

Adquisición y Transmisión Inalámbrica de Lecturas de Energía Activa de los Registradores Electrónicos Monofásicos de Energía Eléctrica de la Parroquia de San Antonio de Ibarra - Barrio Centro

Resumen – Para mejorar los índices de calidad de servicio comercial de EMELNORTE S.A. se desarrolló un dispositivo electrónico que permite la adquisición y transmisión de lecturas de los registradores electrónicos monofásicos; luego se elaboró el diseño de una red inalámbrica para administración, acceso y control de los dispositivos de transmisión de datos; además se efectuó el radio enlace que permite la transferencia de la información de cada uno de los medidores. Al final se realiza la evaluación financiera del proyecto para el barrio centro de San Antonio de Ibarra y se determina su rentabilidad y tiempo de recuperación de inversión.

Índices – Comunicación inalámbrica, Radioenlace, Registradores de energía eléctrica electrónico monofásico, Telemetría.

INTRODUCCIÓN

A pesar del gran esfuerzo que realizan las empresas de distribución de energía eléctrica, para la recolección de datos de los contadores de energía, todavía no se tienen resultados confiables, detectándose problemas de los clientes al momento de cancelar sus facturas, ya sea porque en la planilla de consumo constan pocos, o en

su defecto, un elevado número de kWh de consumo mensual; estos problemas se pueden presentar por distintos factores como; fallas visuales por parte del personal que realiza esta actividad, por no tener un fácil acceso a los registradores de energía eléctrica; error al digitar las lecturas en el sistema comercial, o a su vez por lecturas irreales o estimadas al momento de la recolección de datos.

Para resolver estos problemas no basta con supervisar el cumplimiento de estas actividades ya que las mismas se realizan bajo un proceso susceptible a error humano, además se necesitan analizar otros factores que intervienen como el grado de responsabilidad de las personas encargadas de esta tarea; el estado del tiempo el día de la recopilación de datos, el libre acceso al sistema de medición, etc.

Con la finalidad de mejorar la Atención al Cliente y los índices de calidad de servicio comercial la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. se plantea el desarrollo y ejecución del proyecto para la Adquisición y Transmisión Inalámbrica de lecturas de energía activa de los registradores electrónicos monofásicos de energía eléctrica de la parroquia de San Antonio de Ibarra - Barrio Centro.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DE DATOS.

El sistema de adquisición de datos se desarrolla para los registradores electrónicos monofásicos de energía eléctrica, cabe mencionar que la interfaz no está limitada a un solo tipo o marca de registrador, al contrario sirve para cualquier medidor siempre y cuando posea una salida de impulsos, generalmente conocida como salida opto acoplada o emulador de disco.

A. Diseño del sistema de Adquisición de datos

El diseño se consta de los siguientes procesos:

1. Adquirir información del registrador electrónico.
2. Procesar y Controlar la información en el microcontrolador.
3. Transmitir y Recibir la Información procesada

En la Fig 1 se aprecia lo indicado.

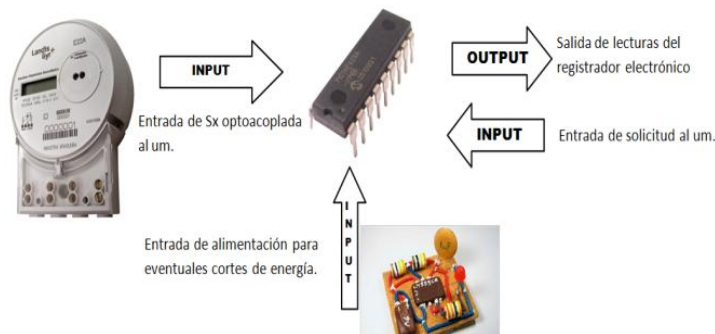


Fig. 1 Elementos para el sistema de Adquisición de Datos

En el diseño del circuito para el sistema de adquisición de datos se tiene presente la suspensión de energía, es decir que todo el circuito no tenga alimentación, este es un factor muy importante ya que la información que se esté procesando en ese momento se puede perder.

Para resolver este problema se desarrolló un circuito que actuó como alarma y brinde alimentación de energía suficiente para guardar los valores de las variables en la memoria EEPROM del microcontrolador.

La programación de las funciones del microcontrolador se la ha realizado en lenguaje ensamblador ya que permite tener control absoluto de cada una de las funciones que se va a ejecutar.

B. Alimentación de energía para la interfaz electrónica

Se considera la interfaz entre el sistema de adquisición de datos y la red inalámbrica; los módulos que se utilizan para implementar esta interfaz consumen una corriente aproximada de 0.3 Ah., en el módulo WIFLY y 0.8 Ah, en módulo WIZ610wi.

Los demás elementos electrónicos en conjunto tienen un consumo de corriente de aproximadamente 0.15 Ah.

El tipo de fuente desarrollada para este proyecto tiene las siguientes características:

- Salida de corriente 1 A.
- Entrada de voltaje 110 V AC.
- Salida de voltaje 5 V DC, 3.3 V DC

Las características mencionadas cumplen con los requisitos de corriente y voltaje para el funcionamiento del sistema de adquisición de datos y de los módulos encargados de la interfaz con la red inalámbrica. La Fig. 2 muestra el circuito desarrollado para la fuente de alimentación

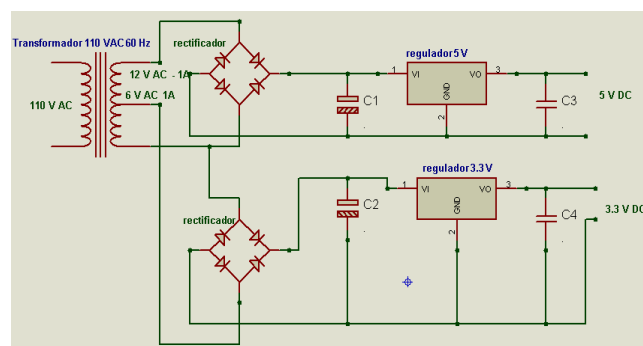


Fig. 2 Circuito para la fuente de Alimentación.

C. Características desarrolladas para la interfaz electrónica de adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos posee ventajas y características que lo hacen interesante al momento de seleccionarlo para aplicaciones de telemetría, además optimiza los recursos de la empresa eléctrica y brinda una automatización perfecta en la recolección de datos de los registradores electrónicos monofásicos.

Ventajas y características de la Interfaz electrónica:

- Compatible con cualquier tipo de registrador electrónico monofásico que posea una salida opto acoplada.
- Tamaño reducido.
- Puerto estándar de comunicación RS232, 8bits, no paridad, 1 bit de stop, control de flujo ninguno, 9600 bps.
- Administración Remota.

El sistema de adquisición de datos fue desarrollado para ser compatible con una amplia gama de tecnologías de transmisión, al ser diseñado en dos etapas: el sistema de adquisición de datos en una parte y el sistema de transmisión de datos en otra, además de poseer una interfaz de comunicaciones estándar (RS232).

La transmisión de las lecturas de los registradores electrónicos se la puede realizar de diferentes maneras, haciendo uso de un conversor RS232, a la tecnología deseada, como: ETHERNET, WIMAX, WIFI, GPRS, ZIGBEE, que entre otras podrían ser utilizadas.

Lo anterior hace que el circuito de adquisición de datos sea la parte esencial de la telemetría en registradores electrónicos monofásicos. Fig. 3 muestra el circuito desarrollado.

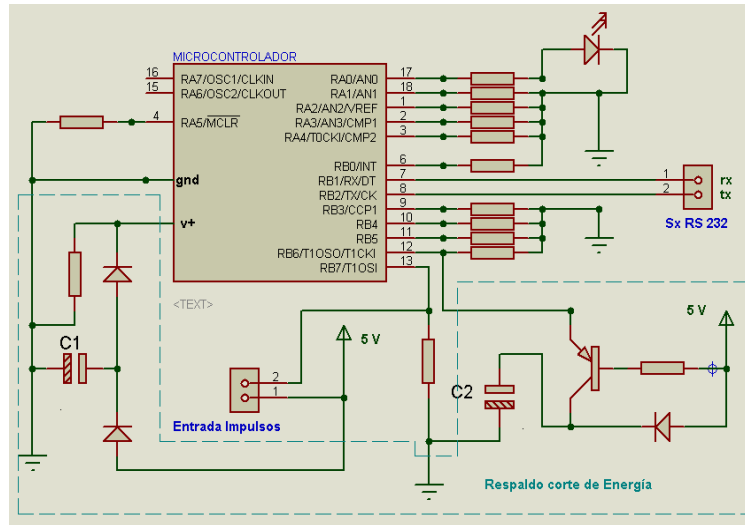


Fig. 3 Circuito para la Adquisición de Datos

D. Dispositivo de adquisición y transmisión inalámbrica de datos.

El circuito de adquisición de datos en conjunto con el módulo inalámbrico, forman un sistema para adquirir, procesar, controlar y enviar las lecturas de los medidores electrónicos monofásicos.

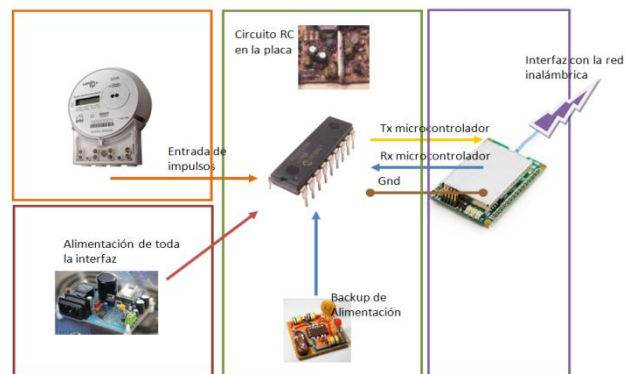


Fig. 3 Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos para registradores electrónicos monofásicos

En la Fig. 4 y Fig. 5 se muestran los dispositivos encargados de adquirir y transmitir inalámbricamente las lecturas de los registradores electrónicos monofásicos.

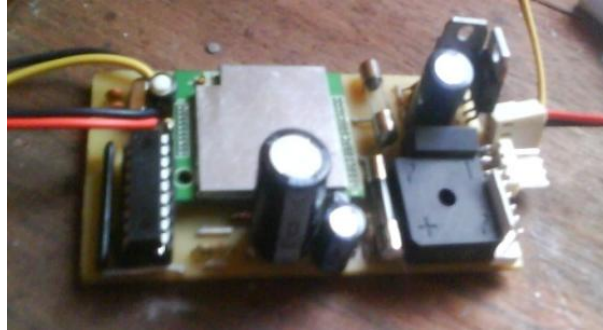
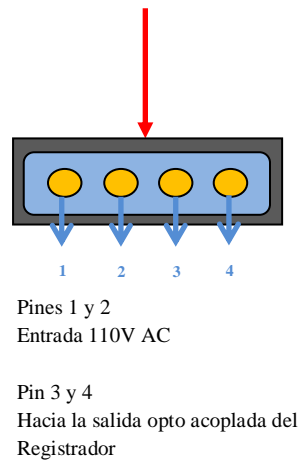


Fig. 4 Placa del sistema de Adquisición y Transmisión Inalámbrica de Lecturas



(a)



(b)

Fig. 5 (a) Dispositivo de Adquisición y Transmisión de lecturas, (b) Pines de Conexión

E. Diseño de la red inalámbrica para la adquisición y transmisión de lecturas.

La red inalámbrica debe poseer cobertura en la zona central de San Antonio de Ibarra es decir, desde la panamericana norte hasta la línea férrea y desde la calle 10

de Agosto hasta la calle Simón Bolívar; la red se diseña tomando en cuenta los diferentes factores que se presentan al momento de instalar los dispositivos encargados de adquirir y transmitir las lecturas de los registradores electrónicos; además se considera la ampliación de cobertura de la red para brindar conectividad a otros sectores rurales o alejados del centro de San Antonio de Ibarra.

La Red Inalámbrica a implementarse trabaja bajo los estándares IEEE 802.11b/g, y el enlace desde San Antonio de Ibarra al centro de datos de EMELNORTE S.A. se desarrolla bajo el estándar IEEE 802.11a.

Fig. 6 indica la conformación una red inalámbrica con dos concentradores trabajando bajo el estándar IEEE 802.11 b/g, cada concentrador tiene un área de cobertura de 800 metros a 1000 metros de diámetro, tomando en cuenta la forma y material de las construcciones que se encuentran presentes en lugar de la implementación, los concentradores alcanzan una cobertura aproximada de 800 metros de diámetro. Los radios cuentan con 4 salidas para conectar antenas exteriores o también denominadas “*salidas RF*”, las cuales son totalmente independientes en potencia, configuración y administración, en consecuencia se utiliza un arreglo de cuatro antenas sectoriales 90°.

La configuración de cada salida RF (Radio Frecuencia) es como AP (Access Point) exceptuando la salida que se conecta con el equipo adyacente, la configuración es como WDS (Wireless Distribution System); de esta manera se logran enlazar los dos concentradores formando entre ellos un Sistema Distribuido Inalámbrico.

Se toma en cuenta que la cobertura brindada por los concentradores es aproximadamente de 400 metros a la redonda, pero se deben considerar que algunas construcciones pueden estar más alejadas, para solucionar este problema solo basta configurar al registrador límite del área de cobertura como WDS, de esta manera optimizan los recursos de la red, para que los registradores funcionen como AP y puedan brindar conectividad hacia los lugares en donde se desee ampliar la red

sin necesidad de instalar un equipo costoso.

Lo expuesto anteriormente se puede observar en la Fig. 6, en la cual se representan: el enlace entre los concentradores principales, el enlace con los registradores configurados como WDS, además los círculos simbolizan el área en donde existe cobertura, por último se tiene el enlace para que los datos lleguen a EMELNORTE S.A. con un backhaul a 5.8 GHz.

Cabe indicar que los concentradores principales ofrecen la facilidad de ampliar la red a varios kilómetros; en modo de funcionamiento WDS y teniendo una cobertura de 360° permiten enlazar a mas concentradores y al tener la ventaja de poseer 4 salidas RF se logra mejorar la administración de los mismos.

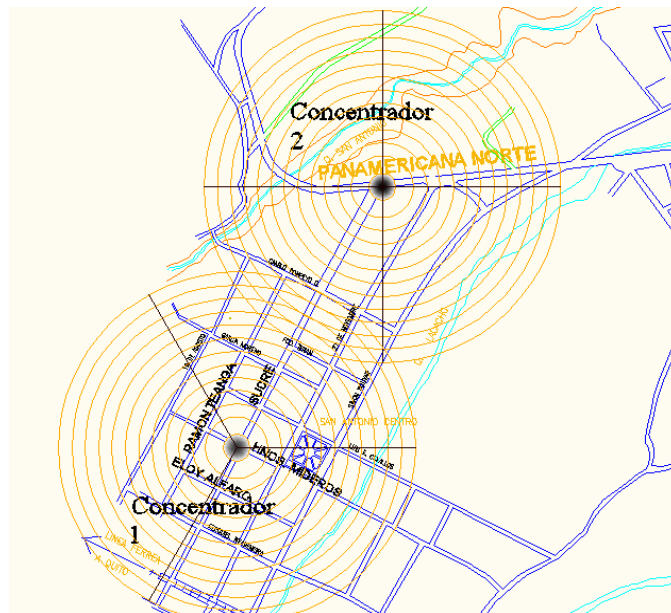


Fig. 6 Topología de red en barrio central San Antonio de Ibarra

Tomando en cuenta que la lectura de los registradores electrónicos se la realiza una vez al mes, se propone tomar la lectura una vez al día a una determinada hora, lo cual genera un control más detallado del consumo del abonado.

Con esta información se calcula el tráfico que genera cada registrador:

$$Tsl = \frac{\text{bytes de solicitud}}{\text{una solicitud}} * \frac{8 \text{ bites}}{1 \text{ byte}} * \frac{\text{solicitud}}{1 \text{ segundo}}$$

$$\text{Tráfico}_{\text{solicitud lectura}} \approx 152 \text{ bps}$$

El valor mostrado anteriormente es el resultado de sumar los bytes de solicitud que se envía a cada medidor y los bytes de respuesta de cada medidor, luego se realiza la relación correspondiente de bytes a bits y se divide para 1 s.

Si todos los registradores transmiten al mismo tiempo y con un número aproximado de 1200 clientes el resultado sería el siguiente.

$$\text{Tráfico}_{\text{solicitudlecturaacumulada}} \approx 178,125 \text{ Kbps}$$

El tráfico generado por las solicitudes y respuestas de las lecturas todos los registradores es 178,125 Kbps, lo cual es relativamente bajo si se toma en cuenta que la transmisión de datos se la realiza bajo los estándares IEEE 802.11 a/b/g, los cuales brindan velocidades de transmisión superiores.

F. Ubicación y Cobertura de los Concentradores en el Barrio Central de San Antonio de Ibarra.

En la Fig. 7 se observan los concentradores actuando como radio base y haciendo uso de sus salida RF brindan conectividad en toda su área de cobertura.

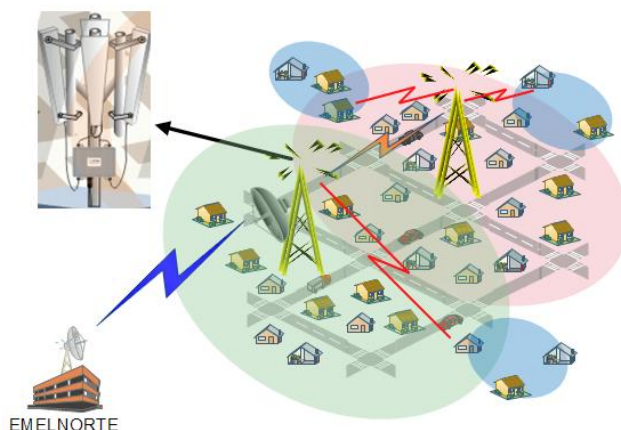


Fig. 7 Ubicación y Cobertura de los Concentradores en el Barrio Central de San Antonio de Ibarra

Para lograr una segmentación operativa se hace uso de redes diferentes para cada salida RF como se muestran en los Cuadros 1 y 2; además haciendo uso de protocolos de enrutamiento, que permitan el direccionamiento sin clase se logran integrar las diferentes redes.

Concentrador 1 Backhaul		
Nº Salida RF	Nombre de la Subred	Mascara
Salida RF 1	A.B.C.1	1.2.3.4
Salida RF 2	A.B.C.2	1.2.3.4
Salida RF 3	A.B.C.3	1.2.3.4
Salida Backhaul	A.B.C.4	1.2.3.4

Cuadro 1. Direccionamiento para el Concentrador 1

Concentrador 2		
Nº Salida RF	Nombre de la Subred	Mascara
Salida RF 1	A.B.C.5	1.2.3.4
Salida RF 2	A.B.C.6	1.2.3.4
Salida RF 3	A.B.C.7	1.2.3.4
Salida RF 4	A.B.C.8	1.2.3.4

Cuadro 2. Direccionamiento para el Concentrador 2

El nombre de la red es A.B.C.D y su máscara es 1.2.3.4.

El diseño anteriormente presentado es importante por las siguientes razones.

- Es indispensable mantener un número considerable de direcciones IP para la asignación de nuevos clientes.
- Es necesario implementar una segmentación de red, porque la cantidad de clientes es considerablemente elevada.
- Se debe pensar en la ampliación de la red, tanto en la cantidad de usuarios como en la cobertura.
- Al mantener una segmentación física y lógica se logra controlar de mejor manera las colisiones y por lo tanto mantener a la red más operativa.

G. Zonas de Fresnel

Además de la visibilidad directa entre las antenas se debe considerar la primera zona de Fresnel, debe existir por lo menos el 60% de despeje en esta zona durante todo el trayecto del enlace San Antonio – EMELNORTE.

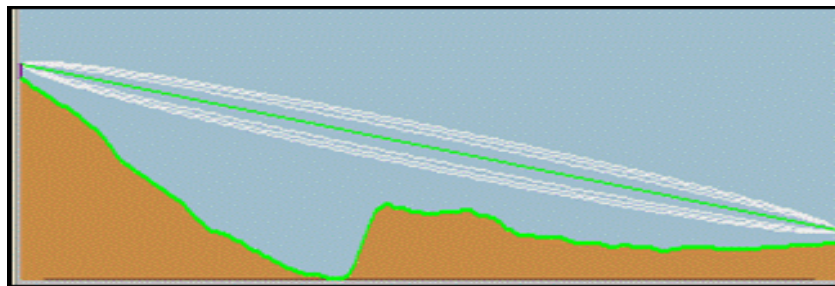


Fig. 8 Zonas de Fresnel Trayecto San Antonio de Ibarra – EMELNORTES.A.

A continuación se calcula el radio para la primera zona de Fresnel, como se aprecia en el Cuadro 3.

$$r = 17,32 * \sqrt{[(d1 * d2) \div (d * f)]}$$

Donde:

d1 = distancia al obstáculo desde el transmisor [km]

d2 = distancia al obstáculo desde el receptor [km]

d = distancia entre el receptor y el transmisor [km]

f = frecuencia [GHz]

r = radio [m]

D1 (Km)	D2 (Km)	RADIO primera zona de Fresnel (m)	RADIO 60% de la primera zona Fresnel (m)
0	6,1	0,00	0,00
0,5	5,6	4,87	2,92
1	5,1	6,58	3,95
1,5	4,6	7,65	4,59
2	4,1	8,34	5,00
2,5	3,6	8,74	5,24
3	3,1	8,88	5,33
3,5	2,6	8,78	5,27
4	2,1	8,44	5,06
4,5	1,6	7,81	4,69
5	1,1	6,83	4,10
5,5	0,6	5,29	3,17
6	0,1	2,26	1,35

Cuadro 3 Radio de la primera zona de Fresnel intervalo 500m

H. Interfaces electrónicas Instaladas en los registradores en el Barrio Centro de San Antonio de Ibarra.

Los domicilios en los cuales se ha implementado la interfaz electrónica cuentan con registradores electrónicos monofásicos con las siguientes características:

- 1600 impulsos 1 kWh.
- Salida Optoacoplada.
- 110 V / 60 Hz

En las siguientes figuras se observan los módulos instalados

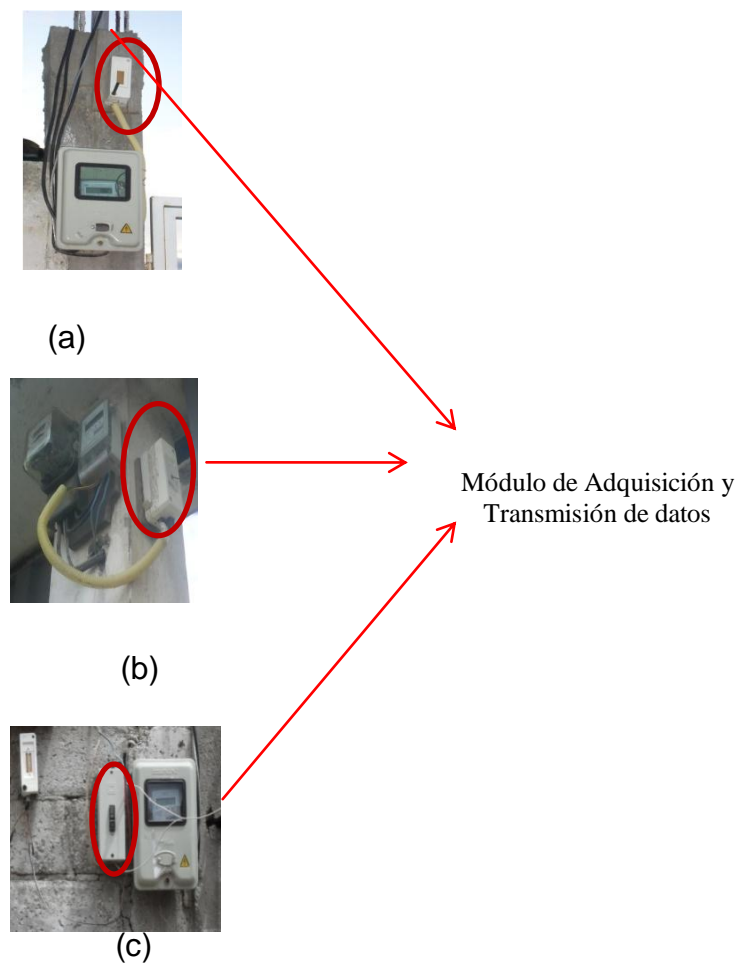


Fig. 9 (a) (b) (c) Módulos de adquisición de datos instalados en los tres lugares de prueba.

I. Análisis Económico

Se realizó el estudio financiero para conocer la factibilidad de implementación del proyecto, considerando el diseño de red, su inversión y los costos, el detalle se indica a continuación:

INVERSIÓN			
Materiales	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Radios de transmisión	3	1678,88	5036,64
Antenas 120°	3	350,00	1050,00
Antena 90° 2,4	4	393,00	1572,00
Antena 90° 5,8 GHz	1	350,00	350,00
Antena grilla 5.8	1	128,80	128,80
Caja hermética	3	99,68	299,04
Pigtail	9	39,20	352,80
Line arrestor	9	35,84	322,56
Equipos de adquisición de datos	1200	65,00	78000,00
Medidores	1200	12,00	14400,00
Torres de transmisión	2	2500,00	5000,00
TOTAL DE INSTALACIÓN			106511,84
<i>INGENIERÍA Y CAPITAL DE OPERACIÓN</i>			
Ingeniería	1	5000	5000,00
Diseño de Redes	1	5000	5000,00
TOTAL DE DISEÑO (MANO DE OBRA INDIRECTA)			10000,00
<i>MANO DE OBRA DIRECTA (OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN)</i>			
Operación Anual	1	2500	2500,00
Mantenimiento Anual	1	2500	2500,00
TOTAL DE MANO DE OBRA DIRECTA			5000,00
Misceláneos e Imprevistos	1	12151,18	12151,18
TOTAL DE INVERSIÓN			133663,02

Cuadro 4 Detalle de la inversión

CLASIFICACIÓN DE COSTOS			
Concepto	Costo Fijo	Costo Variable	Total
Costo del servicio	974,4		974,4
Mano de obra directa		6200,00	6200,00
Mano de obra indirecta	10000,00		10000,00
GASTOS DE FABRICACIÓN			
Depreciación	9248,37		9248,37
COSTO TOTAL	20222,77	6200,00	26422,77

Cuadro 5 Clasificación de Costos

Para justificar la inversión se ha realizado el cálculo de ingresos, costos y la depreciación de los equipos, con proyección de cada uno de estos aspectos para un periodo de 15 años y con un porcentaje de inflación promedio del país en el año 2009 que fue del 4.31%

Mediante el uso de la siguiente fórmula se determina la relación beneficio costo.

$$\text{Beneficio Costo} = \frac{\sum \text{Ingresos} / (1+i)^n}{\sum \text{Egresos} / (1+i)^n} = 2.72$$

i = tasa de descuento

n = años

La relación beneficio / costo del proyecto es de **2.72**, demostrando su viabilidad económica, además se establece que el tiempo de recuperación de la inversión ocurre al octavo año.

CONCLUSIONES

La implementación de nuevas tecnologías por parte de las empresas de servicio eléctrico del país es de suma importancia, como se demuestra en el proyecto se ha automatizado la adquisición de lecturas de registradores de energía eléctrica, y se optimiza el proceso de facturación, disminuyendo el error en la toma de lecturas, mejora la atención al cliente y aportando prestigio y crecimiento tecnológico de la empresa.

En el presente proyecto de titulación se logró diseñar, construir e implementar un sistema de adquisición y transmisión inalámbrica de lecturas de registradores electrónicos monofásicos, capaz de automatizar la recolección del consumo de energía activa de tres (3) abonados, de EMELNORTES.A. ubicados en San Antonio de Ibarra.

El circuito para la adquisición y transmisión de lecturas fue diseñado para brindar una interfaz confiable y de fácil manejo para la configuración y puesta en marcha por parte del personal de EMELNORTE S.A., ya que posee características de administración de red conocidas como son: HTTP y Telnet para la configuración del software, y al poseer una interfaz solo de cuatro pines para la conexión con el registrador electrónico hace que sea un dispositivo que brinde una confiabilidad total en la actividad para la cual fue desarrollado.

El diseño de la red inalámbrica fue estructurado de tal manera que permita una futura expansión mediante la inclusión de nuevos equipos en las diferentes capas de la red, logrando de esta manera ampliar el área de cobertura y la cantidad de usuarios.

El flujo de tráfico que cursara en la red es solo de datos, logrando de esta manera que la calidad de servicio se enfoque a la transmisión de los mismos.

El enlace entre San Antonio de Ibarra y EMELNORTE S.A. es totalmente confiable, por desarrollarse bajo condiciones favorables como son el clima, la topografía, la vegetación entre otros es económicamente viable ya que la inversión se recuperará en 8 años y 5 meses con una relación beneficio costo de 2,72.

REFERENCIAS

1. Blanco, C. (2005) Fundamentos De Electrónica Digital. Madrid: Thomson Paraninfo.
2. Carballar, J. (2004). *Wi-fi. Instalación, Seguridad Y Aplicaciones*. Madrid: Ra-ma
3. Carrillo, A. *Diseño de una red virtual privada móvil con tecnología WiMAX*. Quito: EPN
4. CEKIT. (2004). *Electrónica*. Bogotá: Inédito.
5. Chilibingua, M. (2007). *Costos Órdenes de Producción*. Ibarra: Inédito
6. CISCO, (2006). *Fundamentos de Redes Inalámbricas*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
7. CONELEC. (2001). *Regulación 004/01 Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución*. Quito, Ecuador.
8. DELL. (2008), *Especificaciones de radio*, Extraído el 25 de octubre de 2009 desde http://support.dell.com/support/edocs/network/tmap1170/sp/Specifications/Radio_Specifications.htm#XREF_80211bg_Channel_Frequencies
9. El Mercurio. (2009), *Ecuador cerró 2009 con inflación de 4,31%*, Extraído el 12 de marzo de 2010 desde <http://www.elmercurio.com.ec/227353-ecuador-cerro-2009-con-inflacion-de-431.html>
10. EMELNORTE S.A. (2007). *Índices de Calidad de servicio comercial*. Ibarra, Ecuador
11. EMELNORTE S.A. (2008). *Índices de Calidad de servicio comercial*. Ibarra, Ecuador

12. EMELNORTE S.A. (2009), *Historia*, Extraído el 16 de septiembre de 2009 desde http://www.emelnorte.com/eern/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=56
13. EMELNORTE S.A. (2009). *Índices de Calidad de servicio comercial*. Ibarra, Ecuador
14. Gi, A. (2005). *Electrónica General*. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana De España, S.A.
15. INEC. (2002), *VI Censo de Población y V de Vivienda 2001*, Extraído el 12 de febrero de 2010 desde http://www.inec.gov.ec/c/document_library/get_file?folderId=84512&name=DLFE-6002.pdf
16. Jácome, W. (2005). *Bases Teóricas y Prácticas para el diseño y evaluación de proyectos productivos y de Inversión*. Ibarra: Editorial Universitaria
17. Morocho, M y Ludeña, P. (2001), *Planificación De Radioenlaces Con Base En Topografía Digital*. Loja: UTPL
18. Reid, N y Seide, R. (2004). *Manual De Redes Inalámbricas*. Madrid: McGraw-Hill
19. Reyes, C. (2006). *Microcontroladores PIC*. Quito: RISPGRAF
20. Tanenbaum, S. (2003), *Computer Networks*. México: Prentice Hall
21. TRICALACAR. (2007), *Estándares en Tecnologías Inalámbricas*. Extraído el 2 de octubre de 2009 desde http://eslared.org.ve/tricalcar/02_es_estandaresinalambricos_guia_v02%5B1
22. TRICALACAR. (2007), *Estándares en Tecnologías Inalámbricas*. Extraído el 2 de octubre de 2009 desde
23. TRICALCAR (2007), *Cálculo de Radioenlace*. Extraído el 21 de octubre de 2009 desde http://www.eslared.org.ve/tricalcar/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v01%5B1%5D.pdf,
24. TRICALCAR (2007), *Introducción a la Física de la Radio*. Extraído el 7 de octubre de 2009 desde http://www.it46.se/courses/wireless/materials/es/03_Radio-fisica/03_es_radio-fisica_guia_v01.pdf

25. TRICALCAR (2007), *Topología e Infraestructura Básica de Redes Inalámbricas*.
Extraído el 7 de octubre de 2009 desde
[http://eslared.org.ve/tricalcar/04_es_topologia-e-infraestructura
guia_v02%5B1%5D.pdf](http://eslared.org.ve/tricalcar/04_es_topologia-e-infraestructura_guia_v02%5B1%5D.pdf)
26. UNIVERSIDAD DE CHILE. (2009), *Introducción a los Microcontroladores*.
Extraído el 25 de octubre de 2009 desde
<http://www.cec.uchile.cl/~mcarter/EL54B/Informe%20SPDI%20presentaciones/pic>
27. Vladimirov, A.; Gavrilenko, V. y Mikhailovsky, A. (2004) *Hacking Wireless K*.
Madrid: Anaya Multimedia.
28. WIKIPEDIA. (2009). *Acimut*. *Extraído el 22 de octubre de 2009 desde*
<http://es.wikipedia.org/wiki/Acimut>