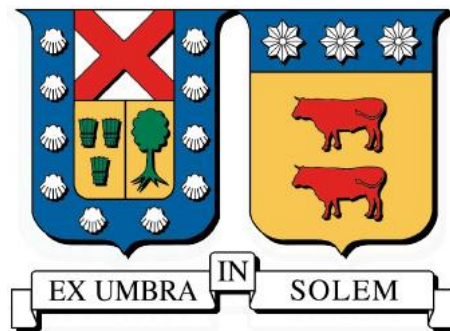


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

VALPARAÍSO - CHILE



**APLICACIÓN WEB PARA CÁLCULO DE
COBERTURA Y RADIOENLACES
BAJO NORMA UIT-R P.1546-4**

TOMÁS REYES RAMÍREZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL TELEMÁTICO

PROFESOR GUÍA : DR. HÉCTOR CARRASCO ESPINOSA
PROFESOR CORREFERENTE : DR. WERNER CREIXELL FUENTES

NOVIEMBRE 2016

A los que me acompañaron en el camino a la meta. A los que colaboraron y me motivaron. A los que hicieron este camino más cálido y productivo. A los que creyeron en mí.

Índice de contenidos

I.	RESUMEN EJECUTIVO	5
II.	ABSTRACT	6
III.	INTRODUCCIÓN	7
IV.	OBJETIVOS	8
V.	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	9
VI.	PRUEBAS Y RESULTADOS	23
	Pruebas	23
	Resultados	37
VII.	CONCLUSIONES	38
	Posibles mejoras de la aplicación.....	38
VIII.	GLOSARIO	39
IX.	ANEXOS	40
	Manual de Usuario	40
	RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546-4	43
	SubTel fija norma técnica ISDB-T relativa al detalle de método de cálculo de la zona de servicio para radiodifusión de de TVD.....	48

Índice de figuras

Figura V.1 – Jerarquía de funciones Javascript de la aplicación web	9
Figura V.2 – Esquema de cálculo de distancia sobre el planeta Tierra.	18
Figura V.3 – Módulo de implementación de Recomendación UIT-R P.1546-4	19
Figura V.4 – Ejemplo ángulo de despejamiento para cálculo de altura efectiva (h_1).....	21
Figura IX.1 – Instrucciones de uso de la aplicación web	40
Figura IX.2 – Interfaz de la aplicación web.....	40
Figura IX.3 – Ubicación de antena transmisora/de base.....	41
Figura IX.4 – Vista de zonas y radiales	41
Figura IX.5 – Cobertura de señal emitida por antena transmisora/de base	42
Figura IX.6 – Ventana de información del punto receptor/terminal.....	42
Figura IX.7 – Curvas de intensidad de campo para 100 [MHz], trayecto terrestre, 50% del tiempo	50
Figura IX.8 - Curvas de intensidad de campo para 600 [MHz], trayecto terrestre, 50% del tiempo	51
Figura IX.9 - Curvas de intensidad de campo para 2000 [MHz], trayecto terrestre, 50% del tiempo	52

I. RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente, existen en el mercado softwares de simulación de radioenlaces que permiten predecir la propagación de ondas electromagnéticas y su comportamiento en un entorno cercano, sin embargo dado que no permiten modificaciones en la implementación de su código fuente, surge la idea de desarrollar un software de simulación de radioenlaces, con características de software libre, que permita la manipulación de sus algoritmos con el objetivo de realizar mejoras y ajustes en su aplicación de manera que se pueda actualizar según necesidades y requerimientos del usuario.

El desarrollo se basa en el método que describe la Recomendación UIT-R P.1546-4 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el cual opera con la interpolación/extrapolación de curvas de intensidad de campo deducidas empíricamente en función de: la distancia, la altura de la antena, la frecuencia y el porcentaje de tiempo, además de incluir correcciones de los resultados que se obtienen de la interpolación/extrapolación a fin de reflejar el despejamiento del terreno y los obstáculos que obstruyen el terminal. La aplicación web desarrollada evalúa la intensidad de campo, desde una antena transmisora hacia varios receptores (punto a multipunto) considerando el relieve particular del terreno, lo que permite obtener una estimación de cobertura realista. Este software tiene la ventaja que se puede ajustar editando el código fuente (archivos que contienen los algoritmos programados), de manera de satisfacer necesidades técnicas de su uso.

Como resultado de este proceso, se ha desarrollado una aplicación web que permite evaluar, a través una simulación de escenarios reales, la propagación de ondas electromagnéticas para obtener información de cobertura de la señal emitida, logrando así una herramienta de apoyo al diseño de sistemas de transmisión, tanto para uso docente como para el ejercicio de la ingeniería.

En particular, el desarrollo está orientado en principio a dar apoyo al cálculo y planificación de cobertura de transmisión de Televisión Digital (TVD), exigido por la Subsecretaría de Telecomunicaciones de (SubTel), para las solicitudes de conseción de frecuencias de canales de TV en la nueva norma digital adoptada por Chile, ISDB-Tb¹.

Palabras Clave.

UIT, Recomendación UIT-R P.1546-4, radioenlaces, propagación y cobertura de ondas de radio, cobertura, Javascript, aplicación web.

¹ <http://www.subtel.gob.cl/gobierno-de-chile-adopta-norma-de-television-digital-para-el-pais/>

II. ABSTRACT

Currently, there are in the software simulation radio links market that predict the propagation of electromagnetic waves and their behavior in a close environment, but because they do not allow changes in the implementation of its source code, arises the idea of developing software simulation of radio links, with characteristics of free software, that allows manipulating their algorithms in order to make improvements and adjustments to its application so that it can be updated by user needs and requirements.

The development is based on the method described Recommendation ITU-R P.1546-4 of the International Telecommunication Union, which operates with interpolation/extrapolation of field strength curves derived empirically based on: distance, antenna height, frequency and percentage of time, and includes corrections of the results obtained from the interpolation/extrapolation to reflect the terrain clearance and obstacles that obstruct the terminal. The web application developed evaluates the field strength from a transmitting antenna to multiple receivers (point to multipoint) considering the particular relief of the terrain, which allows for an estimate of realistic coverage. This software has the advantage that can be set by editing the source code (files containing programming algorithms), so as to meet technical requirements of use.

As a result of this process, has developed a web application that allows to evaluate, through real scenarios simulation, the propagation of electromagnetic waves to get information coverage of the emitted signal, thus achieving a tool design support systems transmission, both for teaching purposes and for the practice of engineering.

Particularly, the development is oriented in principle to support the calculation and planning of Digital Television (DTV) coverage, required by the Undersecretariat of Telecommunications (SubTel), for applications frequency consecución of TV channels for the new digital standard adopted by Chile, ISDB-Tb¹.

Keywords.

ITU, ITU-R P.1546-4 Recommendation, radiolink, propagation and coverage radiowaves, coverage, Javascript, web application.

III. INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de renovar y mejorar el servicio de televisión analógica en el país, el Gobierno de Chile a través de la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel), decidió adoptar la norma ISDB-T, como el nuevo estándar para implementar el servicio de televisión digital (TVD).

El estándar, creado en Japón y mejorado en Brasil, es la opción que resulta más conveniente para Chile porque permite la mejor calidad de recepción, dadas las condiciones geográficas del país. Permite la captación de televisión abierta gratuita en celulares, así como desplegar alta definición y una mayor diversidad de canales, beneficiando a los televidentes.

Para la planificación de cobertura de las transmisiones de TVD, la SubTel ha dispuesto que los cálculos se basen en la recomendación UIT-R P.1546-5. Las recomendaciones UIT-R, constituyen una serie de normas técnicas internacionales desarrolladas por el Sector de Radiocomunicaciones de UIT.

Las normas son el resultado de análisis y observaciones efectuados por las Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones sobre la utilización de una amplia gama de servicios inalámbricos tales como: comunicaciones móviles, radiodifusión terrenal, radiocomunicaciones por satélite, emisoras de frecuencia modulada (FM), emisoras de televisión digital (TVD), entre otros.

La Recomendación UIT-R P.1546-4, "Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 [MHz]", describe un método de predicción de propagación radioeléctrica que permite obtener una predicción de la intensidad de la señal según la distancia, frecuencia, altura de antenas, disponibilidad en espacio y tiempo, tipo de clima, entre otros.

Su uso está pensado para enlaces radioeléctricos troposféricos sobre trayectos terrestres, marítimos o mixtos (terrestre-marítimo), cuyas longitudes se encuentren de 1 a 1.000 [Km], para alturas efectivas de antenas de transmisión menores a 3.000 [m].

El presente trabajo desarrolla una aplicación web que, basada en la recomendación UIT-R P.1546-4, permite predecir la cobertura que entrega la emisión de una antena base. La aplicación está orientada principalmente al cálculo de cobertura de canales de TVD, pero también tiene aplicación en general que permite estudiar el modelo de canal y norma considerada, para fines docentes en la enseñanza de propagación electromagnética en ingeniería de telecomunicaciones.

IV. OBJETIVOS

Con la finalidad de disponer de una herramienta de predicción de cobertura para uso docente y de ingeniería, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar una aplicación web que permita simular escenarios reales para predecir la propagación de señales de radio.

La aplicación deberá tener una interfaz gráfica simple, intuitiva y de fácil manejo. Los parámetros de diseño deben ser configurables de forma que se pueda seleccionar el grado de precisión y aproximación de la simulación.

La resolución de los escenarios a considerar deberá explotar al máximo los recursos disponibles (Google Maps) en cuanto a perfil del terreno.

La simulación deberá considerar cálculo de enlaces punto a punto, y punto a multipunto (cobertura), con representación gráfica del perfil del terreno y variables para el caso punto a punto, y con una representación gráfica de zonas de cobertura (definiendo el umbral de intensidad) y niveles de señal asociados para el caso punto a multipunto.

V. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

La implementación y desarrollo de la aplicación web de Cálculo de Cobertura y Radioenlaces se puede dividir principalmente en dos partes: capa de presentación (front-end), que es básicamente la interfaz con la que el usuario ocupa la aplicación y la capa de datos (back-end), encargada de procesar los datos ingresados por el usuario para que la simulación realice los cálculos pertinentes.

Para el front-end, se utilizan los lenguajes para elaboración de páginas web HTML y CSS. El back-end se desarrolla en lenguaje Javascript, con el fin de explotar la librería de funciones que provee la API de Google Maps².

El esquema que describe la interrelación de los archivos Javascript que implementan las diversas funciones de la aplicación, es el que se muestra en la Figura V.1.

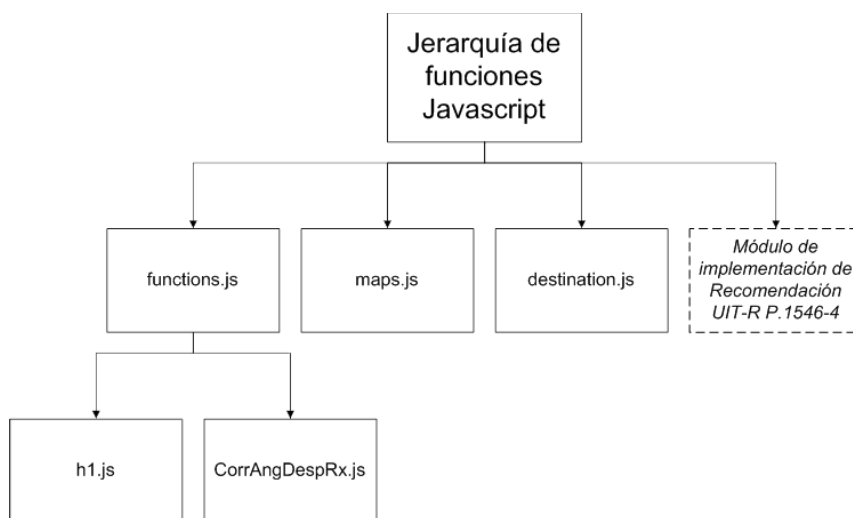


Figura V.1 – Jerarquía de funciones Javascript de la aplicación web

Donde,

functions.js: Recoge y almacena variables seteadas por el usuario. La principal función de este archivo es generar el arreglo de datos que contiene, entre otros, latitud, longitud y altura de cada posición de la cual se desea obtener información de intensidad de campo eléctrico. Haciendo uso del objeto Elevation Service, de la API de Google Maps, se obtiene información de altura del perfil del terreno. Dicho programa, es el que se especifica en el código que se detalla a continuación.

```
% var elevator = new google.maps.ElevationService;  
% var latitud;  
% var longitud;  
% var lat_tmp;
```

² Biblioteca de funciones que Google provee, para ser usadas en otras aplicaciones <https://developers.google.com/maps/>

```

% var lng_tmp;
% var destLatLng;
% var altura;
% var circleArray = [];
% var pinColor;
% var data;
% var markersArray = [];
% var H;
% var h1;
% var cb_count;
% var cb_limit;
% var corr_pot;
% var alturas;
%
%
% function setVars() {
%     nrZones = parseInt(document.getElementById("zones").value); // Número de zonas
%     nrRadiales = parseInt(document.getElementById("radiales").value);
%     land_sea = parseInt(document.getElementById("pathType").value);
%     urban_suburban_rural =
parseInt(document.getElementById("enviromentType").value);
%     f = parseInt(document.getElementById("freq").value);
%     distance = parseInt(document.getElementById("dist").value);
%     h_a = parseInt(document.getElementById("h_a").value);
%     h2 = parseInt(document.getElementById("h2").value);
%     tPct = parseInt(document.getElementById("tPct").value);
%     lPct = parseInt(document.getElementById("lPct").value);
%     mobile = (document.getElementById("mobile").value === "true");
%     indoor = (document.getElementById("indoor").value === "true");
%     pot_tx = parseFloat(document.getElementById("pot_tx").value);
%     gao = parseFloat(document.getElementById("gao").value);
%     lc = parseFloat(document.getElementById("lc").value);
%     altTx = parseFloat(document.getElementById("alt").value);
%     threshold = parseInt(document.getElementById("umbral").value);
%
%     h_tx = altura;
%
%     corr_pot = 10*Math.log10(pot_tx) + gao - lc;
%
%     dz = (distance*1000)/nrZones; // Distancia entre zonas
% }
%
% $('#map-canvas').click(function(){
%     displayLocationElevation(latLng, elevator);
%     document.getElementById("viewZones").disabled = false;
%     document.getElementById("showMarkers").disabled = true;
% });
%
%
% function bubbleSort(a, par) {
%     var swapped;
%     do {

```

```

%         swapped = false;
%         for (var i = 0; i < a.length - 1; i++) {
%             if (a[i][par] > a[i + 1][par]) {
%                 var temp = a[i];
%                 a[i] = a[i + 1];
%                 a[i + 1] = temp;
%                 swapped = true;
%             }
%         }
%     } while (swapped);
% }
%
% function infoPos() {
%     var infowindow = new google.maps.InfoWindow();
%     var marker, i;
%     for (i = 0; i < markersArray.length; i++) {
%         marker = markersArray[i];
%         google.maps.event.addListener(marker, 'click', (function(marker, i) {
%             return function() {
%
%                 infowindow.setContent("<table><tr><td>Latitud</td><td>:</td><td>"      +
% (data[i].lat).toFixed(6) +
%                 " °</td></tr><tr><td>Longitud</td><td>:</td><td>"
% + (data[i].lng).toFixed(6) +
%                 "
%                 °</td></tr><tr><td>Altura
% (s.n.m.)</td><td>:</td><td>" + (data[i].alt).toFixed(2) + " [m]" +
%                 "
%                 </td></tr><tr><td>Distancia a la antena
% transmisora/de base</td><td>:</td><td>" + ((data[i].radius)/1000).toFixed(2) +
%                 "
%                 [Km]</td></tr><tr><td>Intensidad de campo
% recibida</td><td>:</td><td>" + (data[i].strength).toFixed(3) +
%                 "
%                 [dB(μV/m)]</td></tr></table>");
%                 infowindow.open(map, marker);
%             }
%         })(marker, i));
%     }
% }
%
% function callback (index, zona, ang, d, strengthField){
%     var elevation_cb = function (results, status) {
%         if (status === google.maps.ElevationStatus.OK) {
%             if (results[0]) {
%                 data.push({
%                     lat: results[0].location.lat(),
%                     lng: results[0].location.lng(),
%                     alt: results[0].elevation,
%                     strength: null,
%                     zona: zona,
%                     index: index,
%                     angle: ang,
%                     radius: d,
%                     h1: null,
%                     corrAngDes: null

```

```

%             });
%             cb_count++;
%             if (cb_count == cb_limit){
%                 document.getElementById("overlay").style.zIndex =
-1;
%                 document.getElementById("overlay").style.opacity
= 0;
%                 document.getElementById("showMarkers").disabled =
false;
%             }
%         } else {
%             alert("API Google Status: " + status);
%         }
%     }
%     return elevation_cb;
% }
%
% function getH() {
%     H = [];
%     var h;
%     // recorrer index
%     for (i=0; i<nrRadiales; i++) {
%         h = {};
%         // recorrer zonas
%         for (j=0; j<nrZones; j++) {
%             aux = nrRadiales*j+(j+i);
%             h[j] = data[aux].alt;
%         }
%         H.push(h);
%     }
% }
%
% function setH(alt, i) {
%     for (j=0; j<nrZones; j++) {
%         aux = nrRadiales*j+(j+i);
%         data[aux].h1 = alt[j];
%     }
% }
%
% function setCorrAngDes(corr, i) {
%     for (j=0; j<nrZones; j++){
%         aux = nrRadiales*j+(j+i);
%         data[aux].corrAngDes = corr[j];
%     }
% }
%
% function loss () {
%     Frequency = f;
%     for(i=0; i<data.length; i++){
%         if (data[i].h1 < 0){
%             data[i].h1 = 0;

```

```

%         }
%         if (data[i].alt < 0){
%             data[i].alt = 0;
%         }
%         data[i].strength = corr_pot + data[i].corrAngDes +
ITU1546_4(land_sea,urban_suburban_rural, Frequency, ((data[i].radius)/1000),
data[i].h1, h_a, data[i].alt, tPct, lPct, mobile, indoor);
%     }
% }
%
% function displayLocationElevation(location, elevator) {
%     // Inicia la solicitud de ubicación
%     elevator.getElevationForLocations({
%         'locations': [location]
%     }, function (results, status) {
%         if (status === google.maps.ElevationStatus.OK) {
%             if (results[0]) {
%                 altura = results[0].elevation;
%                 document.getElementById("lat").value =
(latitud).toFixed(6) + " °";
%                 document.getElementById("lng").value =
(longitud).toFixed(6) + " °";
%                 document.getElementById("alt").value =
(altura).toFixed(4) + " [m]";
%             } else {
%                 alert("API Google Status: " + status);
%             }
%         }
%     });
% }
%
% function showMarkers() {
%     bubbleSort(data, 'index');
%     bubbleSort(data, 'zona');
%     getH();
%
%     if (H.length>1){
%         for (var z=0; z<H.length; z++){
%             alturas = [];
%             alturas = get_h1(H[z], distance, nrZones, (h_a + altTx));
%             setH(alturas, z);
%         }
%     }
%
%     var hatm = h_a + altTx;
%     for (z=0; z<H.length; z++) {
%         corrAngDes = [];
%         corrAngDes = CorrAngDespRx(H[z], distance, nrZones, hatm, h2, f);
%         setCorrAngDes(corrAngDes, z);
%     }
%
%     // copiar valor 'h1' y 'corrAngDes' del primer marcador de cada zona, en el último

```

```

marcador de cada zona
%   for (i=0; i<(data.length/nrRadiales - 1); i++){
%       var sup = (i+1)*nrRadiales + i;
%       var inf = i*nrRadiales + i;
%       if (sup < data.length) {
%           data[sup].h1 = data[inf].h1;
%           data[sup].corrAngDes = data[inf].corrAngDes;
%       }
%   }
%
%   loss();
%
%   var j = 1;
%   for(i=0; i<(data.length-nrZones); i++){
%       if (data[i].alt<0) {
%           data[i].alt = 0;
%       }
%   }
%
%   for(i=0; i<data.length; i++){
%       if (data[i].strength > threshold){
%           pointColor = "#00FF00"; // verde
%       } else if (data[i].strength > -80) {
%           pointColor = "#FF0000"; // rojo
%       } else {
%           pointColor = "#999999"; // gris
%       }
%
%       var levelIntensity = {
%           path: google.maps.SymbolPath.CIRCLE,
%           fillColor: pointColor,
%           fillOpacity: 1,
%           scale: 10,
%           strokeColor: pointColor,
%           strokeWeight: 3
%       };
%       var pinMarker = new google.maps.Marker({
%           position: {
%               lat: data[i]['lat'], lng: data[i]['lng']
%           },
%           icon: levelIntensity,
%           map: map
%       });
%       markersArray.push(pinMarker);
%   }
%
%   infoPos();
% }
%
% function deleteMarkers() {
%     for (var i = 0; i < markersArray.length; i++) {
%         markersArray[i].setMap(null);

```

```

%     }
%     markersArray = [];
%     data = [];
% }
%
% function hideMarkers() {
%     for (var i = 0; i < markersArray.length; i++) {
%         markersArray[i].setMap(null);
%     }
% }
%
% $('#viewZones').click(function(){
%     setVars();
%     data = [];
%     var earthRadius = 6370;
%     var j = 0; // contador de número de zonas (nrZones)
%     var k = 0;
%     var circle; // Arreglo que almacena {lat, lng} para crear perímetro de la zona[j]
%
%     document.getElementById("overlay").style.zIndex = 1;
%     document.getElementById("overlay").style.opacity = 1;
%     document.getElementById("viewZones").disabled = true;
%
%     while (j<nrZones) {
%         circle = [];
%         cb_count = 0;
%         cb_limit = nrZones * (nrRadiales + 1);
%         for(i=0; i<=nrRadiales; i++){
%             angle = (360/nrRadiales)*i;
%             dist = dz*(j+1);
%             var aux = destination(dist, angle, latitud, longitud);
%
%             elevator.getElevationForLocations({
%                 'locations': [{lat: aux['lat_tmp'], lng: aux['lng_tmp']}]
%             }, callback(i, j, angle, dist));
%
%             circle.push({lat: aux['lat_tmp'], lng: aux['lng_tmp']});
%         }
%
%         circleArray[j] = new google.maps.Polyline({
%             path: circle,
%             strokeColor: '#FF0000',
%             opacity: 1,
%             strokeWeight: 2
%         });
%
%         circleArray[j].setMap(map);
%
%         j++;
%         radius = radius + 0.05;
%     }
% });

```

```

%
% $('#hideMarkers').click(function(){
%     hideMarkers();
%     document.getElementById("showMarkers").disabled = false;
% });
%
% $('#showMarkers').click(function(){
%     showMarkers();
%     document.getElementById("showMarkers").disabled = true;
% });
%
% $("#modal button").click(function(){
%     $("#modal").css("zIndex", -10).css("opacity", 0);
% });

```

maps.js: Despliega en el navegador web, el mapa que provee Google Maps, donde se desplegará toda la información referida a la aplicación. El detalle del código, a continuación.

```

% var map;
% var latitud;
% var longitud;
% var latLng;
% var marker;
%
% function clearMap() {
%     // Si existe 1 marcador, lo elimina antes de crear uno nuevo.
%     if (marker) {
%         marker.setMap(null);
%         // Si existe circunferencia(s), la(s) elimina antes de crear una(s)
nueva(s).
%         if (circleArray != ""){
%             circleArray.forEach(function(entry){
%                 entry.setMap(null);
%             });
%         }
%     }
% }
%
% function addMarker() {
%     // ícono para marcador de posición de antena transmisora/de base
%     var cross = {
%         path: 'M -8,-8 8,8 M 8,-8 -8,8',
%         strokeColor: '#FF0000',
%         strokeWeight: 6,
%     };
%     marker = new google.maps.Marker({
%         position: latLng,
%         map: map,
%         icon: cross
%     });
% }

```

```

%
% // Carga el mapa.
% function initialize() {
%     map = new google.maps.Map(document.getElementById('map-canvas'), {
%         zoom: 11,
%         center: {lat: -33.034876, lng: -71.594350}
%     });
%
%     document.getElementById("viewZones").disabled = true;
%     document.getElementById("showMarkers").disabled = true;
%
%     if      (document.getElementById("lat").value      ==      ""      &&
document.getElementById("lng").value == "") {
%         google.maps.event.addListener(map, 'click', function (e) {
%             document.getElementById("viewZones").disabled = false;
%             deleteMarkers();
%
%             latLng = e.latLng;
%             latitud = latLng.lat();
%             longitud = latLng.lng();
%
%             clearMap();
%             addMarker();
%
%             // Información de posición del marcador central
%             var contentInfo = 'Latitud: ' + latitud + '\n\nLongitud: ' +
longitud;
%             var info = new google.maps.InfoWindow({
%                 content: contentInfo
%             });
%             marker.addListener('click', function(){
%                 info.open(map, marker);
%             });
%
%             // Al hacer click, centrar el mapa en el marcador
%             map.panTo(marker.getPosition());
%         });
%     }
% }
%
% google.maps.event.addDomListener(window, 'load', initialize);

```

destination.js: Uno de los factores importantes que incide directamente en la intensidad de campo eléctrico recibida por un receptor/terminal, es la distancia a la que se encuentra de la antena transmisora/de base. El planeta Tierra no es perfectamente esférico. Más bien se asemeja a una esfera achatada en los polos. Debido a esto, fue necesario recurrir a una función que pudiera calcular la distancia entre dos puntos cualquiera, sobre la superficie terrestre, lo más precisamente posible. La Figura V.2 grafica la situación.

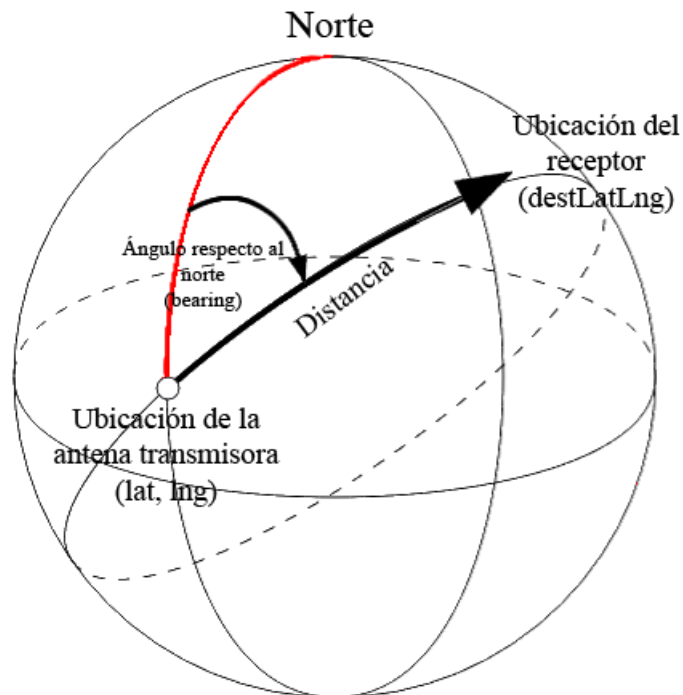


Figura V.2 – Esquema de cálculo de distancia sobre el planeta Tierra.

A continuación, se detalla el código que implementa la función *destination*.

```
% function toRad(degrees) {
%   return degrees * Math.PI / 180;
% };
%
% function toDeg(rad) {
%   return rad * 180 / Math.PI;
% };
%
% function destination(distance, bearing, lat, lng) {
%   /*
%   * distance      : metros
%   * bearing       : grados
%   * lat           : grados sexagesimales
%   * lng           : grados sexagesimales
%   */
%   var R = 6371000 - 6371000*0.01; // Radio terrestre en metros
%
%   var delta = distance / R; // angular distance in radians
%   var theta = toRad(bearing);
%
%   var lat_i = toRad(lat);
%   var lng_i = toRad(lng);
%
%           var lat_f = Math.asin(Math.sin(lat_i)*Math.cos(delta) +
Math.cos(lat_i)*Math.sin(delta)*Math.cos(theta));
%   var x = Math.cos(delta) - Math.sin(lat_i) * Math.sin(lat_f);
```

```

%   var y = Math.sin(theta) * Math.sin(delta) * Math.cos(lat_i);
%   var lng_f = lng_i + Math.atan2(y, x);
%
%   var destLatLng = {
%     lat_tmp : toDeg(lat_f),
%     lng_tmp : ((toDeg(lng_f)+540)%360-180)
%   };
%
%   return destLatLng;
% };

```

La implementación de la recomendación de la ITU, se basa en un conjunto de rutinas desarrolladas en Matlab, por Ahmed Saeed³, y adaptadas convenientemente para la presente aplicación.

La Figura V.3 muestra el árbol jerárquico de los archivos Javascript que componen en su totalidad el método de cálculo de intensidad de campo eléctrico.

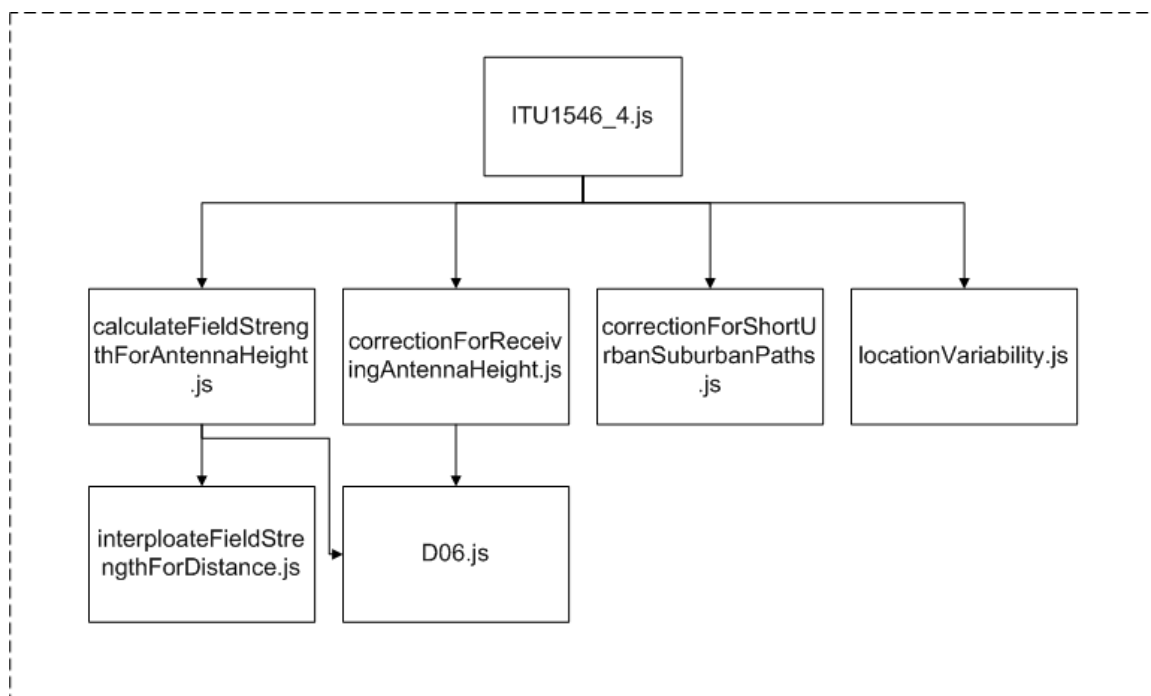


Figura V.3 – Módulo de implementación de Recomendación UIT-R P.1546-4

La descripción de la función que implementa cada uno de los archivos es la que sigue:

ITU1546_4.js: Calcula la pérdida por trayectoria de intensidad de campo eléctrico. Los parámetros y una breve descripción de ellos, a continuación:

³

http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/42638-path-loss-calculator-for-jtg-5-6-propagation-model/content/JTG5-6/ITU1546_4.m

Parámetro	Unidad	Definición	Límites
land_sea	Número	Tipo de ruta de propagación de la señal	1: Tierra 2: Mar
urban_suburban_rural	Número	Escenario de propagación de la señal	1: Urbano 2: Suburbano 3: Rural
Frequency	MHz	Frecuencia de operación	600-2.000 [MHz]
Distance	Km	Distancia desde la antena transmisora/de base hasta el receptor/terminal	0-100 [Km]
Ha	m	Altura de la antena transmisora/de base, sobre el perfil del terreno	Los límites se definen en los anexos de la recomendación UIT4.
h_2	m	Altura de la antena receptora/móvil sobre el perfil del terreno	Tierra: 1m < h_2 < 3.000m Mar: 3m < h_2 < 3.000m
tPct	%	Porcentaje de tiempo definido	1 ó 50
IPct	%	Porcentaje de variación de ubicaciones	1-99
Mobile	boolean	Define si el receptor es móvil o no	
Indoor	boolean	Define si el receptor se encuentra en interior o exterior de alguna edificación	

calculateFieldStrengthForAntennaHeight.js: Obtiene la intensidad de campo eléctrico rebasados en el 50% ubicaciones para una antena receptora/móvil a la altura representativa, por encima del suelo para la distancia requerida y la altura de la antena transmisora/de base.

correctionForReceivingAntennaHeight.js: Corrige la intensidad de campo eléctrico para la altura de la antena receptora/móvil.

correctionForShortUrbanSuburbanPaths.js: Si aplica, reduce la intensidad de campo eléctrico aplicando la corrección para rutas urbanas/suburbanas cortas. Si un trayecto de longitud inferior a 15 [Km] incluye edificaciones de alturas uniformes sobre el perfil del terreno, debe añadirse a la intensidad de campo una corrección representativa de la reducción de la intensidad de campo debida a los ecos de los edificios.

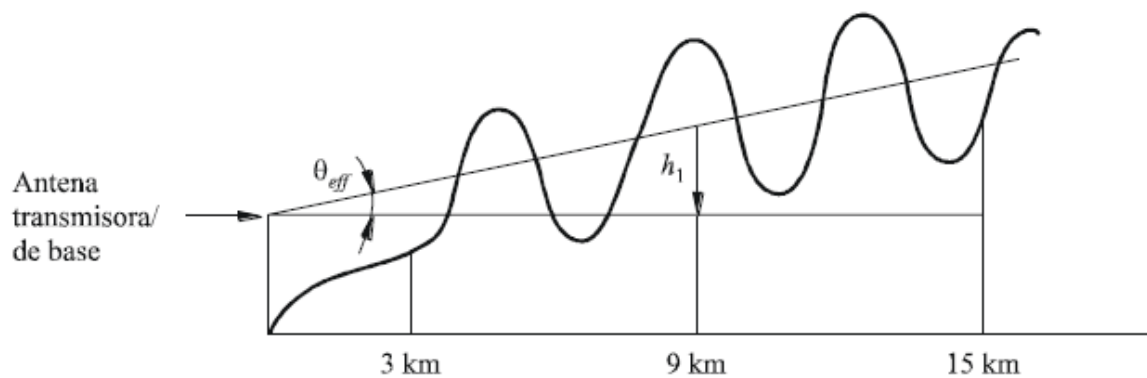
locationVariability.js: Si la intensidad de campo eléctrico de una antena receptora/móvil supera el porcentaje de ubicaciones en más de un 50%, la corrige para el porcentaje requerido de ubicaciones.

interploateFieldStrengthForDistance.js: Determina las distancias nominales superior e

inferior más cercana a la distancia requerida (distancia desde antena transmisora/de base hasta antena receptora/móvil). Si la distancia requerida coincide con un valor del Cuadro 1 de la recomendación ITU-R P.1546-4⁴, este valor deberá considerarse como distancia nominal inferior. Si la distancia requerida no coincide con la distancia nominal inferior, se debe obtener la distancia nominal superior para interpolar las dos intensidades de campo para la distancia.

Cálculo de altura de antena transmisora/de base (h_1)

Como lo indica la recomendación UIT-R P.1546-4, en el caso de contar con información del perfil del terreno, debe realizarse el cálculo de la altura de la antena transmisora/de base para obtener la altura efectiva de esta. El método estipula que h_1 será la altura sobre el nivel medio del terreno para distancias comprendidas en entre las distancias 3 y 15 [Km] en la dirección de la antena receptora/móvil. La implementación de esta función está contenida en el archivo *h1.js*. La Figura V.4 muestra un diagrama de dicha situación.



θ_{eff} : ángulo de despejamiento del terreno efectivo (positivo)

h_1 : altura de antena transmisora/de base utilizada para el cálculo

Figura V.4 – Ejemplo ángulo de despejamiento para cálculo de altura efectiva (h_1)

El detalle de la implementación de la función *h1.js*, es el que sigue:

```
% var h_result;
%
% function mean(arr, index) {
%     var i;
%     var sum = 0;
%     var prom;
%     for(i=0; i<=index; i++){
%         sum = sum + arr[i];
%     }
%     prom = sum/(index+1);
%     return prom;
% }
%
% function get_h1(H, D, N, ham) {
```

```

% // h_result: vector de alturas h1 de antena Tx respecto al terreno promedio
% // H: vector de alturas del terreno, sobre el nivel del mar
% // D: radio máximo de la zona, en km, debe ser >=3km
% // N: n° de tramos en que se divide D
% // ham: altura de la antena Tx, sobre el nivel del mar
%
% h_result = [];
% var delta = D/N;
% var i;
% var hm = [];
% if (D<=15){
%     // Calcula promedio de alturas desde los 3Km
%     for(i=(Math.ceil(3/delta)-1); i<N; i++){
%         hm[i] = mean(H,i);
%     }
% } else {
%     for(i=(Math.ceil(3/delta)-1); i<=Math.floor(15/delta); i++){
%         hm[i] = mean(H,i);
%     }
%
%     // Distancias >15Km, será igual al calculado para distancia = a 15Km
%     for(i=Math.floor(15/delta)+1; i<N; i++){
%         hm[i] = hm[Math.floor(15/delta)];
%     }
% }
%
% // Distancias <3Km, será igual al calculado calculado para distancia = a 3Km
% for(i=0; i<(Math.ceil(3/delta)-1); i++){
%     hm[i] = hm[Math.ceil(3/delta)-1];
% }
%
% for (i=0; i<hm.length; i++){
%     // if (ham > hm[i]){
%         h_result[i] = ham - hm[i];
%     // } else {
%         h_result[i] = 0;
%     // }
% }
%
% return h_result;
% }

```

VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas

A modo de pruebas de la aplicación web, se presenta a continuación dos escenarios para la evaluación de predicción de cobertura.

Para facilitar la interpretación de los resultados, los datos de cada una de las simulaciones serán agrupados por radial, de manera de poder ver de manera intuitiva el comportamiento de la atenuación de la señal a medida que esta se aleja del punto de emisión.

Los parámetros para la primera simulación (A) se configuran como se indica a continuación.

Información de ubicación de antena transmisora para simulación A

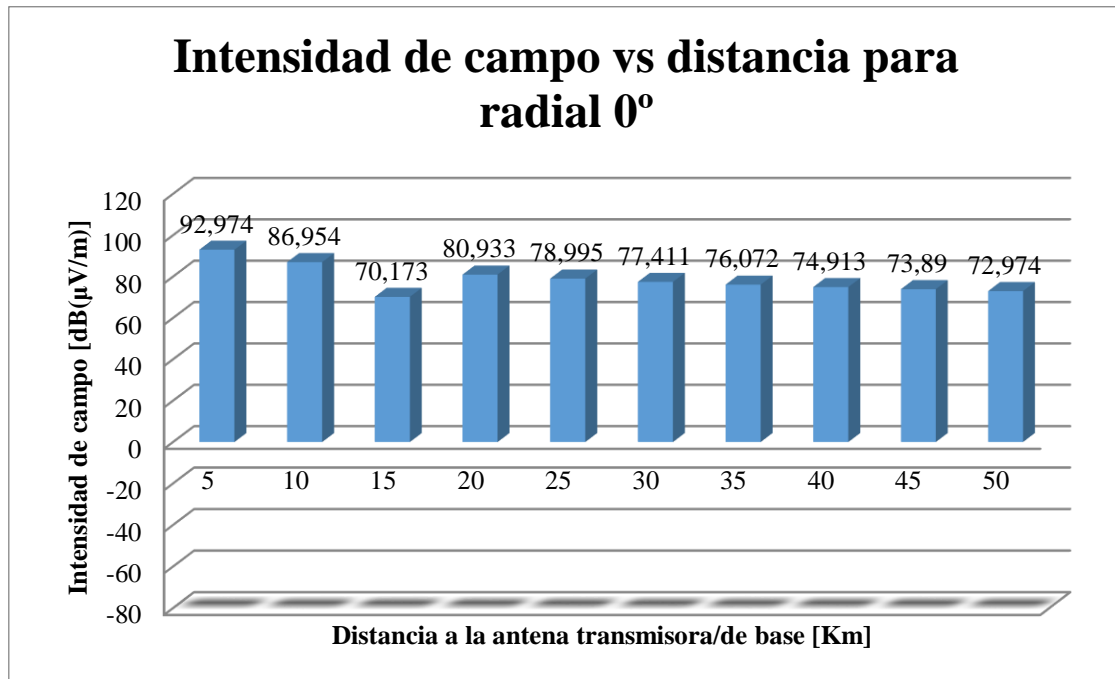
<i>Latitud</i>	-32,967195
<i>Longitud</i>	-70,705261
<i>Altitud</i>	1198,7715

Configuración de parámetros simulación A

<i>Radiales</i>	5
<i>Zonas</i>	10
<i>Tipo de ruta</i>	Tierra
<i>Tipo de entorno</i>	Urbano
<i>Frecuencia</i>	2000
<i>Distancia</i>	50
<i>Altura antena transmisora</i>	20
<i>Altura receptor</i>	2
<i>% de tiempo</i>	1
<i>% de ubicaciones</i>	1
<i>Móvil</i>	Sí
<i>Interior</i>	Sí
<i>Potencia de transmisión</i>	1
<i>Ganancia omnidireccional</i>	1
<i>Pérdidas de cable transmisor-antena</i>	1

RADIAL 0° - Simulación A				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,91025	-71,05682	471,1033	5	92,974
-32,86483	-71,05682	581,7658	10	86,954
-32,81941	-71,05682	345,2714	15	70,173
-32,77399	-71,05682	991,2294	20	80,933
-32,72857	-71,05682	1687,8102	25	78,995
-32,68315	-71,05682	1999,9209	30	77,411
-32,63773	-71,05682	2138,0706	35	76,072
-32,59231	-71,05682	2015,0107	40	74,913
-32,54689	-71,05682	2106,1287	45	73,890
-32,50147	-71,05682	871,8367	50	72,974

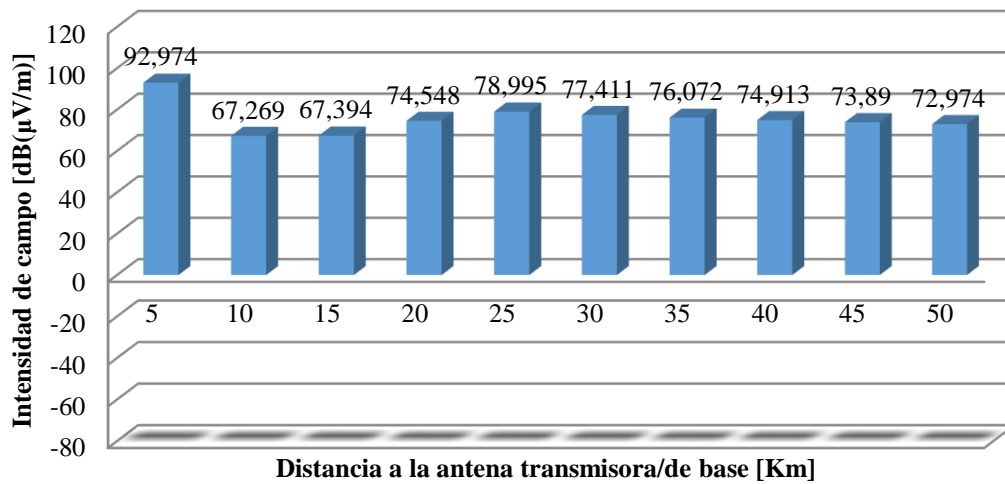
Tabla VI.1 – Resultado de simulación A para radial 0°



RADIAL 60° - Simulación A				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,93295	-71,00996	1078,7654	5	92,974
-32,91022	-70,96312	590,5762	10	67,269
-32,88746	-70,91630	436,3227	15	67,394
-32,86469	-70,86950	762,8895	20	74,548
-32,84190	-70,82273	833,5899	25	78,995
-32,81910	-70,77599	1438,7968	30	77,411
-32,79627	-70,72927	876,3433	35	76,072
-32,77343	-70,68257	705,2688	40	74,913
-32,75058	-70,63589	740,5475	45	73,89
-32,72770	-70,58924	890,6094	50	72,974

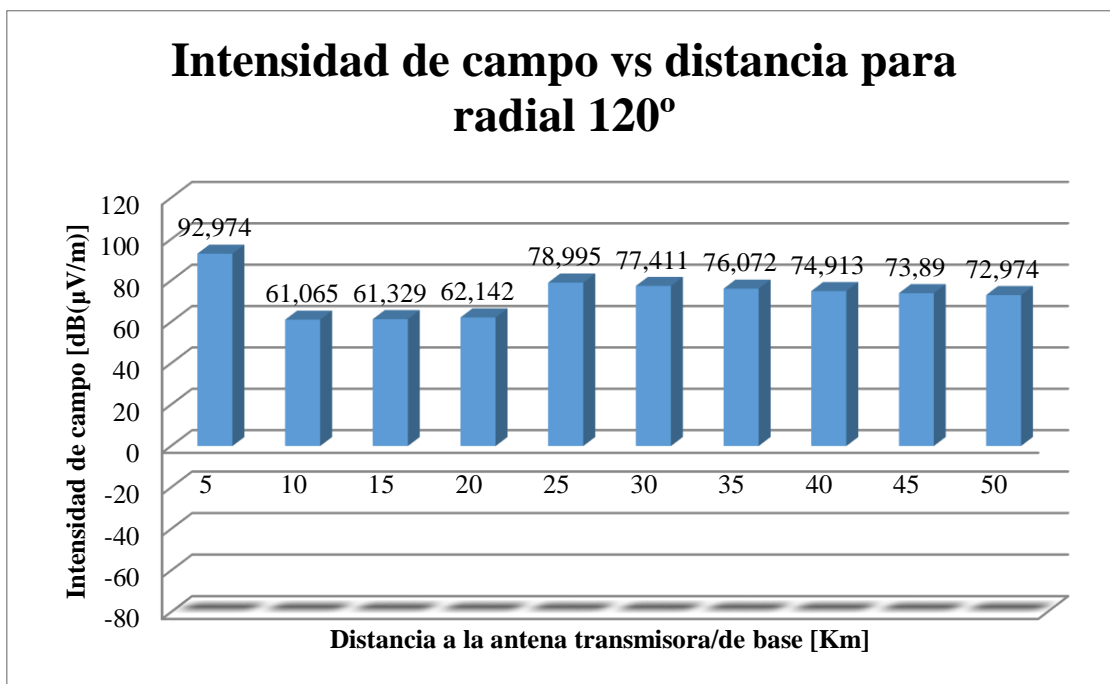
Tabla VI.2 - Resultado de simulación A para radial 60°

Intensidad de campo vs distancia para radial 60°



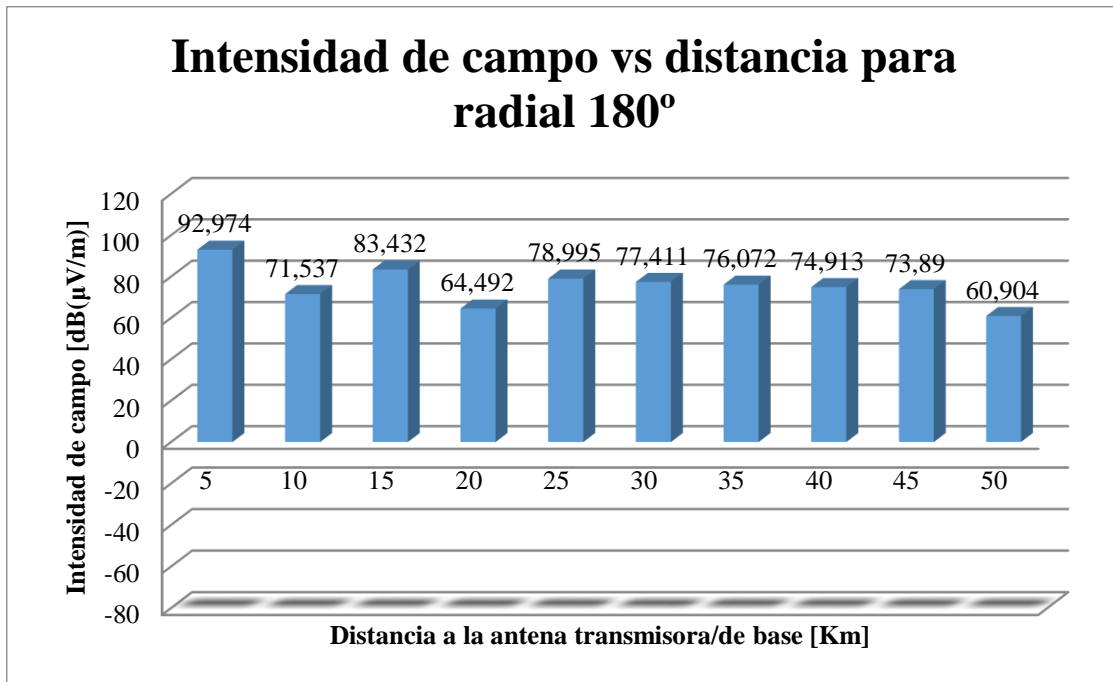
RADIAL 120° - Simulación A				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,97837	-71,00993	2050,2786	5	92,974
-33,00106	-70,96302	1060,8783	10	61,065
-33,02372	-70,91608	772,7005	15	61,329
-33,04637	-70,86912	742,7241	20	62,142
-33,06900	-70,82213	695,4595	25	78,995
-33,09162	-70,77512	587,4958	30	77,411
-33,11421	-70,72809	827,0793	35	76,072
-33,13679	-70,68103	678,2225	40	74,913
-33,15935	-70,63394	809,8691	45	73,890
-33,18189	-70,58683	1196,5338	50	72,974

Tabla VI.3 - Resultado de simulación A para radial 120°



RADIAL 180° - Simulación A				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-33,00109	-71,05682	871,0404	5	92,974
-33,04651	-71,05682	569,452	10	71,537
-33,09193	-71,05682	1159,6334	15	83,432
-33,13735	-71,05682	825,8661	20	64,492
-33,18277	-71,05682	1070,6073	25	78,995
-33,22819	-71,05682	1742,6846	30	77,411
-33,27361	-71,05682	606,8297	35	76,072
-33,31904	-71,05682	975,0148	40	74,913
-33,36446	-71,05682	795,204	45	73,890
-33,40988	-71,05682	234,4091	50	60,904

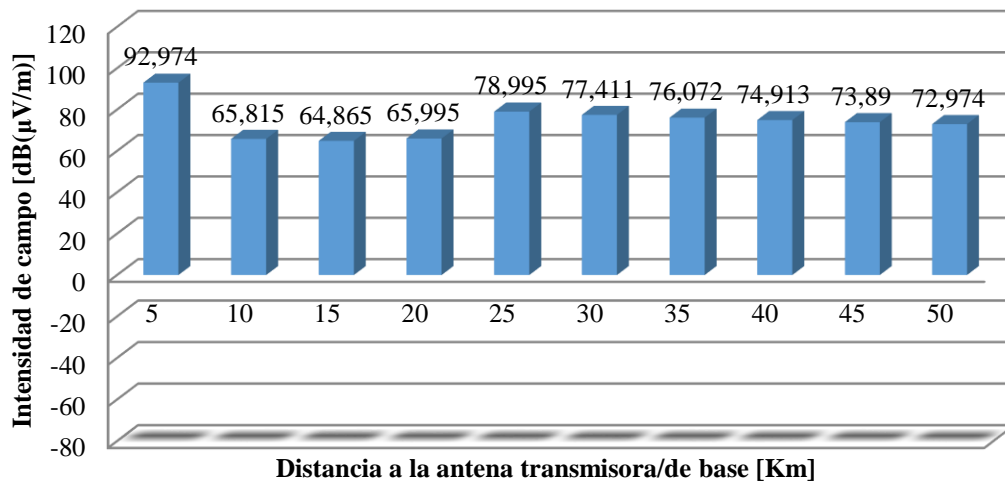
Tabla VI.4 - Resultado de simulación A para radial 180°



RADIAL 240° - Simulación A				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,97837	-71,10371	1003,9768	5	92,974
-33,00106	-71,15063	424,7886	10	65,815
-33,02372	-71,19757	142,6627	15	64,865
-33,04637	-71,24453	152,6316	20	65,995
-33,06900	-71,29152	434,1704	25	78,995
-33,09162	-71,33853	326,1466	30	77,411
-33,11421	-71,38556	216,9613	35	76,072
-33,13679	-71,43262	291,2283	40	74,913
-33,15935	-71,47971	400,5998	45	73,890
-33,18189	-71,52681	398,8398	50	72,974

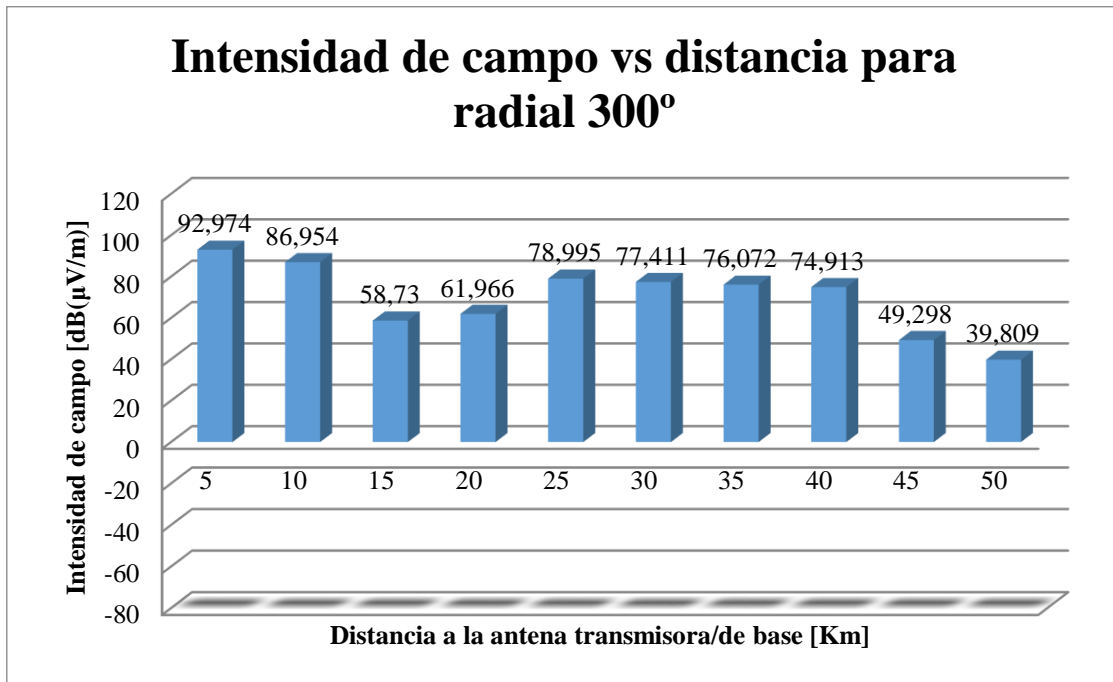
Tabla VI.5 - Resultado de simulación A para radial 240°

Intensidad de campo vs distancia para radial 240°



RADIAL 300° - Simulación A				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,93295	-71,10369	788,4919	5	92,974
-32,91022	-71,15053	1033,353	10	86,954
-32,88746	-71,19735	162,8097	15	58,730
-32,86469	-71,24414	136,0000	20	61,966
-32,84190	-71,29091	407,3712	25	78,995
-32,81910	-71,33766	697,4525	30	77,411
-32,79627	-71,38438	106,9532	35	76,072
-32,77343	-71,43108	68,8136	40	74,913
-32,75058	-71,47775	11,4742	45	49,298
-32,72770	-71,52440	0,0000	50	39,809

Tabla VI.6 - Resultado de simulación A para radial 300°



Los parámetros para la segunda simulación (B) se configuran como se indica a continuación.

**Información de ubicación de antena
transmisora para simulación B**

<i>Latitud</i>	-33,017876
<i>Longitud</i>	-70,493774
<i>Altitud</i>	1974,6409

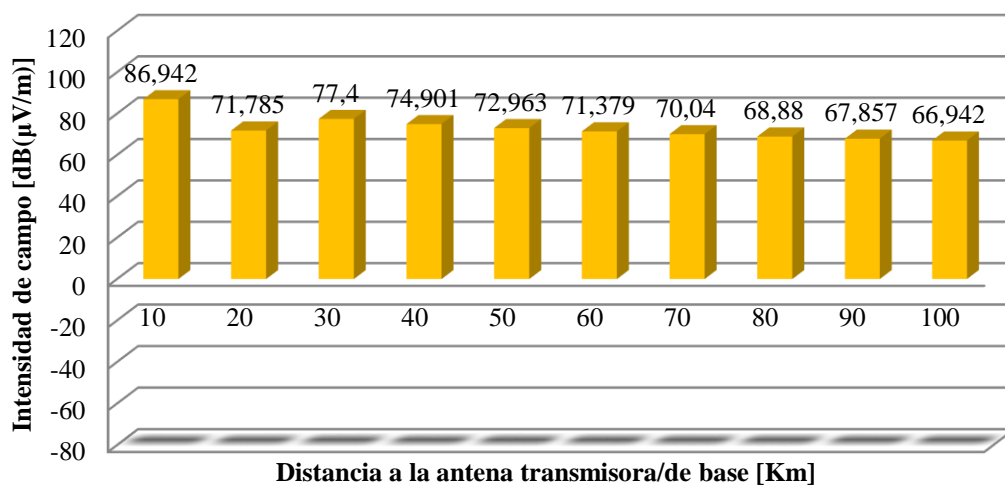
Configuración de parámetros simulación B

<i>Radiales</i>	6
<i>Zonas</i>	10
<i>Tipo de ruta</i>	Tierra
<i>Tipo de entorno</i>	Rural
<i>Frecuencia</i>	600
<i>Distancia</i>	100
<i>Altura antena transmisora</i>	50
<i>Altura receptor</i>	2
<i>% de tiempo</i>	50
<i>% de ubicaciones</i>	75
<i>Móvil</i>	Sí
<i>Interior</i>	Sí
<i>Potencia de transmisión</i>	1
<i>Ganancia omnidireccional</i>	1
<i>Pérdidas de cable transmisor-antena</i>	1

RADIAL 0° - Simulación B				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,92704	-70,49377	1669,0514	10	86,942
-32,83619	-70,49377	1332,9995	20	71,785
-32,74535	-70,49377	1480,0778	30	77,400
-32,65451	-70,49377	2357,7849	40	74,901
-32,56367	-70,49377	3239,7891	50	72,963
-32,47283	-70,49377	2425,8718	60	71,379
-32,38199	-70,49377	2671,1875	70	70,040
-32,29115	-70,49377	2611,4714	80	68,880
-32,20031	-70,49377	3283,9321	90	67,857
-32,10947	-70,49377	2674,9094	100	66,942

Tabla VI.7 - Resultado de simulación B para radial 0°

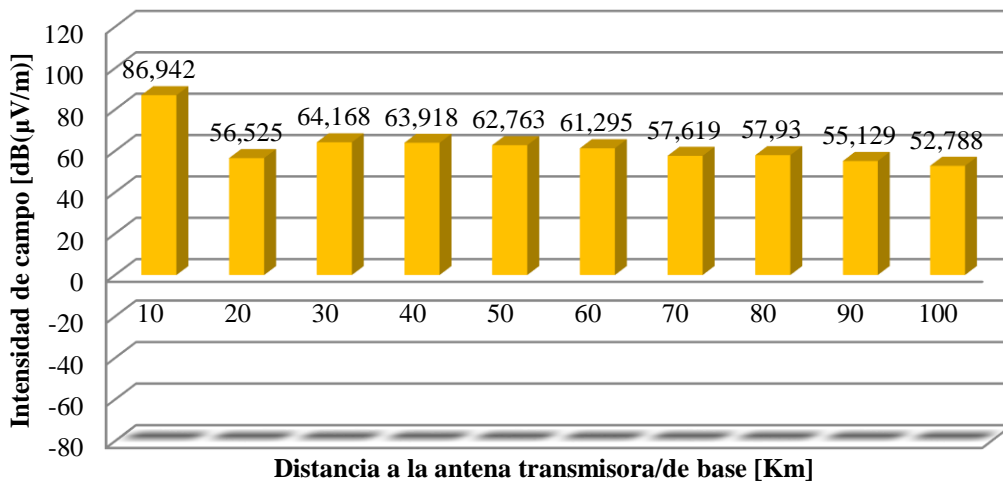
Intensidad de campo eléctrico vs distancia para radial 0°



RADIAL 60° - Simulación B				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,97242	-70,40000	2957,2847	10	86,942
-32,92690	-70,30632	2203,7095	20	56,525
-32,88130	-70,21274	1877,6969	30	64,168
-32,83564	-70,11926	3047,3203	40	63,918
-32,78990	-70,02587	3791,2214	50	62,763
-32,74410	-69,93258	4174,8184	60	61,295
-32,69823	-69,83938	3422,4485	70	57,619
-32,65228	-69,74628	4289,3667	80	57,930
-32,60627	-69,65327	3733,4407	90	55,129
-32,56020	-69,56036	3397,1172	100	52,788

Tabla VI.8 - Resultado de simulación B para radial 60°

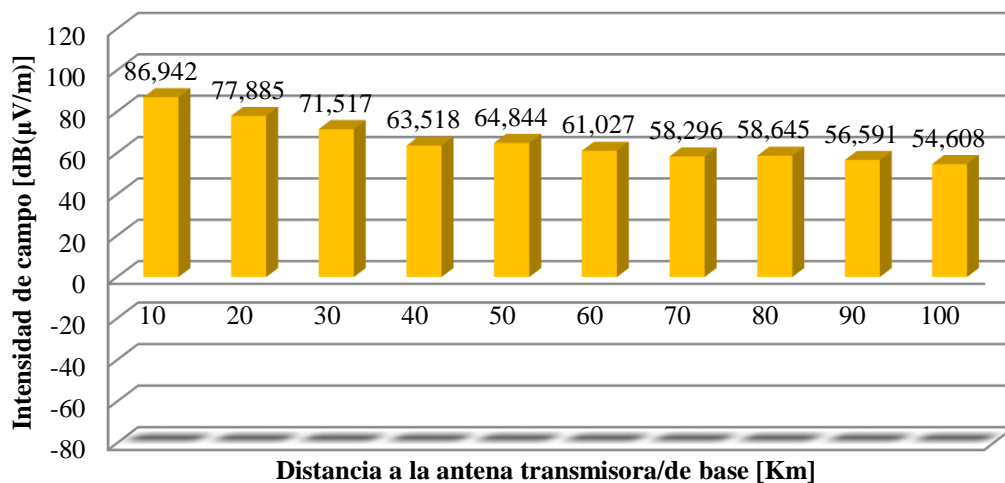
Intensidad de campo eléctrico vs distancia para radial 60°



RADIAL 120° - Simulación B				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-33,06326	-70,39990	3647,5085	10	86,942
-33,10858	-70,30594	3818,5029	20	77,885
-33,15382	-70,21187	4299,7197	30	71,517
-33,19899	-70,11771	2912,9565	40	63,518
-33,24410	-70,02345	4793,4868	50	64,844
-33,28913	-69,92910	4050,7798	60	61,027
-33,33409	-69,83464	3693,6565	70	58,296
-33,37898	-69,74009	4648,9824	80	58,645
-33,42379	-69,64544	4402,4707	90	56,591
-33,46854	-69,55070	4170,7876	100	54,608

Tabla VI.9 - Resultado de simulación B para radial 120°

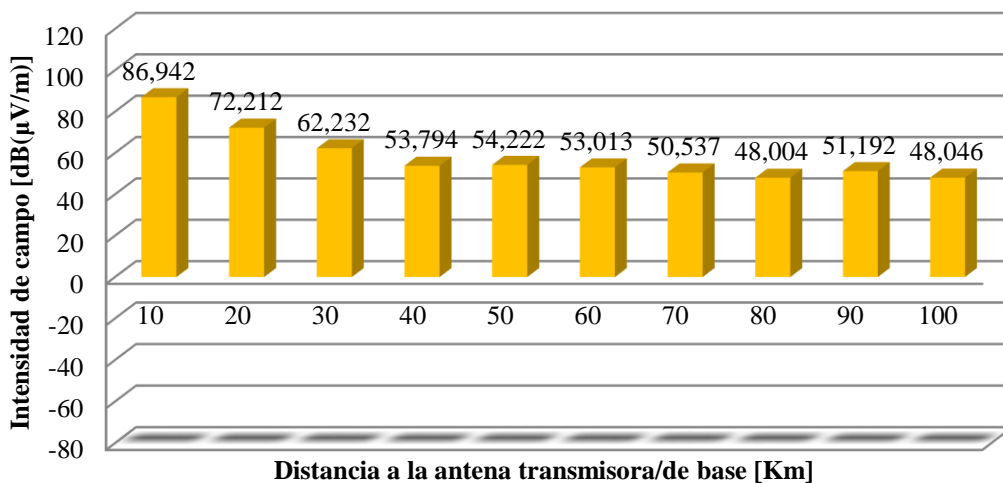
Intensidad de campo eléctrico vs distancia para radial 120°



RADIAL 180° - Simulación B				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-33,10872	-70,49377	2403,6226	10	86,942
-33,19956	-70,49377	2291,271	20	72,212
-33,29040	-70,49377	1509,5166	30	62,232
-33,38124	-70,49377	973,2141	40	53,794
-33,47208	-70,49377	1447,3911	50	54,222
-33,56292	-70,49377	1641,1461	60	53,013
-33,65376	-70,49377	1540,2876	70	50,537
-33,74460	-70,49377	1400,8999	80	48,004
-33,83544	-70,49377	2395,3005	90	51,192
-33,92628	-70,49377	1990,3018	100	48,046

Tabla VI.10 - Resultado de simulación B para radial 180°

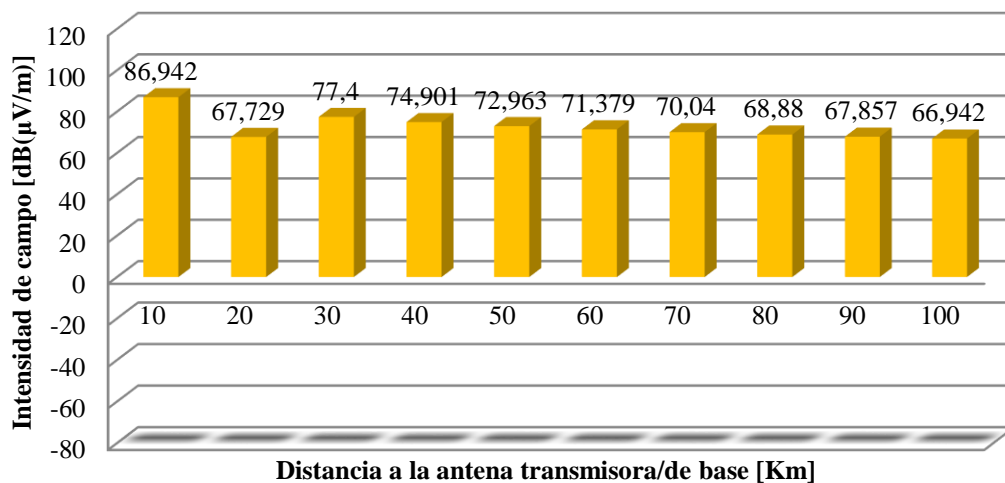
Intensidad de campo eléctrico vs distancia para radial 180°



RADIAL 240° - Simulación B				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-33,06326	-70,58765	1244,9669	10	86,942
-33,10858	-70,68161	703,5447	20	67,729
-33,15382	-70,77568	632,1801	30	77,400
-33,19899	-70,86984	603,4676	40	74,901
-33,24410	-70,96410	922,0665	50	72,963
-33,28913	-71,05845	592,5911	60	71,379
-33,33409	-71,15291	317,7413	70	70,040
-33,37898	-71,24746	502,0426	80	68,880
-33,42379	-71,34211	972,5517	90	67,857
-33,46854	-71,43685	398,5008	100	66,942

Tabla VI.11 - Resultado de simulación B para radial 240°

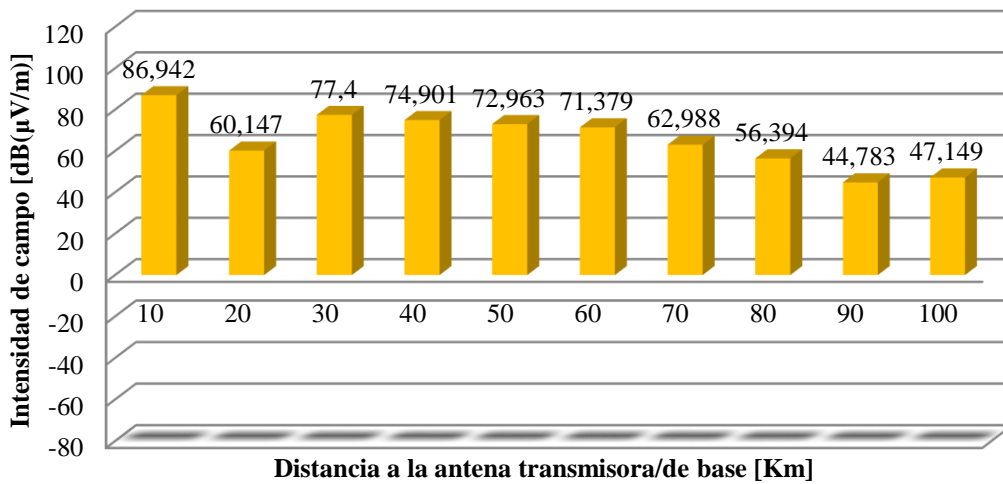
Intensidad de campo eléctrico vs distancia para radial 240°



RADIAL 300° - Simulación B				
Latitud °	Longitud °	Altura (m.s.n.m.)	Distancia a la antena transmisora [Km]	Intensidad de campo eléctrico [dB(μV/m)]
-32,97242	-70,58755	2303,9656	10	86,942
-32,9269	-70,68123	1046,8304	20	60,147
-32,88130	-70,77481	1308,9589	30	77,400
-32,83564	-70,86829	1031,0303	40	74,901
-32,78990	-70,96168	421,753	50	72,963
-32,74410	-71,05497	1596,54	60	71,379
-32,69823	-71,14817	344,3552	70	62,988
-32,65228	-71,24127	280,6588	80	56,394
-32,60627	-71,33428	121,4093	90	44,783
-32,56020	-71,42719	239,3837	100	47,149

Tabla VI.12 - Resultado de simulación B para radial 300°

Intensidad de campo eléctrico vs distancia para radial 300°



Resultados

Para hacer un análisis de los resultados, se presenta la siguiente tabla comparativa que contrasta la configuración de parámetros de los dos casos considerados. Se destaca que los parámetros que difieren entre sí, para cada uno de los casos son: Tipo de entorno, Frecuencia, Distancia, % de tiempo y % de ubicaciones.

	Simulación A	Simulación B
<i>Latitud</i>	-32,967195	-33,017876
<i>Longitud</i>	-70,705261	-70,493774
<i>Altitud</i>	1198,7715	1974,6409
<i>Radiales</i>	6	6
<i>Zonas</i>	10	10
<i>Tipo de ruta</i>	Tierra	Tierra
<i>Tipo de entorno</i>	Urbano	Rural
<i>Frecuencia</i>	2000	600
<i>Distancia</i>	50	100
<i>Altura antena transmisora</i>	20	50
<i>Altura receptor</i>	2	2
<i>% de tiempo</i>	1	50
<i>% de ubicaciones</i>	1	75
<i>Móvil</i>	Sí	Sí
<i>Interior</i>	Sí	Sí
<i>Potencia de transmisión</i>	1	1
<i>Ganancia omnidireccional</i>	1	1
<i>Pérdidas de cable transmisor-antena</i>	1	1

Del análisis de los gráficos de la sección de **Pruebas**, se aprecia que mientras más distante esté el receptor de la antena transmisora, menor será la intensidad de campo eléctrico recibida. Este comportamiento, como era de esperarse, responde a una tendencia general de la propagación de ondas electromagnéticas. Las disminuciones mayores que la tendencia se deben a la influencia de las obstrucciones del perfil del terreno, entre la antena transmisora/de base y el receptor/móvil.

VII. CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones generales de este trabajo se puede destacar que se logró cumplir con los objetivos planteados en cuanto a desarrollar una aplicación web para cálculo de cobertura basada en la recomendación UIT-R P.1546-4, que sirve como herramienta para fines docentes y de ingeniería, como es por ejemplo el cálculo de cobertura de canales de TVD, en el contexto de las solicitudes de concesión de la SubTel.

Tal como se planteó en los objetivos iniciales de este trabajo, la aplicación desarrollada permite que los parámetros de entrada sean configurables por el usuario para alcanzar niveles de precisión deseados, según las necesidades que el caso amerite.

En base a diversas pruebas realizadas, el software desarrollado ha demostrado que es una efectiva herramienta de apoyo al diseño de sistemas de telecomunicaciones en el ejercicio de la docencia e ingeniería.

El software permite la inclusión de otros modelos de propagación, que se pueden incorporar a la implementación del código fuente. Para esto, es necesario desarrollar el módulo correspondiente del modelo de propagación, e incluirlo tal como se hizo con el módulo de la Recomendación ITU-R P1546-4, indicado en la Figura V.1 .

Posibles mejores de la aplicación

- Desarrollar una interfaz que optimice la experiencia de usuario. El profesional indicado para esta labor es un Diseñador, con conocimientos en desarrollo de UX (User eXperience) y UI (User Interfaces).
- Optimización del código (funciones) implementadas en Javascript. Si bien es cierto, la aplicación cumple con el objetivo propuesto de poder simular la cobertura de la emisión de una antena, el código se puede mejorar para hacer el proceso más eficiente y de respuesta más rápida.

VIII. GLOSARIO

API	:	Application Programming Interface
CSS	:	Cascading Style Sheets
FM	:	Frecuencia Modulada
HTML	:	HyperText Markup Language
ISDB-T	:	Integrated Services Digital Broadcasting (Terrestrials)
PHP	:	Pre Hypertext Processor
p.r.a.	:	Potencia Radiada Aparente
SRTM	:	Shuttle Radar Topography Mission
TVD	:	Televisión Digital
UHF	:	Ultra High Frequency
UI	:	User Interface
UIT	:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UX	:	User Experience Design

IX. ANEXOS

Manual de Usuario

Para hacer uso de la aplicación, se debe acceder a ella a través de algún navegador web. Su dirección (URL) es <http://200.1.17.60/~scctvd/>.

Al ingresar, se desplegará un cuadro con información resumida del uso del software, como el que se indica en la Figura IX.1.

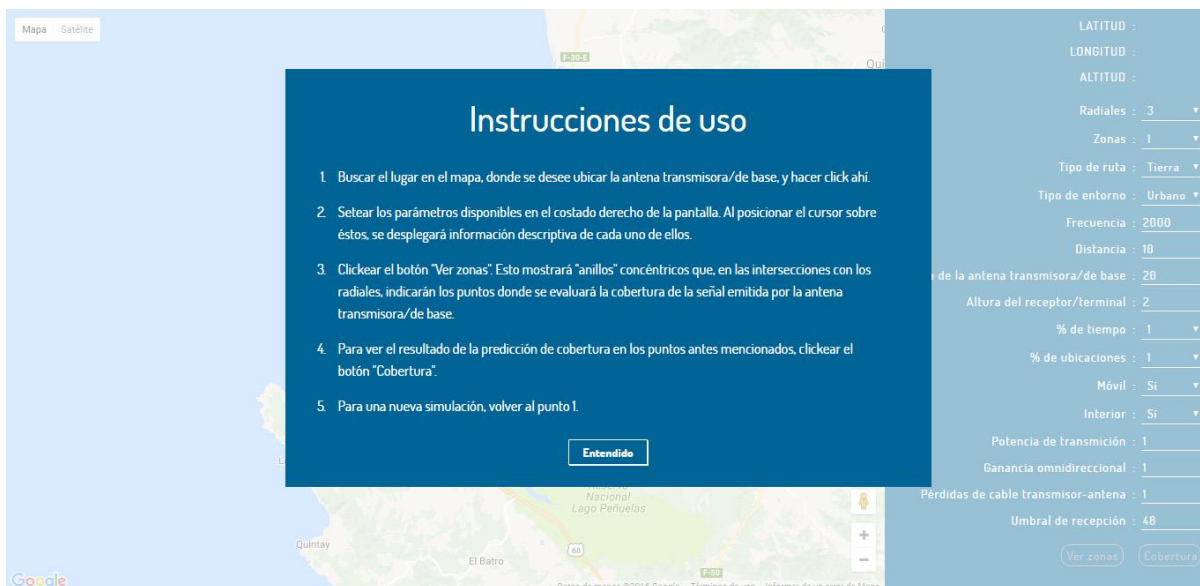


Figura IX.1 – Instrucciones de uso de la aplicación web

Al hacer click en el botón “Entendido”, se podrá observar la interfaz de la aplicación. Al costado derecho, se encuentran los parámetros disponibles a ser configurados para realizar la simulación de cobertura. Ver Figura IX.2.

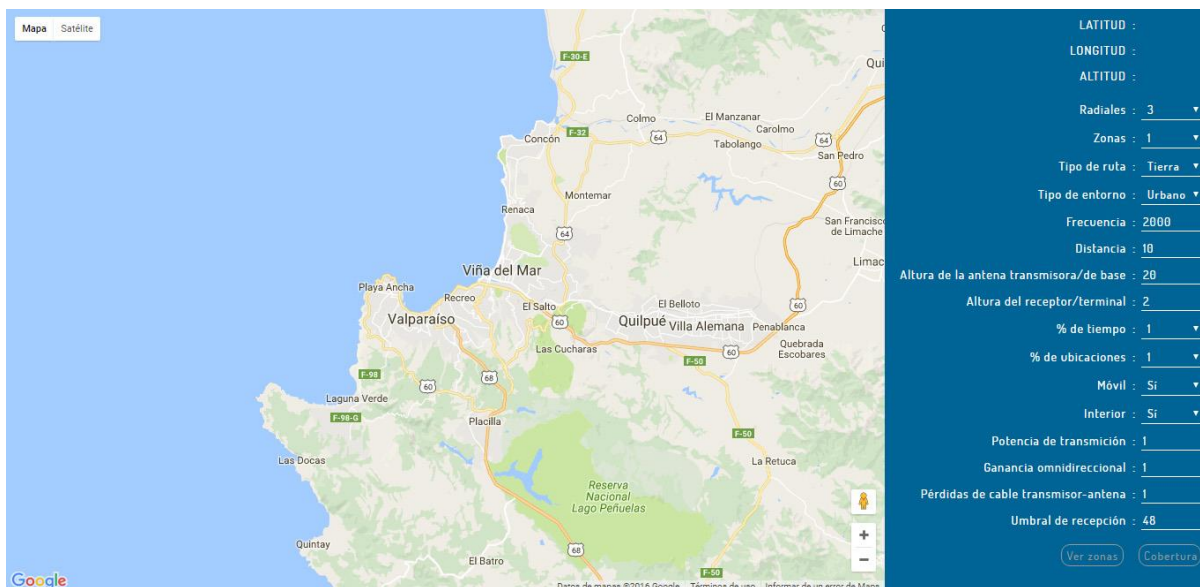


Figura IX.2 – Interfaz de la aplicación web

Lo primero que se debe hacer, para comenzar la simulación, es indicar con un click el lugar del mapa donde se desee ubicar la antena transmisora/de base. Esto dibujará un punto de color negro en el lugar anteriormente mencionado. Ver Figura IX.3.

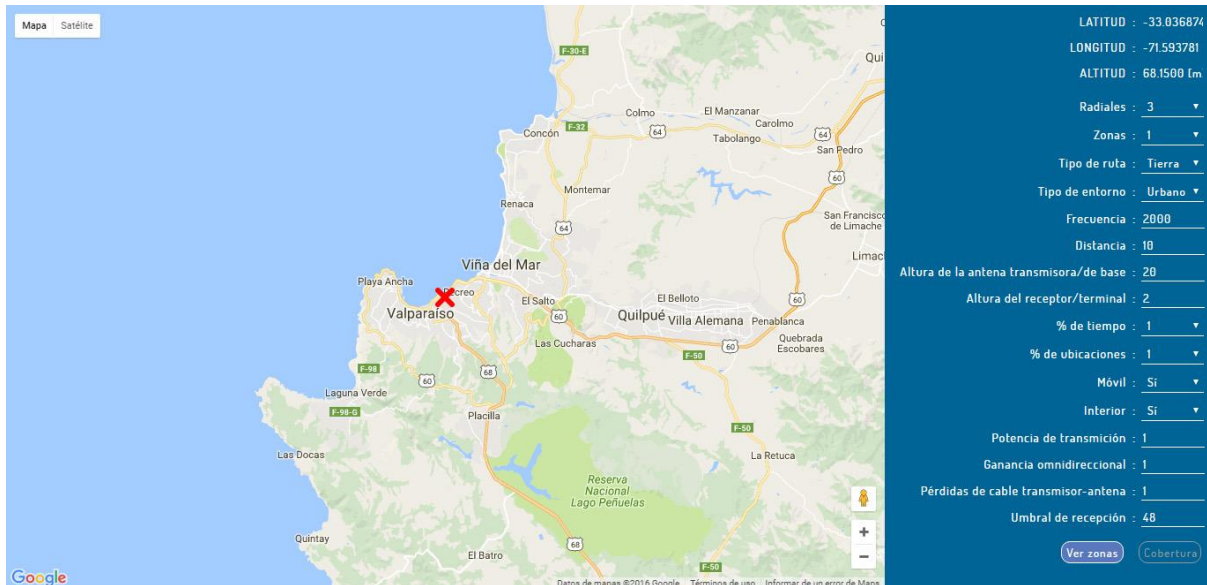


Figura IX.3 – Ubicación de antena transmisora/de base

A continuación, y una vez configurados todos los parámetros, se habilitará el botón “Ver zonas”. Al hacer click en él, el botón “Ver zonas” se vuelve a deshabilitar y se podrán ver dibujadas en el mapa, las zonas en las que se evaluará la cobertura de la señal emitida por la antena transmisora/de base.

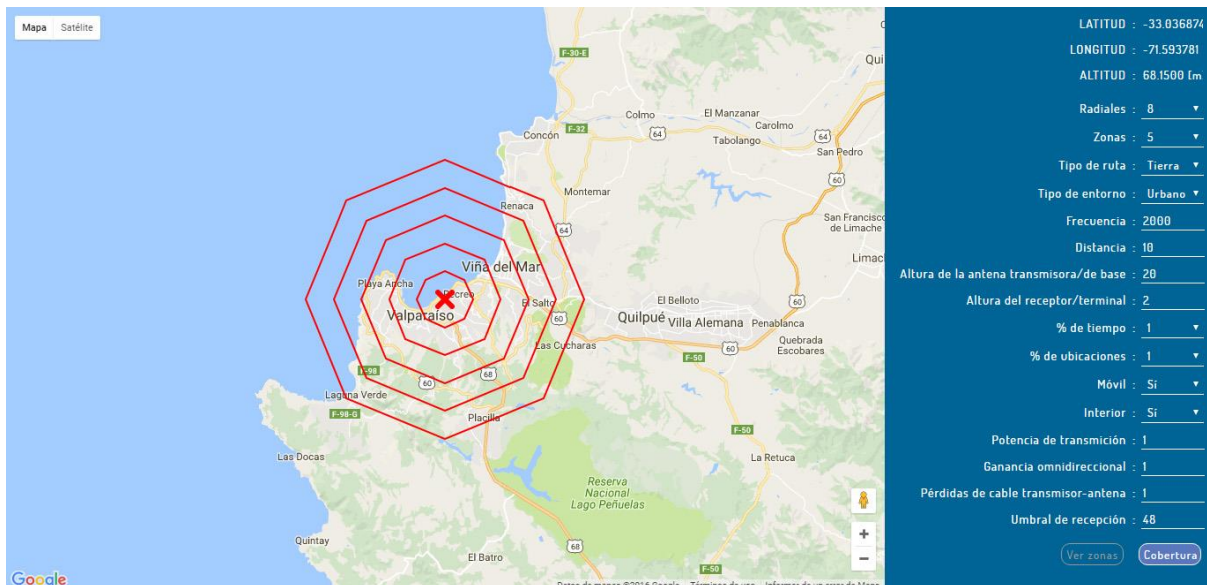


Figura IX.4 – Vista de zonas y radiales

Una vez desplegadas las zonas, se habilitará el botón “Cobertura”. Al hacer click en él, se mostrarán los puntos donde se hizo la medición de predicción de intensidad de campo eléctrico,

como se indica en la siguiente figura.

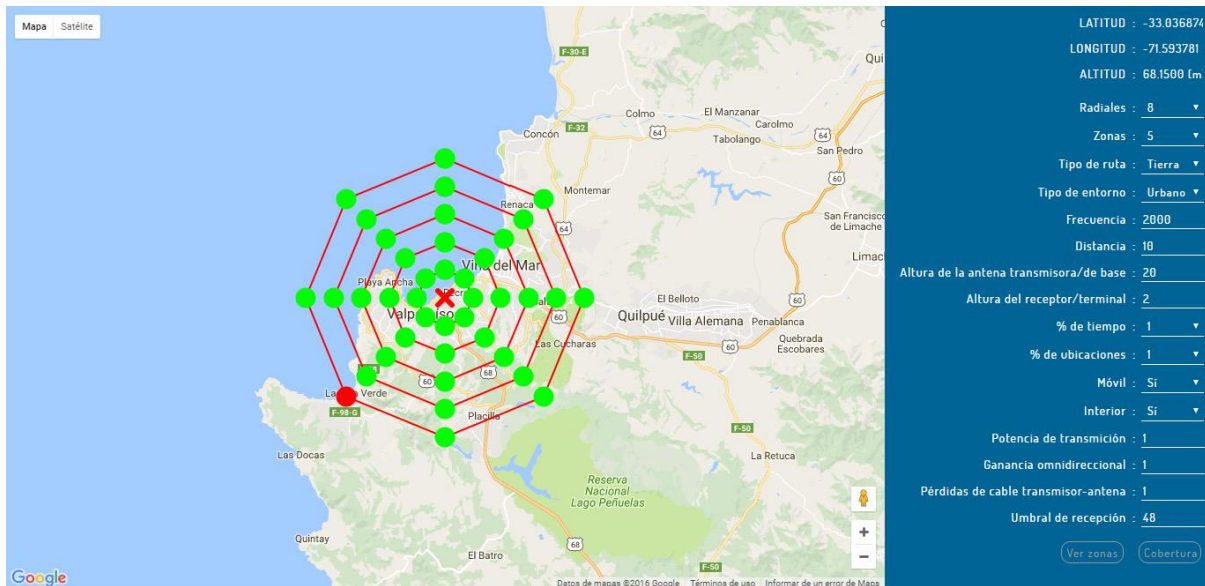


Figura IX.5 – Cobertura de señal emitida por antena transmisora/de base

Es importante destacar que, aquellos puntos que tengan una intensidad de campo eléctrico mayor o igual al Umbral de recepción ingresado, se marcarán con color verde. Aquellos que estén bajo dicho umbral, se marcarán con color rojo.

Para obtener información detallada de cada uno de los puntos, se puede hacer click en cada uno de ellos, lo que mostrará un cuadro como el que se ve a continuación.

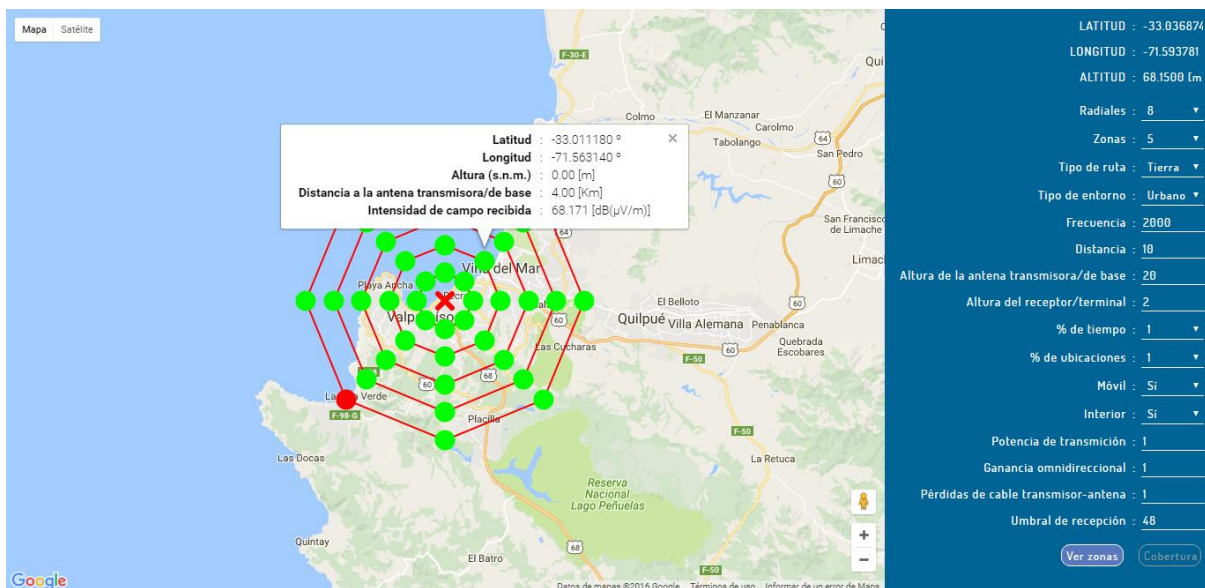


Figura IX.6 – Ventana de información del punto receptor/terminal

Para realizar una nueva simulación de cobertura, se debe indicar un nuevo punto en el mapa y repetir el proceso. Este paso es importante, ya que si no se indica un nuevo punto de ubicación de la antena en el mapa, y se vuelve a hacer click en “Ver zonas”, como resultado se obtendrá una serie de polígonos (zonas) que quedarán superpuestos a los de la simulación previa.

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546-4

A continuación, se describen las secciones más importantes de la recomendación UIT-R P.1546-4⁴.

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Cometido

En esta Recomendación se describe un método de predicción de propagación radioeléctrica punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 [MHz]. Se pretende utilizar este método en los circuitos radioeléctricos troposféricos en trayectos terrestres, trayectos marítimos y/o trayectos mixtos terrestre-marítimo entre 1-1 000 [Km] de longitud para alturas de antena de transmisión efectivas menores de 3 000 m. El método se basa en la interpolación/extrapolación de curvas de intensidad de campo deducidas empíricamente en función de: la distancia, la altura de la antena, la frecuencia y el porcentaje de tiempo. El procedimiento de cálculo incluye además correcciones de los resultados que se obtienen de la interpolación/extrapolación a fin de reflejar el despejamiento del terreno y los obstáculos que obstruyen el terminal.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, considerando:

- a) La necesidad de facilitar directrices a los ingenieros para la planificación de los servicios de radiocomunicaciones terrenales en las bandas de ondas métricas y decamétricas.
- b) La importancia de determinar la distancia geográfica mínima entre las estaciones que trabajan en canales que utilizan las mismas frecuencias o en canales adyacentes, a fin de evitar la interferencia inaceptable debida a la propagación troposférica a gran distancia.
- c) Que las curvas que aparecen en los Anexos 2, 3 y 4 se basan en el análisis estadístico de datos experimentales.

Observando

- a) Que la Recomendación UIT-R P.528 proporciona directrices sobre la predicción y la pérdida del trayecto de punto a zona para el servicio móvil aeronáutico en la gama de frecuencias 125 MHz a 30 GHz y para distancias de hasta 1 800 [Km].

⁴ Para más detalles de la recomendación, visitar https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-5-201309-I!!PDF-S.pdf

- b) Que la Recomendación UIT-R P.452 proporciona directrices para la evaluación detallada de la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,7 [GHz].
- c) Que la Recomendación UIT-R P.617 proporciona directrices sobre la predicción de la pérdida del trayecto punto a punto en sistemas de radioenlaces transhorizonte en frecuencias superiores a 30 [MHz] y distancias entre 100 y 1 000 [Km].
- d) Que la Recomendación UIT-R P.1411 proporciona directrices sobre la predicción para servicios de exteriores de corto alcance (hasta 1 [Km]).
- e) Que la Recomendación UIT-R P.530 proporciona directrices sobre la predicción de la pérdida del trayecto punto a punto en sistemas terrenales con visibilidad directa.
- f) Que la Recomendación UIT-R P.2001 proporciona un modelo de propagación terrenal de gran alcance en la gama de frecuencias de 30 [MHz] a 50 [GHz] incluidas las estadísticas de desvanecimiento e incremento de la señal.

Recomienda que se apliquen los procedimientos indicados en los Anexos 1 a 8 para la predicción de punto a zona de la intensidad de campo en los servicios de radiodifusión, móvil terrestre y móvil marítimo así como determinados servicios fijos (por ejemplo, los que emplean sistemas punto a multipunto) en la gama de frecuencias de 30 a 3.000 [MHz] y para distancias de hasta 1.000 [Km].

ANEXO 1

Introducción

1. Las curvas de propagación

Las curvas de propagación de los Anexos 2, 3 y 4 representan los valores de la intensidad de campo para una potencia radiada aparente (p.r.a.) de 1 [kW] a las frecuencias nominales de 100, 600 y 2.000 [MHz], respectivamente, en función de diversos parámetros; algunas curvas se refieren a trayectos terrestres y otras a trayectos marítimos. Deberá efectuarse una interpolación o extrapolación de los valores obtenidos a esos valores de frecuencia nominal para obtener los valores de la intensidad de campo a cualquier frecuencia que se requiera utilizando el método que figura en el § 6 del Anexo 5⁵.

Las curvas se basan en datos obtenidos mediante mediciones y se refieren principalmente a las condiciones climáticas habituales en zonas templadas en las que existen mares fríos y mares cálidos, como por ejemplo, el Mar del Norte y el Mar Mediterráneo. Las curvas de los trayectos terrestres se prepararon con datos obtenidos sobre todo en zonas de clima templado, como es el caso en Europa y América del Norte. Las curvas de los trayectos marítimos se prepararon con datos obtenidos sobre todo en zonas del Mediterráneo y del Mar del Norte. Amplios estudios han puesto de manifiesto que las condiciones de propagación en determinadas zonas de superrefractividad lindantes con mares cálidos difieren de manera sustancial.

Sin embargo, los métodos utilizados para la interpolación y la extrapolación entre las familias de curvas de la intensidad de campo son generales. Por consiguiente, si existen familias de curvas en regiones con diferentes climas que actualmente se ven sometidas a condiciones de propagación radioeléctrica sustancialmente distintas, es necesario lograr una caracterización precisa de la propagación radioeléctrica en estas regiones utilizando los métodos que se

⁵ Revisar en <http://bit.ly/1Teito9>

describen en la presente Recomendación.

La presente Recomendación no es específica de una polarización determinada.

2. Intensidades de campo máximas

Las curvas tienen límites superiores relativos al posible valor de la intensidad de campo que pudiera obtenerse en determinadas condiciones. Dichos límites se definen en el § 2 del Anexo 55 y se indican mediante líneas de trazos en los gráficos reproducidos en los 5.

3. Tabulaciones basadas en el ordenador

Aunque las intensidades de campo se pueden leer directamente en las curvas presentadas en las Figuras de los Anexos 2, 3 y 45 a la presente Recomendación, lo que se pretende es que las aplicaciones informáticas del método utilicen las intensidades de campo tabuladas disponibles en la Oficina de Radiocomunicaciones (BR). Véase la parte de la dirección web del UIT-R relativa a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones.

4. Método paso a paso

En el Anexo 65 figura el procedimiento paso a paso detallado que se ha de utilizar en la aplicación de esta Recomendación.

5. Designación de las antenas

En la presente Recomendación, la expresión «antena transmisora/de base» se utiliza para referirse tanto a las antenas transmisoras utilizadas en el servicio de radiodifusión como a las antenas de estación de base utilizadas en los servicios móviles terrenales. De manera similar, la expresión «antena receptora/móvil» se utiliza para referirse a las antenas receptoras utilizadas en el servicio de radiodifusión y a las antenas móviles utilizadas en los servicios móviles terrenales. En el § 1.1 del Anexo 55 se presenta más información relativa a la designación de los terminales.

6. Altura de la antena transmisora/de base

El método tiene en cuenta la altura efectiva de la antena transmisora/de base, que es la altura de la antena sobre el nivel medio del terreno para distancias comprendidas entre 3 y 15 [Km] en la dirección de la antena receptora/móvil. La altura de la antena transmisora/de base, h_1 , que se ha de utilizar en los cálculos se obtiene aplicando el método que se indica en el § 3 del Anexo 55.

7. Alturas de antena transmisora/de base utilizadas para las curvas

Las curvas de intensidad de campo en función de la distancia de los Anexos 2, 3 y 45, y las correspondientes tabulaciones, se dan para unos valores de h_1 de 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 y 1.200 [m]. Para cualquier valor de h_1 comprendido entre 10 [m] y 3.000 [m] deberá efectuarse una interpolación o extrapolación a partir de las dos curvas apropiadas, como se describe en el § 4.1 del Anexo 55. Para h_1 por debajo de 10 m, la extrapolación que se ha de aplicar se indica en el § 4.2 del Anexo 55. Es posible que h_1 tome valores negativos, en cuyo caso deberá utilizarse el método que figura en el § 4.3 del Anexo 55.

8. Variabilidad temporal

Las curvas de propagación representan los valores de la intensidad de campo rebasados durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo. En el § 7 del Anexo 55 se da un método para interpolar entre esos valores. La presente Recomendación no es válida para intensidades de campo rebasadas durante porcentajes de tiempo fuera de la gama del 1% al 50%.

9. Método para trayectos mixtos

Cuando el trayecto radioeléctrico se desarrolle tanto sobre tierra como sobre el mar, deberá efectuarse una estimación de la intensidad de campo del trayecto mixto utilizando el método dado en el § 8 del Anexo 55.

10. Altura de la antena receptora/móvil

Para los trayectos terrestres, las curvas dan valores de la intensidad de campo correspondientes a una altura de la antena receptora/móvil sobre el nivel del suelo, h_2 (m), igual a la altura representativa de la ocupación del suelo en el lugar en que se halla dicha antena, o 10 [m], tomando entre ambos el mayor valor. En el caso de trayectos marítimos, las curvas dan valores de intensidad de campo para $h_2 = 10$ [m]. Los valores de h_2 diferentes de la altura representada por una curva se tienen en cuenta aplicando una corrección de acuerdo con el entorno de la antena receptora/móvil. En el § 9 del Anexo 55 se da el método de cálculo de dicha corrección.

11. Efecto de apantallamiento por obstáculos de la antena transmisora/de base

Si la antena transmisora/de base se encuentra sobre un terreno con obstáculos, o adyacente al mismo, debe aplicarse la corrección indicada en el § 10 del Anexo 65, independientemente de la altura de la antena transmisora/de base sobre el suelo.

12. Corrección debida al ángulo libre de obstáculos del terreno

Las intensidades de campo para los trayectos terrestres se pueden predecir con mayor exactitud teniendo en cuenta el terreno próximo a la antena receptora/móvil, si se dispone de los datos al respecto, mediante un ángulo libre de obstáculos del terreno. Una vez efectuado el cálculo correspondiente a un trayecto mixto, deberá aplicarse esta corrección si la antena receptora/móvil está situada junto a una sección terrestre del trayecto. En el § 11 del Anexo 55 se da más información sobre la corrección debida al ángulo libre de obstáculos del terreno.

13. Variabilidad con las ubicaciones

Las curvas de propagación representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área cualquiera normalmente de 500 [m] por 500 [m]. Para más información sobre variabilidad con las ubicaciones y sobre el método de cálculo de la corrección requerida con porcentajes de ubicaciones distintos del 50%, véase el § 12 del Anexo 55.

14. Corrección basada en la dispersión troposférica

El § 13 del Anexo 55 presenta un método para tener en cuenta la dispersión troposférica que debe utilizarse si se dispone de información sobre el terreno. En principio, las curvas deben reflejar el efecto de cualquier señal significativa dispersada por la troposfera pero no es seguro que se hayan realizado las suficientes mediciones a larga distancia necesarias para capturar

estos efectos. La corrección indicada en el § 13 del Anexo 55 tiene por objeto hacer improbable una subestimación importante de la intensidad de campo debido a que las curvas no representan adecuadamente los efectos de la dispersión troposférica.

15. Corrección relativa a la diferencia de altura de las antenas

El § 14 del Anexo 55, presenta una corrección para tener en cuenta la diferencia de altura sobre el suelo entre las dos antenas.

16. Distancias horizontales inferiores a 1 [Km]

Las curvas de intensidad de campo cubren distancias horizontales desde 1 [Km] hasta 1.000 [Km]. El § 15 del Anexo 55 describe el método para distancias horizontales inferiores a 1 [Km].

17. Pérdida básica de transmisión equivalente

En el § 17 del Anexo 55 se da un método de conversión de intensidad de campo correspondiente a una p.r.a. de 1 [KW] en la pérdida básica de transmisión equivalente.

18. Variabilidad del índice de refracción atmosférica

Se sabe que el valor mediano de la intensidad de campo y su variabilidad en el tiempo varían según la región climatológica. Las curvas de la intensidad de campo de los Anexos 2, 3 y 45 se aplican a los climas templados. El Anexo 75 da un método para ajustar las curvas de las distintas regiones del mundo sobre la base de los datos del gradiente vertical de la refractividad atmosférica asociados a la Recomendación UIT-R P.453.

SubTel fija norma técnica ISDB-T relativa al detalle de método de cálculo de la zona de servicio para radiodifusión de de TVD

Artículo 1º Conforme a lo establecido en el Plan de Radiodifusión Televisiva, para fines de estimación de la zona de servicio, se empleará el método de cálculo basado en el modelo de predicción de propagación descrito en la Recomendación P.1546-4 de la UIT-R. De existir diferencias entre los resultados propuestos por la postulante o concesionaria, según sea el caso, y los obtenidos por la Subsecretaría de Telecomunicaciones, en adelante la Subsecretaría, primarán estos últimos, debiendo en todo caso, si se obtiene la respectiva concesión, adecuarse a los resultados obtenidos por la Subsecretaría.

Artículo 2º Para efectos de cálculos predictivos de propagación, la zona de servicio de una estación transmisora de televisión digital será la zona geográfica en torno a ella delimitada por el contorno cuya intensidad de campo eléctrico sea de 48 [dB μ V/m] para la banda UHF⁶, sin exceder los 60 Km medidos desde la estación transmisora. Para efectos de cálculo y planificación, el valor de la intensidad del campo eléctrico al modelar teóricamente el sistema se considerará el 90% de las ubicaciones y el 50% del tiempo, con una antena de recepción externa a 10 metros de altura.

Artículo 3º Sin perjuicio de lo anteriormente señalado, tratándose de concesionarias de categoría nacional, en las áreas que cuenten con Plan Regulador Metropolitano, también se deberá dar cumplimiento a un segundo contorno, denominado contorno urbano, que estará delimitado por el valor de la intensidad de campo eléctrico de 66 [dB μ V/m], calculado para el 90% de las ubicaciones y el 50% del tiempo, con una antena de recepción externa a 10 metros de altura. Este contorno contendrá a lo menos el 90% de la parte urbana definida por el instrumento de planificación territorial de la zona de servicio de la concesión respectiva, sin exceder los 15 [Km] medidos desde la estación transmisora, en la dirección de máxima radiación.

Artículo 4º Para realizar los cálculos de propagación, independientemente de la herramienta de cálculo empleada, se deberá utilizar el mapa de la NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con resolución 3 segundos de arco (90 metros) y, encaso de emplear métodos manuales, también se podrá emplear cartas geográficas del Instituto Geográfico Militar. La información correspondiente a las elevaciones del terreno en torno a un punto podrá ser consultada a la Subsecretaría según procedimiento descrito en la guía de uso de la herramienta “Método de Cálculo de Intensidad de Campo Eléctrico” mencionada en el punto 4 del artículo siguiente.

Artículo 5º Para el cálculo de la zona de servicio, basado en la Recomendación P.1546-4 de la UIT-R se considerará lo siguiente:

1. Setenta y dos (72) radiales, cada uno para una distancia de 100 [Km] trazados sobre una

⁶ Para establecer el valor del contorno de la zona de servicio y de las relaciones de protección se considera señales con modulación digital 64 QAM, Modo 3 (ISDB-T), FEC $\frac{3}{4}$ y una antena receptora de 10 dBd.

carta topográfica escala 1:50.000, uniformemente distribuidos cada 5 grados en sentido horario a partir del norte geográfico (0°), considerando como punto de origen la ubicación del sistema radiante. El perfil topográfico requerido deberá considerar la medición de cotas geográficas cada 500 [m] en la dirección de cada uno de estos radiales.

2. Las curvas de nivel de campo en función de la distancia y de la altura efectiva (h_1) de la antena transmisora, considerando una potencia radiada de 1 [KW] y una probabilidad de 50% de las ubicaciones y 50% del tiempo para otros valores de potencia y probabilidades de ubicaciones deberán efectuarse las correcciones que corresponda.
3. El tipo de trayecto que se considerará es solo terrestre.
4. El cálculo podrá realizarse de manera electrónica debiendo utilizarse la herramienta “Método de Cálculo de Intensidad de Campo Eléctrico”, que estará disponible en la página web www.subtel.cl de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, junto con una guía de uso.
5. Sin perjuicio de lo anterior, el siguiente procedimiento explica los pasos a seguir para efectos de realizar el cálculo de forma manual, para lo cual se deberá emplear y contemplar los formularios TV-1 y TV-2 adjuntos en Apéndice.

5.1 Calcular la altura efectiva de la antena transmisora h_1 , en metros.

Se debe calcular h_1 para cada uno de los radiales considerados con las alturas de las cotas determinadas a partir de la carta topográfica 1:50.000 a las distancias indicadas, como se señala a continuación:

$$h_1 = h_0 + h_{ot} - h_{im}(d)[m], \quad \text{para } 3 < d < 15 [Km]$$

$$h_1 = h_0 + h_{ot} - h_{im}(15)[m], \quad \text{para } d \geq 15 [Km]$$

Donde,

$$h_{im}(d) = \text{altura promedio de cotas entre } 0,2 * d \text{ y } d \text{ sobre el nivel del mar [m]}$$

$$h_0 = \text{altura del terreno del punto de transmisión sobre el nivel del mar [m]}$$

$$h_{ot} = \text{altura antena transmisora sobre el nivel terreno [m]}$$

- 5.2 Los valores de intensidad de campo E_f para una frecuencia requerida deberán obtenerse interpolando entre los valores correspondientes a los de las frecuencias nominales de 100 [MHz], 600 [MHz] y 2.000 [MHz] (Figura IX.7, Figura IX.8 y Figura IX.9, respectivamente). En el caso de frecuencias por debajo de los 100 [MHz] la interpolación debe ser reemplazada por una extrapolación a partir de los dos valores de frecuencia nominal más cercanos.

$$E_F = E_{F_{inf}} + (E_{F_{sup}} - E_{F_{inf}}) \log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right) / \log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right) \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

Donde,

f : frecuencia para la que se requiere la predicción (MHz)

f_{inf} : frecuencia nominal inferior. 100 [MHz] para $f < 600$ [MHz], 600 [MHz] para $f \geq 600$

f_{sup} : frecuencia nominal superior. 600 [MHz] para $f < 600$ [MHz], 2.000 [MHz] para $f > 600$

E_{Finf} : valor de la intensidad de campo para la frecuencia nominal inferior

E_{Fsup} : valor de la intensidad de campo para la frecuencia nominal superior

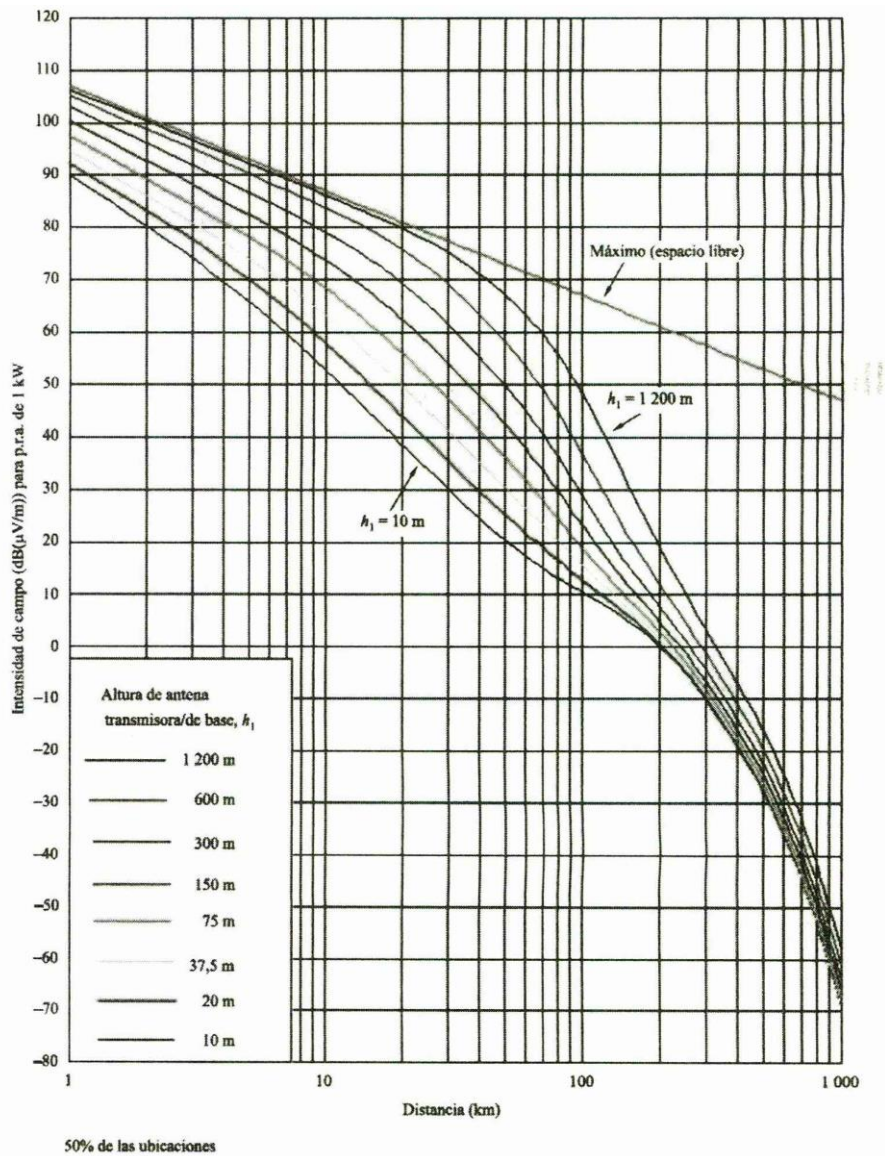


Figura IX.7 – Curvas de intensidad de campo para 100 [MHz], trayecto terrestre, 50% del tiempo

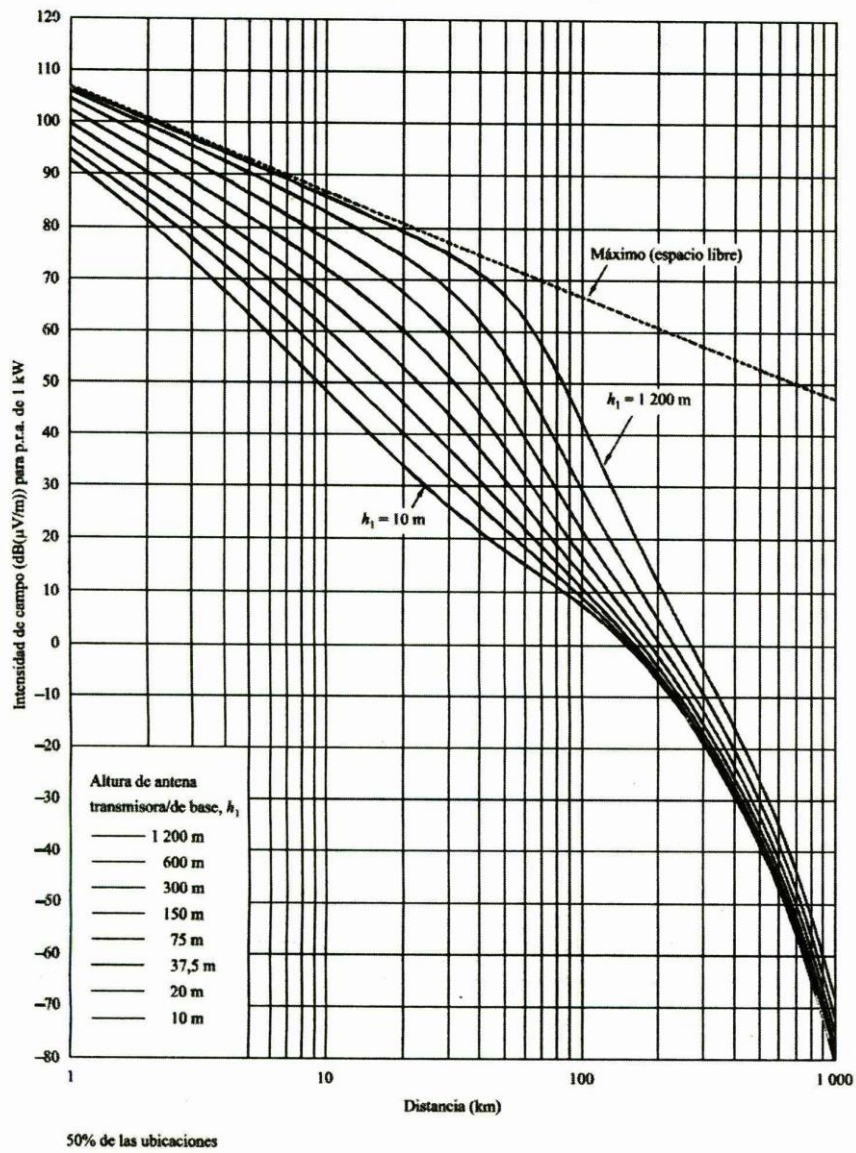


Figura IX.8 - Curvas de intensidad de campo para 600 [MHz], trayecto terrestre, 50% del tiempo

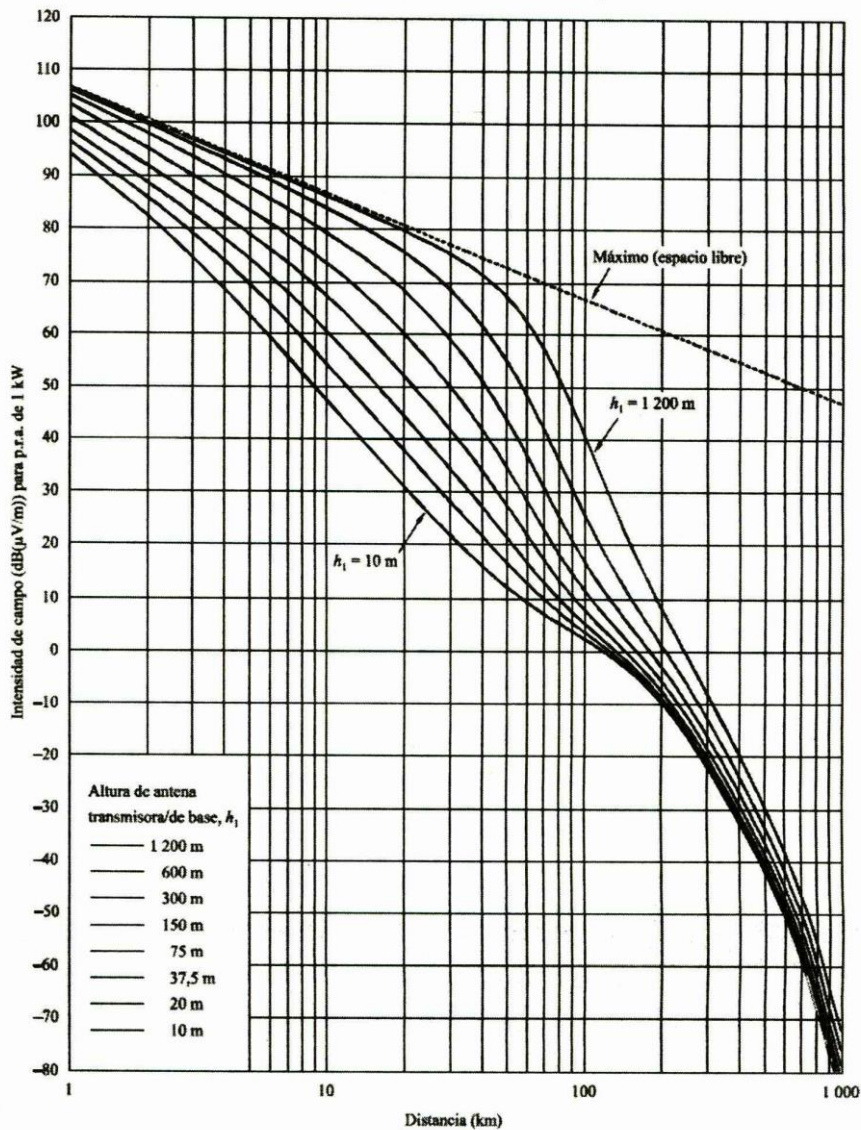


Figura IX.9 - Curvas de intensidad de campo para 2000 [MHz], trayecto terrestre, 50% del tiempo

5.3 Obtener el valor del campo eléctrico $E(h_1)$ para la frecuencia nominal inferior y superior.

Se debe obtener el valor de la intensidad de campo a partir de las curvas de las Figura IX.7, Figura IX.8 o Figura IX.9 según corresponda, para las frecuencias nominales inferior (f_{inf}) y superior (f_{sup}), según distancia y altura efectiva correspondiente (h_1).

Si la altura efectiva coincide con los valores definidos en las curvas (10 [m], 20 [m], 37.5 [m], 75 [m], 150 [m], 300 [m], 600 [m], 1.200 [m]) se debe obtener el valor de intensidad de campo $E(h_1)$ directamente de las curvas trazadas o de las tabulaciones asociadas.

Si no es así, se debe interpolar, de acuerdo a lo siguiente:

(a) Para $10 \text{ [m]} < h_1 < 3000 \text{ [m]}$

$$E(h_1) = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right) / \log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right) \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

Donde,

$h_{inf} = 600 \text{ [m]}$ si $h_1 < 1200 \text{ [m]}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de h_1 .

$h_{sup} = 1200 \text{ [m]}$ si $h_1 > 1200 \text{ [m]}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por encima de h_1 .

E_{inf} = valor de intensidad de campo para h_{inf} a la distancia requerida.

E_{sup} = valor de intensidad de campo para h_{sup} a la distancia requerida.

(b) Para $0 < h_1 < 10 \text{ m}$

$$E(h_1) = E_{zero} + 0,1 * (E_{10} - E_{zero}) \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

Donde,

$$E_{zero} = E_{10} + 0,5 * (C_{1020} - C_{h1neg10}) \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \text{ [dB]}$$

$$C_{h1neg10} = C_{h_1}(h_1 = -10m) \text{ [dB]}$$

$$E_{10} = E(h_1 = 10)$$

$$E_{20} = E(h_1 = 20)$$

(c) Para $h_1 < 0$

En este caso, se debe considerar la corrección según el ángulo de despejamiento antena transmisora como se indica a continuación:

$$E(h_1) = E_{zero} + C_{h_1} \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

Donde,

$$C_{h_1} = J(v') - J(v) \text{ [dB]}$$

$$J(v) = 6,9 + 20 * \log(\sqrt{((v - 0,1)^2 + 1)} + v - 0,1) \text{ [dB]}$$

$$v' = 0,036 * \sqrt{f}$$

$$v = 0,065 * \theta_1 * \sqrt{f}$$

θ_1 = máximo ángulo despejamiento antena transmisora (obstáculos hasta 15 Km) [°]

f = frecuencia portadora [MHz]

5.4 Con los resultados obtenidos de intensidad de campo eléctrico $E(h_1)$ para la frecuencia nominal inferior $E_{F_{inf}}$ y frecuencia nominal superior $E_{F_{sup}}$ se interpola o extrapola la intensidad de campo obtenida en función de la frecuencia según el punto 5.2.

5.5 Calcular el factor de corrección de potencia (FcP).

$$FcP = P + G - L - P_{lob} \text{ [dB]}$$

Donde,

P = Potencia del transmisor a la salida del amplificador de potencia [dB(1KW)]

G = Ganancia máxima en el plano horizontal [dB]

L = Pérdidas en cables, conectores, divisor de potencia y otros [dB]

P_{lob} = Pérdidas por lóbulo por radial [dB]

5.6 Calcular el factor de corrección según altura de la antena receptora (FcR)

$$FcR = 6,03 - J(v) \text{ [dB]}, \text{ para } h_2 < R'$$

$$FcR = K_{h2} * \log(h_2/R') \text{ [dB]}, \text{ para } h_2 \geq R'$$

$$R' = (1000 * d * -15 * h_1)/(1000 * d - 15) \text{ [m]}, \text{ para } d > \frac{h_1 - R}{6,5}; R' = R$$

$$v = K_{nu} * \sqrt{(h_{dif} * \theta_{clut})}$$

$$K_{nu} = 0,0108 * \sqrt{f}$$

$$h_{dif} = R' - h_2 \text{ [m]}$$

$$\theta_{clut} = \arctg\left(\frac{h_{dif}}{27}\right) [^\circ]$$

$$K_{h2} = 3,2 + 6,2 * \log(f)$$

Donde,

$h_2 = 10$ [m] (altura antena receptora)

R' = ajuste según curvatura terrestre [m]

$R = 20$ [m] (altura de ocupación del terreno)

5.7 Calcular el factor de corrección según trayectos urbanos (FcU)

$$FcU = -3,3 * \log(f) + (1 - 0,85 * \log(d)) * (1 - 0,46 * \log(1 + h_1 - R)) \text{ [dB]}, \text{ para } d < 15 \text{ Km y si } (h_1 - R) < 150 \text{ m}$$

5.8 Calcular el factor de corrección según ángulo de despejamiento de la antena receptora (FcAR)

$$FcAR = E_{zero} + Ch_1 \text{ [dB]}$$

Donde,

$$Ch_1 = J(v') - J(v) \text{ [dB]}$$

$$J(v) = 6,9 + 20 * \log(\sqrt{((v - 0,1)^2 + 1)} + v - 0,1 \text{ [dB]}$$

$$v' = 0,036 * \sqrt{f}$$

$$v = 0,065 * \theta_{tca} * \sqrt{f}$$

$$\theta_{tca} = \theta_2 - \theta_r \quad \text{para } 0,55^\circ < \theta_{tca} < 40^\circ$$

$$\theta_r = \arctg\left(\frac{h_{1s} - h_{2s}}{1000} * d\right) [^\circ]$$

Donde,

θ_2 = máximo ángulo incidencia antena receptora (obstáculos hasta 16 Km) [°]

θ_r = ángulo de referencia entre transmisora y receptora [°]

h_{1s} = altura sobre el nivel del mar antena transmisora [m]

h_{2s} = altura sobre el nivel del mar antena receptora [m]

5.9 Para corregir la intensidad de campo para el 90% de las ubicaciones se utiliza la siguiente expresión:

$$FcPL = Q_i(pl/100) * \sigma_L \text{ [dB]}$$

Donde,

Q_i = distribución normal acumulativa complementaria inversa en función de la probabilidad

pl = porcentaje de ubicaciones [%]

σ_L = desviaciones típica de la distribución gaussiana de las medias locales en la zona

En el caso particular de televisión digital se empleará el 90% de las ubicaciones ($pl=90$), por lo cual el valor de $Q_i(90/100)$ corresponde a -1,282 y el valor de la desviación típica (σ_L) a 5.5, para la banda UHF, de acuerdo a los Cuadros 2 y 3 del Anexo 5 de la recomendación P.1546-4. En consecuencia $FcPL = -7,0$ [dB]

5.10 Calcular el valor de la intensidad de campo corregido a una distancia dada, según se señala a continuación:

$$E_{corr} = E_F + FcP + FcR + FcU + FcAR + FcPL \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

El procedimiento para la obtención del valor de contorno de la zona de servicio es el siguiente:

- (a) Se realiza el cálculo de E_{corr} desde los 0.5 Km, cada 0.5 Km y hasta encontrar un punto donde el valor sea inferior al definido como contorno de zona de servicio ($E_{Zs} = 48 \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$).
- (b) La distancia de tolerancia de cálculo, para efectos de obtener el contorno de la zona de servicio será de 1 Km.
- (c) Dentro de la distancia de tolerancia de cálculo, se busca el primer valor superior o igual a E_{Zs} , procediéndose como a continuación se indica:
 - (i) Si no se encuentra un valor de E_{corr} superior a E_{Zs} , el valor a emplear como la última distancia calculada será el obtenido en (a)
 - (ii) Si se encuentra un valor E_{corr} superior a E_{Zs} , se realiza el procedimiento desde la letra (a), a partir de la última distancia desde donde se encontró un valor de E_{corr} inferior a E_{Zs} .
- (d) La última distancia calculada debe ser interpolada con su valor anterior para obtener la distancia final asociada a esta intensidad de campo, como se indica a continuación:

Para $d_n =$ última distancia calculada inferior a E_{Zs}

$$d(E_{Zs}) = d_n + (d_{n-1} - d_n) * \log\left(\frac{E_{Zs}}{E_{\text{corr}_n}}\right) / \log\left(\frac{E_{\text{corr}_{n-1}}}{E_{\text{corr}_n}}\right) \text{ [m]}$$

- 5.11 El contorno que determina la zona de servicio estará determinado por la unión mediante líneas rectas de las distancias $d(E_{Zs})$ encontradas para radiales consecutivos.
- 5.12 El mismo procedimiento se empleará para determinar el contorno urbano señalado en el artículo 3° de la presente resolución.