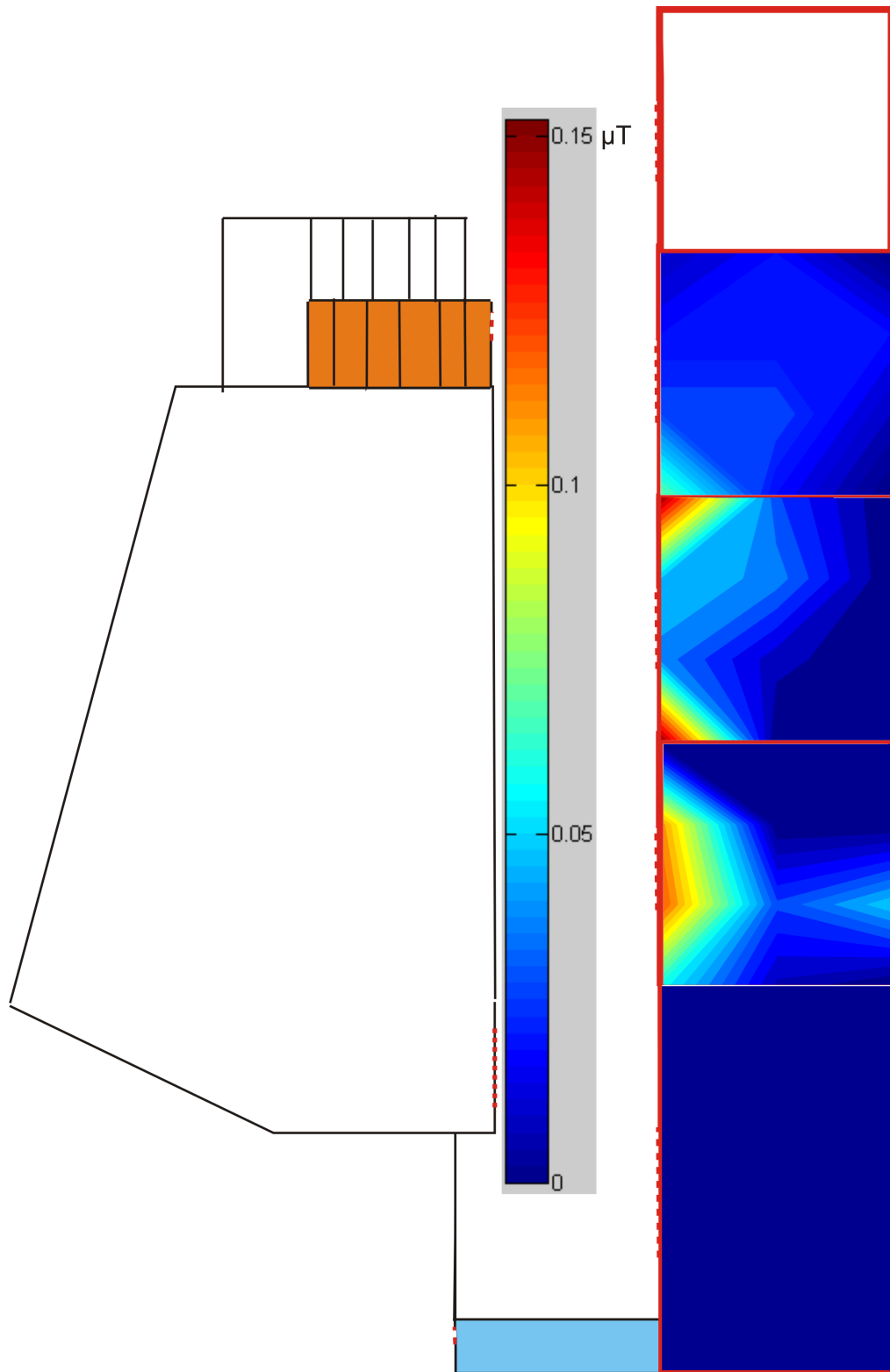


Figura 4.16: Segundo Piso B-30 cm

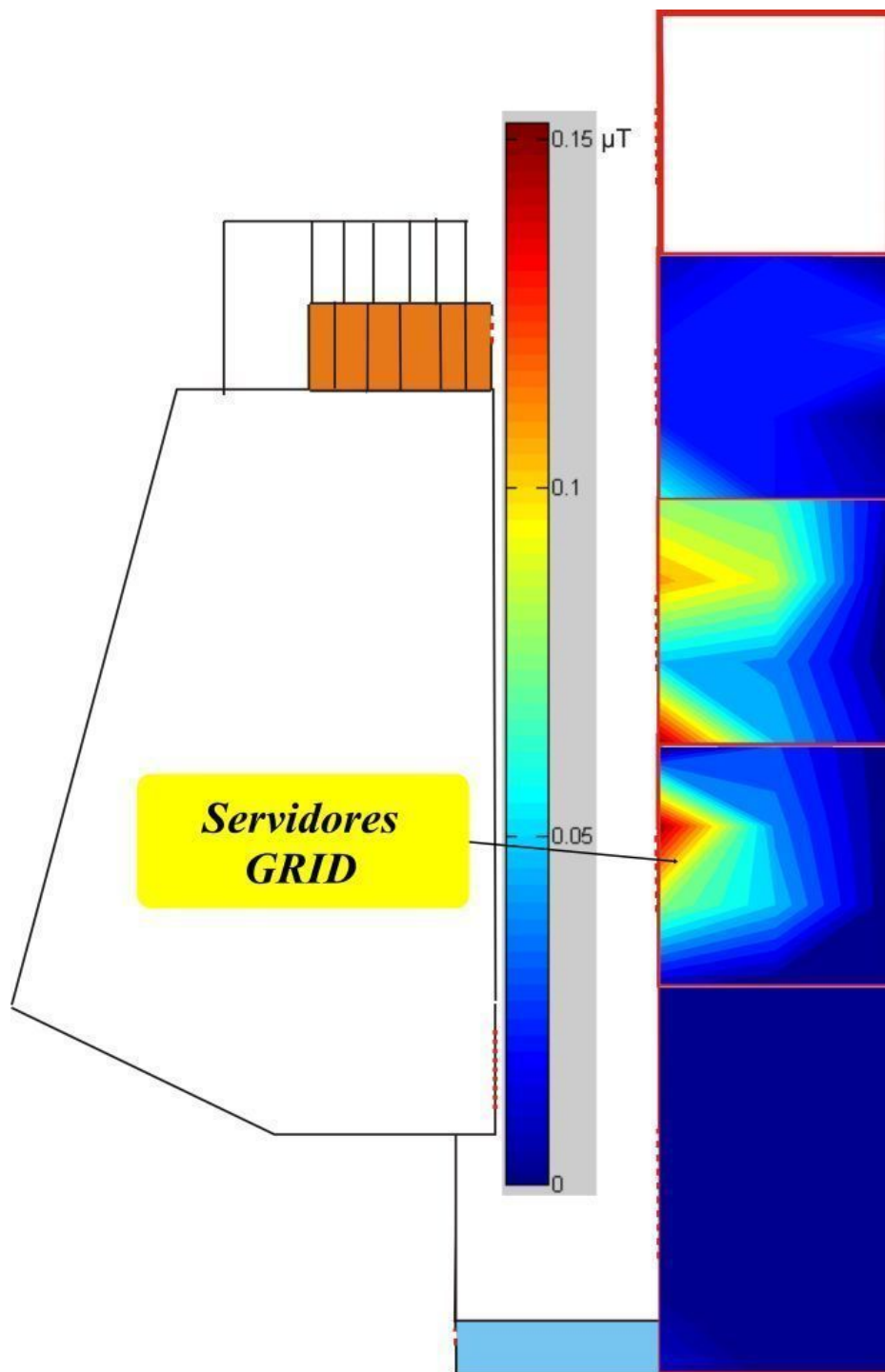


Figura 4.17: Segundo Piso B-90 cm

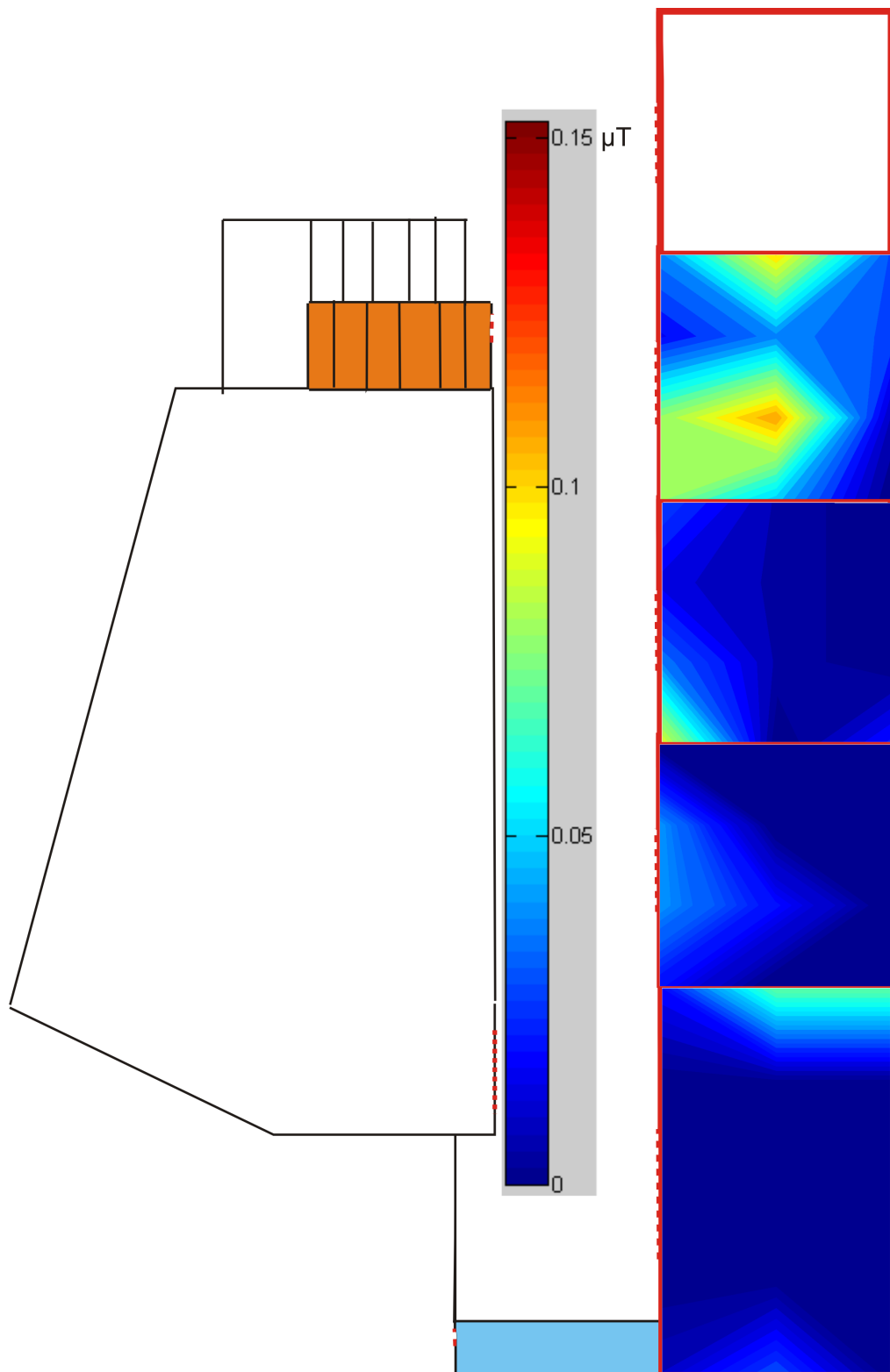


Figura 4.18: Segundo Piso B-180 cm

Capítulo 5

conclusiones

Los equipos que contribuyen a incrementar la cantidad de radiación no ionizante en un punto dado son:

Monitores LCD: Utilizan cristales líquidos que prácticamente no producen radiación.

CPU (los circuitos que lo componen): Está recubierto por una carcasa metálica (case) que hace las veces de una Jaula de Faraday y esto impide la salida y entrada masiva de ondas electromagnéticas. Salvo por los orificios por los cuales podrian irradiar.

Aire acondicionado: Solo produce radiación no ionizante en niveles bajos.

Asi mismo se hizo la predicción teórica de cuales serían los niveles de radiación en el caso de una antena utilizada para proporcionar internet inalámbrico, y comparando estos datos con los niveles permitidos en el Perú se deduce que la densidad de potencia a la que podría estar sometida una persona en las cercanías de una de estas antenas está por debajo de la densidad de potencia establecida por la norma peruana.

Luego de realizar los gráficos con las medidas tomadas por el medidor Magnetic Field Logger ML-1 para campos magneticos variables, podemos afirmar que los campos magnéticos en las instalaciones del ctic son menores a $0.6 \mu T$, teniendo mayor presencia en el data center. En los laboratorios apenas llegan a $0.2 \mu T$ al igual que en Telecom o el servicio técnico y en las demás instalaciones las medidas indican valores próximos a cero; valores que estan muy por debajo de los límites de exposición permitidas. Cabe resaltar que con las medidas se pudo determinar la existencia de cables de tensión en el primer piso entre los laboratorios 1 y 2 que también se puede apreciar en el segundo piso en la misma ubicación

Además debemos mencionar que solo contamos con el medidor de campo magnetico que trabaja en frecuencias de 30Hz-2KHz que estan por debajo de las frecuencias producidas por la red inalámbrica(2.4GHz), debido a esto no se pudo medir las radiaciones electromagneticas no ionizantes producidas por los aparatos electrónicos. Para futuras mediciones se recomienda utilizar un equipo que pueda registrar estas frecuencias (presentamos en el anexo algunas proformas de equipos a utilizar).

Apéndice A

Medidores de campos electromagnéticos

Aquí varios instrumentos de medida para realizar mediciones de la intensidad de los campos electromagnéticos de frecuencia baja.

A.0.1. Medidor de campo eléctrico PCE-EM 29

El medidor de campo eléctrico dispone de una sonda triaxial esférica para la detección de la radiación electromagnética. El medidor de campo eléctrico es igual de idóneo para medir en transformadores, como también para una evaluación de campos magnéticos que son producidos por pantallas de ordenador, televisores, instalaciones industriales (separador magnético, electromotores, soldadores bajo gas protector, etc.). Además, también está preparado para detectar radiaciones en el ámbito de sistemas inalámbricos (Wireless LAN), GSM o para determinar la radiación de microondas.



Figura A.1: Precio:199 euros(sin IGV) [?]

A.0.2. MEDIDOR DE RADIOFRECUENCIA

Para frecuencias de 800 MHz - 2.5 GHz. El medidor de radiofrecuencia permite tomar medidas en ambas lecturas, analógico y digital. Dos rangos 1–

Especificaciones técnicas	
Rango de frecuencia	50 MHz ... 3,5 GHz
Tipo de frecuencia	campo eléctrico (E)
Medición	triaxial, isotrópico
Rangos de medición	38 mV/m ... 11 V/m
Selección de rango	automático
Tiempo de respuesta	1 s (hasta alcanzar el 90 % del valor definitivo)
Unidades	mV/m, V/m, $\mu\text{A/m}$, mA/m, $\mu\text{W/m}^2$, mW/m ²
Resolución	0,1 mV/m; 0,1 $\mu\text{A/m}$; 0,01 $\mu\text{W/m}^2$
Error absoluto	$\pm 1,0$ dB
Precisión	$\pm 1,0$ dB (50 MHz ... 1,9 GHz) $\pm 2,4$ dB (1,9 GHz ... 3,5 GHz)
Desviación isotrópica	$\pm 1,0$ dB (en una frecuencia >50 MHz)

Figura A.2: Especificaciones técnicas

$1999\mu\text{W}/\text{m}^2$ ($0,1 - 199,9\text{nW}/\text{cm}^2$) y $0,1 - 199,9\mu\text{W}/\text{m}^2$ ($0,01 - 19,99\text{nW}/\text{cm}^2$). Adicionalmente incluye tonos de audio proporcionales a la intensidad de campo radiado o proporcional a la frecuencia, para el análisis de signos de pulso.

Este es un medidor diseñado especialmente para la medida del campo electromagnético o su monitorización, por ejemplo: estaciones de telefonía móvil, equipamiento de hospitales, radar, hornos microondas, actividades laborales bajo radiación, antenas de TV, estaciones de radio, equipos de soldadura, equipos de cocción, televisión, ordenadores, fábricas, laboratorios y otros ambientes. Modelo HF35C.



Figura A.3: Precio 499 dolares [?]

A.0.3. ANALIZADOR DE INTENSIDAD DE CAMPOS RF

Esta poderosa herramienta lo tiene todo: contador de frecuencia, exposición del espectro, e intensidad RF. Escanee el rango completo de frecuencias ¡desde los 100 kHz hasta arriba de los 2060 MHz!

¿Quiere saber si los teléfonos celulares están operando en su área? Observe el espectro de frecuencia, luego sintonícese la banda de los 800 MHz o 1900

MHz para rastrear la fuerza de la señal. ¿Quiere saber cuánta radiación recibe de una torre de radiodifusión? ¿Qué tan bien funciona su blindaje para las diferentes frecuencias? ¿Qué tipo de interferencia RF le llega a usted de su computadora? Si alguna vez quiso analizar la mezcla de señales RF en su ambiente, ésta es la unidad para usted. Con solo un tamaño de 9" x 4", esta estupenda unidad a batería está contenida en sólo 1.4 lbs. Tiene un parlante incorporado para el monitoreo de las señales por audio. Simple selección de las funciones sobre el menú en pantalla. Pantalla con retro iluminación y capaz de proyectar el espectro, gráfica de barras y exhibición digital. ¡Incluye antena desmontable para señales de radiodifusión, (utilice un adaptador optativo F a BNC para medir señales en cable coaxial) e incluso tiene salida RS-232 con software para PC y cable, de manera que usted puede cargar y manipular datos en su computadora! Garantía de un año del fabricante.



Figura A.4: Precio:1895 dolares [?]

ESPECIFICACIONES

Rango: 100KHz - 2060MHz
Pasos: 5KHz - 6MHz en múltiplos de 5KHz
Precisión: +/- 25PPM
Unidades de Medida: dBm & dBu
Atenuación: 0dB - 60dB
Nivel de Medidas Contador de Frecuencia:
- Rango de intensidad: -10dBm a 40dBm - Ancho de Banda: 9MHz - 2060MHz
- Resolución: +/- 0.5dBu - Resolución: 1KHz
- Precisión: <1dB (hasta 1GHz) - Precisión: 50 PPM +/- 1 cont.
Modos: espectro, barra gráfica.. Luz de fondo LCD, con 5 seg auto apagado
Barra gráfica: indiv., multi, Salida Audio: 120mW en un parlante 8 ohm
Modos de barrido: indiv, normal, & libre Tasa baudio: 1200, 2400, 4800 o 9600 BPS
Modos de escaneo: manual, Auto apagado luego de 30 minutos
Velocidad de escaneo: 12.5 canal/seg Fuente estándar: 6 baterías AA incluidas
Incluidos:
- 8 conectores pin mini Din RS-232
- Paquete de software Windows
- Adaptador 12V para automóvil
- Adaptador 110V a 16V AC a DC
- Una pareja de pads 75 a 50 Ohm
- Funda simil cuero

Figura A.5: Especificaciones técnicas [?]

A.0.4. MEDIDOR DE CAMPO TAOMA

Medidor de campos electromagnéticos de 5Hz a 18GHz según la sonda utilizada, FFT de 5Hz a 100kHz, integra un GPS y datos T°C/RH, software interno para la realización de informes. La avanzada tecnología del sistema de medida de campo electromagnético TAOMA, es el “estado del arte” de la medición ambiental, resultado de aplicar las últimas tecnologías que, reduciendo el tiempo de trabajo, permiten obtener los más fiables resultados a las regulaciones relativas a la exposición de la población y los trabajadores a los campos electromagnéticos.

El sistema TAOMA posibilita medidas EM en el rango 5Hz - 40GHz y dispone de toda una serie de accesorios opcionales pensados y diseñados para facilitar la labor del usuario en distintas condiciones. Está construido con materiales de la más alta calidad para conferirle una estructura robusta y ligera, y su diseño ergonómico dispone además de protección ambiental IP-54. Precio dado para sonda E 100kHz a 6GHz, 0.2 a 400V/m



Figura A.6: Precio:8060euros [?]

A.0.5. Analizador de Campos electromagnéticos EMR-300 de Narda

- Sistema versátil para las medidas de campos magnéticos
- Unidad central del instrumento con una gran cantidad de accesorios
- Sondas intercambiables para multitud de aplicaciones y rangos de frecuencia
- Medidas no direccionales (isotrópicas) con sonda de tres canales
- Gran margen dinámico debido al procesamiento digital de los resultados de los tres canales
- Interfaz óptico para la calibración y transferencia de los resultados de medida
- Excelente precisión, con ajuste de cero automático, incluso durante la exposición al campo

- Sencillo manejo
- Hermético y resistente a los golpes
- Calibrado



Especificaciones del Detector de Radiación EMR-300

Pantalla y alarmas
 Tipo de la pantalla cristal líquido (LCD),
 específica para el instrumento
 Velocidad de refresco 400 ms (típico)
 Alarma óptica LEDs rojos en el teclado
 Alarma acústica dispositivo piezoeléctrico interno,
 con secuencia de tonos en función del valor medido
 Resolución de la pantalla 0,01 V/m, 0,0001 A/m
 Tiempo de establecimiento Típicamente 1 segundo
 (del 0 al 90% del valor medido)

Funciones de medida
 Unidades V/m, A/m, mW/cm², W/m², % del valor límite
 Presentación de resultados resultado actual
 o valor máximo desde el encendido
 Promediado resultado actual
 o ajustable de 4 segundos a 15 minutos
 Funciones de alarma con umbral ajustable
 y función ON/OFF
 Datos de calibración un factor de calibración
 preseleccionable

Especificaciones generales

Fuente de alimentación

Baterías recargables 2 × Mignon (AA) 1,2 V

Baterías secas 2 × Mignon (AA) 1,5 V

Autonomía,

baterías recargables/baterías secas 8 h (típico) / > 15 h

Recarga con un cargador NT-20

Temperatura ambiente

Rango de funcionamiento -10 a +55 °C

Dimensiones

(ancho × alto × prof.) en mm 96 × 64 × 465 (aprox.)

(incluido el sensor y los protectores)

Peso (con baterías) 450 g (aprox.)

Incertidumbre de medida

Para garantizar que los resultados de las medidas sean significativos, las especificaciones mencionan todos los parámetros que pueden influir en las medidas. Estos parámetros deben ser tomados en consideración, según las "Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations", documento 19.1990 del WECC. La cuidadosa selección de las condiciones ambientales puede eliminar en todo o en parte la influencia de ciertos parámetros; las tolerancias son típicamente muy próximas a los valores indicados.

A.0.6. Analizador de Espectros: Agilent HP 8594E

Analizador de Espectros, marca Hewlett Packard, modelo HP-8594E, el cual permite realizar mediciones en distintas unidades y modalidades, tiene las siguientes características técnicas principales:



Su costo es desde \$4500.00 en **NATIONAL TEST EQUIPMENT**[?] \$6995.00 dolares americanos, y el proveedor es **TEST EQUIPMENT**[?]

PROPUESTA ECONÓMICA

Presupuesto **300-02-Extech Instruments**
Señor **ANGELO ROMERO**

Ciudad: **LIMA**
Fecha: **12/03/2009**

Atención **Angelo Romero**
Referencia **Solicitud de Cotización E-mail**
e-mail: angelosb2000@gmail.com

Encargado: **YBE**
Telefono: **2743414**
Fax: **2743394**

Estimados Señores:
Atendiendo a su solicitud, nos complace presentar a ustedes nuestra oferta por:

It	CÓDIGO	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT.	TOTAL S/.
1	480836	1	RF EMF Strength Meter	1.020.00	1.020.00



http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/480836_UMsp.pdf

CONDICIONES

Precio: En Nuevos Soles, incluye IGV
Forma de pago: 10% de adelanto, 90% contraentrega
Validez oferta: 7 días
Plazo entrega: **4 semanas a partir de la recepción de la orden de compra, consultar para equipos con certificado NIST**
Lugar entrega: Nuestras Oficinas
Garantía: Un año contra defectos de fabricación
RUC: 20296021408
Nro Cta. Cte. Soles ARMOTEC S.A.C. Banco Continental 0011-0148-01000-27939-46

Atentamente,
Yefer Bazán E.
ARMOTEC sac

EXTECH
INSTRUMENTS

PROVIENTO S.A.C.			
RUC: 20521134586			
Proforma #:	20-0309	Fecha:	7-Mar-09

Estimado Royer,

le podemos ofrecer un equipo todavía más económico para la medición de las ondas de baja y alta frecuencia.

Datos del cliente:

Nombre/Razon Social:	Centro de Tecnologías de Informacion y Comunicaciones Universidad Nacional de Ingenieria (CTIC-UNI)
Dirección:	Dirección Av. Túpac Amaru 210 - Rimac / Lima 25 - Perú
Responsable / Attn.:	Royer Ticse Torres

Proforma por:

Equipos Medición:		X	Equipos Generación:			Servicios internos:			Servicios externos:		
Cantidad:		Descripción Item:								Valor (USD)	
#	En Stock									Unidad	Total
1	Pcs	Maletín MK20 con medidores de contaminación por ondas electro-magneticas de baja y alta frecuencia tipo GIGAHERTZ SOLUTIONS Este juego de equipos mide la intensidad de ondas electromagnéticas causados por electrodomesticos (baja frecuencia) con el equipo ME3830B y las frecuencias altas (antenas celulares, WLAN etc) con el equipo HF35C. El display de 3,5 digitos está respaldado por una indicación acústica que es proporcional a la intensidad de las ondas y sirve detectar tambien ondas pulsadas. La antena es logarítmica periodica y tiene característica de dirección. Equipo de frecuencia baja (GIGAHERTZ SOLUTIONS ME3830B): Rango de frecuencia: 5Hz - 100 kHz, Sensibilidad: 1 - 2000 nT (componente magnético) Sensibilidad: 1 - 2000 V/m (componente eléctrico) Precisión: +/- 2% (+/- 20 digitos) Equipo de frecuencia alta (GIGAHERTZ SOLUTIONS HF35C): Rango de frecuencia: 800MHz - 2500 MHz (GSM, DECT, WLAN, BLUETOOTH, CDMA,...), Sensibilidad: 0,01 - 19990 µW /m2 Precisión: +/- 6dB (+/- 9 digitos)								620.00	620.00
SUBTOTAL:										620.00	
IGV 19%										117.80	
VALOR TOTAL (USD):										737.80	

Información adicional:

Condiciones de Pago:	20% Anticipo, 80% contra entrega en Lima
Lugar de entrega:	Lima
Tiempo de entrega:	1 mes
Validez de la oferta:	14 días
Referencia bancaria:	Banco del Credito del Peru BCP, Cuenta Dólares: 194-1791173165

Atentamente:



Olaf Schwetje, Apoderado ProViento S.A.C.

PROVIENTO S.A.C.			
RUC: 20521134586			
Proforma #:	12-0309	Fecha:	7-Mar-09

Datos del cliente:

Nombre/Razon Social:	Centro de Tecnologías de Información y Comunicaciones Universidad Nacional de Ingeniería (CTIC-UNI)
Dirección:	Dirección Av. Túpac Amaru 210 - Rimac / Lima 25 - Perú
Responsable / Attn.:	Royer Ticse Torres

Proforma por:

Equipos Medición:		X	Equipos Generación:		Servicios internos:		Servicios externos:	
Cantidad:		Descripción Item:					Valor (USD)	
#	En Stock						Unidad	Total
1	Pcs	Maletín MK30 con medidores de contaminación por ondas electro-magneticas de baja y alta frecuencia (equipo semi-profesional) Este juego de equipos semi-profesionales mide la intensidad de ondas electromagnéticas causados por electrodomesticos (baja frecuencia) antenas celulares, WLAN etc. en nT/Vm o respectivamente $\mu W / m^2$. El display de 3,5 digitos está respaldado por una indicación acústica que es proporcional a la intensidad de las ondas y sirve detectar tambien ondas pulsadas. La antena es logarítmica periodica y tiene característica de dirección. Equipo de frecuencia baja: Rango de frecuencia: 5Hz - 100 kHz, Sensibilidad: 1 - 2000 nT /Vm Precisión: +/- 2% (+/- 14 digitos) Equipo de frecuencia alta: Rango de frecuencia: 800MHz - 2500 MHz (GSM, DECT, WLAN, BLUETOOTH, CDMA,...), Sensibilidad: 0,01 - 19990 $\mu W / m^2$ Precisión: +/- 6dB (+/- 7 digitos)					1,299.00	1,299.00
							SUBTOTAL:	1,299.00
							IGV 19%	246.81
							VALOR TOTAL (USD):	1,545.81

Información adicional:

Condiciones de Pago:	20% Anticipo, 80% contra entrega en Lima
Lugar de entrega:	Lima
Tiempo de entrega:	1 mes
Validez de la oferta:	20 dias
Referencia bancaria:	Banco del Credito del Peru BCP, Cuenta Dólares: 194-1791173165

Atentamente:


Olaf Schwetje, Apoderado ProViento S.A.C.



Angelo Romero Catay
Av. Tupac Amaru 210-Rimac Lima 25

PERU

Calle Mayor, 53 Bajo
02500 Tobarra
Albacete - España
Tel. : +34 967 543 548
Fax : +34 967 543 542
info@pce-iberica.es
www.pce-iberica.es

Confirmación de Pedido

Fecha : 03/03/2009

Forma de pago : con anticipo

Fecha de entrega : 1-2 Dias

C.I.F. / N.I.F. N.º 42471455
Comprador : Angelo Romero
Su N.º de Pedido: Por Email
Fecha de Pedido: 03/03/2009
Su N.º de Cliente: 23507

Para alguna pregunta estamos a su disposición.
Tel. +34 967 543 548
Fax +34 967 543 542
E- Mail info@pce-iberica.es

Pos.	Descripción	N.º de Artículo	Unidades	Precio	Precio Total
1	Medidor de radiación PCE-EM 29	PCE-EM 29	1	199,00 €	199,00 €

Importe Neto 199,00 €

Gastos de Envío 0,00 €

Importe Neto Total 199,00 €

Impuesto I.V.A. (0,00 %) 0,00 €

Bruto Importe Total 199,00 €

Bruto Importe En Pesetas 33.110,81 Pst.

GRACIAS POR SU COMPRA

C.I.F. B-02363497, R.M. de Albacete Tomo 771, Libro 535, Folio 107 Secc. 8, Hoja AB-13223, Inscrip.1

Dirección Postal
Calle Mayor, 53 Bajo
02500 Tobarra (Albacete)

PCE Group Ibérica S.L.
Gerente
José García Guerrero

Datos Bancarios
BANCAJA (Caja de Ahorros de Valencia)
ENT.: 2077 SUC.: 0326 03
N.º Cuenta.: 310 081 0763
CODIGO BIG/SWIFT: CVALESVVXX
CODIGO IBAN: ES26 2077 0326 0331 0081 0763

Bibliografía

- [1] Brueckmann H Antenna Pattern Measurement by Satellite, IEEE Transaction on Antennas Propagation, AP-11, pp. 143-147 (1963)
- [2] Dr. Carlos Javier Solano Salinas Proyecto para la medición de radiación electromagnética no ionizante de antenas de estaciones base.
- [3] 2006, Limehouse Book Sprint Team Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo
- [4] Free antenna designs
<http://www.freeantennas.com/>
- [5] <http://www.lessemf.com/>
- [6] http://www.ntecusa.com/sales/dsp_model.cfm?modelID=2981
- [7] <http://spanish.testequipmentconnection.com/>