



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED DE DATOS CON TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATION), PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

### Directores:

Ing. Mayra Erazo

Ing. David Rivas

### Autores:

Magaly Chacha

Mirian Orbea

010...1011010

# INDICE

- Introducción
- Justificación e Importancia
- Objetivos
- Características de la tecnología PLC
- Características de la Tecnología PLC
- Regulación
- Aplicaciones de la red PLC dentro del laboratorio
- Arquitectura de la Tecnología PLC
- Topología de la Red PLC
- Equipos de la Red PLC
- Diseño de La Red PLC
- Conexión de Redes PLC
- Despliegue de la Red PLC
- Pruebas de Funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones

# INTRODUCCIÓN

La tecnología Power Line Communications (PLC), es una tecnología de comunicaciones de gran flexibilidad que usa como medio de transmisión el cable eléctrico, esto implica que en cada toma corriente se puede conectar un modem, permitiendo al usuario el acceso automático a servicios de telecomunicaciones como voz, datos, internet, telefonía y video. Todos estos servicios estarían disponibles sin necesidad de tener que instalar conexiones adicionales, antenas o nuevos cableados, gracias a su capacidad de coexistir con las transmisiones de energía eléctrica en el mismo conductor, debido a que opera en rangos de frecuencia de 1,6 MHz a 30 MHz, distintas a las de la red eléctrica comercial de 50 Hz o 60 Hz.

# JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

- ⦿ La investigación se enfoca en una de las tecnologías de actualidad como es la tecnología PLC (Power Line Communications), considerando que esta es de gran importancia debido a sus altas velocidades de Tx (transmisión) de datos, una instalación rápida y un coste competitivo con otras tecnologías alternativas; además de alcanzar a lugares donde no llega el cable telefónico, pero si la electricidad por medio de sus tendidos de redes eléctricas actuales.
- ⦿ El estudio permitirá realizar un prototipo para que los docentes y estudiantes accedan a servicios de voz, datos y multimedia por la red eléctrica, con velocidades mayores a las actuales, tener compatibilidad con redes inalámbricas para la movilidad de equipos o usuarios dentro de la red, optimizando papeleo, tiempo y recursos.

## **OBJETIVO GENERAL**

- **Diseñar e implementar un prototipo de una red de datos con tecnología Power Line Communications (PLC), en el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas, para que permita el acceso a servicios de voz, datos y multimedia.**

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- **Estudiar las necesidades y requerimientos del servicio de Internet que tiene el Laboratorio de comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga y dar un mejoramiento del mismo aplicando una nueva tecnología.**
- **Adecuar las instalaciones eléctricas del laboratorio de comunicaciones para una correcta integración de la tecnología (PLC)**
- **Realizar un análisis de la tecnología Power Line Communications (PLC) y su aplicabilidad en el servicio de transmisión de datos con respecto a otras tecnologías existentes en el laboratorio de comunicaciones de Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga.**
- **Configuración de los equipos que se utilizan en la red de datos con tecnología Power Line Communications (PLC).**

# CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA PLC

- Tecnología de banda ancha que utiliza como medio las redes eléctricas y las de coaxial.
- Velocidades máximas de 200 Mbps
- Fácil integración con redes ya desplegadas
- Alcance físico de 300m en LV y 1Km en MV
- Alcance físico en coaxial de 1,2Km
- Sin necesidad de cambios en una construcción para su despliegue

## ⦿ Estandarización

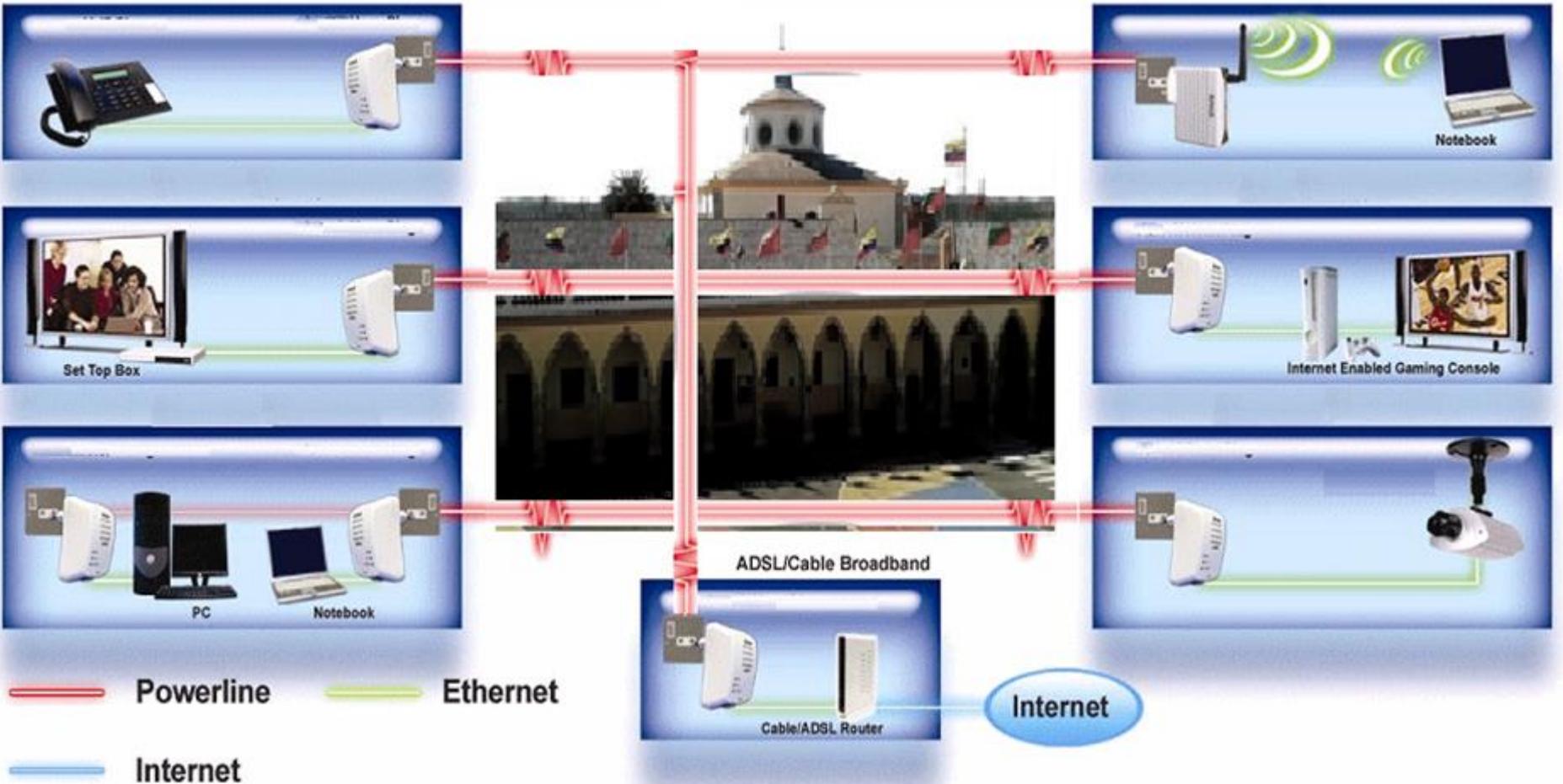
- Al momento no posee uno mundial, de lo cual se expone las organizaciones encargadas de plantear modificaciones.
  - OPERA => Usos Indoors
  - HomePLUG => Usos Indoors
  - UPA => Usos Indoors y Outdoors

## ⦿ Regulación

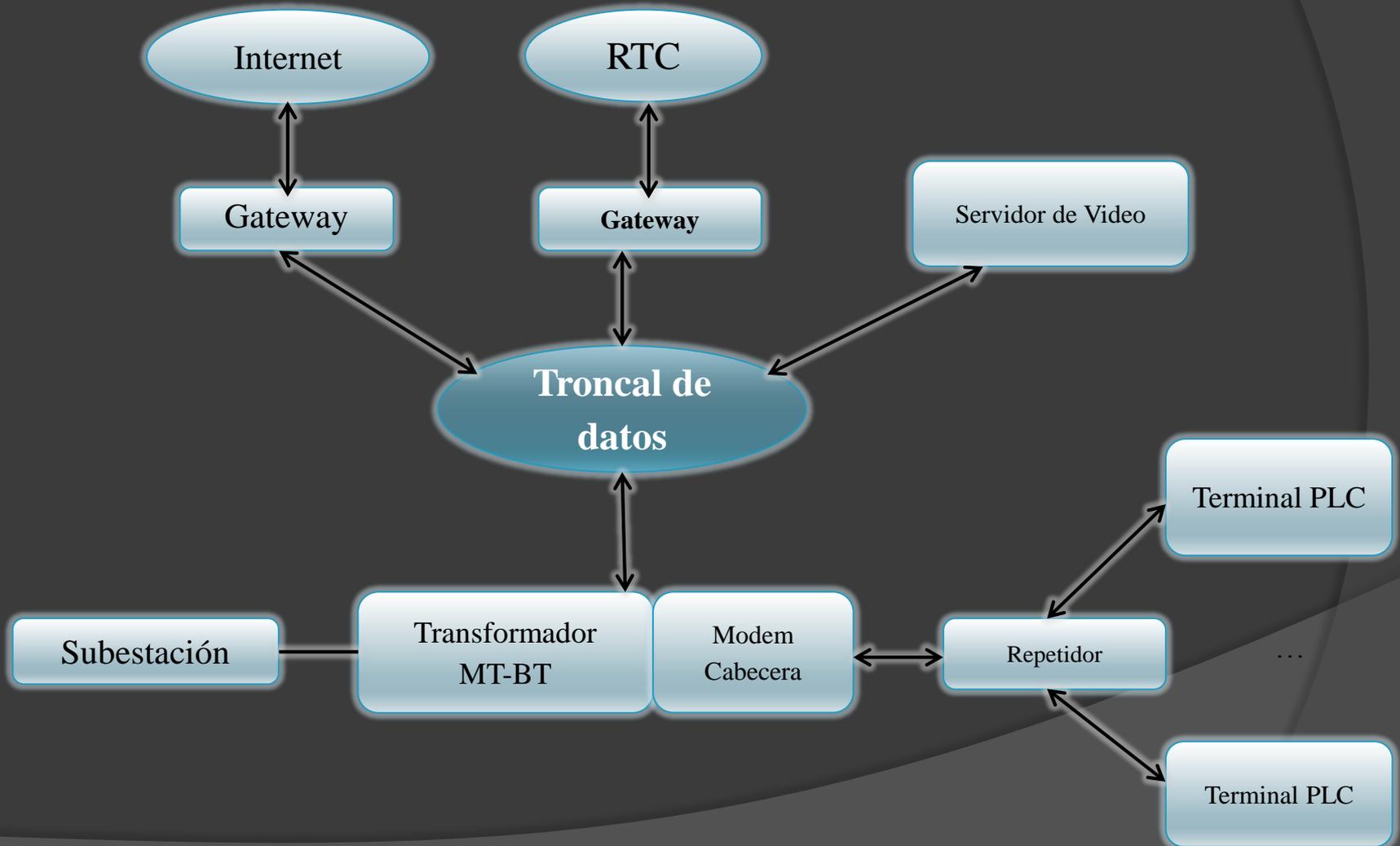
- En Ecuador la Supertel especifica:
  - PLC puede ser usado en ambientes comerciales o domésticos
  - En ISP como tecnología de acceso, cada enlace será legalizado.

# APLICACIONES DE LA RED PLC DENTRO DEL LABORATORIO

Extensión Wireles

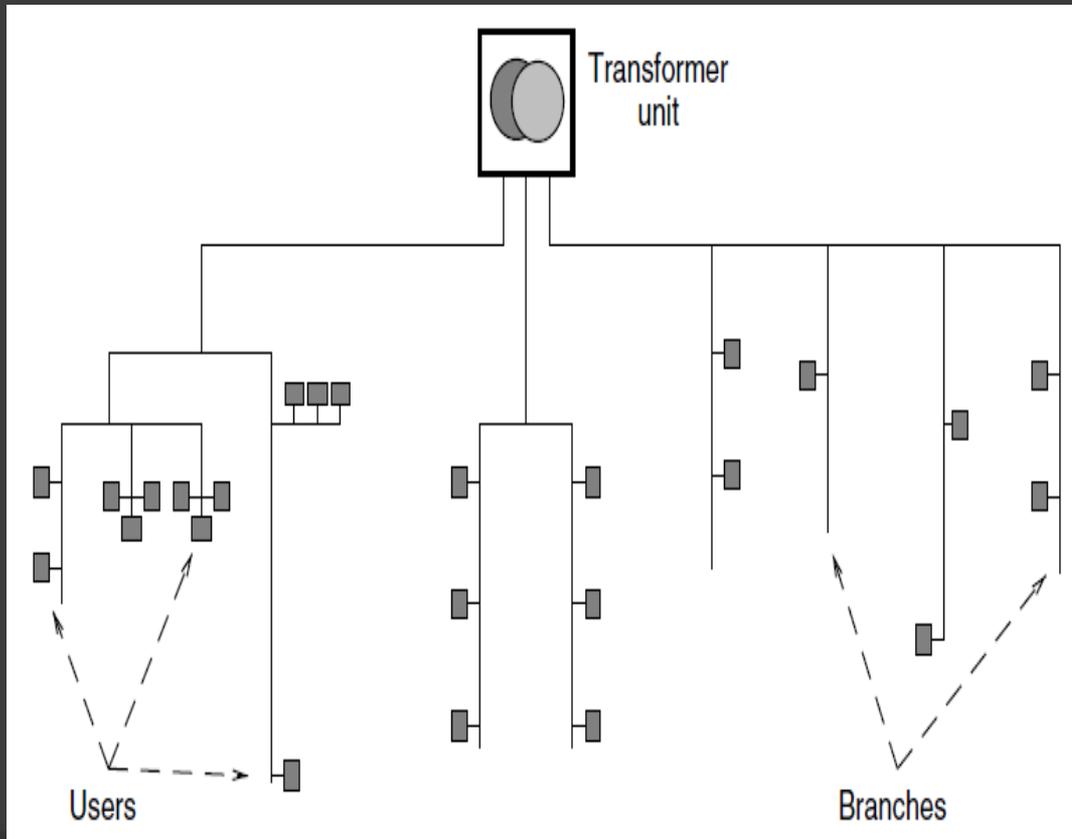


# Arquitectura de la Tecnología PLC



# Tecnología Power Line Communication

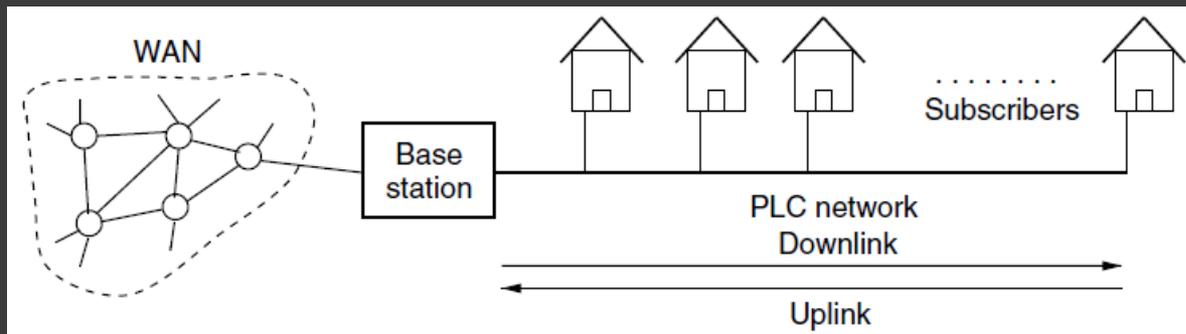
## × Topología Física



- Estrella
- Árbol
- Jerárquica

# Tecnología Power Line Communication

## × Topología Lógica



- ⦿ De tipo Bus
  - Enlace de bajada
  - Enlace de subida
- ⦿ Canales simétricos

# Equipos

## Gateway PLC de LV



Estándares, seguridades y compatibilidad electromagnética	IEEE 802.3u, 802.1P, 802.1Q, FCC Part 15, OPERA EN 50412, EN 55022, EN 55024, EN 60950
Velocidad de Backbone	Hasta 200 Mbps en PLC y 100 en Ethernet
Acoplador trifásico para redes eléctricas	110VAC / 220VAC / 240VAC
Interfaces	Fas Ethernet RJ-45 10/100BaseT Puerto serial RS485 Puerto coaxial (Puerto hembra TNC) Puerto AC para BPL Puerto DC para fuente de poder
Rango de frecuencias	2– 34 MHz
Entrada de energía	85 a 265VAC, 50/60 Hz
Peso	2 kg
Dimensiones	180 x 135 x 40 mm
Densidad de potencia espectral transmitida	-50 dBm/Hz
Consumo	7 W
Temperatura de operación	-40° a 85°C (-40°F a 185°F)
Humedad de operación	10% a 95% sin condensación

# Equipos

## ⦿ Modem PLC



Dimensiones	180 x 135 x 40 mm
Velocidad	Hasta 200 Mbps en PLC y 100 en Ethernet
Rango de frecuencias	2– 34 MHz CONTINUA
Interfaces	Fas Ethernet RJ-45 10/100BaseT Enchufe de AC de 16 A Botón multifunción
Estándares IEEE	802.1D, 802.1p, 802.1Q, 802.3u
Protocolos de red	TCP/IP, UDP, IGMP
Seguridad y encriptación	Soporte para autenticación RADIUS, DES (56bits) o 3DES (168 bits), AES 128/256
Compatibilidad electromagnética	Limites EMC EN 55022, UL/EN 60950, FCC Part 15 B
Entrada de energía	100 a 240 VAC y 50/60 Hz

# Equipos

## ● Filtro de ruido PLC



Especificaciones Técnicas	
Línea de voltaje	85-265VAC
Línea de corriente	10A
Frecuencia	50/60Hz
Temperatura de operación	0° hasta 50°C (32°F hasta 122°F)
Número de salidas	1
Material de embalaje	Plástico
Gamma de frecuencias de molestias	100KHz a 100MHz
Nivel de atenuación de ruido	Hasta 50dB
Dimensiones	9cm de Largo, 5cm de Ancho, 3,5cm de altura
Peso	205g
Tipo de alimentación AC	US, UK, EU y AUS

# Equipos

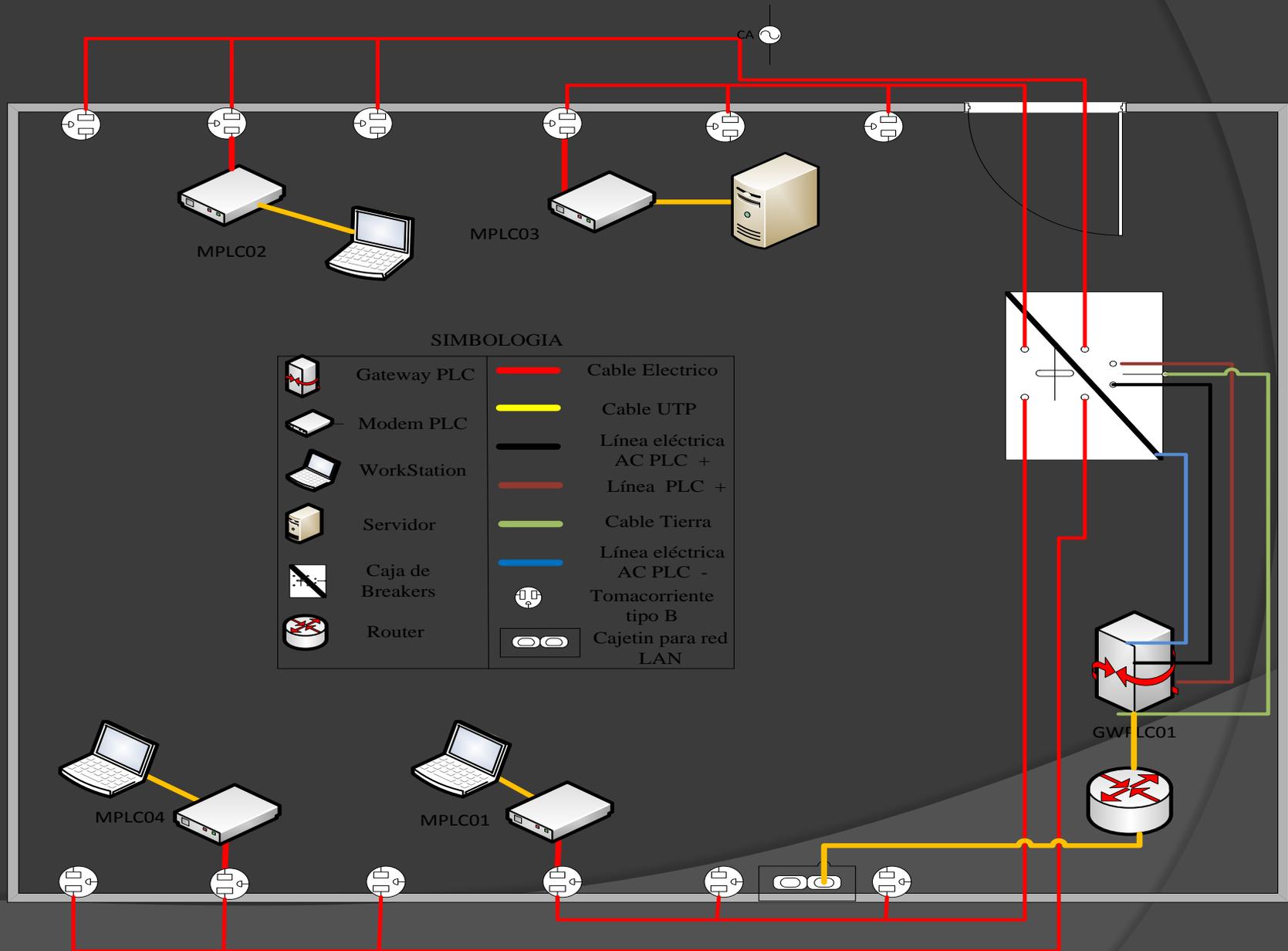
## ⦿ Servidor

## ⦿ Características

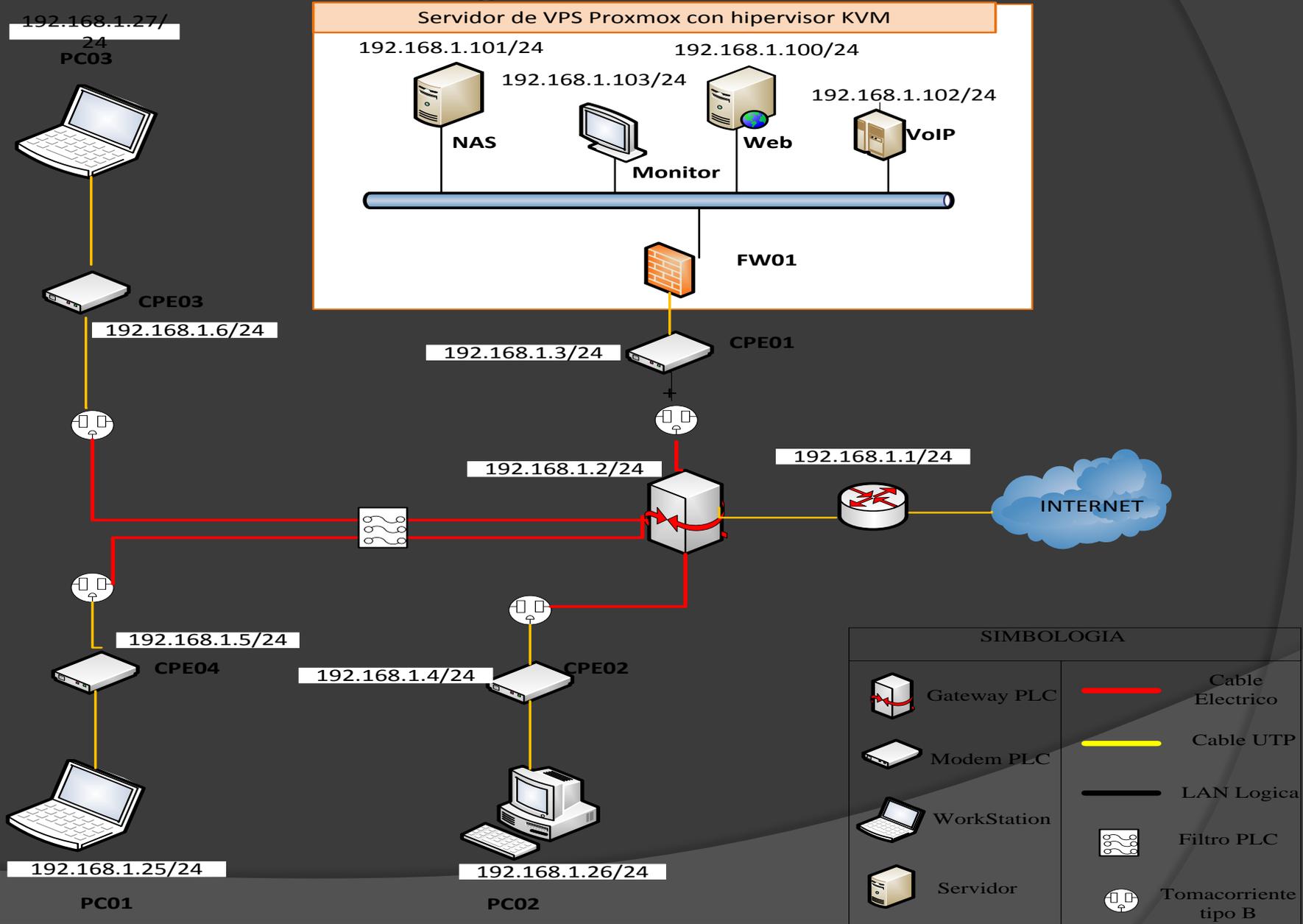
- Procesador Core I5-3330
  - Generación: tercera
  - Velocidad de reloj: 3.3Ghz
  - Cantidad de núcleos: 4
  - Cantidad de subprocesos: 4
  - Cache: 6MB
  - Tamaño máximo de RAM: 32GB
  - Arquitectura: 64 bits
  - Tecnología de virtualización: VT-x y VT-d
- RAM: DDR3 de 4GB Kingston
- Disco Duro: SATA de 500 GB



# Esquema Físico de la Red PLC



# Esquema Lógico de la Red PLC



# Despliegue de la red PLC

## Configuraciones del Gateway PLC



Configuración del Gateway PLC de LV		
Servicio	Aplicación	Descripción
Autoconfiguración	NO	El dispositivo inicia desde la NVRAM
Tipo	HE	Tipo cabecera, las opciones son: HE, TDE (repetidor) y CPE
Conexión	LV	Baja tensión, como alternativa se tiene coaxial
Dirección IP	192.168.1.2	Dirección de ID en la red
Puerta de enlace	192.168.1.1	Dirección de la puerta de enlace
DHCP	NO	No solicitar direcciones IP a un servidor
STP	YES	Gestionar los bucles por enlaces redundantes, es decir, activar o desactivar automáticamente enlaces de conexión
Modo de la señal	6	Significa: Frecuencia central: 19MHz Ancho de banda: 30MHz Uso del ancho de banda: 30MHz PSD: -77dBm/Hz Velocidad máxima física: 205Mbps

# Despliegue de la red PLC

## Configuraciones del Modem PLC



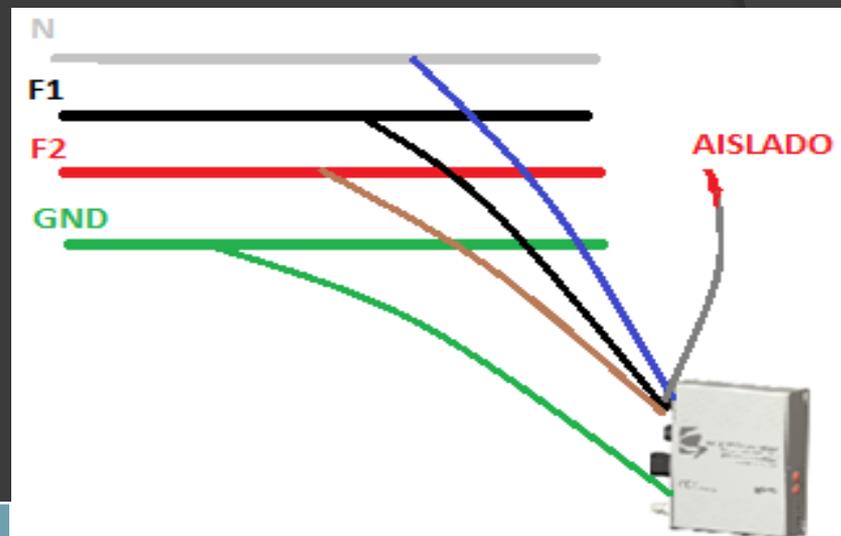
Configuración del CPE Corinex		
Servicio	Aplicación	Descripción
Autoconfiguración	NO	El dispositivo inicia desde la NVRAM
Tipo	CPE	Tipo cliente final
Conexión	LV	Baja tensión, como alternativa se tiene coaxial
Dirección IP	192.168.1.3-6	Dirección IP en la red
Puerta de enlace	192.168.1.1	Dirección de la puerta de enlace
DHCP	NO	No solicitar direcciones IP a un servidor
STP	YES	Gestionar los bucles por enlaces redundantes, es decir, activar o desactivar automáticamente enlaces de conexión
QoS	YES	Se activa las características de QoS
Máximo ancho de subida	4096	Se limite el ancho de banda por modem
Activar limitación de ancho de banda	YES	Se activa el uso de la limitación por ancho de banda

# Conexión de Equipos

## Gateway PLC de LV



## + Conexión



Pin 1	Café	Línea de AC	Línea eléctrica AC PLC+
Pin 2	Negro	Línea de AC	PLC+
Pin 3	Blanco	Línea de AC	PLC+
Pin 4	Azul	Neutro	Línea eléctrica AC PLC-

# Despliegue de la red PLC

## Configuraciones del Servidor de VPS

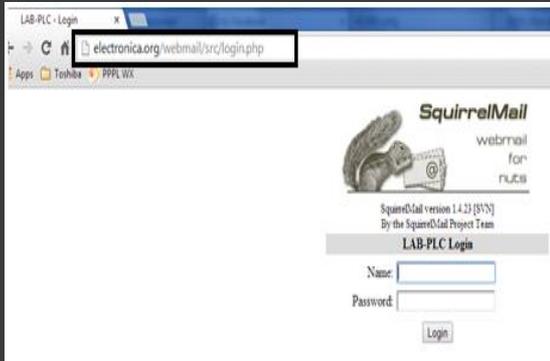
	Dirección IP	Sistema Operativo
Hipervisor KVM	192.168.1.250	Proxmox 3 de 64bits
VM100	192.168.1.100	Debian 7 Wheezy
VM101	192.168.1.101	FreeNAS 8.2 de 64bits
VM102	192.168.1.102	Elastix 2.4 de 32bits
VM103	192.168.1.103	Security Onion de 32bits



# Despliegue de la red PLC

## Web Hosting

### Servidor de Correo



- admin@roosevelth1.org  
password: Pf6fMMSOaw
- webmaster@electronica.org  
password: HaWdeSTO1NM

### Servidor de Nombres DNS

```
Administrador: Símbolo del sistema

Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=137ms TTL=240
Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=138ms TTL=240
Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=138ms TTL=240

Estadísticas de ping para 72.52.4.119:
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
(0% perdidos),
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 137ms, Máximo = 161ms, Media = 143ms

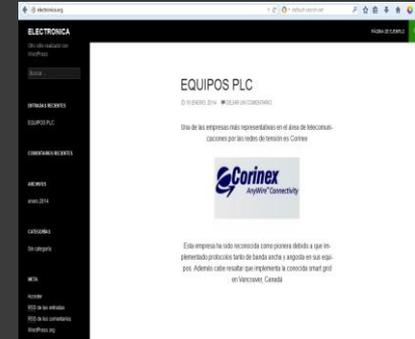
C:\Users\Usuario>ping electronica.org

Haciendo ping a electronica.org [72.52.4.119] con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=163ms TTL=240
Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=162ms TTL=240
Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=163ms TTL=240
Respuesta desde 72.52.4.119: bytes=32 tiempo=168ms TTL=240

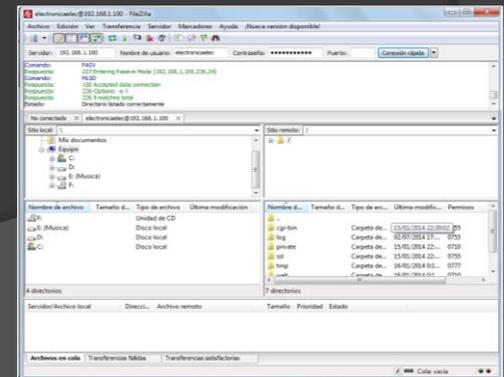
Estadísticas de ping para 72.52.4.119:
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
(0% perdidos),
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 162ms, Máximo = 168ms, Media = 164ms

C:\Users\Usuario>
```

### Servidor paginas Web



### Servidor FTP

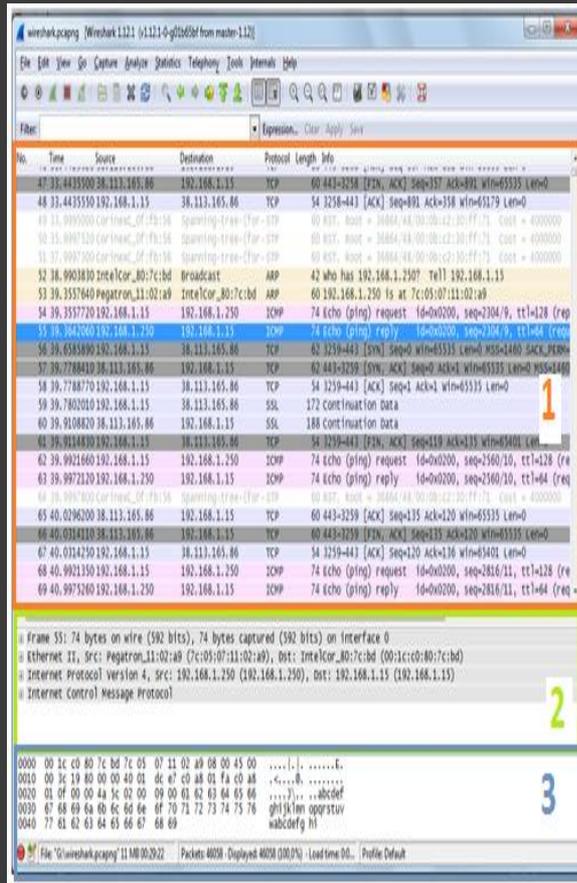


# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

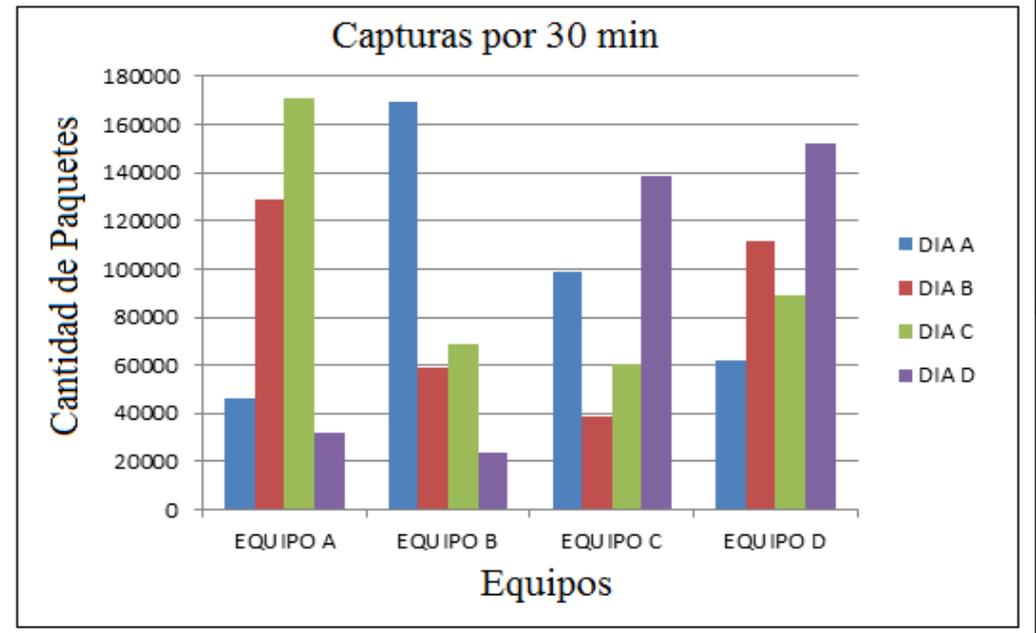
## ⦿ Basadas en:

- **Análisis de Tráfico de Datos en la Red Power Line Communications (PLC)**
- **Análisis de la Atenuación, Relación Señal Ruido y Velocidad de la Red PLC.**
- **Análisis de velocidad vs corriente en condiciones normales de carga.**
- **Análisis de velocidad vs corriente en condiciones máximas de carga**

# Análisis de Tráfico de Datos en la Red Power Line Communications (PLC)

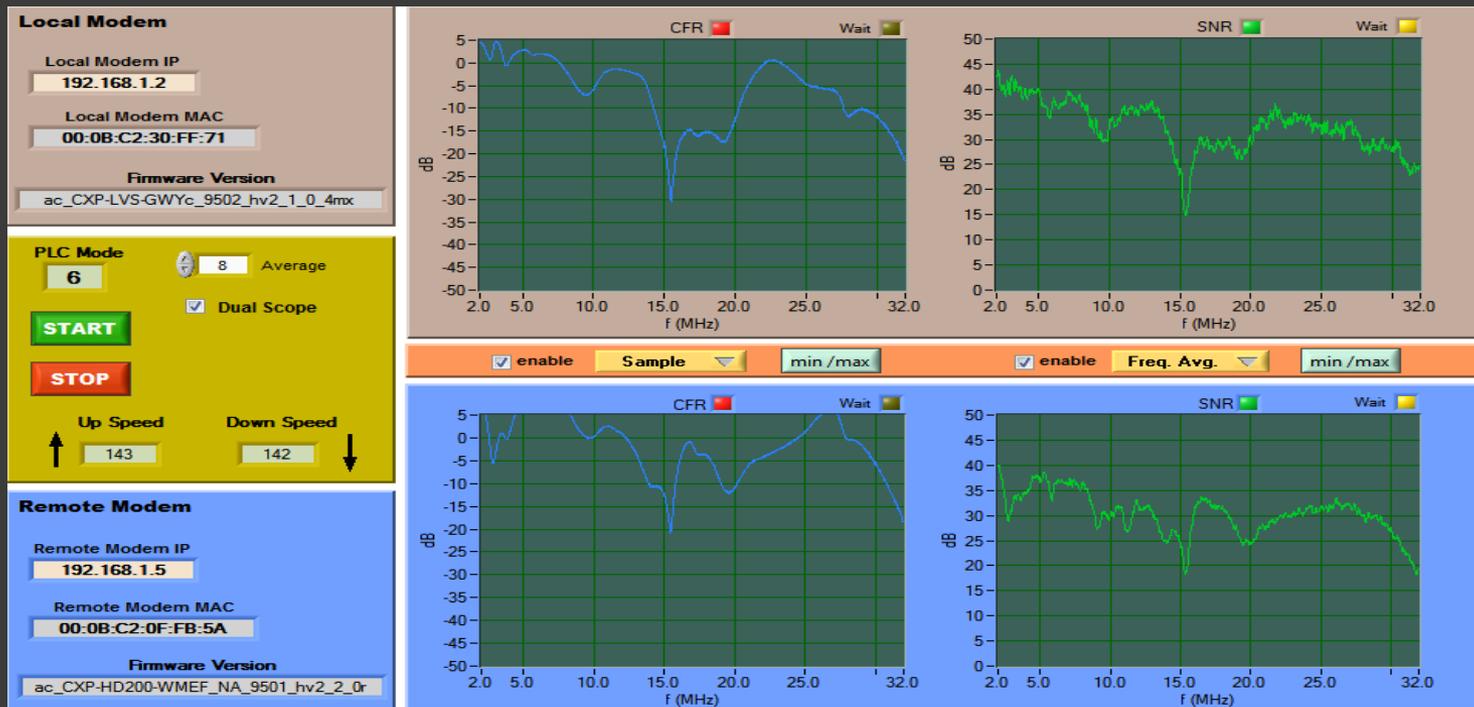


	TIEMPO (Min)	EQUIPO A	EQUIPO B	EQUIPO C	EQUIPO D
DIA A	30	46058	169156	98756	62135
DIA B	30	128844	59156	38743	111353
DIA C	30	170581	69035	60231	89321
DIA D	30	32196	23680	138756	152135



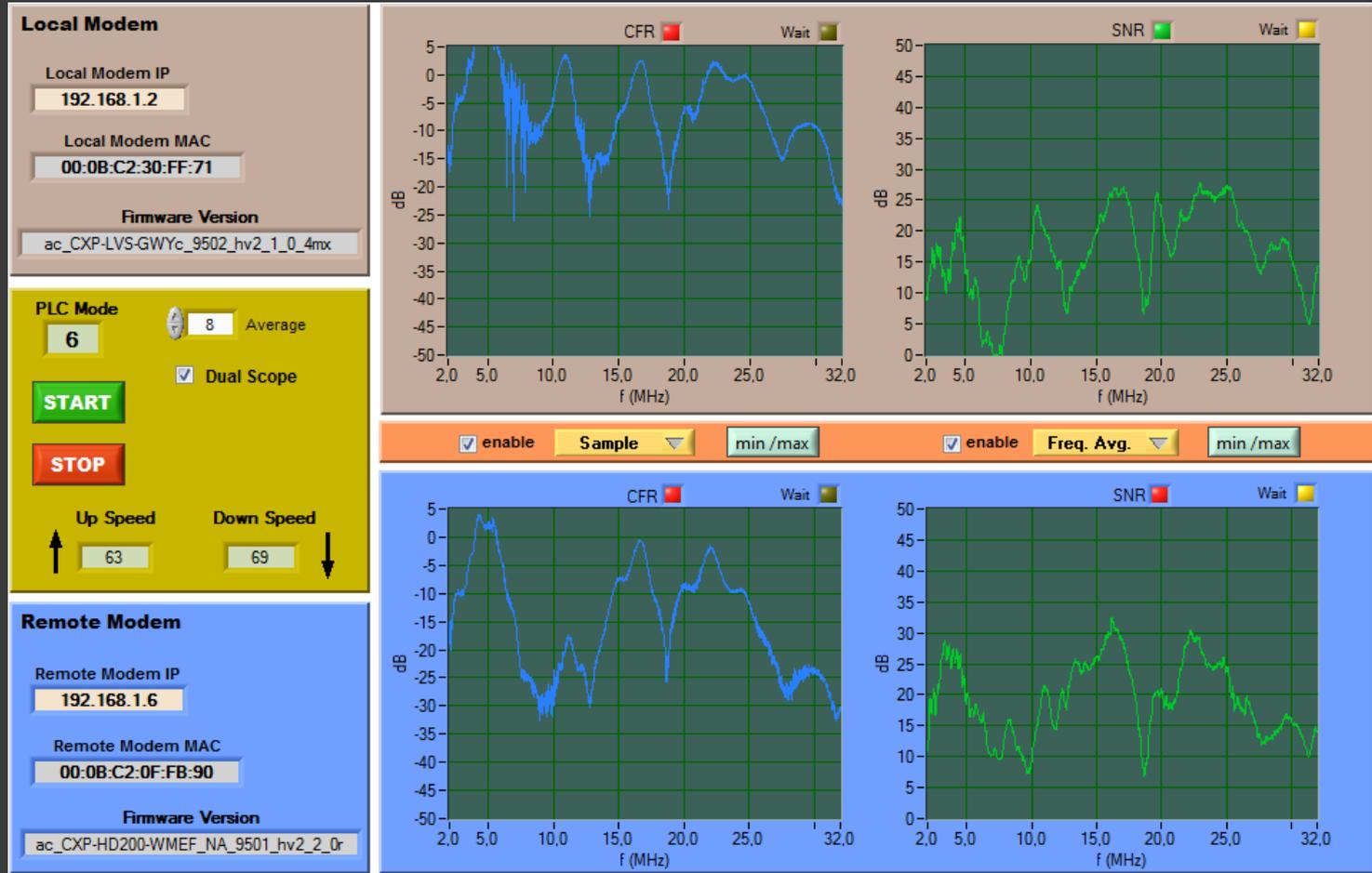
# Análisis de la Atenuación, Relación Señal Ruido y Velocidad de la Red PLC

## ● Enlace 1: GWPLC01 – MPLC01. Distancia: 3m



Espectro de frecuencias para 3m  
enlaces PLC

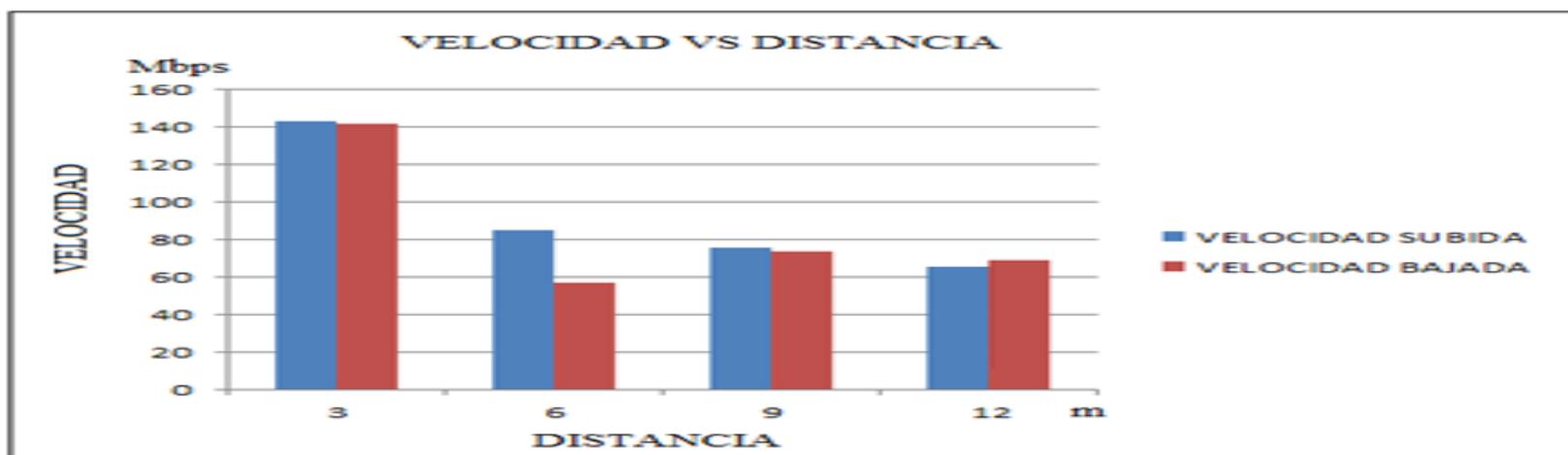
# Enlace 4: GWPLC01 – MPLC01. Distancia: 12m



Espectro de frecuencias para 12m  
enlaces PLC

# Resumen de velocidad, atenuación y SNR

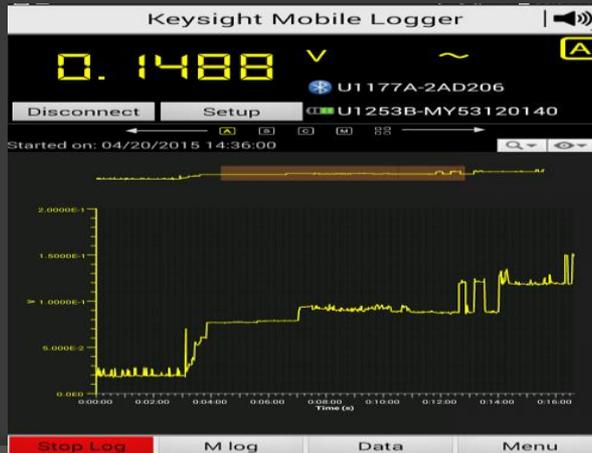
	3 metros		6 metros		9 metros		12 metros	
	Modem Local	Modem Remoto						
Velocidad(Mbps)	143	142	85	57	76	74	63	69
Atenuación(dB)	6.36	1.27	- 1.10	-5.57	14.72	16.38	5.57	13.87
SNR(dB)	32.36	32.05	24.63	18.50	23.28	23.47	19.39	22.04



Comportamiento de la velocidad de transmisión a diferentes distancias

# Registro de velocidad vs corriente en condiciones normales de carga

TIEM	Host 1		Host 2		Host 3		Host 4		CORRIENTE(A)
	VEL. SUBID (Mbps)	VEL. BAJAD (Mbps)	VEL. SUBID (Mbps)	VEL. BAJA (Mbps)	VEL. SUBI (Mbps)	VEL. BAJA(Mbps)	VEL. SUBID (Mbps)	VEL. BAJAD (Mbps)	
14.05	22	21	80	57	56	42	54	49	4.434
14.16	21	21	83	43	78	36	62	10	4.284
14.22	20	26	75	30	58	26	23	26	4.395
14.55	11	19	84	35	72	32	77	75	4.464



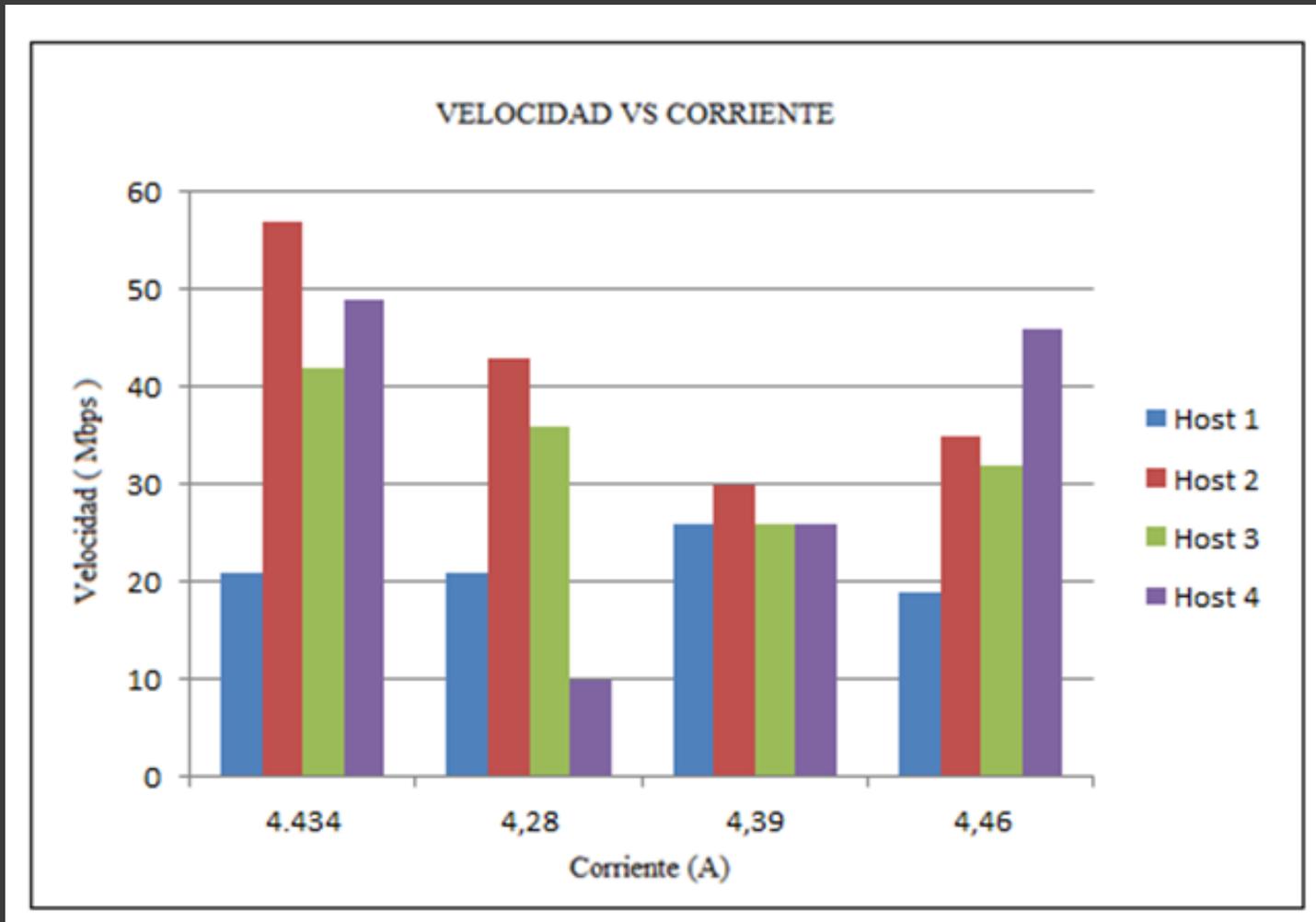
### Corinex HD200 User Interface

Status			
FW Version: ac_CXP-LVS-GWYc_9502_hv2_1_0_4rnx sv5_0_110_0_0_11_07_28 almapro			
IP Address	192.168.1.2	IP Configuration	Fixed
MAC Address	000BC230FF71		
Ethernet	100 Mbps	MAC Type	Access
Access Protocol	FILLING_TABLE	Node Type	HE
Sync	Done	Link Mode	8
Notches	list	RX Gain	1
PTTP Mode	Enabled	Auto-configuration	Disabled
Coupling State	LV	PHY Medium	PLC
Uptime	28 days, 23h 58m 9s	Number of Boots	66

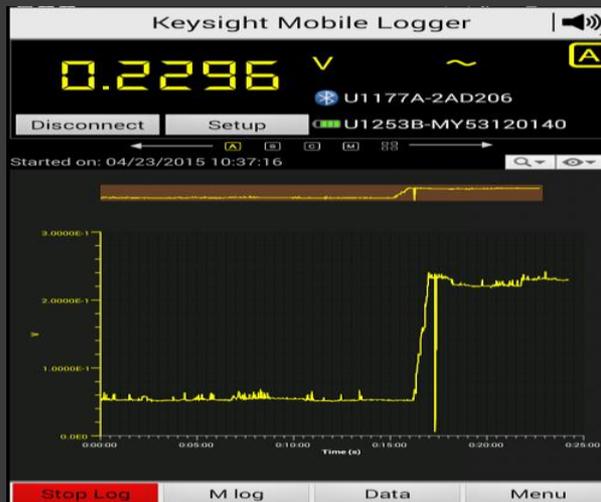
PLC Connections					
No.	PLC Port	MAC Address	Phy Tx	Phy Rx	Bridge State
1	11	000BC20FFB55	22 Mbps	23 Mbps	Enabled
2	9	000BC20FFB56	84 Mbps	53 Mbps	Enabled
3	10	000BC20FFB5A	82 Mbps	26 Mbps	Enabled
4	12	000BC20FFB90	54 Mbps	49 Mbps	Enabled

# Registro de velocidad vs corriente en condiciones normales de carga



# Registro de velocidad vs corriente en condiciones máximas de carga

TIEM.	Host 1		Host 2		Host 3		Host 4		CORRI (A)
	VEL. SUBIDA (Mbps)	VEL. BAJAD (Mbps)	VEL. SUBID (Mbps)	VEL. BAJA (Mbps)	VEL. SUBID (Mbps)	VEL. BAJA (Mbps)	VEL. SUBIDA (Mbps)	VEL. BAJA (Mbps)	
	14.05	39	45	49	48	36	47	68	
14.16	36	43	45	48	45	27	52	45	11.784
14.22	35	42	55	53	63	53	39	48	11.895
14.55	34	46	45	56	81	72	42	43	11.664



### Corinex HD200 User Interface

**Status**

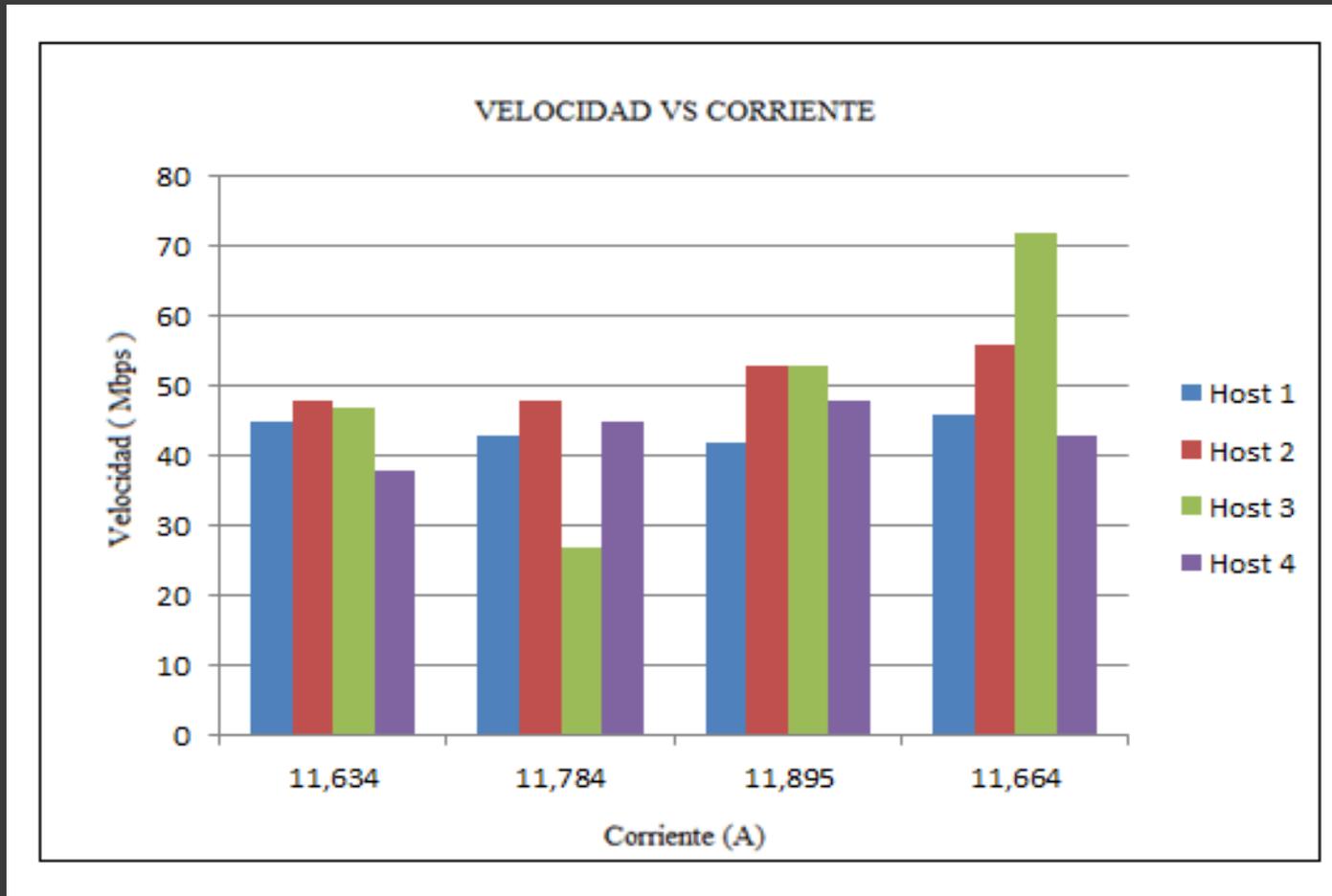
FW Version: ac\_CXP-LVS-GWYc\_9502\_hv2\_1\_0\_4mx sv5\_0\_110\_0\_0\_11\_07\_28 almapro

IP Address	192.168.1.2	IP Configuration	Fixed
MAC Address	000BC230FF71		
Ethernet	100 Mbps	MAC Type	Access
Access Protocol	FILLING_TABLE	Node Type	HE
Sync	Done	Link Mode	6
Notches	Disabled	RX Gain	1
PTTP Mode	Enabled	Auto-configuration	Disabled
Coupling State	LV	PHY Medium	PLC
Uptime	28 days, 23h 58m 9s	Number of Boots	66

**PLC Connections**

No.	PLC Port	MAC Address	Phy Tx	Phy Rx	Bridge State
1	11	000BC20FFB55	22 Mbps	23 Mbps	Enabled
2	9	000BC20FFB56	84 Mbps	53 Mbps	Enabled
3	10	000BC20FFB5A	82 Mbps	26 Mbps	Enabled
4	12	000BC20FFB90	54 Mbps	49 Mbps	Enabled

# Registro de velocidad vs corriente en condiciones máximas de carga



# Conclusiones

- Se determinó que la red Power Line Communications esta apta para ser utilizada en el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE como medio de transporte de información, haciendo uso de servicios en tiempo real como son voz, datos y multimedia.
- Se probó que existen factores de influencia que afectan a la eficiencia de comunicación en la red como longitud, arquitectura de la red eléctrica, esto se pudo comprobar al aumentar la distancia entre el Gateway y una estación en la cual se atenuó más la señal, por lo que la calidad del canal bajo y se empezó a reducir la velocidad de transmisión por el canal.
- Las velocidades que se producen en la transmisión de datos ante el incremento de corriente en la red eléctrica no son afectadas. Esto permite tener una red de datos en excelentes condiciones de comunicación con velocidades optimas de transmisión ya sea con la presencia o ausencias de equipos eléctricos conectados a la red eléctrica.
- Los equipos PLC son sensibles al ruido por lo tanto, CORINEX provee en el firmware el uso de QoS, equitativo (fair) y basado en prioridades, otro aspecto relevante del firmware es el uso de submodos con el fin de utilizar otra frecuencia de operación, evitando así la interferencia de una frecuencia específica en el espectro de 2 a 34MHz.
- La tecnología Power Line Communications permite la fácil compatibilidad con otras tecnologías desplegadas ya que se la considera una tecnología complementaria y no sustitutiva.
- El despliegue y costo de implementación de la tecnología PLC sobre las redes eléctricas es sencillo y rápido comparado con otras tecnologías de acceso, al aprovechar los cables existentes de energía eléctrica.
- Es necesaria una regulación tecnológica que posibilite la creación de estándares, que permitan alcanzar economías de escala a los fabricantes reduciendo costes y facilitando masivas inversiones a largo tiempo a las empresas eléctricas.

# Recomendaciones

- Utilizar filtros de ruido en maquinaria con alta inductancia o aparatos que ingresen trasientes en la red eléctrica, con el fin de aumentar la eficiencia de la red PLC.
- Cambiar el tamaño de la ventana TCP de 64kbytes a 512kbytes para mejorar el uso de redes PLC, ya que el valor por defecto es para redes Ethernet y PLC soporta valores más altos en el buffer.
- Grabar la configuración en la NVRAM de los dispositivos Corinex con el fin de hacerlas permanentes, ya que algún evento podría dejar inhabilitado el servidor de DHCP o TFTP, perdiendo la comunicación de los equipos y perdiendo recursos en levantarla de nuevo.
- Usar reglas QoS basadas en prioridades para mejorar el rendimiento de la red, en servicios como VoIP y video llamadas.

# Bibliografía

## ● Libros

[1] HRASNICA, H., HAIDINE, A. y LEHNERT, R. (2004). Broadband Powerline Communications Networks - Network Design. 1era Edición, 290 Páginas. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

[2] CATOIRA F., MAIDANA M., Fullana P. (2010). POWER LINE COMMUNICATIONS Descripción, características y funcionamiento. [Monografía]. Argentina, Bahía Blanca: Universidad Nacional Del Sur.

[3] ZIMMERMANN M., DOSTERT K., (2000). THE LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK AS LAST MILE ACCESS NETWORK – SIGNAL PROPAGATION AND NOISE SCENARIO IN THE HF- RANGE, AE"U INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS. 22 paginas.

## ● Hojas de datos

[4] CORINEX: LV y HD Compact Gateway. (2012-2013)

[5] CORINEX: HD200 Powerline Wall Mount F Adapter. (2012-2013)

[6] CORINEX: Powerline Filter. (2012-2013)

## ● Links de internet

[7] HowToForge –Linux Tutorials. Perfect Server - Ubuntu 12.04 LTS (Apache2, BIND, Dovecot, ISPConfig 3). Recuperado: 1 de Agosto del 2013 de:  
<http://www.howtoforge.com/perfect-server-ubuntu-12.04-lts-apache2-bind-dovecot-ispconfig-3>

GRACIAS