



INAOE

**Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica.**

REPORTE TECNICO

No. 683

COORDINACION DE ASTROFISICA

**SCI-HI: Diseño y Construcción de un
Dispositivo para la Caracterización de
Posibles Zonas Radio-Silentes para Detectar
y Estudiar la Emisión de Líneas HI-21**

Ing. Jennifer Vianey González-Martínez

Dr. Raúl Ochoa-Valiente

Dra. Beatriz Adriana Martínez Irvias

Dr. Omar López-Cruz

17 de diciembre 2022

Saltillo, 25280
Coahuila, México.

©INAOE 2022

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



Índice

Introducción	2
Prueba de Sitios	2
Dispositivo	3
Diseño	4
Adquisición y almacenamiento de datos.....	5
Programas de análisis.....	6
Pruebas	7
Saltillo, Coahuila	7
Rincón Colorado, Coahuila.....	9
Comparación entre pruebas.....	11
Conclusiones y Recomendaciones	12
Conclusiones	12
Recomendaciones	13
Referencias	14
Hoja de Datos	15

Introducción

El proyecto Sonda Cosmológica de las Islas para la detección de Hidrógeno neutro (Sci-HI) consiste en la detección de la señal de la Época de Reionización, mediante el uso de la emisión global de la línea de Hidrogeno neutro (21 cm), dado que este es el elemento más abundante del espacio exterior [1].

Esta es una de las fases más importantes de la evolución del universo debido a que en este periodo fue donde se originaron muchas fuentes de luz, como lo son las estrellas y cuásares, entre otras,

Dentro del proyecto, se requiere de un subproyecto conocido como Prueba de Sitios, que consiste en obtener un análisis de las señales de radio FM en México para caracterizar posibles zonas radio-silentes que permitan continuar con el proyecto principal estableciendo una base de operación donde colocar antenas.

El dispositivo Sci-Hi, es desarrollado por investigadores de Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), localizado en Tonanzintla, Cholula, Pue., con la colaboración de diversas universidades, entre ellas la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) unidad Saltillo.

Prueba de Sitios

Prueba de Sitios es un subproyecto del proyecto Sci-Hi que consiste en buscar zonas libres de la interferencia de radiofrecuencias (RFI), es decir, sitios sin emisores de radio y televisión entre un rango de 40-120 MHz. Estas radiofrecuencias pueden interferir con la señal proveniente del Hidrógeno neutro. A estas zonas se le conocen como Radio-Silentes, las cuales cada vez son más escasas debido a la urbanización.

Por ello se necesita diseñar y construir un dispositivo integral a nivel hardware y software que obtenga la información del RFI con la sensibilidad adecuada para que pueda captar señales en los sitios en el rango requerido. Además de crear un sistema de algoritmos para analizar la intensidad del espectro radioeléctrico, que pueda ser configurable con otras bandas y guarde el registro de la geolocalización. El sistema debe ser autónomo, con su propia fuente de energía y de fácil desplazamiento en los distintos terrenos donde se realicen pruebas.

Con el sistema de adquisición y geoposicionamiento se podrán evaluar las zonas candidatas como sedes viables para las antenas dedicadas a adquirir la señal del espacio exterior. Encontrar estas zonas radio-silentes permitirá abrir puerta a investigaciones nacionales e internacionales ya que los experimentos que se realicen en estos sitios trabajaran sin RFI.

Dispositivo

Se diseñó un sistema que cumple con los requerimientos para el subproyecto *Prueba de Sitios* que a nivel de software realice las siguientes acciones [2]:

- Permite analizar el rango de 40 – 120 MHz
- Es configurable a otras bandas de frecuencias
- Comunicado internamente mediante API (*Application Program Interface*), el analizador y lenguaje Python.
- Adquiere y almacena datos
- Obtiene la geolocalización, fecha y hora.
- Cuenta con una serie de programas de análisis de señales.

y a nivel hardware

- Cuenta con una antena adaptable tipo Disco-Cono que permite detectar señales a los 360° hacia el horizonte.
- Utiliza un localizador GPS (*Global Positioning System*) para el registro de la posición en el globo terrestre.
- Tiene una placa de control con LCD y buzzer para indicar el estatus de funcionamiento.
- Controlado por una computadora central.
- Es autónomo con su propia fuente de energía a partir de baterías y reguladores.
- Es móvil y de tamaño reducido.

Con estas características se puede realizar un levantamiento de muestras en distintas zonas candidatas a ser radio-silentes.

Diseño

El sistema está compuesto por:

- Analizador de espectros RSA306B en tiempo real marca Tektronix.
- Computadora Gigabyte Brix i7-4770.
- Microcontrolador Arduino Uno, Placa GPS Shield DuinoPeak con capacidad de manejar tarjeta micro SD y Placa de control para display LCD y buzzer.
- Pantalla LCD y un buzzer adaptable a Arduino.
- Módulo convertidor DC-DC 10-32V a 35-60V.
- Dos de baterías 12V, 7.0Ah de Plomo-ácido.
- Cargador de baterías marca Stanley.
- Antena de radio Disco-cono y antena GPS de frecuencia 1575.42 MHz.
- Una memoria usb 3.0 de 32 GB de capacidad.



Figura 1. Dispositivo diseñado y construido.

El diseño de la organización y la comunicación interna del dispositivo se muestra en la Figura 2.

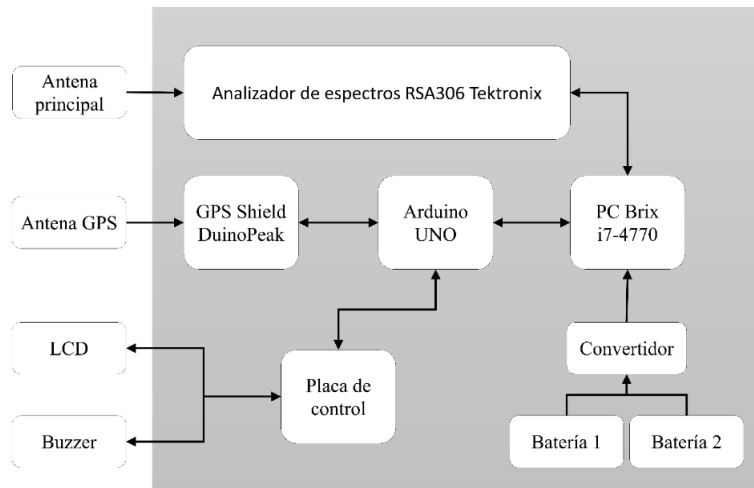


Figura 2. Esquema de organización y comunicación del sistema.

Adquisición y almacenamiento de datos

El proceso para la adquisición y almacenamiento de datos se realiza en la PC que tiene conectados el analizador de espectros RSA306B y el microcontrolador.

El programa principal se encarga de verificar que estos dos instrumentos se encuentren conectados y operando correctamente. Si la verificación anterior es correcta, se envían una serie de comandos hacia estos aparatos para que obtengan la información necesaria.

El analizador adquiere 75 espectros y genera los archivos correspondientes según la configuración de parámetros, en este caso, el rango es de 40 – 120 MHz, o este rango puede modificarse según la necesidad del muestreo.

El sistema GPS recibe la localización del punto muestreado (latitud, longitud, altitud), así como la fecha y hora de la realización de la muestra. De manera alterna, se crea un archivo en la tarjeta SD del Arduino con la geolocalización.

Esta información recopilada es almacenada en una USB, si esta se encuentra conectada. En caso contrario, los datos se guardarán en la propia computadora.

En la Figura 3 se muestra el esquema del proceso para la adquisición y almacenamiento de los datos.

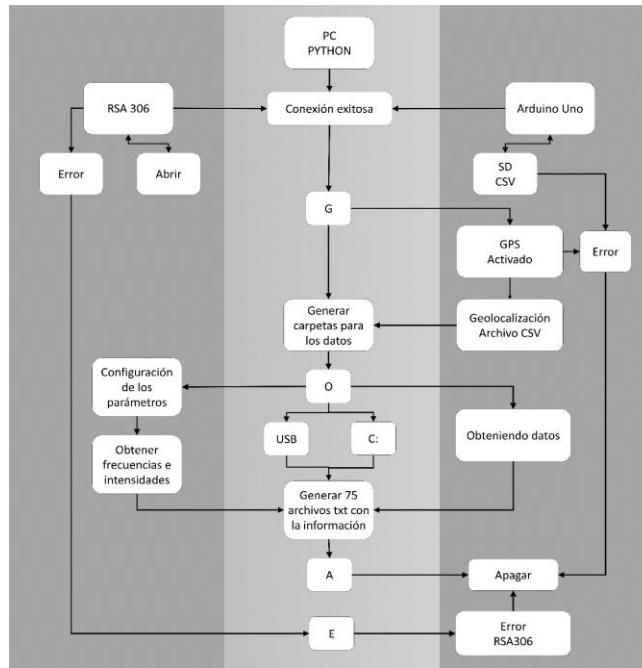


Figura 3. Esquema para la adquisición y almacenamiento de datos [2].

Programas de análisis

Se cuenta con tres maneras de analizar la información obtenida de las pruebas que se realicen, las cuales son:

- Promedio de frecuencia por muestra y mapa de ubicación
- Relación distancia contra potencia
- Mapa de intensidad utilizando Kriging.

El primero tiene la finalidad de recopilar los datos de cada uno de los 75 archivos obtenidos por muestra, calcular un promedio de estos y guardarlos en un solo archivo. Este puede graficarse como forma visual de las intensidades para el rango especificado.

El programa crea un mapa con los markets de la geolocalización de muestras, indicando con este la posición geográfica del levantamiento.

El segundo programa proporciona una gráfica sobre la relación que existe entre la potencia medida con respecto a la distancia de la fuente emisora [3], es decir

$$P(r) = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (1)$$

donde P_t es la potencia radiada, y r es la distancia a la fuente. Se espera un comportamiento similar a $P(r) \propto 1/r^2$.

Este código necesita de la localización de las antenas de las emisoras de radio que se deseen analizar.

Finalmente, Kriging es una técnica geoestadística para la reconstrucción de superficies o levantamientos en el área de las ciencias de la Tierra. Esta técnica permite utilizar datos con muestreos no uniformes espacialmente [ref]. El paquete computacional utilizado para realizar este cálculo es DACE ® (*Design and Analysis of Computer Experiments*). Este paquete es una librería para utilizarse con MatLab ® [4]

Pruebas Realizadas en Saltillo Coahuila

Con el dispositivo se realizaron pruebas de funcionamiento mediante levantamientos en dos zonas de Coahuila. La primera en el centro de Saltillo y la siguiente en Rincón Colorado, Coah. El objetivo fue verificar el comportamiento del sistema en campo en una zona con alta densidad de frecuencias.

La Tabla 1 presenta las estaciones de radio FM que se encuentran dentro de estas zonas analizadas. [3] presentada en la siguiente página.

Prueba 1. Saltillo, Coahuila

Se realizó una prueba en el centro de Saltillo, Coahuila el 12 de septiembre de 2020 alrededor de las 12:00 p.m. El dispositivo fue colocado dentro de un automóvil debido a la distancia que se recorrería. Se realizó un levantamiento de 69 muestras con una separación de aproximadamente 100 m entre ellas, y se presentaron 7 fallas de comunicación entre el analizador RSA306 y la PC. La prueba, con ambas baterías cargadas, duró cerca de 3 horas.

Estación	Siglas	Frecuencia (MHz)	Potencia (kW)
La Primera	XHAJ	88.9	25.000
Radio Coahuila	XHSOC	89.7	3.000
Capital Máxima	XHEIM	91.3	25.000
Stereo Saltillo	XHQL	93.5	15.000
Imagen Radio	XHRP	94.7	29.650
Radio Concierto	XHAAL	97.7	2.850
La Caliente	XHSAC	99.3	25.000
Radio Tecnológico	XHINS	100.1	3.000
La Reina	XHSA	100.9	9.720
La Lupe	XHSHT	102.5	25.000
SJ (RCG)	XHSJ	103.3	25.000
Radio Universidad	XHUACS	104.1	0.050
XHKS	XHKS	104.9	25.000
Digital (RCG)	XHZCN	106.5	10.000

Tabla 1. Estaciones de radio FM en Saltillo, Coahuila.

El promedio de los 75 archivos se muestra en la Figura 4. Se puede observar que en el rango de radio que va del 88 – 108 MHz es donde se presenta la intensidad máxima alrededor de -50 dBm. También se puede visualizar el área donde se hizo la prueba mediante el mapa generado con las posiciones geográficas.

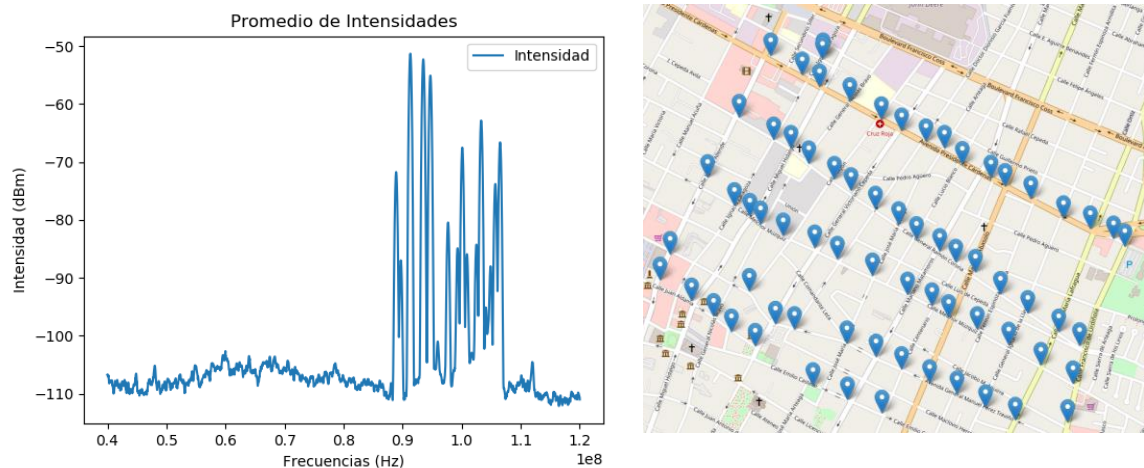


Figura 4. Promedio de intensidad y mapa de ubicación.

El siguiente análisis se presenta como ejemplo el comportamiento de potencia contra distancia de la emisora XHEIM, localizada en el 91.3 MHz de la banda de FM. Existen algunos picos de intensidad, y consideramos que estos se deben a la reflexión por edificios y vehículos en la zona.

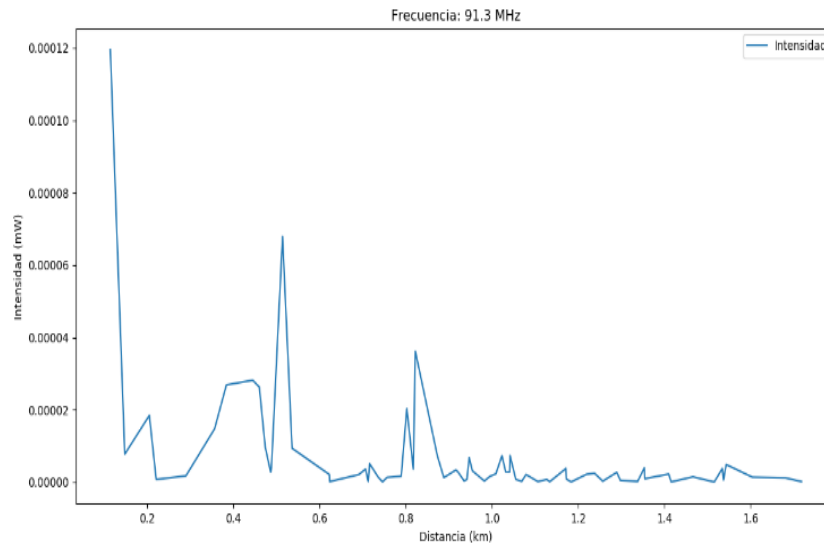


Figura 5. Resultados de la potencia respecto a la distancia para la frecuencia de 91.3 MHz en la zona centro de Saltillo.

Prueba 2. Rincón Colorado, Coahuila

Se eligió la zona de Rincón Colorado que se encuentra aproximadamente a 40 km de la ciudad de Saltillo, con la finalidad de analizar un área con menor intensidad en el rango de frecuencias establecido. Esta prueba se realizó el 17 de octubre de 2020 y se hizo un levantamiento de 62 muestras dividida en dos distancias de separación de alrededor de 15 m para la primera sección y de 25 m para la segunda. El área total que se abarcó fue de 15,000 m². En esta ocasión se presentaron 10 fallas por parte del analizador RSA306B.

En la gráfica del promedio se pueden observar tres picos de intensidades en 64 MHz, 95.5 MHz y 112 MHz, donde el primero corresponde al servicio de radiodifusión de televisión, el siguiente pertenece a una estación de la ciudad de Torreón, que se encuentra

próxima a esta zona, y el ultimo es debido al sistema móvil aeronáutico según el *Instituto Federal de Telecomunicaciones, ift*. [5],[6],

Las intensidades medidas durante esta prueba tienen un rango máximo de -103 dBm, indicando una caída de intensidad cercana a la milésima parte de la detectada en el Centro de Saltillo.

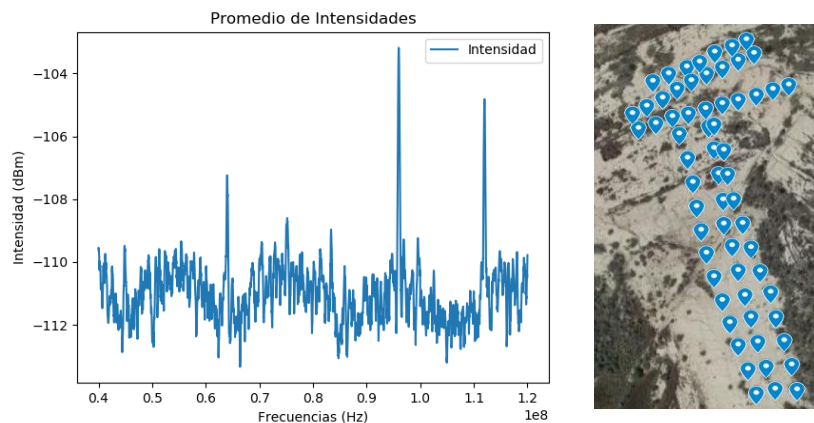


Figura 6. Promedio de intensidad y mapa de ubicación para la zona de Rincón Colorado.

En la figura 7 se presenta la reconstrucción de la superficie obtenida

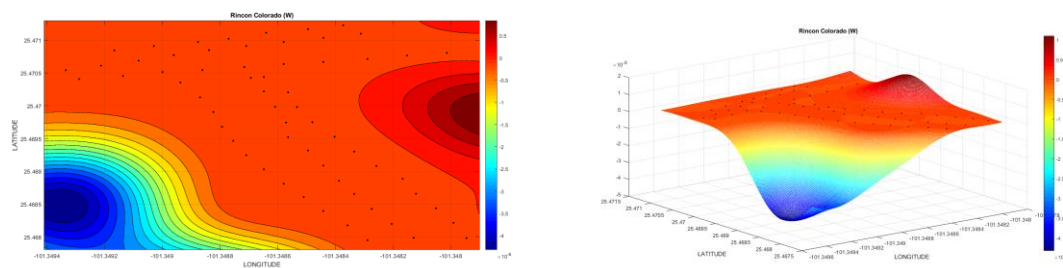


Figura 7. Grafica de superficie y contorno de medidas tomadas en Rincón Colorado Coahuila. Los puntos negros representan el lugar donde fueron tomadas las medidas.

Comparación entre pruebas

Las zonas de ambas pruebas se eligieron con la finalidad de poder contrastar un área con mucha intensidad con una de mínima señal de radio. En la Figura 7 se observa este comportamiento esperado para Rincón Colorado es prácticamente ruido en el rango de radio FM.

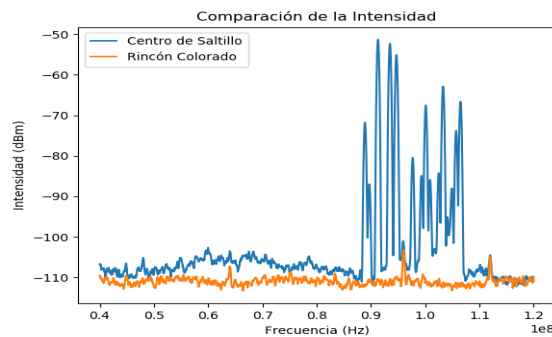
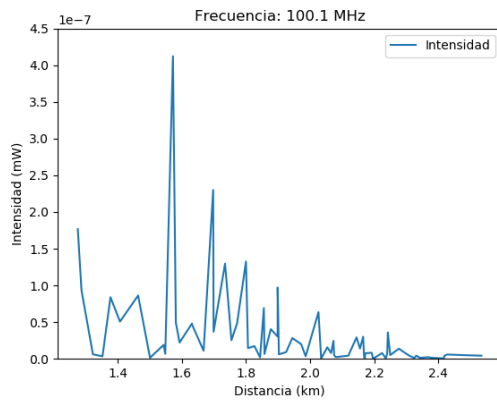


Figura 7. Comparación de la potencia entre Saltillo y Rincón Colorado en el rango de 40 – 120 MHz.

Esto demuestra que el dispositivo cumple con las especificaciones que se requieren para analizar el RFI y de esta forma, proseguir a hacer los levantamientos en las zonas candidatas a ser sitios radio-silentes. El dispositivo se utilizó de dos formas; en la primera prueba se desplazó dentro de un auto debido a las distancias recorridas en el centro de la ciudad. En cambio, en Rincón Colorado se utilizó el dispositivo desplazándose a pie, debido a las características del suelo en esta zona.

En la Figura 8 -se observa nuevamente una comparación entre la estación de radio para la frecuencia de 100.1 MHz. Se visualiza que para Rincón Colorado la intensidad es mínima. Estas graficas representan la relación de la potencia respecto a la distancia, la cual se cumple ya que el punto máximo se encuentra cerca de la antena emisora y conforme la distancia crece, la intensidad disminuye.

Centro de Saltillo



Rincón Colorado

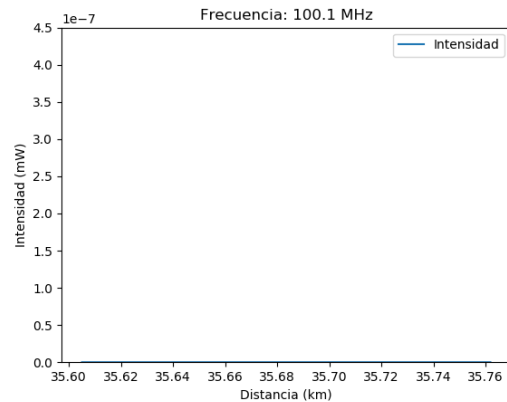


Figura 8. Comparación de la intensidad respecto a la distancia para la frecuencia 100.1 MHz.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El proyecto, Prueba de Sitios, además de permitir caracterizar posibles zonas radio-silentes, también abre oportunidades para otros trabajos científicos que necesitan de algún área que requiera datos de interferencia de radiofrecuencia.

El sistema cumple con las especificaciones que requiere el proyecto para hacer el levantamiento de muestras en las zonas candidatas ya que en las zonas analizadas se comprobó la funcionalidad del aparato en el rango que se busca analizar en estos posibles sitios.

Uno de los resultados más importantes que se presentaron durante las pruebas es la comparación del rango de frecuencia entre ambos sitios. Se aprecia claramente la diferencia en la intensidad. Esto indica que el dispositivo obtiene correctamente la información.

Los resultados que se presentaron sobre la potencia respecto a la distancia corroboraron que el comportamiento corresponde a una forma similar a $1/r^2$, ya que mientras r aumenta, la intensidad disminuye, como se observó en la comparación entre ambas zonas..

Recomendaciones

Las pruebas se realizaron en un sitio no tan lejano de emisoras de radio FM y de otros servicios de radiodifusión por lo que se recomienda realizar pruebas en sitios aún más lejanos, es decir, buscar zonas estratégicas con la finalidad de proponer zonas candidatas como es el caso para la Zona del Silencio en Chihuahua y en Isla Guadalupe en Baja California. Respecto al dispositivo, se recomienda agregar un disipador de calor, ya que, si se toman muestras en un corto tiempo, este se puede aumentar su temperatura y de esta forma dañar a los instrumentos.

Referencias

- [1] Dr. Omar Lopez-Cruz, I. B.-G.-D. (2016). Sci-HI: Caracterización de la Antena disco-cono para Prueba de Sitios. *INAOE*, 25.
- [2] “SCI-HI: Diseño y Construcción de un Dispositivo para la Caracterización de Posibles Zonas Radio-Silentes.” Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Diciembre 17, 2020
- [3] Font, F. J. (1989). *Teoria Basica de Radiacion y Propagacion Electromagnetica*. Mexico, D.F: LIMUSA .
- [4] “DACE A MATLAB Kriging Toolbox, , Lophaven S. N., Nielsen, H. B. ,Søndergaard J. Version 2.0, August 1, 2002 IMM INFORMATICS AND MATHEMATICAL MODELLING Technical University of Denmark DK-2800 Kgs. Lyngby – Denmark
- [5] Telecomunicaciones, I. F. (21 de octubre de 2020). *Instituto Federal de Telecomunicaciones*. Obtenido de Instituto Federal de Telecomunicaciones: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/espectro-radioelectrico-en-mexico-vp.pdf>
- [6] Telecomunicaciones, I. F. (1 de agosto de 2020). *ift*. Obtenido de ift: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/Anexo_IV_Infraestructura_de_FM.pdf

Hoja de Datos

Fecha:	17 de diciembre de 2022
Proyecto:	Sci-HI: Diseño y Construcción de un Dispositivo para la caracterización de posibles zonas Radio-Silentes
Por:	Ing. Jennifer Vianey González-Martínez, F.C.F.M. - UAdeC Dr. Omar López-Cruz, INAOE Dr. Raúl Ochoa-Valiente, F.C.F.M. - UAdeC Dra. Beatriz Adriana Martínez Irvias, F.C.F.M. - UAdeC
Resumen:	<p>En este documento se presentan las características del dispositivo diseñado y construido para analizar el rango de frecuencias de 40 – 120 MHz que forma parte del RFI que se mezcla con la señal de radiación cosmológica que se desea analizar en el proyecto Sci-HI. También se describen las pruebas realizadas con este dispositivo para comprobar su funcionalidad en los distintos sitios.</p>