UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO – CHILE

"Sistema centralizado de recolección automática de consumo de servicios básicos con acceso vía WEB."

ANDRES EDUARDO SILVA TORRES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL TELEMÁTICO

PROFESOR GUÍA: Agustín González Valenzuela.
PROFESOR CORREFERENTE: Marcos Zúñiga Barraza

Agosto – 2016

“Sistema centralizado de recolección automática de consumo de servicios básicos con acceso vía WEB”

ANDRES EDUARDO SILVA TORRES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL TELEMÁTICO

PROFESOR GUÍA: Agustín González Valenzuela.

PROFESOR CORREFERENTE: Marcos Zuñiga Barraza.

Agosto – 2016

Resumen

En Chile la enorme cantidad de hogares conectados a las redes distribuidoras de servicios básicos, junto con el sistema de recolección de información actual el cual consiste en una visita de personal de la empresa a cada vivienda a usuario una vez al mes, hacen imposible la obtención de datos útiles para la industria. Por ejemplo, el consumo eléctrico en hora punta o incluso datos como la cantidad de energía inyectada a la red por cada usuario exigido por la Ley 20.571 de “Net Metering” en vigencia desde el 22 de Octubre del año 2014 la cual permite a los domicilios autogenerar energía y ser retribuidos por sus excedentes entregados a la red.

Para solucionar este problema, en más de 40 países a nivel mundial ya se encuentra implementada la tecnología de Smart Metering la cual consiste en la instalación de medidores inteligentes los cuales reportan constantemente el consumo de los clientes a la empresa

distribuidora. Lamentablemente esta tecnología aún no ha sido implementada masivamente en Chile debido al gran esfuerzo que significa. En este trabajo se analizan aspectos técnicos de las opciones de Smart Metering como son: conectividad, tipo de arquitectura sobre la que opera, escalabilidad de usuarios y escalabilidad a otros servicios, tratando de buscar el óptimo entre estas características y el valor de la solución.

Así idealmente se busca una implementación de Smart Metering económicamente sustentable y adecuada a la realidad chilena.

De las tecnologías evaluadas, por motivos de costo de la solución y en busca de no depender de un proveedor particular, se optó por un sistema AMR (Automatic Meter Reading) con una arquitectura de árbol con concentradores que recolectan la información de un grupo de medidores y la envía al servidor. La comunicación se realiza mediante enlace RF en la banda de 910 a 913 MHz y el dispositivo concentrador fue desarrollado particularmente para el sistema en base a computadores de bajo consumo con un dispositivo SDR (Software Defined Radio).

La arquitectura completa que soporta el sistema fue evaluada a modo de prototipo vertical considerando junto con el sistema de recolección (Medidor y Concentrador), el almacenamiento y despliegue de datos para usuario final.

La funcionalidad de este sistema fue corroborada en todas sus componentes.

"Centralized system of automatic collection of consumption of public utilities with WEB access"

ANDRES EDUARDO SILVA TORRES

MEMORY OF QUALIFICATIONS FOR THE DEGREE OF DE INGENIERO CIVIL TELEMÁTICO

Supervisor: Agustín González Valenzuela.

Co-supervisor: Marcos Zuñiga Barraza.

August - 2016

Abstract

In Chile the huge number of households connected to distribution networks of public utilities, along with the current information collection system which consists of a visit by company staff to each user once a month, make it impossible to obtain useful data for the industry as, for example, electricity consumption at peak times or even data such as the amount of energy fed into the grid for each user required by Law 20,571 of "net Metering" in effect since October 22, 2014 which allows self-generating power homes be rewarded for their surplus delivered to the network.

To solve this problem, in more than 40 countries worldwide is implemented Smart Metering technology which involves the installation of smart meters which consistently report consumption customers to the distribution company.

Unfortunately this technology has not yet been implemented massively in Chile because of the large effort involved. In this paper the main technical options Smart Metering as are analyzed, such as: connectivity, type of architecture on which it operates, scalability of users

and scalability to other services, trying to find the optimum between these features and the value of the solution.

So ideally, what is sought, is an implementation of Smart Metering sustainable economically appropriate to the Chilean reality.

Of the evaluated technologies on the basis of cost of the solution and looking for not depend on a particular supplier; we opted for an AMR (Automatic Meter Reading) with a tree architecture with a hub gathering information from a group of meters and sends it to the server. Communication is done via RF link in the band of 910-913 MHz and the hub device was developed particularly for the system based on low power computing device with an SDR (Software Defined Radio).

The complete architecture that supports the system was evaluated as a vertical prototype considered together with the collection system (meter and concentrator), data storage and end-user deployment.

The functionality of this system was confirmed in all its components.

Glosario

Smart Grid: La Red inteligente. Es una infraestructura de red moderna con mayor eficiencia, confiable y segura, con una fácil integración de fuentes de energía alternativa y renovable, por medio del control automatizado y tecnologías de comunicación modernas, que permiten la comunicación bidireccional entre el medidor y la compañía distribuidora.

AMI: Advanced Metering Infrastructure, Es una arquitectura de comunicación bidireccional automatizada entre los medidores de servicios básicos y las compañías distribuidoras.

AMR: Automatic Meter Reading. Tecnología de recolección automática de datos de consumo, diagnóstico y estado de los medidores. Transfiere la información a la compañía de distribución para tarifas, análisis y solución de problemas.

HAN: Home Area Network. Tipo de red de área local cuyo propósito es facilitar la comunicación entre dispositivos digitales dentro o próximos a una casa.

PLC: Power-line communication. Consiste en la utilización de líneas de energía eléctrica para transmitir señales de radio con propósitos de comunicación.

NFC: Near field communication, tecnología de comunicación inalámbrica, de corto alcance y alta frecuencia que permite el intercambio de datos entre dispositivos.

GSM: Global System for Mobile Communications. Es un estándar desarrollado por el “European Telecommunications Standards Institute” para describir protocolos para redes celulares digitales de segunda generación (2G) utilizadas por teléfonos móviles.

GPRS: General Packet Radio System. Basada en la transmisión de paquetes y donde los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios de forma dinámica. GPRS complementa a GSM ofreciendo al usuario un servicio portador más eficiente para las comunicaciones de datos (2.5G) ´

3G: Tercera generación, Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad de transferir tanto voz como datos (una llamada telefónica o una videollamada) y datos no-voz a través de telefonía móvil mediante UMTS.

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access, es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz y puede tener una cobertura de hasta 50 km.

ZigBee: Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo.

SDR: Software-defined radio, Sistema de radiocomunicación en el cual los componentes que típicamente son implementados mediante hardware son implementados mediante software y ejecutados por un procesador de propósito general.

Índice General

Resumen **2**

Abstract **4**

Glosario **6**

1. Introducción **9**
1.1. Medición inteligente 9
1.1.1. AMR 10
1.1.2. AMI 10
1.1.3. Tipos de Conectividad 11
1.2. Problema 12
1.3. Propuesta 12

2. Tecnologías de medición de consumos domiciliarios **14**
2.1. Tecnologías de comunicación 14
2.1.1. Redes Celulares 14
2.1.2. PLC 15
2.1.3. Zigbee 16
2.1.4. Radiofrecuencia 16
2.2. Arquitectura de sistema 17
2.2.1. Árbol 17
2.2.2. Malla 18
2.2.3. Conexión directa 19
2.3. Implementaciones 20

3. Diseño de sistema de medición inteligente **21**
3.1. Descripción de componentes 21
3.1.1. Concentrador 21
3.1.2. Medidor 25
3.1.3. Servidor 26

4. Implementación de sistema de medición inteligente **28**
4.1. Medidor 28
4.2. Concentrador 29
4.3. Servidor 31

5. Verificación de resultados **32**
5.1. Pruebas de funcionamiento 32
5.2. Mediciones de conectividad 33
5.3. Limitaciones 38

6. Conclusiones y trabajo futuro **39**

Referencias **41**

Anexos **43**

Capítulo 1

1. Introducción

El aumento de la densidad poblacional en las ciudades, genera presiones en los diferentes sistemas urbanos, como el transporte, la salud, el agua y principalmente la energía. El término Smart City o Ciudad Inteligente, define el cómo las ciudades solucionan problemas sociales a través de la incorporación de la tecnología, en búsqueda del uso sustentable y eficiente de los recursos que poseen. Dentro de este concepto, las "Smart Grid" o Redes Inteligentes, incorporan tecnologías de información y de telecomunicaciones (TIC) para optimizar el uso de la energía a través de sus principales procesos de generación, transmisión, distribución y consumo. Además, "Ciudad Inteligente" se relaciona con la inclusión de E.R.N.C. (energías renovables no convencionales) tanto a gran escala como a nivel domiciliario, agregando el concepto de Generación Distribuida que rompe con el paradigma de unicidad de generación por parte de la industria presente en los sistemas eléctricos existentes.

Una de las principales herramientas técnicas, necesaria para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en el segmento de consumo, son los Smart Meters o Medidores Inteligentes. Un Smart Meter es un medidor digital que recopila información sobre el uso/generación de energía que se transmite de manera bidireccional hacia un centro de operaciones y control.

Este trabajo centra su análisis en la viabilidad de implementación de la tecnología de Smart Metering en Chile como una alternativa sustentable en el tiempo y está enfocada en la medición inteligente de energía eléctrica a nivel residencial.

Es importante destacar que esta memoria está dentro del programa de "Memorias Multidisciplinarias" el cual consiste en la formación de equipos de trabajo de distintas carreras para la solución de un problema de alto nivel planteado por la industria, sin

embargo lo expuesto en este documento no es el alcance completo del proyecto ni exclusivamente responsabilidad del autor, no obstante se da un enfoque principalmente al desarrollo técnico y más particularmente se profundiza, exclusivamente, en las componentes en que se tuvo participación directa con el fin de poder independizar los informes y exámenes de titulación de cada integrante del equipo. Para el programa se desarrolló un documento conjunto en que se presentan todas las partes del proyecto.

1.1. Medición inteligente

El concepto de Smart Metering o medición inteligente surge luego de una evolución de contadores electrónicos. Su primer desarrollo, elaborado por la empresa Metretek Inc en 1978, incorporó un procesador de IBM. Es así como surge el primer AMR, por su sigla en inglés: “Automatic Meter Reading”.
Ya en los años 90, se producen modelos completamente electrónicos, surgiendo los primeros AMI (Advanced Metering Infrastructure), los que permiten no solo su medición digital de energía y potencia eléctrica, sino que permiten nuevas opciones como permitir precios diferenciados.

1.1.1.AMR

Los sistemas AMR consisten en la adición de sistemas electrónicos a los dispositivos de medición de consumo, esto permite añadir funcionalidades nuevas tales como:

- Recolección de datos de consumo a distancia
- Envío automático de información de consumo
- Reporte del estado del medidor (Adulteración)

Estas nuevas funcionalidades permiten mediante técnicas de data mining y business intelligence obtener beneficios para empresa y usuarios como: conocimiento comportamiento de consumo, detección de pérdidas, tarifas diferidas, aplicaciones de netmetering, etc… Sin

embargo para realizar estas funciones se requiere de una infraestructura externa al dispositivo como tal.

1.1.2.AMI

Los dispositivos AMI, junto con ser más avanzados y permitir al menos las funcionalidades de los dispositivos AMR, permiten (y están soportados por una infraestructura que les permite) mantener una comunicación bidireccional lo que posibilita mayor cantidad de aplicaciones al mismo medidor. Es así como una AMI permite (al menos):

- Poder decir el día de cobro
- Proyectar el cobro de fin de mes
- Elegir entre tarifas diferenciadas o estáticas
- Respuesta automatizada y verificación de restauración de servicio
- Medición en tiempo real
- Acceso a datos vía web
- Reporte mensual detallado de consumo
- Alarmas de sobrepaso de límite de consumo
- Despliegue de datos de consumo en cortos intervalos de tiempo para uso del consumidor

Además de esto las AMI pueden incluir otros servicios dependiendo del fabricante y modelo específico.

1.1.3.Tipos de Conectividad

Tanto los AMR como AMI presentan distintas opciones de conectividad de las cuales no necesariamente se encuentran estandarizadas. Estas opciones varían en factores determinantes para el diseño de la solución tanto en funcionalidad como costos. Las principales opciones estandarizadas ya han sido previamente evaluadas en sus pros y contras [1] estas opciones son presentados en la tabla a continuación:

Tabla 1: Tecnologías de Comunicación [1]

Tecnología	Espectro [MHz]	Velocidad de Datos [kbps]	Cobertura[km]	Aplicaciones	Limitaciones
GSM	900-1800	Hasta 14.4	1-10	AMI, Respuesta a demanda, HAN	Baja velocidad de transmisión
GPRS	900-1800	Hasta 170	1-10	AMI, Respuesta a demanda, HAN	Baja velocidad de transmisión
3G	1920-1980 2110-2170	384 – 2000	1-10	AMI, Respuesta a demanda, HAN	Tarifas altas de Espectro
WiMAX	2500 3500 5800	Hasta 75	10-50 (LOS) 1-5 (NLOS)	AMI, Respuesta a demanda	Poco extendido
PLC	1-30	2000 - 3000	1-3	AMI, Detección de fraude	Canal ruidoso
ZigBee	2400 868-915	250	0.03-0.05	AMI, HAN	Baja velocidad de transmisión, corto alcance

Además de estas tecnologías, algunos proveedores han implementado tecnologías de RF particulares para sus medidores, comúnmente en bandas dentro de las bandas de 902-928 [MHz] y de 2400 [MHz] [2]

1.2. Problema

Para las distribuidoras de electricidad en Chile se detectan problemas, producto del mal uso del servicio, así como también a errores administrativos propios del negocio. Estas pérdidas

reciben el nombre de pérdidas no técnicas las cuales ascendían al 1,9% del total de la compra de energía a las generadoras, que suma alrededor de $15.200 millones al año. De esta energía el 60% corresponde a hurto y el otro 40% al consumo no registrado [3].

En cuanto a los consumidores, no pueden obtener información sobre su consumo actual y solo tienen acceso a los datos históricos de facturaciones anteriores, evitando así la posibilidad de administrar su consumo actual, por lo que deben esperar la fecha de facturación y poseen índices generales, a nivel de alimentador, sobre la calidad de servicio que les es entregada[4]. Esto dificulta el percatarse y evidenciar problemas individuales.

Todos estos problemas mencionados anteriormente, surgen inherentemente del proceso de adquisición de datos anticuado y poco eficiente que se utiliza.

Finalmente cabe destacar la necesidad de implementación de un sistema que permita la medición de energía inyectada a la red a nivel domiciliario, función que por exigencia legal las compañías distribuidoras de energía deberán implementar y no es posible (acorde a las exigencias de la ley) utilizando el sistema de medición actual.

1.3. Propuesta

Se propone el desarrollo de un sistema adecuado a la realidad chilena capaz de: Recolectar y enviar datos de consumo eléctrico de manera automática y en tiempo real desde medidores ubicados en los hogares, albergar la gran cantidad de datos de manera eficiente y útil para su posterior utilización y desplegar de manera simple el consumo de los usuarios en tiempo real dependiendo de las variaciones en su consumo por medio de una interfaz web. Todo esto de la manera más económica posible.
Para esto se propondrá una arquitectura capaz de sostener una comunicación bidireccional entre la central y un dispositivo encargado de la recolección de datos el cual envía los datos por internet a un servidor, de manera confiable, para su almacenamiento y posterior aprovechamiento.
Además de esto el sistema debe ser escalable a otros servicios, distintos proveedores y a nuevos usuarios de manera económica.

El trabajo está inmerso en el contexto de las "Memorias Multidisciplinarias" por lo que el desarrollo de este fue realizado por un equipo de trabajo compuesto por memoristas de distintas especialidades: Cristian Guerrero estudiante de ingeniería comercial encargado de evaluar la pre-factibilidad de proyecto, Víctor Urrutia estudiante de ingeniería en diseño de productos encargado de implementación de la solución al usuario final y Sebastián Apablaza estudiante de ingeniera civil electrónica y Andres Silva estudiante de ingeniera civil telemática encargados en conjunto del desarrollo de la solución.

Capítulo 2

2. Tecnologías de medición de consumos domiciliarios

Existen distintas tecnologías de comunicación física disponibles para "Smart Grid" que se dividen en dos principales medios: cableado e inalámbrico. En ciertos casos, la tecnología inalámbrica posee ciertas ventajas por sobre las tecnologías cableadas, como lo son el bajo costo en infraestructura y la conexión en áreas con difícil acceso.
Por otro lado, las tecnologías cableadas no tienen problemas de interferencia. Hay factores limitantes clave que deben tomarse en cuenta en la realización de proyectos de "Smart Metering", como lo son, el tiempo de instalación, costos operacionales, disponibilidad de la tecnología, entre otros. La elección de tecnologías que se adecuan a un entorno, puede no ser apropiado para otro. El resumen de las tecnologías más utilizadas, sus principales características y limitaciones se observa en la Tabla 1: Tecnologías de Comunicación .
A continuación se profundizará más en las tecnologías de comunicación existentes, arquitectura de implementación e implementaciones ya realizadas.

2.1. Tecnologías de comunicación

Dado el gran volumen de medidores necesarios, la red encargada de la comunicación entre estos y el proveedor es determinante en el costo de implementación (particularmente la comunicación de la HAN). Es por esto que, buscando la solución óptima, las industrias han probado diversas tecnologías para adecuarse a las necesidades de sus implementaciones.
A continuación se detallaran las tecnologías de comunicación autónomas más utilizadas en HAN's y sus principales ventajas y desventajas a nivel general (en "Diseño de la Solución" se evaluarán para el caso particular de Chile).

2.1.1. Redes Celulares

Las redes celulares presentan gran cantidad de beneficios para la comunicación entre medidores y el servidor. La infraestructura ya existente permite ahorrar costos operacionales

e infraestructura y permite ahorrar tiempo de implementación. Particularmente para el servicio de Smart Metering no son necesarias altas tasas de transferencia por lo que la red celular provee un canal que permite a la aplicación trabajar bastante holgada en condiciones normales. Además se trata de un sistema ampliamente difundido, con cobertura en todas las ciudades del país enfocado a grandes volúmenes de clientes y capaz de soportar protocolos de transferencia de datos.

Sin embargo este sistema presenta problemas de congestión en zonas de alta densidad de población y problemas de conectividad en situaciones de alta demanda, también es importante considerar que esta opción hace dependiente al sistema de un tercero y se supedita a su disponibilidad.

De las tecnologías celulares son útiles: GPRS, EDGE, 3G y 4G (con sus variaciones). Debido a que estas soportan datos.

A continuación se presenta una tabla comparativa de la información relevante de estas tecnologías.

Tabla 2: Tecnologías Celulares

Tecnología	**GPRS**	**EDGE**	**3G**	**4G**
Frecuencia de Operación [GHz]	0.8/1.7/1.8	0.8/1.7/1.8	1.7/2.1	0.7/2.6
Licenciado	Si	Si	Si	Si
Factor de canalización [MHz]	0.2	0.2	5	1.4/3/5/10/15/20
Velocidad de transmisión [Mbps]	Hasta 0.114	Hasta 0.473	Hasta 2	Hasta 300
Rango de cobertura [km]	Hasta 5	Hasta 5	Hasta 5	Hasta 100 (óptimo 5)

De estas tecnologías GPRS y EDGE (aprovechando que requieren hardware más simple, barato, menor consumo de energía y se encuentran más masificadas respecto a 3G y aun mas 4G) son las más ocupadas para aplicaciones de Smart Metering las cuales no requieren las altas velocidades de transmisión que 3G y 4G presentan como ventaja.

2.1.2. PLC

PLC o Power Line Comunication es una tecnología estandarizada (IEEE Std 1901-2010) que transmite la información por el tendido eléctrico de baja tensión (LV) la cual permite tasa de transferencia del orden 2-3 [Mbps] (en las implementaciones de Smart Metering). Opera con un sistema de broadcast lo cual puede presentar complicaciones en cuanto a seguridad y ruido en el caso de tener gran cantidad de equipos próximos (considerando que el canal ya se considera ruidoso).

Similar a las redes celulares la tecnología PLC aprovecha una infraestructura ya existente, para realizar la comunicación. Esto garantiza la existencia de conexión para los medidores de electricidad.

Junto con las desventajas de ruido del canal y la limitante de la velocidad de transferencia hay además que considerar que la red de transmisión eléctrica no fue concebida para albergar telecomunicaciones por lo que en casos puntuales no permite la correcta operación del sistema[5] (Ej.: Dispositivos eléctricos utilizados en el domicilio del usuario final introducen ruido al canal y perjudicar la transmisión). Finalmente es importante destacar que si bien PLC se encuentra estandarizado muchas de las compañías que desarrollan Smart Meters utilizan sus propias implementaciones privadas (EJ.: CENELEC EN. 50065-1) lo que obliga a utilizar tecnología de un proveedor particular dependiendo del medidor.

2.1.3. Zigbee

Zigbee es un estándar de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.15.4. Dentro de sus principales cualidades se encuentran su bajo consumo energético, baja complejidad de implementación y bajo requerimiento de ancho de espectro. Estas características junto con la posibilidad de interactuar con otros dispositivos Zigbee lo convierten en una excelente opción para usos de Smart Grid considerando que su baja tasa de datos y distancia de operación son suficientes para los requerimientos de aplicaciones como Smart Metering.

Sin embargo uno de los principales problemas de Zigbee es que opera en la banda libre de los 2.4 [GHz] lo que lo hace propenso a interferencias de otras aplicaciones como WiFi y Bluetooth entre otras.

Zigbee opera utilizando 16 canales en la banda de 2.4 [GHz] cada uno con un ancho de banda de 5 [MHz] y transmitiendo a una potencia de 0 [dBm].

2.1.4. Red de radiofrecuencia por estándares privados

Las implementaciones mediante radiofrecuencia son por medio de una red de malla en que cada medidor actúa como enrutador (Router) y uno de los nodos actúa como puerta de enlace (Gateway), similar a la arquitectura de Internet, comúnmente llegando a la aplicación mediante una conexión celular.

Esta forma de implementación permite aprovechar la cantidad de medidores agregando robustez a la red permitiendo cualidades como auto reparación y balanceo de carga. Todo esto auto-configurado por la misma red.

Por otro lado al ser una red inalámbrica posee problemas inherentes a este tipo de comunicación como desvanecimientos e interferencias por lo que en ciertos casos la red no otorga cobertura a todos los nodos y por temas de seguridad los datos deben ser encriptados ya que por cada nodo pasa información de otros usuarios.

La forma particular de implementar esta tecnología depende del fabricante pero comúnmente se utilizan las bandas libres de 900 y 2400 [MHz] lo cual como se explicó previamente presenta una desventaja al ser bandas compartidas con otras aplicaciones.

2.2. Arquitectura de sistema

Debido al gran volumen de clientes de un servicio de Smart Metering, se hace necesaria la organización de sus componentes para poder garantizar la disponibilidad de servicio y escalabilidad necesarias del sistema. Estas deben adecuarse lo mejor posible a la realidad en la que están inmersas para asegurar el éxito del sistema.

Actualmente predominan 3 arquitecturas: árbol, en malla y conexión directa a la central.

2.2.1. Árbol

La arquitectura de árbol consiste en posicionar equipos destinados a recolectar la información de un grupo de medidores en su proximidad y enviar estos datos a la central o a otro equipo que recolecte datos. Estos equipos se denominan concentradores y debido a que trabajan con un flujo de datos mayor al de los medidores, es común que cambien el protocolo de comunicación para el envío de datos.

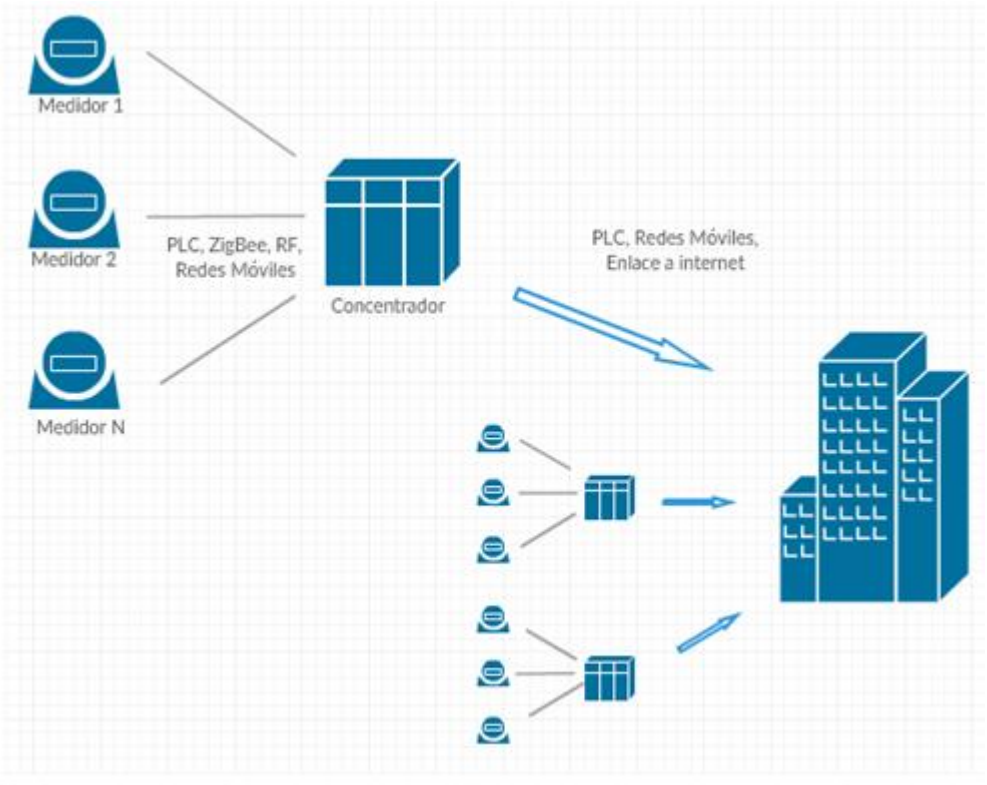


Ilustración 1: Red de arquitectura árbol

2.2.2. Malla

Las redes de malla operan de forma similar a los sistemas de routers en la Internet, cada nodo recibe información de sus nodos adyacentes y envía a otro en específico. Finalmente un nodo designado envía toda la información fuera de la red hacia un servidor central.

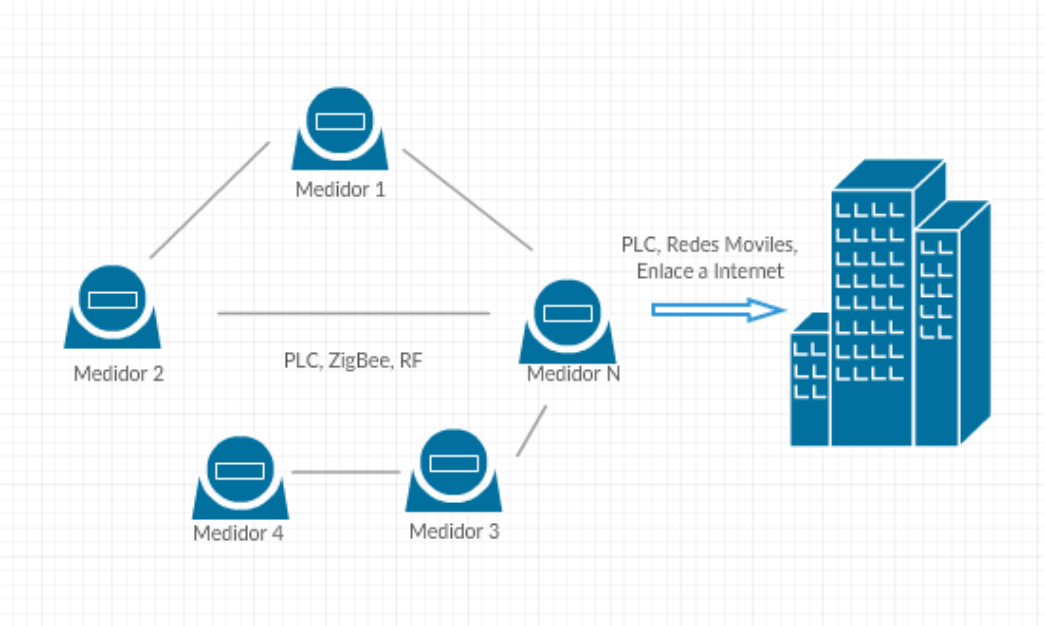


Ilustración 2: Red de arquitectura de malla

2.2.3. Conexión directa

La implementación más simple consiste en conectar directamente los medidores a la central, para esto se requiere que el tipo de enlace permita a todos los clientes acceder a la central cuando sea necesario. Estas implementaciones se hacen comúnmente por redes móviles.

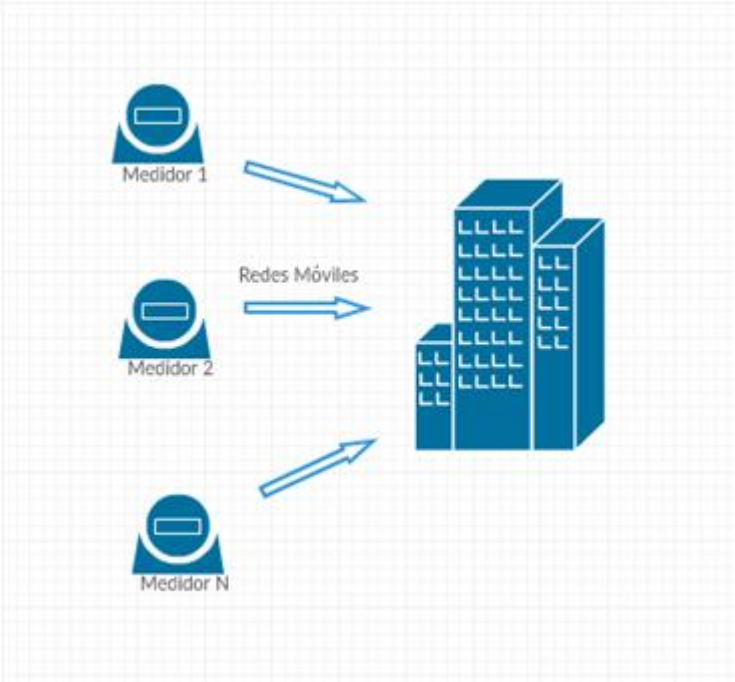


Ilustración 3: Arquitectura de red de conexión directa

2.3. Implementaciones

Dentro del país se han implementado diversos pilotos con distintos alcances y clientes objetivos. Cabe destacar la implementación de medición inteligente de consumo eléctrico en el sector de Ciudad Empresarial, Región Metropolitana, por "Smartcity Santiago"[6], 590 puntos residenciales de zonas remotas y 50 puntos comerciales con suministro trifásico de su red de distribución por SOCOEPA[7], y por último la implementación de 540 medidores realizada para grandes clientes en zonas de difícil acceso por Aguas Andinas[8]. Sin embargo, todas estas implementaciones tienen carácter de piloto.

Cabe destacar que tanto la implementación de "Smartcity Santiago" como la de SOCOEPA poseen una arquitectura de árbol, mientras que la implementación realizada por Aqualogy para Aguas Andinas poseía una conexión directa por red celular (GPRS).

Capítulo 3

3. Diseño e implementación de sistema de medición inteligente

Teniendo conocimiento de las principales tecnologías existentes e implementadas para sistemas de medición inteligente se investigó las opciones existentes en el mercado según su tecnología y costo de implementación, siendo este último un factor decisivo en la selección debido a que la solución presentada debe ser suficientemente interesante como para lograr que las compañías distribuidoras decidan cambiar la infraestructura de medición actual (la cual, si bien no es óptima, es operativa). Para lograr esto el costo debe ser el mínimo posible, sin comprometer las funciones mínimas que debe cumplir el sistema.

3.1. Descripción de componentes

Los componentes utilizados debían cumplir el requisito de permitir la incorporación de tecnologías de otros proveedores con el fin de no producir un monopolio en el mercado y no subordinar el sistema a un fabricante o tecnología en específico.
Para poder permitir esto, las arquitecturas de red más adecuadas corresponden ser las de enlace directo y la arquitectura de árbol, quedando descartada la arquitectura de malla debido a la necesidad de un protocolo de alto nivel único para la interacción de los nodos y la automatización de la generación de la red que soporta el sistema.
La evaluación de tecnologías, por temas de costo de implementación implicó el descarte de las tecnologías móviles debido al costo que significa el contratar una línea de telefonía celular y la supeditación a la red celular que esta significa. Por esto la arquitectura de enlace directo, la cual utiliza esta tecnología, se ve excluida dejando como opción a utilizar la arquitectura de árbol.

3.1.1. Concentrador

Considerando la arquitectura seleccionada se vuelve necesario un dispositivo concentrador económico capaz de operar con la mayor variedad de proveedores.
Los concentradores existentes de variados proveedores no se encuentran disponibles al público general, sin embargo, los concentradores evaluados[9] están diseñados para operar con un medidor (o un grupo acotado de medidores) de la empresa en particular, por lo que no cumplen con el requisito de interoperabilidad con otras opciones de medidores.
Además se encontraron presupuestos realizados por municipalidades en que los precios de los concentradores ascendían a 13.500 USD[10], valor que imposibilita la implementación de un piloto de pruebas en el proyecto.
Considerando estos factores se optó por el desarrollo de un dispositivo capaz de actuar como concentrador, utilizando como base el receptor de mensajes ERT (Encoder Receiver Transmitter) mediante software "rtlamr", desarrollado por Douglas Hall[11].

3.1.1.1. Protocolo ERT

El concentrador que se optó desarrollar permite recibir mensajes enviados en base al protocolo ERT, este protocolo es usado por distintos proveedores en distintos tipos de medidores y envía información estándar de mediciones.
El protocolo ERT consiste en una señal modulada en OOK transmitida en la banda de 900-920 [MHz] y utiliza la técnica de frequency-hopping para evitar interferencias con otros medidores cercanos. Este cuenta con dos tipos de mensajes SCM (Standard Consumption Message) e IDM (Interval Data Message).

Tabla 3: Estructura de los mensajes SCM [12]

Field	Length (bits)	Default Value	Notes
Sync bit	1	1	
Preamble	20	0xF2A60	
ERT ID MS bits	2		This is the highest two bits of the meter serial number
Reserved	1		
Physical Tamper	2		

ERT Type	4	This is the commodity type (e.g. water, gas or electric)
Encoder Tamper	2	
Consumption Data	24	This is the actual meter reading value
ERT ID LS bits	24	This is the remaining bits of the meter serial number
Checksum	16	A BCH code

Tabla 4: Estructura de los mensajes IDM [13]

Field	Length (bytes)	Value	Notes
Training Sync	2	0x5555	
Frame Sync	2	0x16A3	
Packet Type	1	0x1C	
Packet Length	2	0x5CC6	Number of remaining bytes (MSB) and Hamming code of first byte (LSB).
Version	1	0x01	
ERT Type	1	0x17	LSB nibble is equivalent to SCM's ERT Type.
ERT Serial Number	4		
Consumption Interval Count	1		
Module Programming State	1		
Tamper Count	6		
Async Count	2		
Power Outage Flags	6		
Last Consumption Count	4		
Differential	53		47 intervals of 9-bit integers.

Consumption Intervals		
Transmit Time Offset	2	
Serial no. CRC	2	CRC-16-CCITT of ERT Serial Number.
Packet CRC	2	CRC-16-CCITT of packet starting at Packet Type.

3.1.1.2. RTL-SDR

El software desarrollado por Douglas Hall, llamado “rtlamr” utiliza para la recepción de la señal el RTL-SDR un “software defined radio” diseñado para operar con el chipset RTL2832U/R820T. Esta implementación es particularmente económica (13 USD)[14], incluso con respecto a competencia Airspy (199 USD) [15] y SDRPlay (149 USD) [16], lo que la hace muy atractiva para la aplicación.
La información relevante del dispositivo se detalla a continuación:

Tabla 5: RTL2832U/R820T [17]

RTL2832U/R820T	
Rango de Frecuencias	42 - 1002 MHz
Impedancia de entrada de antenas	75 Ohm
Sensibilidad	-97.5 [dBm] (FFT:8k,QPSK,CR:1/2) -91.5 [dBm] (FFT:8k,16QAM,CR:1/2) -81.5 [dBm] (FFT:8k,64QAM,CR:3/4)
Potencia máxima de entrada	+10 dBm (FFT:8k,64QAM,CR:7/8)
Consumo	178 [mA] @ 3.3[V]

El software rtlamr permite recolectar mediciones de más de 30 tipos de medidores [18] de distintos proveedores y de los 3 tipos de servicios básicos. Con estas características es posible lograr que el dispositivo concentrador cumpla con los requisitos de escalabilidad de servicios y libertad de proveedores.

3.1.1.3. Raspberry PI

Al estar programado en GO[19] el rtlamr debe correr una plataforma Windows, Mac OSX o Linux, debido a ser el único no-privado, se optó por este último como sistema. Para el dispositivo de hardware en el que debe operar se consideró tamaño, consumo y precio como factores determinantes, por esto se optó por la Raspberry Pi, un computador económico de bajo consumo energético y de tamaño extremadamente compacto (85.60mm × 53.98mm), el cual soporta ambientes Linux y posee interfaces Ethernet y USB lo que permite gran versatilidad de protocolos de comunicación.

La información técnica sobre la Raspberry Pi está resumida en la Tabla 6: Especificaciones modelos Raspberry Pi :

Tabla 6: Especificaciones modelos Raspberry Pi [20]

	Model A	**Model B**	**Model A+**	**Model B+**	**Raspberry Pi 2**
Target price:	**US$25**	**US$35**	**US$20**	**US$35**	**US$35**
System-on-a-chip (SoC):	**Broadcom BCM2835 (CPU + GPU. SDRAM is a separate chip stacked on top)**				**Broadcom BCM2836**
CPU:	**700 MHz ARM11 ARM1176JZF-S core**				**900MHz quad-core ARM Cortex-A7**
Memory (SDRAM):	**256 MiB**	**256 MiB**	**256 MiB**	**512 MiB**	**1024 MiB**
USB ports:	**1 USB 2.0**	**2 USB 2.0**	**1 USB 2.0**	**4 USB 2.0**	
Onboard Storage:	**Secure Digital|SD / MMC / SDIO card slot**		**Micro Secure Digital / MicroSD slot**		
Onboard Network:	**None**	**10/100 wired Ethernet RJ45**	**None**	**10/100 wired Ethernet RJ45**	
Power ratings:	**300 mA, (1.5 W)**	**700 mA, (3.5 W)**	**600mA up to 1.2A @**	**~650 mA, (3.0 W)**	

			5V		
Power source:	**5 V (DC) via Micro USB type B or GPIO header**				
Size:	**85.0 x 56.0 mm x 15mm**	**85.0 x 56.0 mm x 17mm**	**65.0 x 56.0 mm x 12mm**	**85.0 x 56.0 mm x 17mm**	**85.0 x 56.0 mm x 17mm**

3.1.2. Medidor

Considerando las limitaciones impuestas por el software utilizado en el concentrador, el medidor debe operar dentro del estándar ERT siendo compatible con el rtlamr. Por esto se optó como medidor, para la implementación inicial del proyecto, por el Itron CENTRON C1SR el medidor para el cual fue pensado en primera instancia el desarrollo de Hall.

Ilustración 4: Itron Centron C1SR

El CENTRON C1SR es un AMR por lo tanto este funciona con comunicación unidireccional y pensado para operar en la manera descrita por Mark Cornwall en la patente US 20110050456A1[12], la cual consiste en un lector móvil (en un automóvil) que mediante un dispositivo receptor captura la información transmitida por los medidores, esta es almacenada en el vehículo y luego de terminado el recorrido el móvil regresa a la estación donde la información es cargada al sistema principal.

El medidor opera en la banda de los 910-920 [MHz] utilizando la técnica de frequency hopping para evitar interferencia con otros medidores, las frecuencias de transmisión y los

intervalos de transferencia son aleatorios por naturaleza y permiten dos configuraciones de transmision: “standard power” la cual transmite a una potencia de 0.75 [mW] y “high power”, configuración que transmite a 100[mW] de potencia.
Las mediciones son capturadas en una resolución de 1[kWh] y permiten la opción de Net Metering, cuando esta opción está activada la energía inyectada es sustraída de la consumida y el valor “Net” es desplegado en la pantalla.
El mensaje enviado por el medidor cuenta con 2 valores para indicar adulteración (Tamper Count). Estos valores van de 0 a 3 e indican la cantidad de veces que el medidor fue removido o la corriente que recibía fue invertida, este último solo aplica en caso de estar desactivada la opción de Net Metering.

3.1.3. Servidor

La fase final de la recolección de datos consiste en el almacenamiento de éstos en una base de datos específica para el distribuidor de servicios básicos. Para esto el servidor debe tener servicios de base datos para el almacenamiento, un servicio WEB que permita el despliegue de los datos y un servicio capaz de recibir la información de una gran cantidad de concentradores de manera de no perder ningún dato. Además el servidor debe ser capaz de procesar los datos recibidos de manera de poder reconocer el incremento en los contadores de adulteración y emitir un aviso a la autoridad correspondiente.

Capítulo 4

4. Implementación de sistema de medición inteligente

Para probar la viabilidad y funcionalidad del sistema se realizó una implementación de un prototipo vertical de la solución, el cual contempla el ciclo completo de los datos de medición: Captura, recolección, almacenamiento y despliegue.

El proceso de captura es realizado exclusivamente por el medidor, éste además emite el dato para su recolección. La emisión es realizada por radiofrecuencia, siguiendo el estándar ERT a una potencia de 0.75 [mW].

El proceso de recolección de los datos de consumo de energía eléctrica contempla 2 niveles en primera instancia la recepción de los datos emitidos por los medidores en el concentrador y finalmente la recopilación de los datos capturados por todos los concentradores en el servidor. El método de obtención del dato en estos niveles difiere debido al volumen de datos involucrados, por lo que sea realizaron desarrollos distintos para cada uno.

Para la fase de despliegue se utilizó html y php en el servidor central, así, mediante despliegue WEB es posible apreciar una representación gráfica de los datos de consumo.

4.1. Medidor

Como ya fue expuesto el medidor fue seleccionado en base al software rtlamr. Como el desarrollo original de este estaba pensado para operar con el medidor Itron CENTRON C1SR (descrito en el Capítulo 3), el cual cumplía con los requerimientos de proyecto (captura y emisión automática del dato y capacidad de Net Metering), por lo que se decidió usar éste para el prototipo.

El medidor fue utilizado para realizar pruebas de conectividad y permitir evaluar la distancia máxima de cobertura del sistema. Este valor toma importancia en la planificación y el dimensionamiento de la red de recolección, ya que es crítico para determinar la cantidad de concentradores necesarios para una región en particular.

4.2. Concentrador

El dispositivo concentrador está compuesto por 2 sistemas principales: El sistema de recepción compuesto por el RTL-SDR y el rtlamr, el sistema de procesamiento y envío compuesto por software desarrollado específicamente para este sistema. La implementación tanto el rtlamr como el software específico se ejecutan en un sistema Raspberry PI modelo B. Se decidió que el sistema operativo más adecuado para ejecutar en la Raspberry correspondía ser la distribución Pidora, una implementación de la distribución Fedora de Linux para Raspberry, la cual posee un kernel de Red Hat el que es ampliamente aceptado para las implementaciones de servicios web por su estabilidad.
La instalación de Pidora se llevó a cabo en una tarjeta SD de 8 [GB] utilizando el software Fedora ARM Installer[21], el cual permite la instalación de sistemas operativos Fedora en el procesador ARM11 de la Rasberry PI.

Además de esto fue necesaria la compilación del software rtlamr para el sistema en particular, para esto se realizó la instalación del lenguaje GO y la descarga y compilación del rtlamr cuyo código fuente se encuentra disponible en el repositorio Github de Douglass Hall[11]

Instrucciones de instalación de rtlamr en Pidora:

- Instalar el RTL-SDR mediante el comando: **yum install rtl-sdr.**
- Instalar GO mediante el comando: **yum install golang.**
- Setear gopath mediante los comandos: **export GOPATH=$HOME/go** y **export PATH=$PATH:$GOROOT/bin:$GOPATH/bin**
- Descargar desde Github los códigos de “rtl_tcp”[22] y “rtlamr”[11] y extraerlos en $HOME/go/src/github.com/bemasher/rtlamr/ y $HOME/go/src/github.com/bemasher/rtltcp/
- Instalar rtamr mediante el comando: **go install -a -v github.com/bemasher/rtlamr.**
- El archivo se generara en la carpeta “$HOME/go/bin/” con el nombre de “rtlamr”.

El software desarrollado cumple 2 funciones: Recuperar las mediciones obtenidas por el rtlamr y enviar las mediciones al servidor principal.

Para la obtención de las mediciones se aprovecha la capacidad del rtlamr de arrojar las mediciones en archivo log. Esta función permite la escritura de éste en diferentes formatos: plain, csv, json, xml o gob. Para esto se debe ejecutar el rtlamr mediante el comando:

$HOME/go/bin/rtlamr -format=json -logfile=/stdout/json.log -unique=true

Donde /stdout/json.log determina la ruta y el nombre del archivo en que se registran las mediciones (es importante para el correcto funcionamiento del sistema que el archivo termine en .log). La opción "-unique=true" suprime los valores duplicados de un medidor, dicho de otra manera solo reporta la medición si ésta presentó cambios. Ésta opción no es necesaria para la operación del sistema pero ayuda a alivianar la carga sobre este.

El formato seleccionado para utilizar fue JSON por su amplia compatibilidad y fácil utilización.

La lectura del log se realiza utilizando una implementación en python del comando unix "tail" (el comando unix vigila un archivo e imprime por pantalla el contenido agregado a este a medida que se escribe). La implementación realizada por Giampaolo Rodola[23], llamada "logread", consulta por variaciones al archivo en un intervalo de tiempo ajustable y envía las nuevas líneas agregadas al archivo a una función en una lista (donde cada elemento de la lista es una línea agregada al archivo). La función implementada para esta aplicación recibe las líneas desde "logread" y mediante expresiones regulares recupera la string con la información de la medición SCM en formato JSON; sin embargo, para poder ser leída como tal la información debe ser traspasada a una variable JSON. Esta función fue traspasada al servidor buscando aliviar la carga de la Raspberry ya que el SDR, por su naturaleza de utilizar hardware de uso genérico para simular hardware especifico de análisis de radiofrecuencia, significa un estrés alto para el dispositivo (el cual está orientado a baja demanda y poco consumo de potencia)

La string JSON es enviada al servidor mediante el método POST del protocolo HTTP, se decidió utilizar el protocolo HTTP para la transmisión por las propiedades de este:

- Montado sobre TCP por lo que incorpora verificación de transmisión
- Las operaciones HTTP automáticamente administran las conexiones.
- Las peticiones son independientes del resto.
- Es un protocolo orientado a gran volumen de conexiones y clientes.

Así es posible, a nivel lógico, permitir al sistema manejar la gran cantidad de conexiones y datos necesarios.

4.3. Servidor

La implementación del servidor consiste en un sistema virtualizado operando con Linux CentOS [24]. Para realizar las funciones necesarias para el sistema, éste opera los servicios de base de datos en MySQL, servicio web mediante Apache[25] y php.

Para la recepción de datos, el servidor ejecuta un software desarrollado específicamente para el proyecto el cual mantiene un servidor HTTP que recibe las mediciones de los concentradores como strings, convierte estas strings a JSON, extrae los datos relevantes y los inserta a la base de datos.

El servidor mediante el servicio apache mantiene la página web que despliega a los clientes los datos de su consumo, la implementación contempla un login para identificar al usuario el cual luego es derivado a un gráfico histórico de su consumo.

Capítulo 6

5. Verificación de resultados

El prototipo fue implementado según las especificaciones descritas en los capítulos 4 y 5: un prototipo vertical de la solución capaz de realizar todas funcionalidades necesarias para permitir al dato llegar desde su captura hasta su despliegue

5.1. Pruebas de funcionamiento

La principal evaluación del sistema es sobre su capacidad de cumplir las funcionalidades de interés de los sistemas de Smart Metering y todas las funciones que realiza el sistema actual:

- Captura confiable de datos de consumo medidos por un dispositivo capas de enviarlos utilizando el protocolo ERT.
- Escalabilidad de clientes
- Escalabilidad a medición de otros servicios
- Interoperabilidad con medidores de distintas empresas, la cual no pudo ser evaluada por costos involucrados.
- Recolección automática y en tiempo real
- Detección de adulteración
- Despliegue simple de consumo histórico

Para esto se realizó la instalación de los equipos de la manera descrita a continuación y expuesta en la Ilustración 5: Diagrama de implementación de prototipo:

- Se energizó el medidor conectando sus terminales de entrada a la red de energía
- Se instaló el RTL2832U/R820T en la Raspberry Pi la cual se encontraba configurada de la manera descrita en el capítulo 5.
- Tanto la Raspberry como el servidor virtualizado, encargado de almacenar el dato, fueron conectados a un switch el cual simulaba la conexión a Internet de la Raspberry
- El servidor encargado de almacenar los datos y su despliegue fue montado en una máquina virtual VirtualBox con una interfaz en modo bridge conectada al switch descrito en el punto anterior.

- Un tercer computador fue conectado al switch para acceder al servicio web del servidor y poder observar los gráficos de consumo.

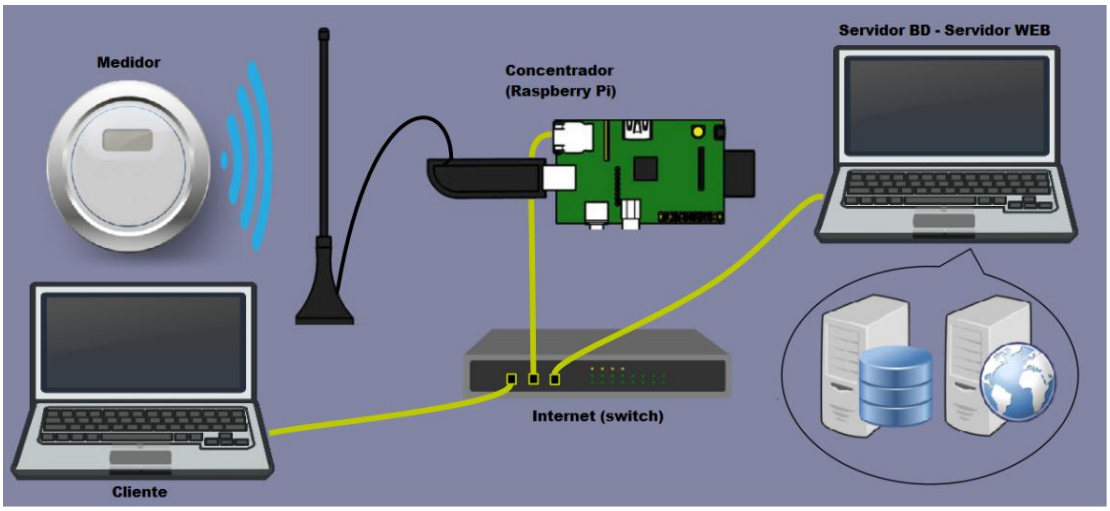


Ilustración 5: Diagrama de implementación de prototipo

Esta implementación permitió probar el correcto funcionamiento del sistema completo, lo que permitió comprobar la exitosa transición del dato por cada uno de los sistemas (las imágenes de los sistemas operando se encuentran en los anexos).

Dentro de las funciones deseadas no pudieron ser evaluadas la escalabilidad a otros servicios ni la interoperabilidad con medidores de distintos proveedores, sin embargo estas funcionalidades dependen exclusivamente de la capacidad del concentrador de poder recibir y recuperar las señales emitidas por los medidores y como fue previamente expuesto el "rtlamr" puede operar con dispositivos de distintos servicios básicos y distintos proveedores (entre ellos Itron, Schlumberger y Landis+Gyr)[18]. Esto hace que, gracias a la manera en que está implementado el sistema, estos medidores puedan ser utilizados sin necesidad de realizar cambios al sistema de recolección.

Sin embargo, a pesar de no contar con más medidores para realizar la prueba, para simular más medidores conectados al sistema se configuró el sistema para recolectar todas las mediciones del medidor (no solo al producirse variaciones como fue descrito en el capítulo 5). Esta medida permite agregar mayor volumen de datos al sistema, pero no permite simular el caso real en que dos o más medidores podrían enviar datos simultáneamente produciéndose interferencia entre éstos, ni tampoco permite evaluar la recepción del sistema de medidores correspondientes a distintos usuarios.

5.2. Mediciones de conectividad

Como fue mencionado anteriormente la conectividad en un tema fundamental en la implementación del sistema al ser determinante en la cantidad de concentradores necesarios, valor crítico para la implementación de la arquitectura de recolección. Esta evaluación debió ser realizada para el sistema en particular ya que las condiciones de recepción de este son particulares, no son aplicables los valores de recepción logrados por los fabricantes ya que éstos utilizan equipos especializados y la implementación desarrollada para este trabajo utiliza equipos genéricos en todo el proceso por lo que no se tiene los datos de conectividad del sistema realizado.

Por estas razones se vuelve necesario para poder evaluar como exitoso el proyecto, el determinar la distancia a la que este puede transmitir en condiciones lo más similares posibles a las de operación.

Para poder realizar esta estimación se optó por una caracterización general de la propagación de la señal. El método por el cual se realizó esto consiste en tomar mediciones en ambientes urbanos utilizando como transmisor el medidor CENTRON C1SR y como receptor el RTL2832U/R820T conectado a un computador, utilizando el software Airspy SDR# [26].

Las mediciones tomadas fueron de 2 tipos “indoor” para la caracterización del emisor y “outdoor” para pruebas de recepción.

Las mediciones “indoor” fueron realizadas ubicando tanto el emisor como el receptor en plataformas elevadas a un metro del suelo y separándolos a al menos un metro de las paredes de la habitación. Esta configuración es necesaria para poder disminuir el efecto de las reflexiones sobre el haz principal y las antenas fueron ubicadas a la misma altura para aprovechar al máximo su ganancia.

Para esto se decidió utilizar el RTL2832U debido a que ésta será antena utilizada en la implementación del concentrador analógicamente el software SDR# fue elegido por operar en conjunto con el RTL2832U.

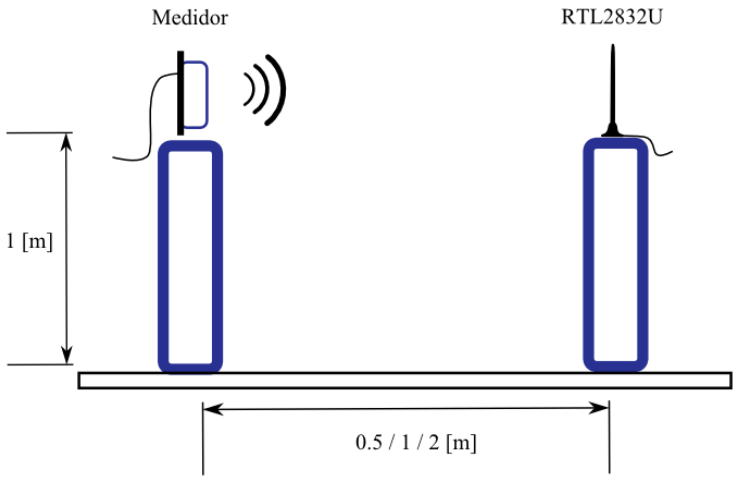


Ilustración 6: Vista lateral mediciones "indoor"

Se tomaron mediciones en 3 distancias: 0.5, 1 y 2 metros. En cada distancia se tomaron 5 mediciones. Considerando necesario al menos una distancia de la mitad de la longitud de onda de la señal transmitida para evidenciar cambios en las propiedades del canal y el valor máximo experimental de la frecuencia de transmisión es de 913[MHz] (valor que implica una longitud de onda de aproximadamente 0.3285 [m]) las posiciones de la antena receptora (RTL2832U) en las mediciones fueron separadas por 20 [cm] entre cada una.

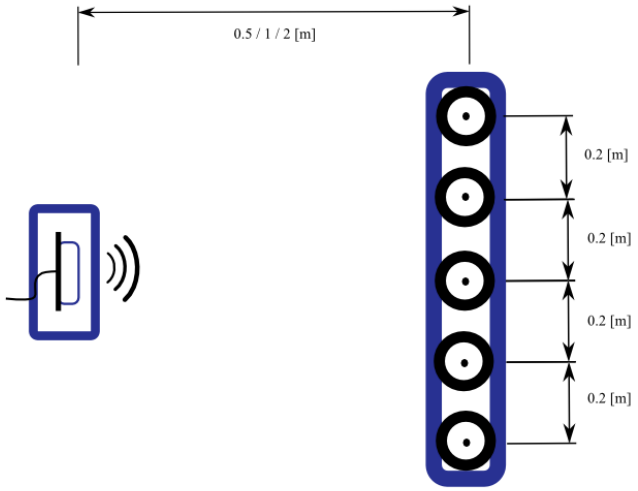


Ilustración 7: Vista superior mediciones "indoor"

Debido a que el medidor transmite con una secuencia pseudo-aleatoria y en impulsos breves, para poder realizar las mediciones se utilizó el SDR# como analizador de espectro

configurado con “peak holding” (mantener valores altos). Así es posible desde la representación gráfica del espectro obtener la potencia transmitida recibida. El receptor se mantuvo operando por 10 [min] en cada posición (valor arbitrario para obtener una gran cantidad de muestras) tiempo en el cual la gráfica del espectro se independiza de las variaciones temporales y gracias al “frecuency hopping” se obtiene muestreo en frecuencias por toda la banda de transmisión.

Los resultados de estas mediciones están resumidos en la Tabla 7: Mediciones "indoor".

Tabla 7: Mediciones "indoor"

Distancia [m]	Medición 1 [dBm]	Medición 2 [dBm]	Medición 3 [dBm]	Medición 4 [dBm]	Medición 5 [dBm]
0.5	-28	-21	-24	-22	-20
1	-25	-27	-30	-30	-32
2	-33	-34	-36	-33	-32

Además de esto se realizaron mediciones en un ambiente urbano “outdoor” a distancias mayores para probar efectivamente la capacidad de recepción del sistema.

Esta medición se realizó en un pasaje cerrado (pasaje Manuel Rodríguez, Recreo, Viña del Mar) de noche para evitar interferencias de automóviles o personas. El medidor fue ubicado a una altura de 1.5 [m] en un extremo del pasaje y el receptor a los mismos 1.5 [m] de altura se ubicó a 10, 20, 35, 45 y 50 [m] en 3 posiciones a cada distancia, cada una de estas posiciones separadas por al menos 20 [cm]. Se realizaron mediciones de potencia y se utilizó el software rtlamr para comprobar si era posible recuperar las mediciones emitidas.

Lamentablemente para distancias mayores a 20[m] las señales eran recibidas con potencias demasiado bajas esto provocaba que se confundieran con ruido en el analizador de espectro por esto solo fue posible comprobar la recepción de la señal e incluso las mediciones hechas a distancias menores esto se encontraban notablemente influenciadas por ruido.

Tabla 8: Mediciones "outdoor"

Distancia [m]	10			20			35			45			50		
Potencia [dBm]	-40	-42	-40	-44.2	-43.75	-44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio [dBm]	-40.67			-43.983			-			-			-		

Recepción	Si	Si	Si	Si	Si

Para poder obtener resultados concluyentes debió hacerse una medición más para poder encontrar la distancia máxima en línea vista a la que era posible para el rtlamr recuperar la información enviada por el medidor. Esta medición se realizó ubicando el medidor en un punto fijo y moviendo la antena receptora mientras se monitoreaba la recepción de mediciones. Las mediciones pudieron seguir siendo recuperadas hasta los 110[m] aproximadamente (este valor variaba según desvanecimientos de pequeña escala dimensionales y temporales).

Con estos datos es posible caracterizar la transmisión de la señal. Esto basándose en el modelo de propagación de Friis.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} + 20log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) \text{ (Ecuación de transmisión de Friis)}$$

De mediciones podemos obtener los promedios de potencia recibidos y contrastando esto con la ecuación de Friis queda en evidencia su aplicabilidad al caso puntual de la solución. Para el modelo de Friis se calculó la antena transmisora como una antena dipolo lambda medios al igual que la antena de transmisión (estas poseen una ganancia de 2.15 [dBi]).

Tabla 9: Contraste teórico vs experimental

Distancia [m]	Potencia promedio [dBm]	Valor Teórico (Modelo de Friis) [dBm]
0.5	-23	-22.576
1	-28.8	-28.597
2	-33.6	-34.618

Así podemos calcular la potencia teórica recibida a 110[m] la cual corresponde a -70.325 [dBm]. Suponiendo que el valor del ruido será similar al observado en las mediciones podemos utilizar este valor como el valor de corte para transmisión.

Además es necesario considerar las pérdidas por obstrucciones a la señal ya que no es posible garantizar siempre un escenario de línea vista, como utilizado en las mediciones, para esto es necesario agregar una atenuación la cual depende del material y de la frecuencia de

transmisión. En la Tabla 10: Atenuación de señal según material y frecuencia se listan obstrucciones comunes y su respectiva atenuación [27].

Tabla 10: Atenuación de señal según material y frecuencia

Tipo de Material	Pérdida (dB)	Frecuencia
All Metal	26	815 MHz
Aluminium siding	20,4	815 MHz
Foil insulation	3,9	815 MHz
Concrete block wall	13	1300 MHz
Loss from one floor	20-30	1300 MHz
Loss from one floor and one wall	40-50	1300 MHz
Fade observed when transmitter turned a right angle corner in a corridor	10-15	1300 MHz
Light textile inventory	3-5	1300 MHz
Chain-like fenced in area 20 ft high containing tools, inventory and people	5-12	1300 MHz
Metal blanket -12 sq ft	4-7	1300 MHz
Small metal pole -6" diameter	3	1300 MHz
Metal Puley system used to hoist metal inventory -4 sq ft	6	1300 MHz
Light machinery < 10 sq ft	1-4	1300 MHz
General machinery -10 -20 sq ft	5-10	1300 MHz
Heavy machinery > 20 sq ft	10-12	1300 MHz
Metal catwalk/stairs	5	1300 MHz
Light textile	3-5	1300 MHz
Heavy textile inventory	8-11	1300 MHz
Area where workers inspect metal finished products for defects	3-12	1300 MHz
Metalic inventory	4-7	1300 MHz
Metalic inventory racks -8 sq ft	4-9	1300 MHz
Concrete block wall	13-20	1300 MHz
Ceiling duct	1-8	1300 MHz
2.5 m storage rack with small metal parts (loosely packed)	4-6	1300 MHz
4m metal box storage	10-12	1300 MHz
5m storage rack with paper products (loosely packed)	2-4	1300 MHz

Utilizando estos valores se puede complementar la fórmula de Friis y se obtiene

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} + 20log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) - X_{\sigma} \text{ (Ecuación de Friis con atenuaciones)}$$

Donde X_{σ} corresponde a la atenuación en decibeles producida por el material que produce la obstrucción.

Finalmente podemos decir que si luego de reemplazar en la formula anterior tenemos una potencia mayor a -70.325 [dBm] estamos en una situación donde existiría conectividad, sin embargo como estos valores son promedios es prudente dejar un resguardo de unos 10 [dB]. Por lo tanto habría conectividad si:

$$-70.325 \leftarrow 1.2494 + 2{,}15 + 2{,}15 + 20log_{10}\left(\frac{0.32}{4\pi R}\right) - X_{\sigma} \text{ (Ecuación de conectividad)}$$

Esta ecuación se probó con obstrucciones de paredes de concreto y se comprobó conectividad en casos esperados, por otra parte la conectividad en casos que no cumplían con la condición de conectividad presentaban resultados variados (no era posible garantizar conectividad).

5.3. Limitaciones

La principal limitación del prototipo implementado frente a los servicios AMI (como los realizados en "Smartcity Santiago") es la capacidad de comunicación bidireccional directa al medidor que poseen estos sistemas y que es imposible de realizar en este sistema debido a que el protocolo ERT es unidireccional, utilizado solo para transmisión de los datos. Esto priva al sistema de posibilidades como control remoto de la disponibilidad de servicios o comunicación directa al cliente (al medidor en el hogar del cliente) de información relevante.

Capítulo 6

6. Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

Desde las pruebas de prototipo realizadas ha quedado demostrada la posibilidad de la implementación de un sistema de medición de datos de consumo doméstico el cual permite, de manera económica, la recolección de las mediciones de manera confiable y a un bajo costo desde el domicilio del usuario final hasta una base de datos ubicada en un servidor dispuesto para el sistema. Además de esto, el sistema puede (gracias a interoperabilidad permitida por el protocolo ERT) teóricamente utilizar tecnologías de distintos fabricantes simultáneamente dando libertad de elección al cliente, aparte de ser un sistema que permite la recolección de datos de consumo de los tres servicios básicos. El sistema fue probado con el dispositivo CENTRON desarrollado por la empresa ITRON sin embargo la compatibilidad del sistema de captura con estos medidores está validada por el desarrollador del rtlamr y por la comunidad[18]. El resto del sistema, encargado de almacenamiento y despliegue, es independiente del tipo y modelo de medidor como tal y por lo tanto no tendría problemas en operar con ningún dispositivo de medición.

La limitación de unidireccionalidad de comunicación del medidor es lamentable e ineludible, sin embargo es posible obtener comunicación bidireccional con el dispositivo concentrador. Esto no permite las mismas ventajas que la comunicación directa al medidor que permiten los AMI pero sí permite un cierto control de incidentes a nivel de concentrador (el cual puede ser accedido por protocolos como SSH de ser necesario).

6.2. Trabajo futuro

Ciertas evaluaciones fueron imposibles de realizar por falta de equipamiento, entre ellas la mencionada prueba de distintos medidores, ya que el prototipo contaba con solo un medidor por lo que fue imposible evaluar la interferencia producida entre éstos, ya que es de esperar que con un gran número de medidores se produzca interferencia entre ellos, la cual podría ser el factor que limite la cantidad de clientes por concentrador.

Sin embargo Douglas Hall utilizando el NooElec NESDR Nano R820T[28] indica poder recibir confiablemente (10 de cada 12 mensajes) información en SCM de 300 medidores y de manera intermitente (3 de cada 9 mensajes) de hasta 600 medidores[11]. El NooElec NESDR Nano R820T utiliza el chipset RTL2832U con el sintonizador R820T al igual que la implementación realizada, por lo que es teóricamente posible que el sistema tenga estos resultados (sin embargo se desconoce el hardware que utilizó para ejecutar el rtlamr).

Para implementaciones posteriores es recomendable el reemplazo de la Raspberry Pi modelo B por una Raspberry Pi 2 el cual se recomienda por AirSpy para utilizar su software SDR#, lo que hace de este hardware un buen candidato para, manteniendo el objetivo de bajo costo y consumo, mejorar la efectividad en el manejo y captura de datos. Junto con esto es muy recomendable la adecuación de la antena de recepción a la frecuencia específica de operación del protocolo ERT

Finalmente, aprovechando el bajo consumo de potencia de la Raspberry es recomendable la inclusión de una batería externa que permita el funcionamiento de ésta en situaciones en que se pierda suministro eléctrico para evitar daños al dispositivo o pérdidas de recolección por reinicios producidos por fluctuaciones de tensión.

Referencias

[1] D. S. T. K. S. E. Vehbi C. Güngör, "Smart Grid Technologies: Communication," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 7, NO. 4*, pp. 529 - 539, NOVEMBER 2011.

[2] J. Ramie, "The ARRL Smart Meter FAQ Page," National association for Amateur Radio, [Online]. Available: http://www.arrl.org/smart-meters.

[3] M. B. MOLTEDO, "REDISEÑO DEL PROCESO DE CONTROL DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA: “TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN COMO EJE ARTICULADOR EN LA GESTIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA”," UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO, 2009.

[4] Superintendencia de electricidad y combustibles, "Ranking 2014 de Calidad de Servicio de las Empresas de Distribución de Electricidad," Gobierno de Chile, Santiago, 2014.

[5] A. Mannan, "A Study on Power Line Communication," vol. 4, no. 7, 2014.

[6] "Smartcity Santiago," 2011. [Online]. Available: http://www.smartcitysantiago.cl/.

[7] "The Smart Grid Alliance for the Americas, Chilean pilot.," 2012. [Online]. Available: http://www.nreca.coop/what-we-do/international-programs/smart-gridinitiative/smart-grid-alliance/pilot-projects/chile/.

[8] "“Aqualogy Revenue Management, Caso aguas andinas.”," 2013. [Online]. Available: http://www.smartmetering.aqualogy.net/es/casos/19/aguas-andinas-gran-santiago---chile-.

[9] The OPEN meter Consortium, "D4.3 Physical test facilities and report on these facilities," KEMA, 2009.

[10] City of University Park, City Council, *City of University Park Meeting Agenda*, University Park, June 18, 2013, p. 65.

[11] D. Hall, "bemasher/rtlamr," 8 Marzo 2016. [Online]. Available: https://github.com/bemasher/rtlamr.

[12] M. Cornwall, "Versatile radio packeting for automatic meter reader systems". U.S.A. Patent US 20110050456A1, 3 3 2011.

[13] M. Cornwall, "Versatile radio packeting for automatic meter reading". U.S.A Patent US 7830874B2, 9 11 2010.

[14] "RTL2832U + R820T Mini DVB-T + DAB + USB + FM Digital TV Dongle - Negro," Deal extreme, [Online]. Available: http://www.dx.com/es/p/rtl2832u-r820t-mini-dvb-t-dab-fm-usb-digital-tv-dongle-black-170541#.Vvndf-LhDcc. [Accessed 28 03 2016].

[15] "Air Spy," [Online]. Available: https://www.itead.cc/airspy.html?acc=cfcd208495d565ef66e7dff9f98764da. [Accessed 2016 03 28].

[16] "SDR Play," SDRplay, [Online]. Available: http://www.sdrplay.com/. [Accessed 28 03 2016].

[17] Rafael Microelectronics, *R820T High Performance Low Power Advanced Digital TV Silicon Tuner Datasheet*, Rafael Microelectronics, 2011.

[18] D. Hall, "compatible meter table," [Online]. Available: https://github.com/bemasher/rtlamr/blob/master/meters.csv. [Accessed 2016 03 28].

[19] "The Go Programming Language," 9 2 2016. [Online]. Available: https://golang.org/.

[20] "RPi Hardware," CE Linux Forum, 23 1 2016. [Online]. Available: RPi Hardware. [Accessed 29 3 2016].

[21] J. Chiappetta, "Fedora ARM Installer," Fedora Project, [Online]. Available: http://fedoraproject.org/wiki/Fedora_ARM_Installer. [Accessed 30 3 2016].

[22] D. Hall, "bemasher/rtltcp," 12 8 2013. [Online]. Available: https://github.com/bemasher/rtltcp.

[23] G. Rodola, "LMAX-System-tools/dns-watch/LogWatcher.py," LMAX-System-tools, [Online]. Available: https://github.com/LMAX-Exchange/LMAX-System-tools/blob/master/dns-watch/LogWatcher.py. [Accessed 30 3 2016].

[24] C. Project, "CentOS Project," 2016. [Online]. Available: https://www.centos.org/.

[25] The Apache Software Foundation, "Welcome to The Apache Software Foundation!," The Apache Software Foundation, 2016. [Online]. Available: http://www.apache.org/.

[26] Airspy, "Airspy Low Cost High Performance SDR," Airspy, 2015. [Online]. Available: http://airspy.com/.

[27] W. Grote, *Modelo de propagación de gran escala en espacios confinados*, Valparaiso: Wireless comunication group Universidad Técnica Federico Santa María, 2012.

[28] NooElec Inc, "NooElec NESDR Nano R820T," NooElec Inc, 2016. [Online]. Available: http://www.nooelec.com/store/sdr/sdr-receivers/nesdr-mini-rtl2832-r820t.html. [Accessed 31 3 2016].

Anexos

A. Códigos Desarrollados

a. main.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-

from logread import *
from client import *

watcher = LogWatcher("/home/sebastian/Escritorio/", dem)
watcher.loop(interval=1)
```

b. client.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-

import re
import httplib

pattern = re.compile('\{.{173}\}')

def dem(filename, lines):
        conn = httplib.HTTPConnection("172.16.0.143:8000")
        for line in lines:
            if line:
                data = pattern.findall(line)
            else:
                continue
            for dat in data:
                print dat
                conn.request("POST", "/testurl", dat)
                print conn.getresponse()
        conn.close()
```

c. server.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-
#!/usr/bin/python

import json
import sqlcon
from BaseHTTPServer import BaseHTTPRequestHandler,HTTPServer

ADDR = '172.16.0.143'
PORT = 8000
ip = "127.0.0.1"
user = "concentrador"
passwd = "concentradorA1"
db = "memoria"
```

```
connection = sqlcon.Connect(ip, user, passwd, db)

class RequestHandler(BaseHTTPRequestHandler):
    def do_POST(self):
#        print(self.path)
        length = int(self.headers['Content-length'])
        reading = (self.rfile.read(length))
            print reading
        if reading:
            data = json.loads(reading)
            data["Time"] = data["Time"].split(".")[0].replace("T"," ")
            sqlcon.SendData(connection, (data["Message"])["ID"], data["Time"],
(data["Message"])["Consumption"],(data["Message"])["TamperPhy"],(data["Message"])["Ta
mperEnc"])
            self.send_response(200, "OK")
            self.end_headers()
#        else:
#            continue
#       self.wfile.write("serverdata")

httpd = HTTPServer((ADDR, PORT), RequestHandler)
httpd.serve_forever()
sqlcon.Close(connection)
```

d. sqlcon.py

```
import MySQLdb

def Connect(ip, user, passwd, db):
    # Open database connection
    con = MySQLdb.connect(ip ,user, passwd,db)
    return con

def SendData (connection, mesure_id, datetime, mesure, phy, encoded):
    # prepare a cursor object using cursor() method
    cursor = connection.cursor()
    # execute SQL query using execute() method.
    cursor.execute("""INSERT INTO `memoria`.`medicion` (`id_medidor`, `fecha`,
`medicion`, `tamper fisico`, `encode tamper`) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s)""",
(mesure_id, datetime, mesure,phy, encoded) )
    return

def Close(db):
    # disconnect from server
    db.close()
    return
```

e. login.php

```
<html>
<head>
<title>Consumo centralizado</title>
</head>



<body>
<h2>AutentificaciÃ³n</h2>
<form action="login_submit.php" method="post">
<fieldset>
<p>
<label for="username">Usuario (rut)</label>
<input type="text" id="username" name="username" value="" maxlength="20" />
</p>
<p>
<label for="password">Password</label>
<input type="password" id="password" name="password" value="" maxlength="20" />
</p>
<p>
<input type="submit" value="Ingresar" />
</p>
</fieldset>
</form>
<H4>

<?php
if(isset($_GET['error'])) {
echo "usuario o password no validos";
}
?>


</H4>
</body>
</html>
```

f. login-submit.php

```
<?php
$username = $_POST['username'];
$password = $_POST['password'];

$mysql_hostname = 'localhost';
$mysql_username = 'login';
```

```
$mysql_password = 'concentradorA1';
$mysql_dbname = 'memoria';

	try{
	$dbh = new PDO("mysql:host=$mysql_hostname;dbname=$mysql_dbname",
$mysql_username, $mysql_password);
	}
	catch(PDOException $ex){
	echo "Error!<br>";
	echo $ex;
	}
$sth= $dbh->prepare("SELECT * FROM usuario WHERE RUT = :username");
$sth->bindParam(':username', $username);
$sth->execute();
$row = $sth->fetch();


$hash = password_hash($row['password'], PASSWORD_DEFAULT);

if (password_verify($password, $row['password'])) {
	echo '¡Error de inicio!';
	session_start();
	$_SESSION['user'] = $username;
	$_SESSION['id'] = $row['id_medidor'];
	header('Location: http://172.16.0.143/graphs.php');
	}
else {
	header('Location: http://172.16.0.143/login.php?error=1');
}
?>
```

g. graphs.php

```
<html><head><title>MySQL Table Viewer</title></head><body>

<?php
session_start();
$id = $_SESSION['id'];
#$mysql_hostname = 'localhost';
#$mysql_username = 'login';
#$mysql_password = 'concentradorA1';
#$mysql_dbname = 'memoria';


$db_host = 'localhost';
$db_user = 'concentrador';
$db_pwd = 'concentradorA1';
$database = 'memoria';
$table = 'medicion';
```

```
$array1 = array();

#try{
#	$dbh = new PDO("mysql:host=$mysql_hostname;dbname=$mysql_dbname",
$mysql_username, $mysql_password);
#	$dbh->setAttribute(PDO::ATTR_ERRMODE, PDO::ERRMODE_EXCEPTION);
#	}
#catch(PDOException $ex){
#	echo "Error!<br>";
#	echo $ex;
#	}


if (!mysql_connect($db_host, $db_user, $db_pwd))
   die("Can't connect to database");

if (!mysql_select_db($database))
   die("Can't select database");

// sending query
#$sth= $dbh->prepare("SELECT * FROM medicion WHERE id_medidor = :id");
#$sth->bindParam(':id', $id);
#$sth->execute();



$result = mysql_query("SELECT * FROM {$table} WHERE id_medidor = {$id}");
if (!$result) {
   die("Query to show fields from table failed");
}

$fields_num = mysql_num_fields($result);

echo "<h1>Table: {$table}</h1>";
echo "<table border='1'><tr>";
// printing table headers
for($i=0; $i<$fields_num; $i++)
{
   $field = mysql_fetch_field($result);
   echo "<td>{$field->name}</td>";
}
echo "</tr>\n";
// printing table rows
while($row = mysql_fetch_row($result))
{
   echo "<tr>";

   $med = array($row[2],$row[3]);
```

```
    array_push($array1,$med);

    // $row is array... foreach( .. ) puts every element
    // of $row to $cell variable
    foreach($row as $cell)
        echo "<td>$cell</td>";

    echo "</tr>\n";

}
mysql_free_result($result);
$array2 = json_encode($array1);
?>

 </body>

    <script type="text/javascript" src="https://www.gstatic.com/charts/loader.js"></script>
    <script type="text/javascript">
      google.charts.load('current', {'packages':['corechart']});
      google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);
      var array = [['Year', 'Sales']]

      var JS= <?php echo $array2; ?>;
      console.log(JS[0]);
      array.push([String(JS[0][0]),parseInt(JS[0][1])])
      console.log(array);
      for(var i=0;i<JS.length;i++){
        array.push([String(JS[i][0]),parseInt(JS[i][1])])
      }

      function drawChart() {
        var data = google.visualization.arrayToDataTable(array);
        var options = {
          title: 'Consumo Mensual',
          hAxis: {title: 'Dia',  titleTextStyle: {color: '#333'}},
          vAxis: {minValue: 0}
        };

        var chart = new google.visualization.AreaChart(document.getElementById('chart_div'));
        chart.draw(data, options);
      }
    </script>
    <div id="chart_div" style="width: 900px; height: 500px;"></div>

</html>
```

B. Prueba de funcionamiento

```
[sebastian@pez concentrador]$ python main.py
watching logfile /home/sebastian/Escritorio/logfile.log
watching logfile /home/sebastian/Escritorio/log.log
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.009795447-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.224822509-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.446544412-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.618154094-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.837911929-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.008182743-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.279028493-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.447930171-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.669355344-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:18.116077388-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:18.508630968-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
<httplib.HTTPResponse instance at 0x7f2abf9bb050>
{"Time":"2016-04-01T13:23:18.723824167-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
```

Ilustración 8: Ejecución software en concentrador

```
----------------------------------------
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.009795447-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:16] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.224822509-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:16] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.446544412-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:17] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.618154094-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:17] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:16.837911929-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:17] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.008182743-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:17] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.279028493-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:17] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.447930171-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:17] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:17.669355344-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:18] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:18.116077388-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:18] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:18.508630968-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:19] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
{"Time":"2016-04-01T13:23:18.723824167-03:00","Offset":0,"Length":35840,"Message":{"ID":60243827,"Type":4,"TamperPhy":0,"TamperEnc":3,"Consumption":31
160,"ChecksumVal":40837}}
172.16.0.100 - - [01/Apr/2016 13:23:19] "POST /testurl HTTP/1.1" 200 -
```

Ilustración 9: Ejecución software en servidor

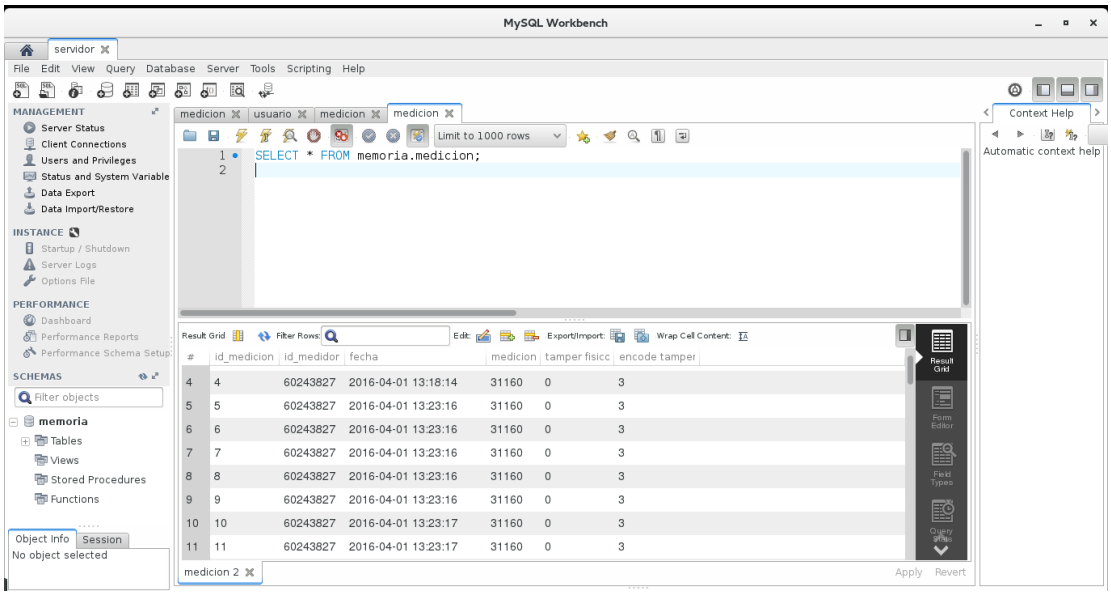
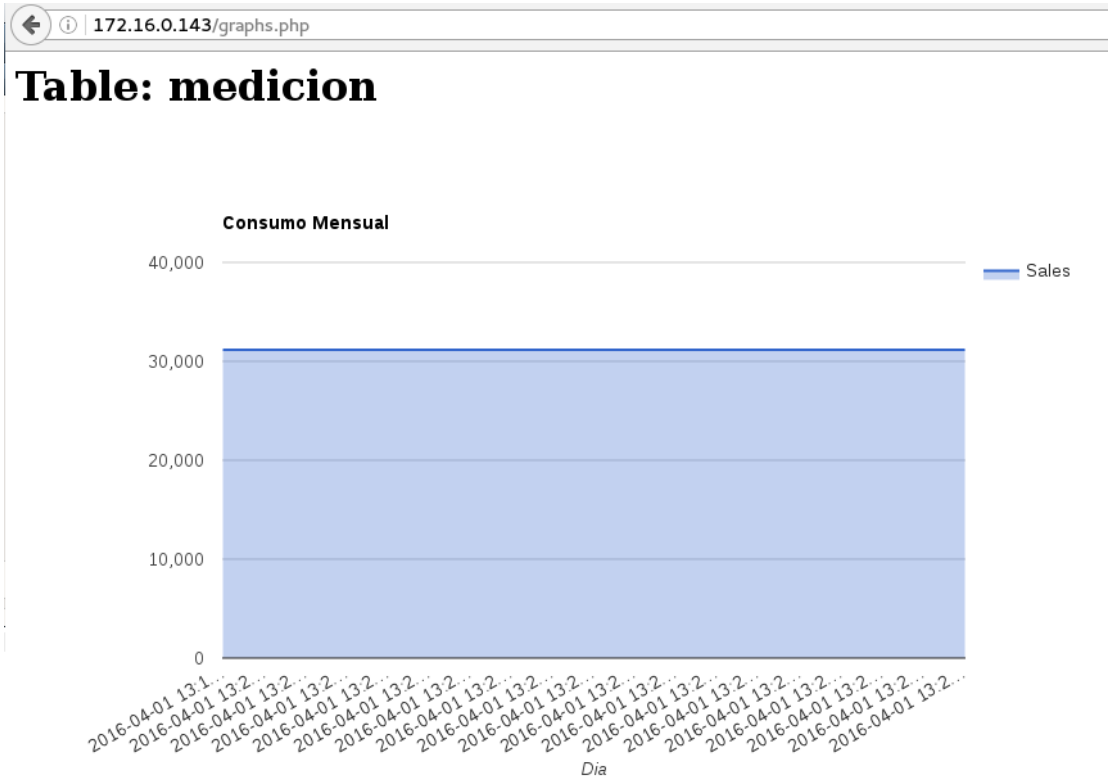


Ilustración 10: Recepción de datos en la BD

Ilustración 11: Login aplicación WEB



id_medicion	id_medidor	fecha	medicion	tamper fisico	encode tamper
4	60243827	2016-04-01 13:18:14	31160	0	3
5	60243827	2016-04-01 13:23:16	31160	0	3
6	60243827	2016-04-01 13:23:16	31160	0	3
7	60243827	2016-04-01 13:23:16	31160	0	3
8	60243827	2016-04-01 13:23:16	31160	0	3
9	60243827	2016-04-01 13:23:16	31160	0	3
10	60243827	2016-04-01 13:23:17	31160	0	3
11	60243827	2016-04-01 13:23:17	31160	0	3

Ilustración 12: Despliegue de datos en aplicación WEB

C. Mediciones "indoor"

a. Ilustración 13, Ilustración 14, Ilustración 15, Ilustración 16 e Ilustración 17 realizadas a una distancia de 0.5[m], en cada figura se aprecia el valor promedio de la medición.

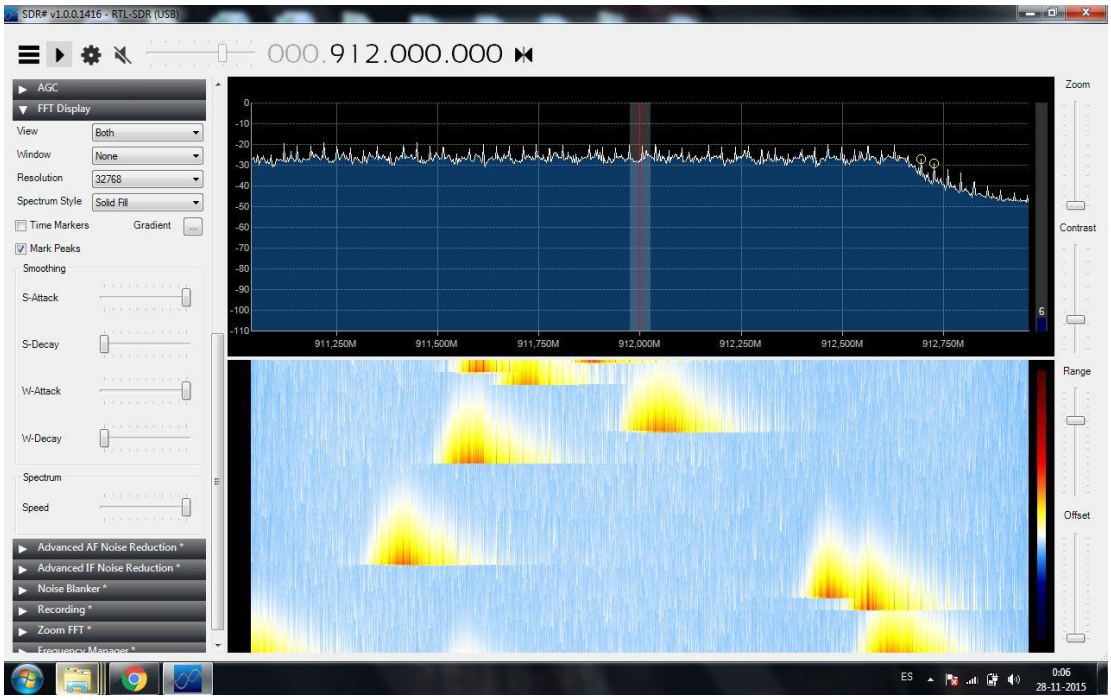


Ilustración 13: Medición de -20[dBm]

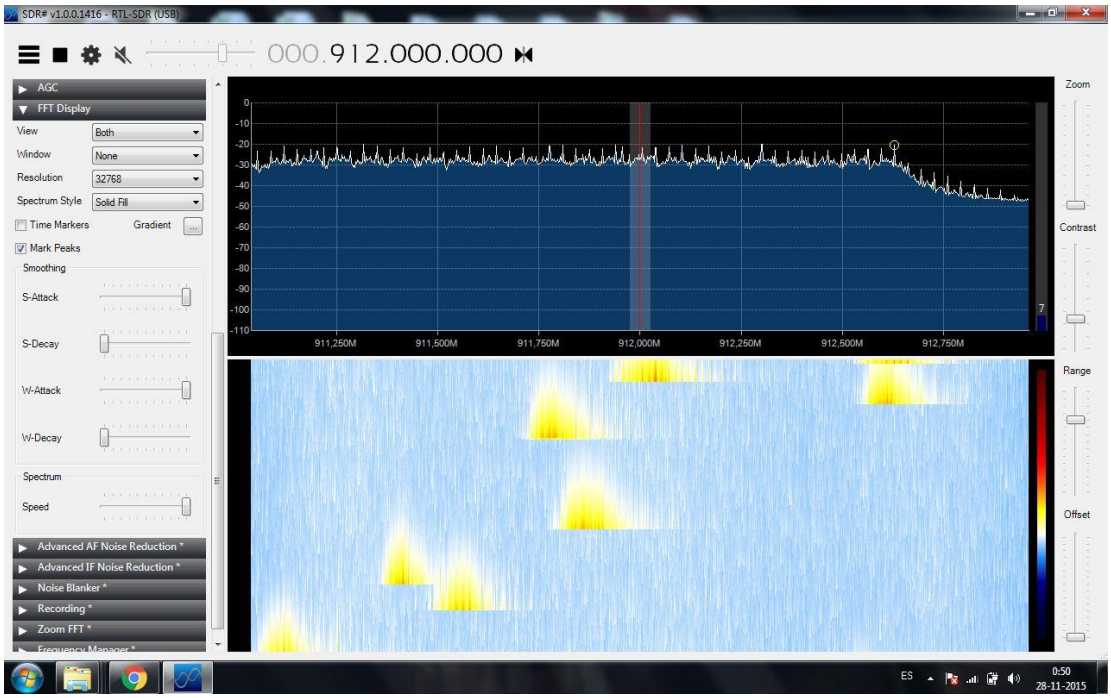


Ilustración 14: Medición de -21[dBm]

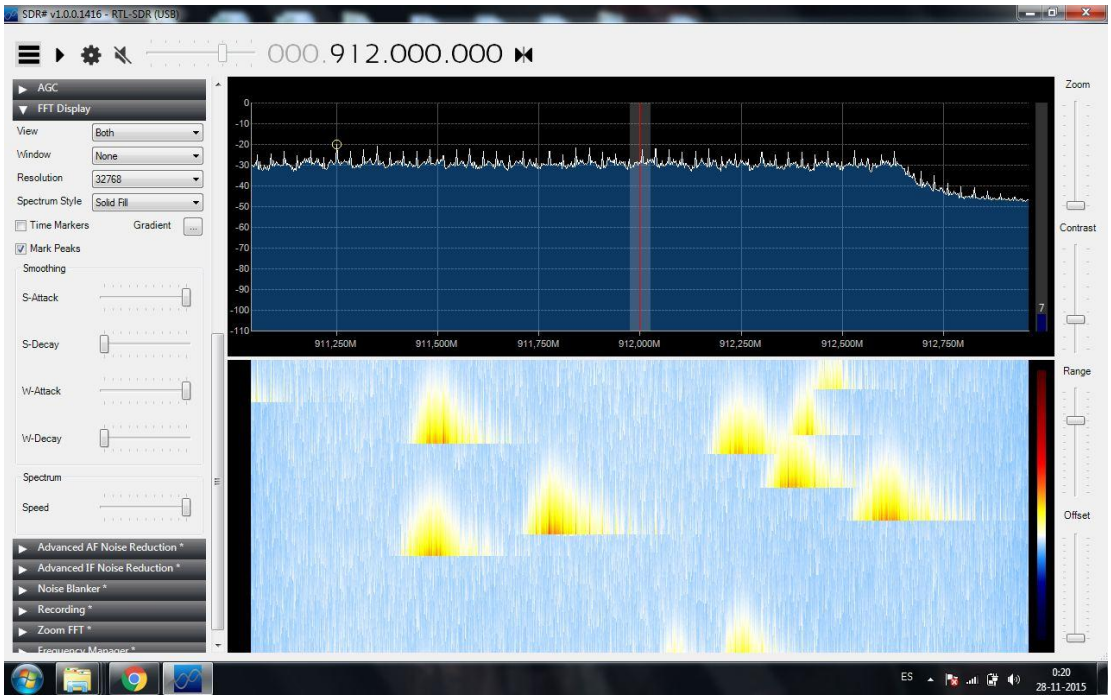


Ilustración 15: Medición de -22[dBm]

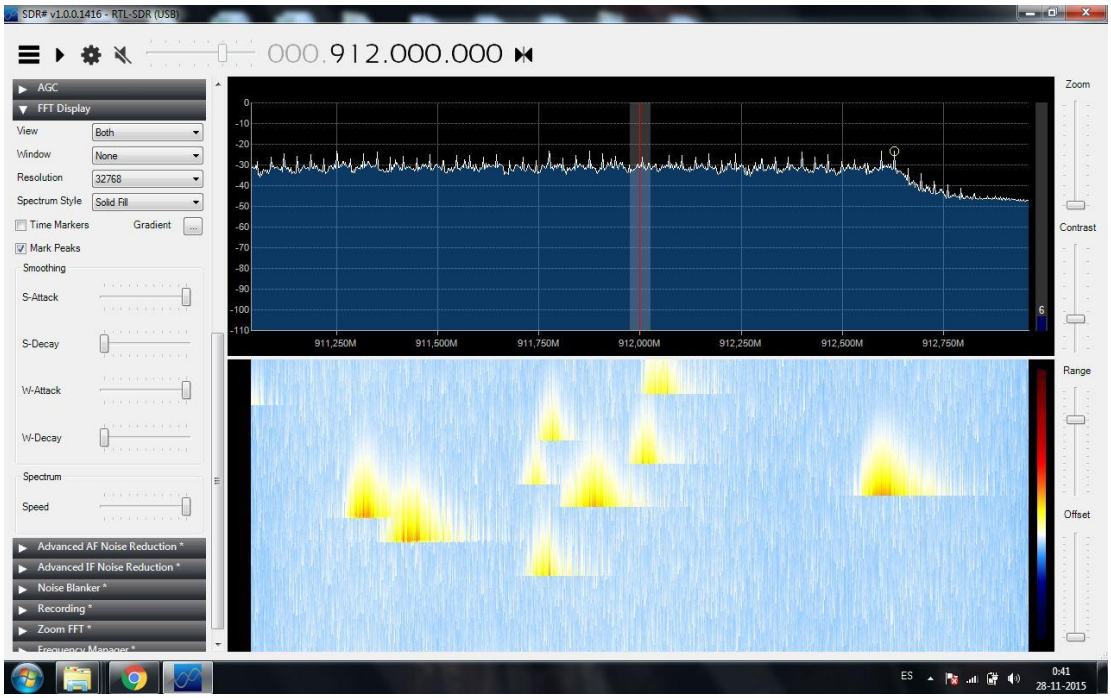


Ilustración 16: Medición de -24[dBm]

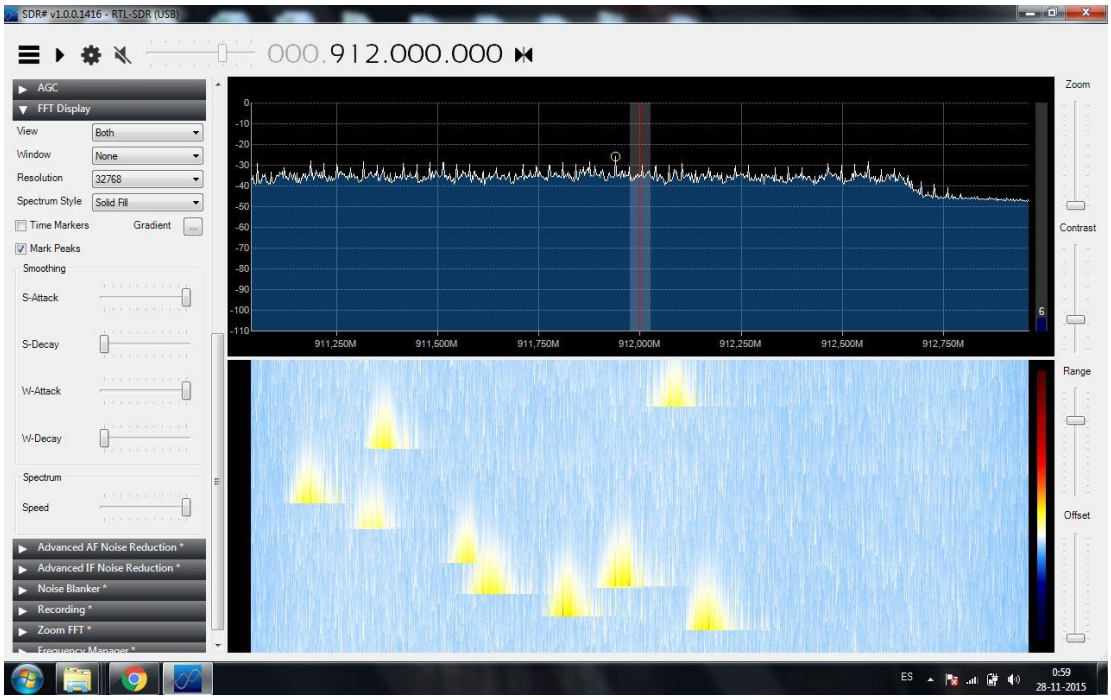


Ilustración 17: Medición de -28[dBm]

b. Ilustración 18, Ilustración 19, Ilustración 20, Ilustración 21 e Ilustración 22 realizadas a una distancia de 1[m], en cada figura se aprecia el valor promedio de la medición.

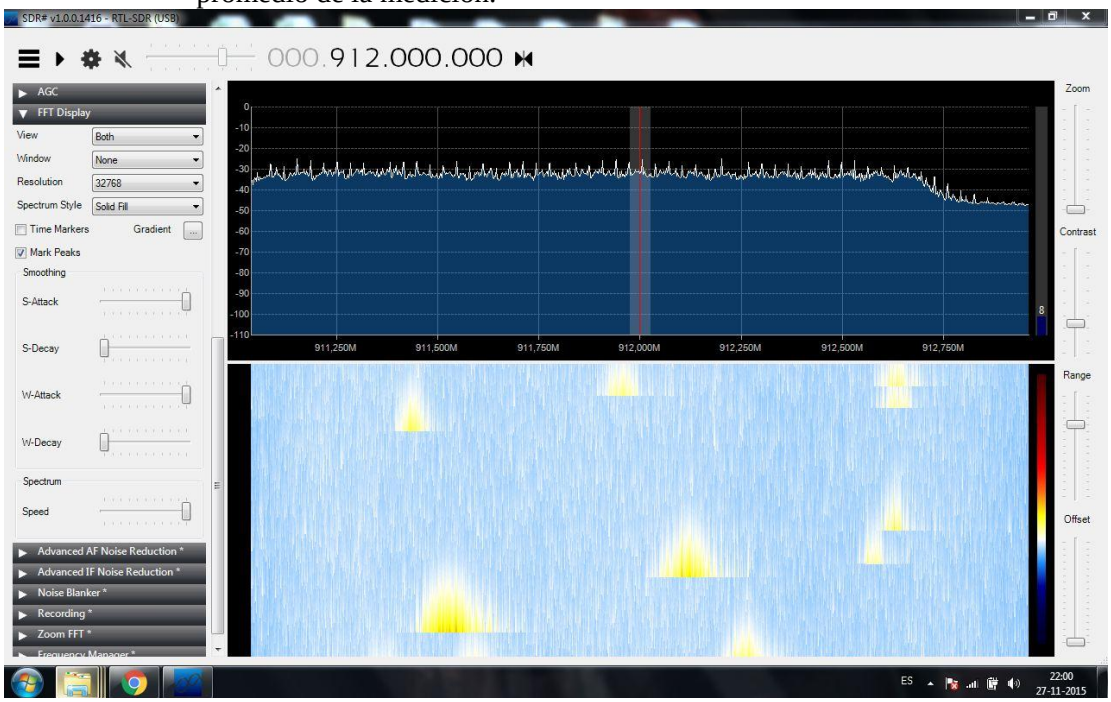


Ilustración 18: Medición de -25[dBm]

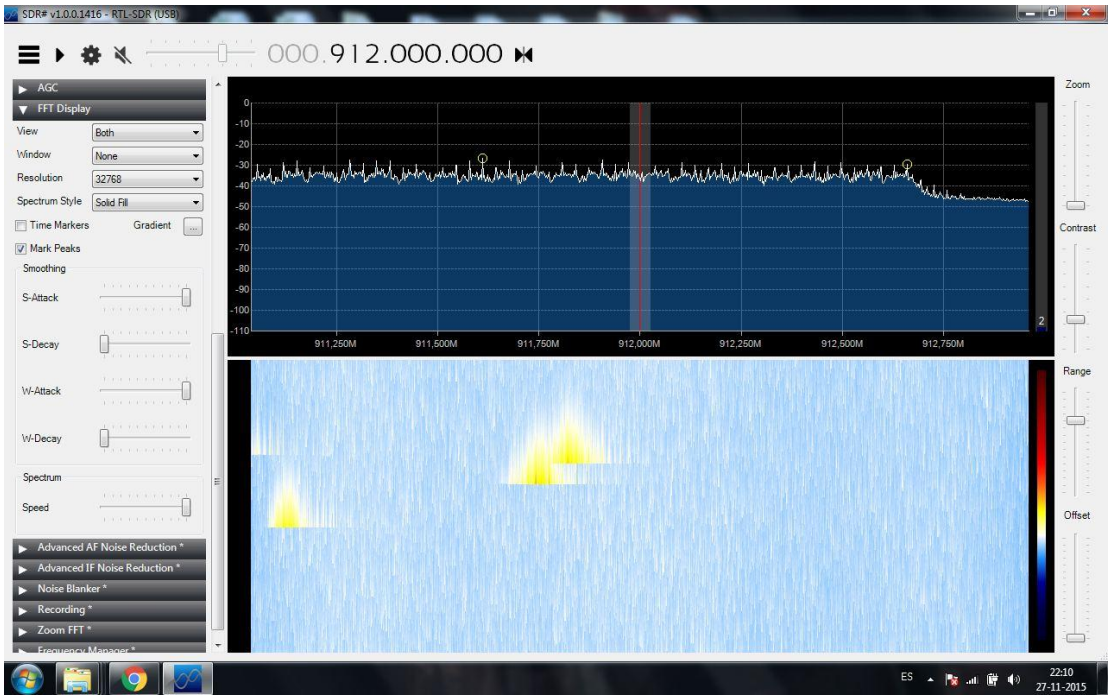


Ilustración 19: : Medición de -27[dBm]

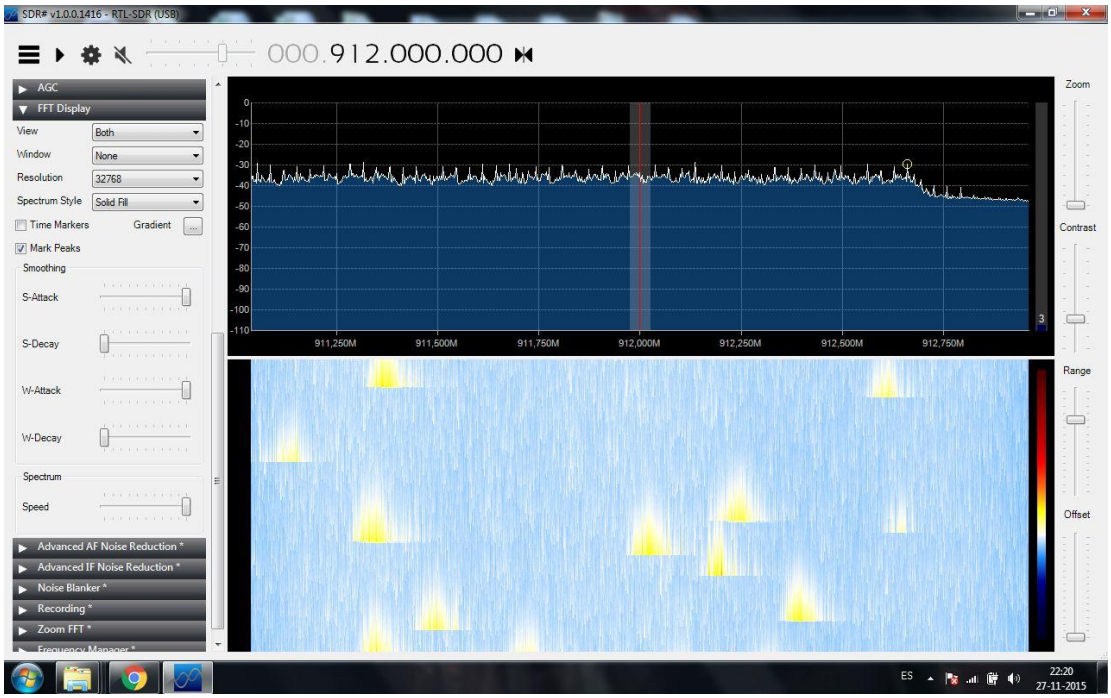


Ilustración 20: Medición de -30[dBm]

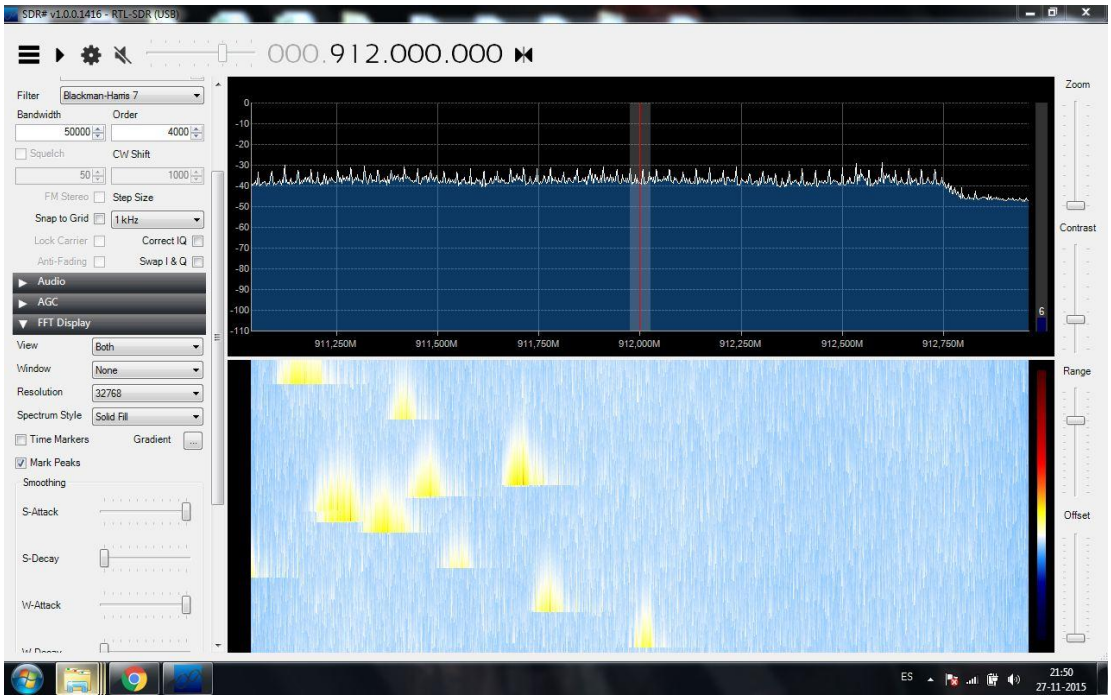


Ilustración 21: Medición de -30[dBm]

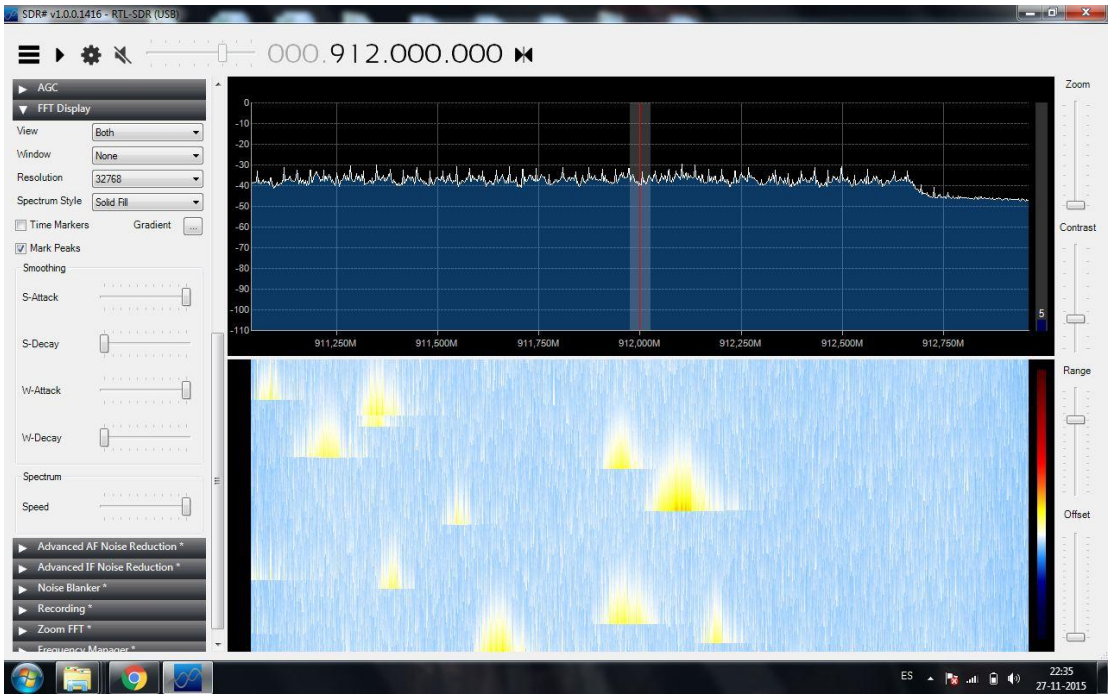


Ilustración 22: Medición de -32[dBm]

c. Ilustración 23, Ilustración 24, Ilustración 25, Ilustración 26 e Ilustración 27 realizadas a una distancia de 2[m], en cada figura se aprecia el valor promedio de la medición.

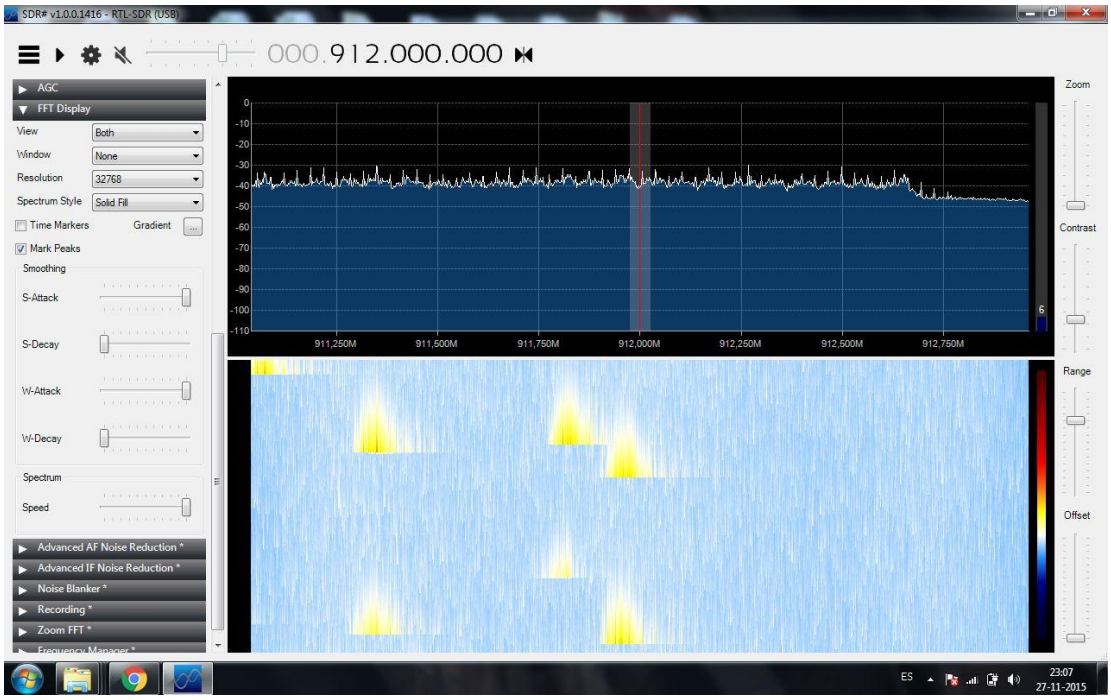


Ilustración 23: Medición de -32[dBm]

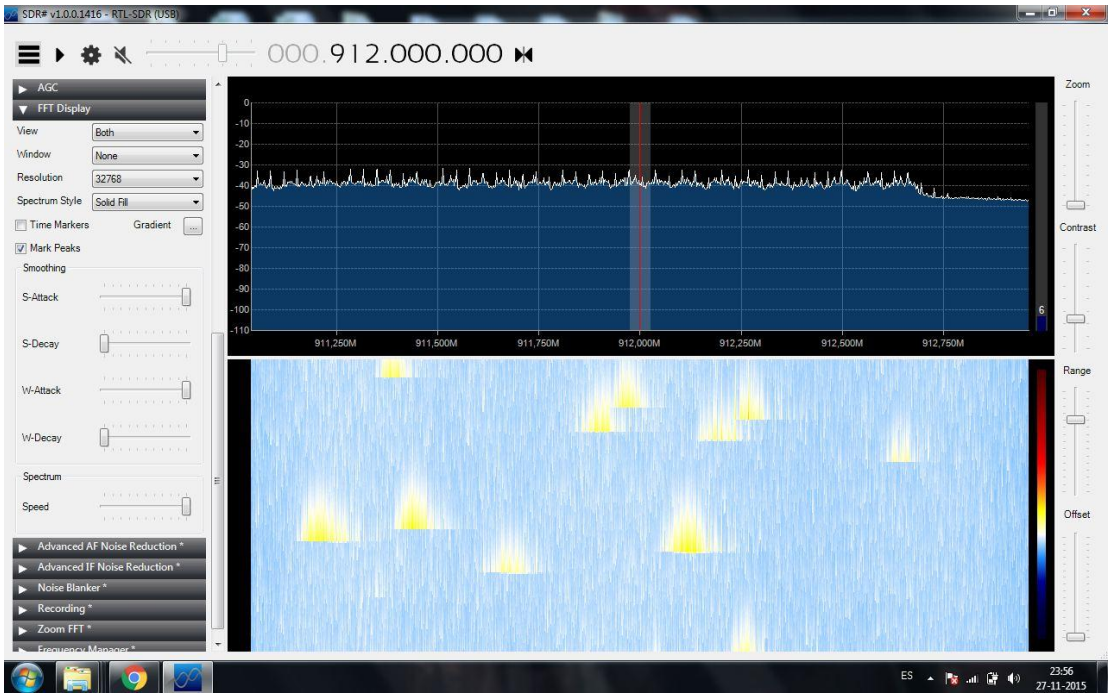


Ilustración 24: Medición de -33[dBm]

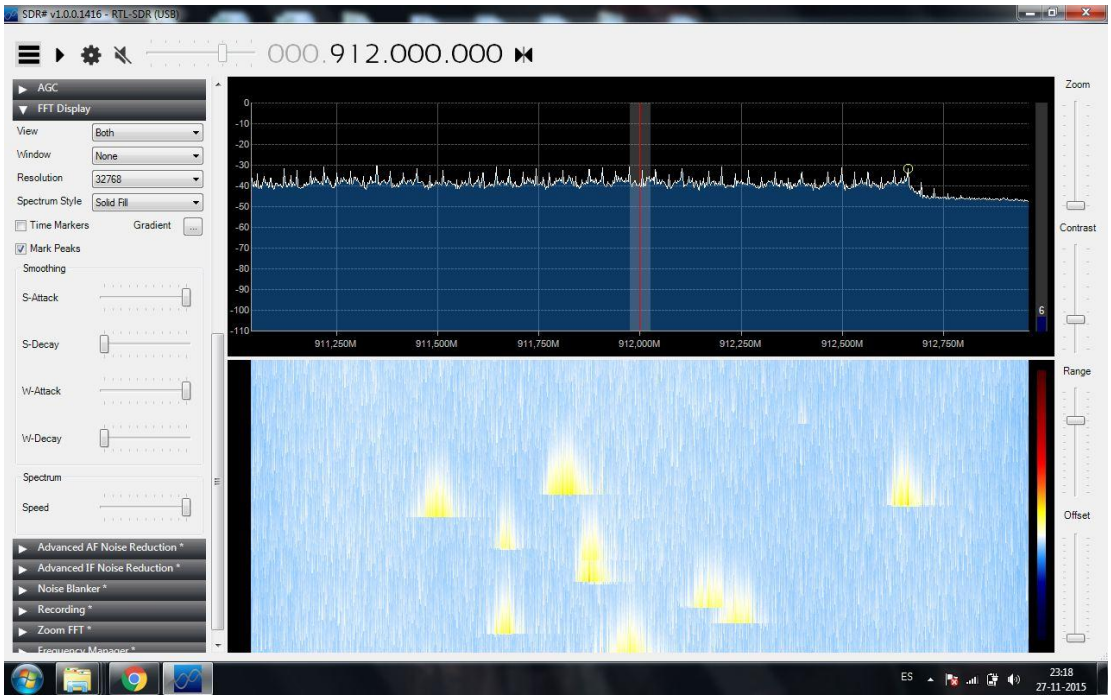


Ilustración 25: Medición de -33[dBm]

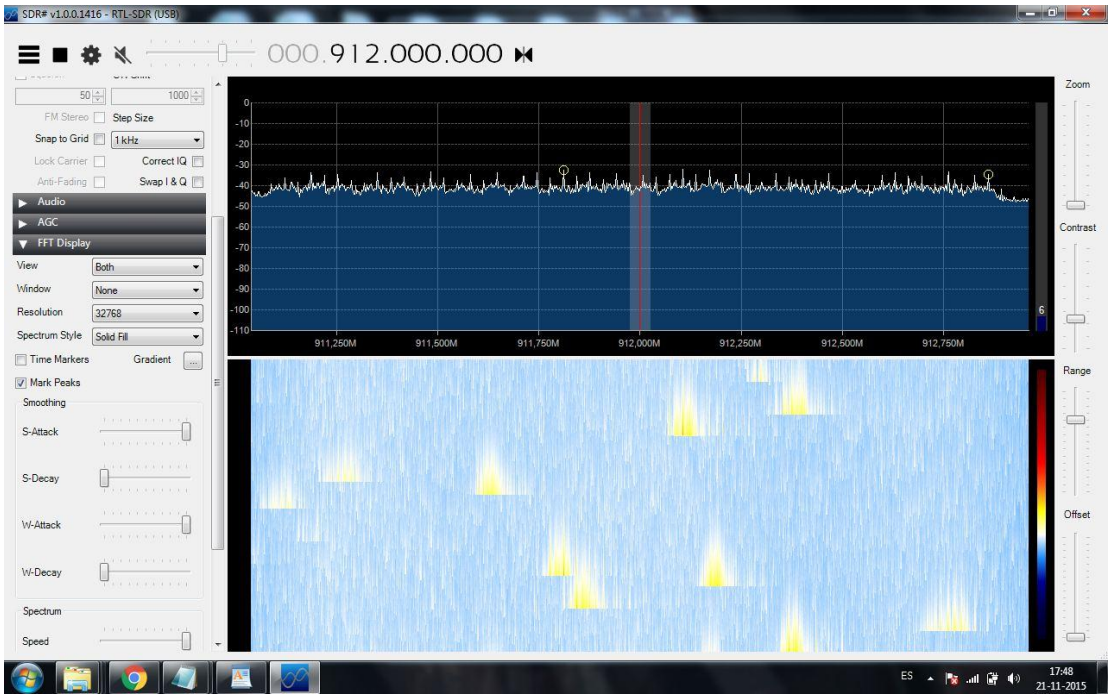


Ilustración 26: Medición de -34[dBm]

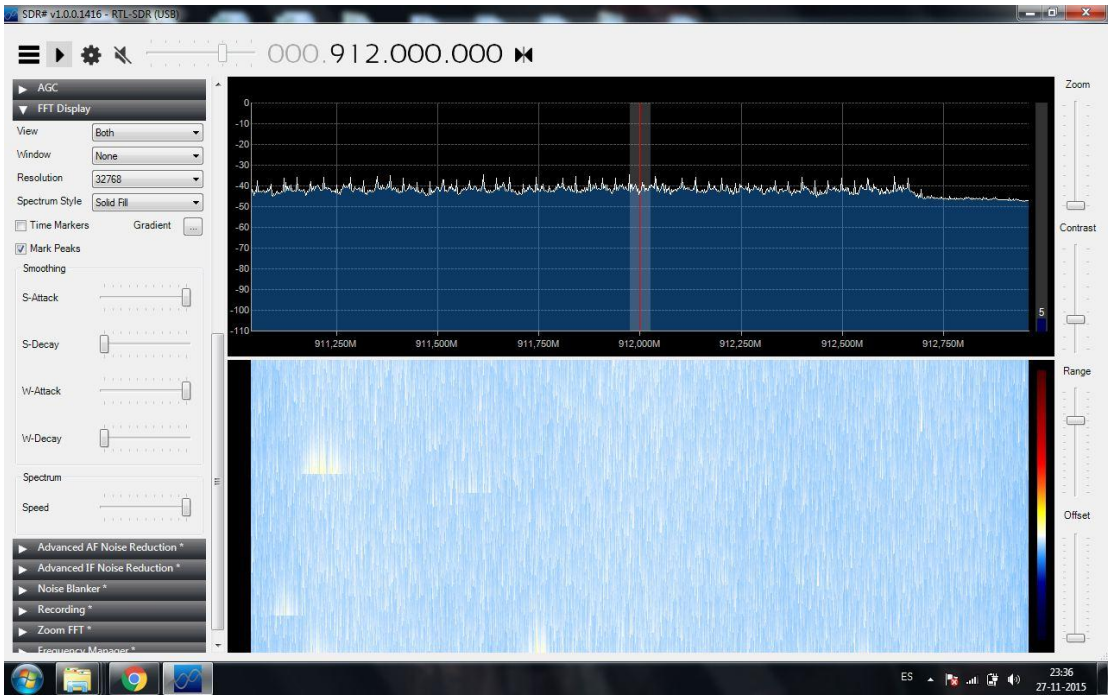


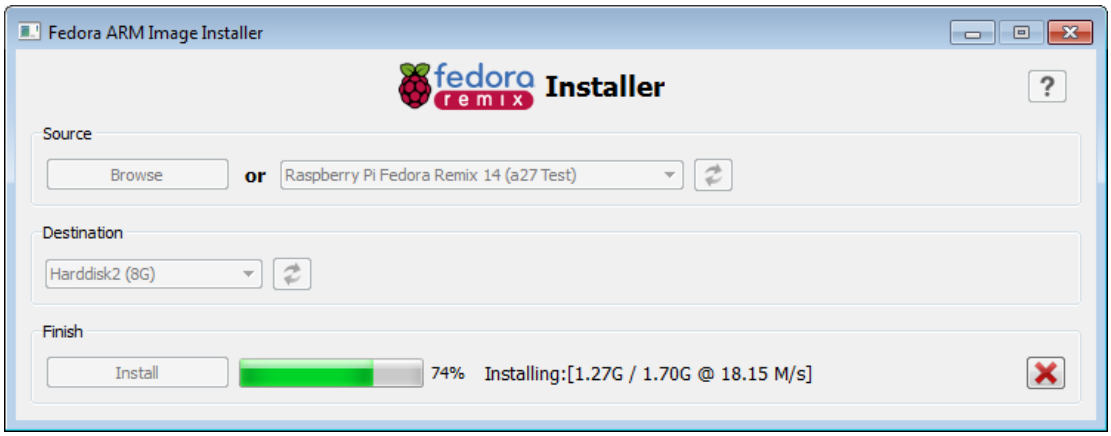
Ilustración 27: Medición de -36[dBm]

D. Tabla de medidores compatibles

Tabla 11: Medidores compatibles [18]

Manufacturer	Model Name	Commodity	ERT Type	Lower (MHz)	Upper (MHz)
Itron	45ES-1	Electric	7	910	920
Itron	50ESS	Electric	8	910	920
Itron	51ESS	Electric	7	910	920
Itron	52ESS	Electric	5	910	920
Itron	53ESS	Electric	8	902	928
Itron	AMI4	Electric	4	902.2	927.8
Itron	AMI6	Electric	4	902.2	927.8
Itron	AMI6	Electric	4	909.6	921.8
Itron	C1A-2	Electric	4	910	920
Itron	C1A-2	Electric	4	917.6	917.6
Itron	C1A-3	Electric	4,7	909	922
Itron	C2SOD	Electric	4	902.2	927.8
Itron	C3A1L	Electric	4	909	922
Itron	C3A-1H	Electric	4,8	909	922
Itron	CVSO-B	Electric	4	902.2	927.8
Itron	R300S2	Electric	8	909.3	918.4
Itron	100G	Gas	12	903	928
Itron	100GDLAN	Gas	12	908	926.8
Itron	100T	Gas	9	903	926.9
Itron	60W	Water	13	910	919.8
Itron	80W-i	Water	13	910	920

Itron	100W	Water	11	903	927
Schlumberger	CENTRON OOK RF	Electric	12	917.58	917.58
Landis+Gyr	AirPoint 41 Series	Electric	5	910	920
Landis+Gyr	AirPoint Focus	Electric	5	913.672	916.138
Landis+Gyr	AirPoint iCon	Electric	5	913.75	916.25
Landis+Gyr	AirPoint I-210	Electric	5	913.672	916.138
Landis+Gyr	HP AirPoint I-210	Electric	5	909.586	921.773
Landis+Gyr	HP AirPoint	Electric	5	909.586	921.773
Landis+Gyr	HP AirPoint	Electric	5	909.586	921.773

E. Instrucciones de instalación de Pidora:

- Seleccionar un archivo de origen o la opción de descarga (presionar el botón de refresco primero).
  - El archive de origen debe ser una imagen iso o un archivo compreso en zip.
  - La opción de descarga pedirá seleccionar una carpeta destino antes de iniciar la descarga.
- Seleccionar el dispositivo en el que la imagen será escrita (Destination).
- Seleccionar “install”.