

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 1 · Número 1 · Junio 2019 · Publicación Semestral



```
1010 0010 1001
0011 1110 0110
0110 0111 0001
1010 0011 1101

0011 1110 0110
0110 0111 0001
1010 0011 1101
0010 1001 0001
```

INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

ISSN 2600-5565

Volumen 1

Número 1

Junio 2019

Publicación Semestral

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca, Quito – Ecuador

Contactos:

www.istct.edu.ec

www.investigacionistct.ec/ojs

email: revistatecnologicaistct@gmail.com

Telf.: 098 3022 510

Dirección General

MBA. José Luis Flores, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

Editor General

Lcda. Katalina Sarmiento, Mgs. Vicerrectora Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

M.Sc. Elva Gioconda Lara Guijarro, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

Gestor De La Revista

MSc. Flavio Aníbal Corella Guerra, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

Comité Editorial Externo

PhD Diego Fernando Riofrío Luzcando, Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

PhD Antonio Gómez García, Coordinador de investigación de la Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador.

MSc. Humberto Ramos Sánchez, Universidad Autónoma de México, México- México.

MSc. Greta Carola Fierro, Directora del SICAM de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

MSc. Carlos Pavón, Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Quito-Ecuador.

Editores De Sección

MSc. Luis Daniel Andagoya Alba, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

Ing. Daniel Isaías Barzallo Núñez, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

Maquetación

Ing. Hilda Jacqueline Montesdeoca Orozco, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO



La aventura de descubrir



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

Junio - 2019



Prólogo

La excelencia en la educación superior, es el motor que anima a todos quienes forman parte del IST Central Técnico. Este Instituto, comprometido con su misión de liderar la educación tecnológica, ha trabajado en diferentes pilares del quehacer docente, atendiendo los requerimientos y directrices emitidas por las entidades rectoras de la Educación Superior del país.

En el IST Central Técnico es claro que la actividad investigativa es la base para la innovación tecnológica y el mejoramiento de los procesos productivos. En este contexto, el Instituto ha puesto énfasis en el componente tecnológico investigativo, creando espacios para incentivar a docentes y estudiantes al desarrollo de actividades relacionadas a este campo científico.

Uno de esos espacios es la creación de la revista de Investigación Tecnológica, con este primer número, el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (ISTCT) reafirma el compromiso con la sociedad del conocimiento creando un medio que permita difundir los resultados de investigaciones en temas afines a las líneas establecidas.

Se espera que este medio de difusión científica se convierta en una fuente de consulta a la que recurran nuestros pares académicos, docentes y alumnos del país y del mundo, consolidando así el compromiso de la universalización del conocimiento.

Ing. José Luis Flores Flores, MBA

Rector ISTCT

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

Nota Editorial

Siendo la investigación uno de los componentes esenciales de la educación superior, el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, pone a consideración de la comunidad técnica y académica, así como del público en general del Ecuador, el primer número de su revista de divulgación "Investigación Tecnológica IST Central Técnico".

Esta publicación recoge los trabajos realizados por docentes de educación superior y profesionales, en temas relacionados con la praxis profesional en los campos de Electrónica, Electricidad, Mecánica automotriz y Mecánica industrial, desde un punto de vista centrado en la economía de recursos y el impacto sobre el medio ambiente que genera la actividad humana.

En este número se tiene un análisis comparativo sobre las emisiones contaminantes de la gasolina utilizada en el país, para el transporte público y privado; así como el uso de aditivos orgánicos que potencian el rendimiento del motor. Una investigación sobre el efecto que tendría la generación distribuida de electricidad, en la red del sistema interconectado. Un proyecto de construcción de un analizador trifásico, de bajo costo, para la red eléctrica. Un estudio de materiales adecuados para la fabricación de transmisiones mecánicas, de bajo costo. Un diseño para un sistema de manufactura orientado a industria 4.0.

Queremos dejar constancia del apoyo irrestricto del Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, en las personas de sus autoridades Ing. José Flores Flores, MBA, Rector del instituto y de la Lcda. Katalina Sarmiento, Mgs, Vicerrectora del instituto.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Comisión de Investigación, M.Sc. Joyce Narváez, Ing. Daniel Valdivieso, Ing. José Beltrán, Ing. Andrés Pacheco, Ing. Santiago Pullaguari, al Comité Editorial, revisores y autores que colaboraron en ésta primera edición de la revista, así como a las empresas auspiciantes, por la confianza depositada en este proyecto.

Gracias por colaborar con nosotros.

Ing. Elva Lara, M.Sc

Editor General

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

ÍNDICE

Impacto de la generación distribuida conectada en la red de distribución radial secundaria de bajo voltaje 2E/E.....	7
Creación de sonidos sintéticos a tiempo real mediante el lenguaje de programación gráfico pure data	19
Implementación de un analizador de redes trifásico a bajo costo	30
Dispositivos wereables y su contribución al monitoreo de sistemas industriales.	44
Medición de la contaminación generada por la gasolina extra (85 octanos) súper (90 octanos) con el uso de aditivos, usando un sistema de cánister.....	54
Sistema de manufactura flexible orientado a industria 4.0	63
WSN robotizado para el rescate de lagunas	75

IMPACTO DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA CONECTADA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN RADIAL SECUNDARIA DE BAJO VOLTAJE 2E/E.

Luis Daniel Andagoya Alba

Comisión de Investigación, ISTCT

E-mail: andagoyalba@gmail.com

Resumen

El presente trabajo analiza el impacto de la Generación Distribuida (GD) conectada en la red de distribución secundaria 2E/E (Monofásica a tres hilos) sobre los perfiles de voltaje en todos los nodos del alimentador, así como en las pérdidas de potencia en la red de distribución. Para el análisis se ha modelado un alimentador primario en medio voltaje así como la red de secundaria en bajo voltaje en configuración 2E/E (Monofásica a tres hilos), en la cual se ha instalado generación fotovoltaica en los nodos de conexión de los usuarios a la red eléctrica. La conexión de la Generación Distribuida se realizó basándose en dos criterios, el porcentaje de penetración de Generación Distribuida así como el porcentaje de dispersión de la Generación Distribuida en los nodos de la red. Los resultados muestran que en general el ingreso de este tipo de generación en el sistema mejoran los niveles de voltaje en los nodos de la red y reducen las pérdidas del sistema, sin embargo esto depende del porcentaje de penetración de la Generación distribuida así como del nivel de dispersión en los nodos de la red.

Palabras clave: Generación Distribuida; Red de Distribución Secundaria; Perfil de Voltaje; Energía Renovable; Alimentador Primario. Configuración 2E/E.

Abstract

The present work analyzes the impact of the Distributed Generation (GD) connected in the secondary distribution network 2E / E (single phase to three wires) on the voltage profiles in all nodes of a feeder and in the power losses in the distribution network. For the analysis, a primary feeder has been modeled in medium voltage as well as the secondary network in low voltage 2E / E (single-phase to three wires) configuration, in which photovoltaic generation has been connected in the connections nodes of the users to the electric network. The connection of the Distributed Generation was made based on two criteria, the percentage of Distributed Generation penetration as well as the dispersion percentage of the Distributed Generation in the network nodes. The results show that in general the connection of this kind of generation in the system improves the voltage levels in the network nodes and reduce the losses in the system, however the improvement depends on the percentage of penetration of the distributed generation as well as the level of dispersion in the nodes of network.

Keywords: Distributed Generated, Secondary Distribution Network, Voltage profile, Renewable Energy, Primary Feeder, 2E/E Configuration.

1. INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos por des carbonizar la producción energética así como la necesidad de cumplir los objetivos medioambientales han provocado que las investigaciones se centren en lo que se conoce como generación limpia, es decir, energías renovables dentro de las cuales está la generación fotovoltaica (Ioan, Abrudean & Bica, 2016). Hace unos años el alto coste que significaba una instalación fotovoltaica hacía muy difícil la difusión de este tipo de generación en los consumidores domésticos, sin embargo en los últimos años los costos de este tipo de generación han bajado de una forma considerable, haciendo que este tipo de generación sea cada vez más accesible y competitiva en relación a la generación del tipo convencional (Ogunjuyigbe, Ayodele & Akinola, 2016; Balamurugana, Srinivasana & Reindl, 2012; Campusano, 2013).

La previsión a futuro es la instalación de sistemas de generación fotovoltaica por parte de los usuarios finales inicialmente para su propio autoconsumo y posteriormente para una generación que se podría ingresar a la red. Estas nuevas formas de generación conectadas en las viviendas provocará un flujo de potencia bidireccional, para los cual las redes eléctricas no están previstas. En el Ecuador las redes de distribución son en su gran mayoría con una configura-

ción 2E/E (monofásicas a tres hilos) por lo que la generación distribuida deberá conectarse bajo este mismo esquema, provocando algunos cambios en los parámetros eléctricos del sistema de distribución, especialmente en los niveles de voltaje y en las pérdidas en la red (Empresa Eléctrica Quito, 2015; Short, 2006; IEEE, 2000).

El presente trabajo presenta un análisis del efecto en la red de distribución de la conexión de generación distribuida en la red secundaria de bajo voltaje con configuración 2E-E (monofásica a tres hilos) típica de Ecuador.

Para el análisis se tomaron en consideración dos parámetros, el nivel de Penetración de la Generación Distribuida en el sistema y el Grado de Dispersión de la misma. La metodología planteada será aquella utilizada en los análisis de impacto en la red de este tipo de generación realizada en otros estudios con diferentes configuraciones de red y en distintos niveles de voltaje a los planteados en el presente trabajo (García-Villalobos, Eguía, Torres, & Etxegarai, 2017; Mourad, Mohamed, 2016; Wei, 2014; Davda, Parekh, 2012).

El trabajo está dividido en cuatro secciones, una introducción, metodología de análisis, resultados y conclusiones que se pueden obtener del trabajo.

2. METODOLOGÍA

El trabajo empieza con el modelado de la red desde la subestación de distribución, alimentador primario en medio voltaje (22.8KV), transformadores de distribución monofásicos, redes de bajo voltaje (240/120V) y usuarios finales representados por cargas estáticas (Empresa Eléctrica Quito, 2015). La generación fotovoltaica se conecta a la red a través de los nodos en los que están conectados las cargas estáticas que representan los usuarios.

El análisis se lo realiza por escenarios de funcionamiento tomando en consideración dos parámetros, el grado de penetración fotovoltaica en la red y el grado de dispersión de la generación distribuida en la misma.

La red se modeló en el software PowerFactory para los estudios de flujo de carga en los diferentes escenarios en los cuales se realizó el análisis.

2.1. Modelado de la red primaria de distribución

En este trabajo se modeló un alimentador primario en 22.8KV de alrededor de 1MVA de demanda, y que consta de 20 nodos y 12 transformadores de distribución monofásicos, tomando en consideración la topología básica de las redes primarias existentes en el Ecuador (Redes radiales) (Empresa Eléctrica Quito, 2015; Wei, 2014). La red primaria de medio voltaje se modeló con un calibre de 3/0 en configuración trifásica para la troncal y 1/0 para los ramales en configuración monofásica o trifásica dependiendo del caso.

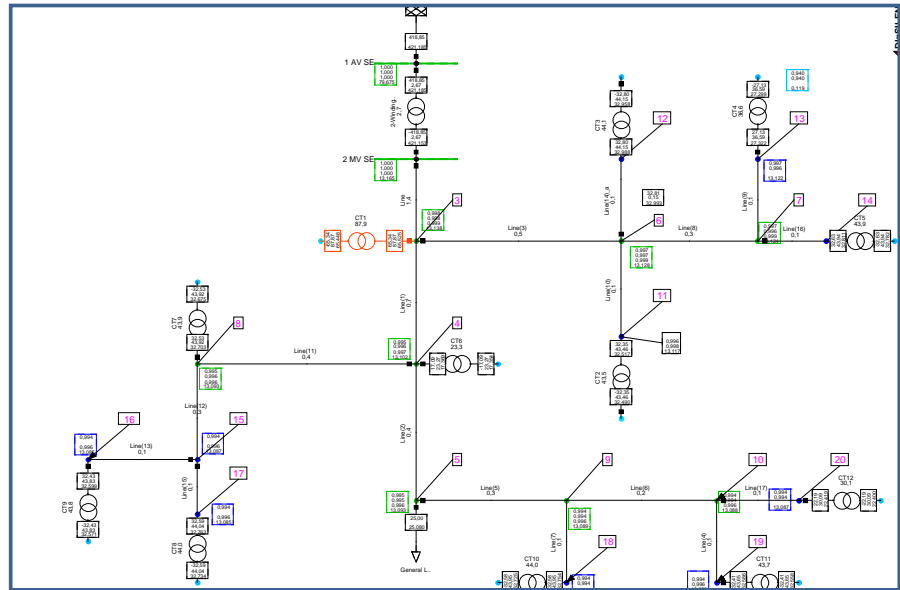


Figura 1: Modelado de la Red Primaria de Distribución en Medio Voltaje (22.8KV).
Fuente: Autor

2.2. Modelado de la red secundaria de distribución

Para la red secundaria de bajo voltaje se consideró una red en configuración 2E/E (Monofásica a tres hilos) que consta de un transformador de distribución secundaria y cuatro vanos a cada lado del transformador, la red secundaria se modeló con un calibre de 3/0 tanto para las fases como para el neutro mientras que el conjunto de usuarios son simulados a través de dos cargas estáticas de 3.5KVA cada una. (Empresa Eléctrica Quito, 2015).

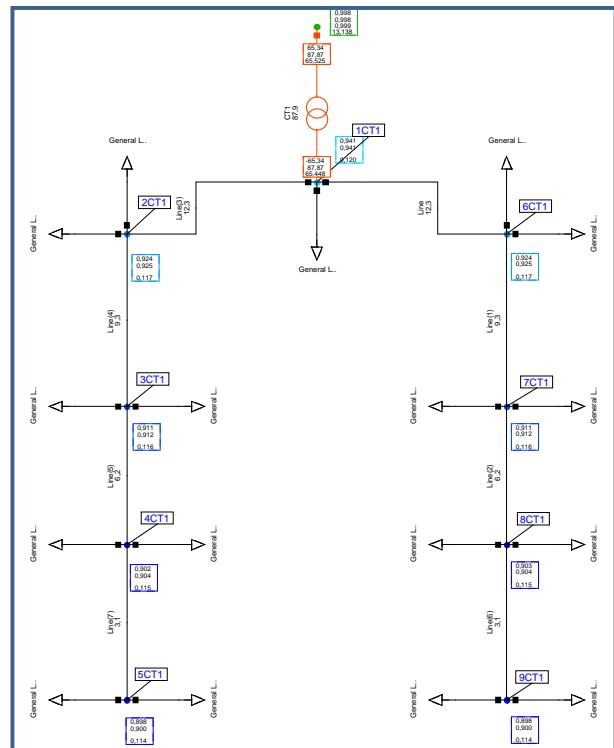


Figura 2: Modelado de la Red Secundaria de Distribución en Bajo Voltaje (240/120V).
Fuente: Autor

2.3. Modelado del sistema de generación fotovoltaica.

El modelo genérico de una instalación fotovoltaica para conexión a red se muestra en la Figura 3, este modelo consta de un arreglo de paneles fotovoltaicos, un capacitor de línea y un inversor para la posterior conexión a la red (Mahmood, 2012).

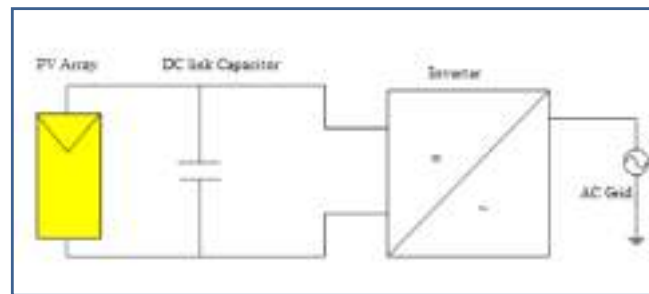


Figura 3: Esquema básico de un sistema fotovoltaico para conexión a red.
Fuente: Mahmood, 2012

El modelo presentado en la Figura 3 se puede representar de dos formas en el programa computacional Power Factory.

Mediante una red en la que el arreglo de paneles fotovoltaicos se representa a través de una fuente de corriente independiente, un capacitor de línea y un inversor PWM para su conexión a red.

La segunda forma de representar un sistema fotovoltaico es a través de un Generador Estático (Static Generator), este modelo se conecta directamente a la red debido a que internamente contiene los elementos necesarios para su conexión directa (Mahmood, 2012).

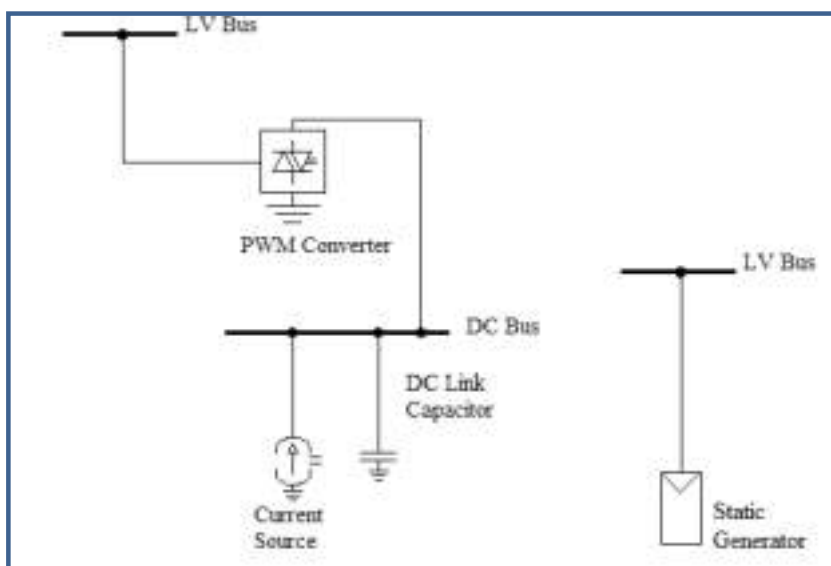


Figura 4: Diferentes sistemas fotovoltaicos modelados en Power Factory
Fuente: Mahmood, 2012

En el presente trabajo se utilizó el modelo de Generador Estático por la facilidad de conexión a la red. Este presenta dos configuraciones de conexión, trifásico y monofásico, por tal razón será necesario la conexión de dos sistemas monofásicos equilibrados en cada nodo en la red, como se muestra en la Figura 4.

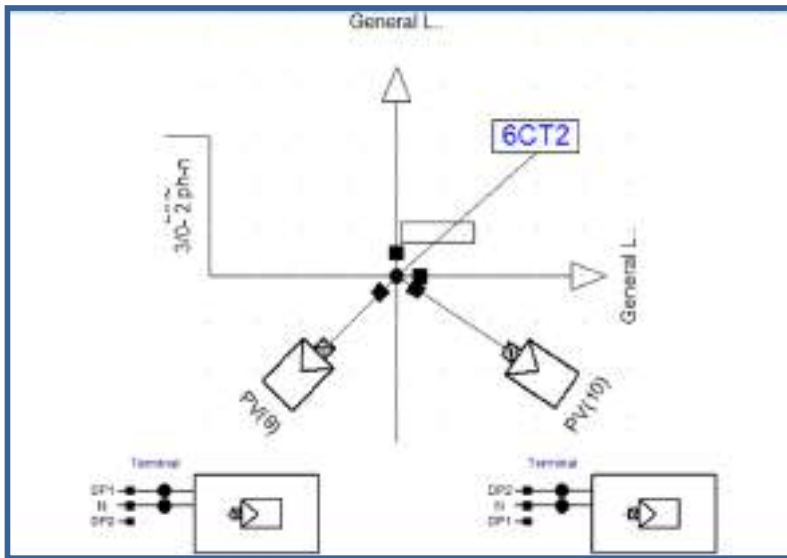


Figura 5: Conexión de sistema Fotovoltaico monofásico a red de distribución secundaria 2E/E.
Fuente: Autor

La potencia de generación que cada usuario puede tener esta normada a través de la regulación No 003/18 del ARCONEL, en la cual se detalla que un usuario residencial puede tener hasta 100KW de autogeneración para su propio consumo y/o ingreso en la red (ARCONEL, 2018). Bajo esta premisa los generadores instalados en el presente trabajo están muy por debajo de esta potencia de generación, cumpliendo la normativa establecida como se verá más adelante.

2.4. Escenarios de operación.

Los escenarios de operación toman como referencia el estado inicial de la red sin ningún tipo de autogeneración fotovoltaica por parte de los usuarios (Escenario 0). Los demás escenarios resultan del análisis de dos parámetros que permiten medir la incidencia de la autogeneración o generación distribuida en la red.

2.4.1 Grado de penetración de generación fotovoltaica.

El grado de penetración (%GP) se define como la relación existente entre la generación fotovoltaica generada y la demanda máxima de la red en un estado de operación determinado (Mourad, Mohamed, 2016). Matemáticamente se representa como:

$$\%GP = \frac{P_{PH}}{P_L} \quad (1)$$

Donde:

%GP = Grado de penetración de energía fotovoltaica en la red.

P_{PH} = Potencia de generación fotovoltaica conectada en la red.

P_L = Potencia total de demanda conectada en la red.

2.4.2. Grado de dispersión de generación fotovoltaica.

El grado de dispersión (%GD) se define como la relación existente entre el número de nodos con carga y con generación fotovoltaica y el número de nodos totales de la red en estudio con carga (Balamurugana, Srinivasana & Reindl, 2012; Mourad, Mohamed, 2016).

$$\%GD = \frac{\#Bus_{PH}}{\#Bus_L} \quad (2)$$

Donde:
 %GD = Grado de dispersión de energía fotovoltaica en la red.
 #Bus_{PH} = Número de nodos con carga y generación fotovoltaica.
 #Bus_L = Número de nodos con carga totales del sistema.

2.4.3 Escenarios en función del grado de penetración de generación fotovoltaica.

Para la configuración de los escenarios tomando en consideración este parámetro se han separado en pasos de aproximadamente 25% de la carga total del sistema. Esto permite observar el efecto de la generación distribuida en función de la potencia generada. Con esta consideración se tienen los como resultado los escenarios mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Escenarios a estudiar según Grado de penetración fotovoltaica.

	ESCENARIO					
	0	1	2	3	4	5
Grado de Penetración Fotovoltaico (%)	0	26	52	76	102	138
Potencia total Fotovoltaica (KW)	0	203.86	402.65	590.26	793.49	1079.88

Fuente: Autor

Se han creado 6 escenarios de operación en los cuales el escenario 5 corresponde a un nivel de inserción en la red superior al 100% de la carga total conectada, esto con el objetivo de observar un escenario adicional con un ingreso directo de energía en la red (Priyangika, Wijayapala & Wijekon, 2016). Los resultados se muestran más adelante.

2.4.4. Escenarios en función del Grado de dispersión de generación fotovoltaica.

Al igual que para la configuración de los escenarios del subcapítulo anterior se han tomado pasos de aproximadamente 25% del número total de nodos con carga. Este parámetro no puede superar el 100% puesto que este sería el escenario en el cual todos los nodos tendrían generación fotovoltaica conectada.

Para todos estos escenarios se ha considerado un grado de penetración de generación fotovoltaica de aproximadamente 50%. Los escenarios a estudiar bajo este parámetro se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Escenarios a estudiar según grado de dispersión de la generación fotovoltaica.

	ESCENARIO				
	0	1	2	3	4
Grado de Dispersión (%)	0	24	50	75	100
# Nodos con Generación Fotovoltaica	0	26	54	81	108

Fuente: Autor

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Para la presentación de resultados se ha optado por realizar gráficas que muestran la evolución de los perfiles de voltaje en función de los dos parámetros antes descritos. Los resultados finales se muestran en los siguientes subcapítulos.

3.1. Incidencia del Grado de Penetración Fotovoltaica en los perfiles de voltaje.

El análisis completo consta de los perfiles de voltaje de todos los transformadores que conforman la red, a continuación se presentan únicamente dos ejemplos tomados de forma aleatoria de los resultados obtenidos. Los demás resultados mantienen un patrón similar a los mostrados a continuación.

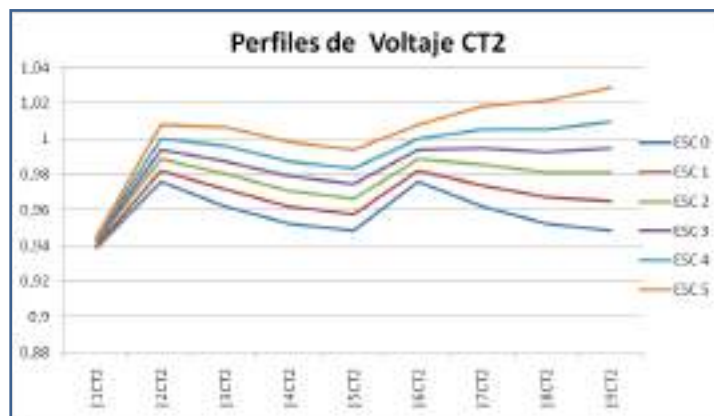


Figura 6: Perfil de voltaje de red secundaria asociada al transformador CT2.

Fuente: Autor.

La gráfica de la Figura 6 muestra el perfil de voltaje de la red que conforma el Centro de Transformación 2 (CT2) para diferentes grados de penetración fotovoltaica en la red, el grafico muestra cómo afecta el ingreso de la generación fotovoltaica a los perfiles de voltaje, en este caso mientras mayor potencia fotovoltaica en el sistema existe una mejora en los perfiles de voltaje de la red.

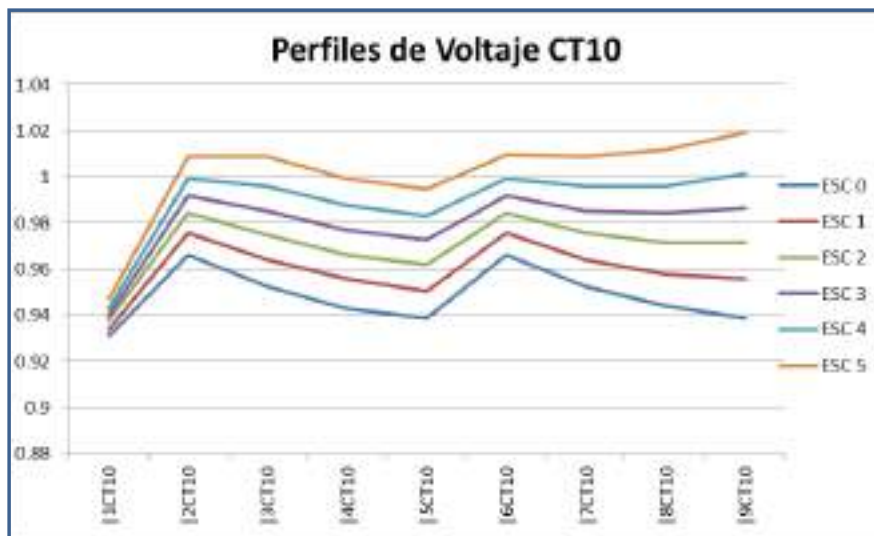


Figura 7: Perfil de voltaje de red secundaria asociada al transformador CT10.
Fuente: Autor

La gráfica de la Figura 7 muestra el perfil de voltaje del circuito secundario asociado al transformador CT10, en el cual se muestra la misma tendencia que en el grafico anterior, es decir, a mayor generación fotovoltaica mejor son los niveles de voltaje en los nodos.

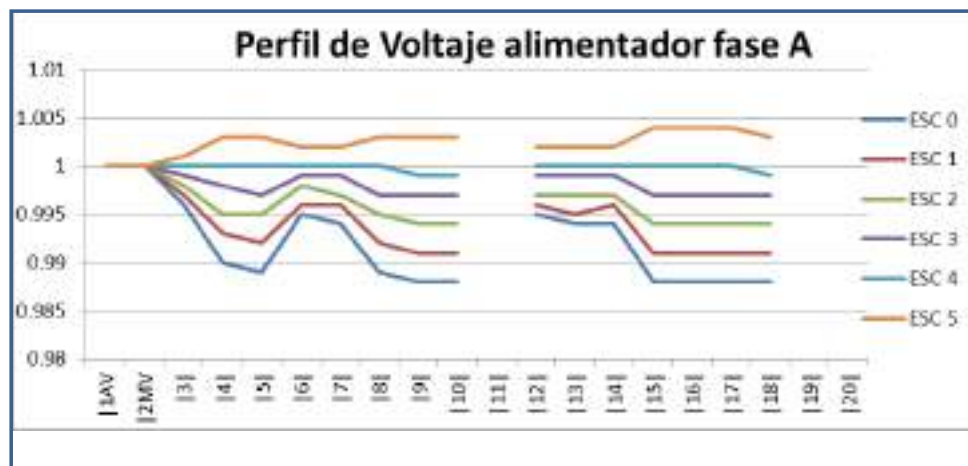


Figura 8: Perfil de voltaje del alimentador primario en medio voltaje.
Fuente: Autor

La gráfica de la Figura 8 muestra el perfil de voltaje del alimentador primario de medio voltaje, el mismo muestra que el ingreso de generación distribuida en la red ayuda al mejoramiento de los niveles de voltaje en el alimentador manteniendo el mismo patrón que en las redes secundarias de bajo voltaje.

3.2. Incidencia del Grado de Penetración Fotovoltaica en las pérdidas de potencia activa en la red.

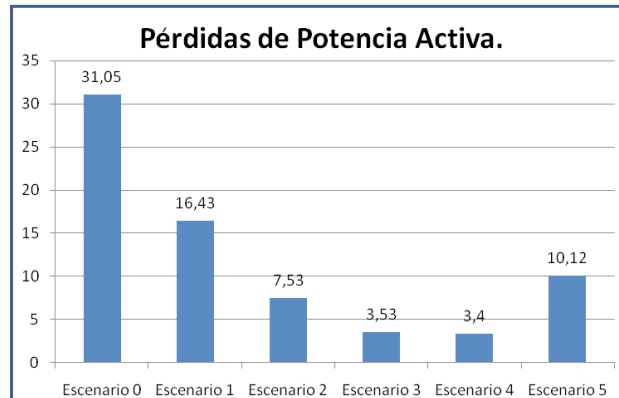


Figura 9: Pérdidas de potencia activa en la red de distribución primaria y secundaria.
Fuente: Autor.

En lo referente a las pérdidas técnicas se nota una disminución de las mismas a medida que se aumenta la potencia de generación fotovoltaica como se muestra en la gráfica de la Figura 9, esto tiene lógica puesto que las redes están llevando menos energía desde la subestación hasta los consumidores por lo tanto las corrientes en las líneas son menores así como las pérdidas en la red, sin embargo se nota que en el Escena-

rio 5 (GP= 138%) la pérdidas son mayores a los escenarios 1, 2, 3 y 4. Esto se debe a que la red de distribución pasó de ser una red de distribución a una red de transmisión, sin embargo esta red no fue diseñada para cumplir esa función por lo que las pérdidas empiezan a aumentar e inclusive podría ser mayor al Escenario 0 que corresponde a un escenario sin generación fotovoltaica.

3.3. Incidencia del Grado de Dispersión Fotovoltaica en los perfiles de voltaje.

Para esta parte del análisis se tiene cinco escenarios de operación que dependen del grado de dispersión de la generación distribuida en la red, a continuación, se presentan dos ejemplos

de las gráficas que muestran el efecto de este parámetro en el perfil de voltaje tanto en las redes secundarias como primarias que componen la red en estudio.

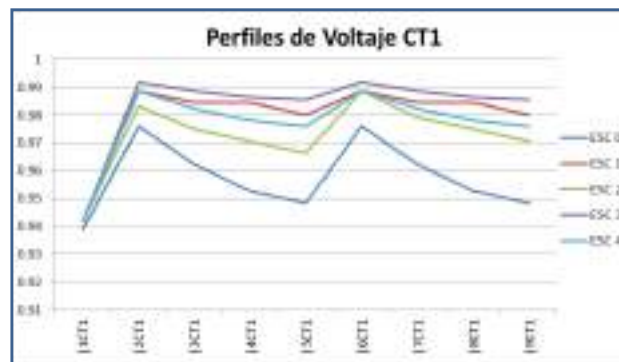


Figura 10: Perfil de voltaje de red secundaria asociada al transformador CT1.
Fuente: Autor.

La gráfica de la Figura 10 muestra la variación del voltaje en los nodos del transformador CT1, en este caso el aumento de la dispersión mejora los niveles de voltaje en la red secundaria sin embargo dependerá del caso en estudio

cual de los escenarios es el más óptimo, en el caso de la figura anterior el escenario con mejor nivel de voltaje corresponde al Escenario 3 con alrededor de 75% de dispersión.

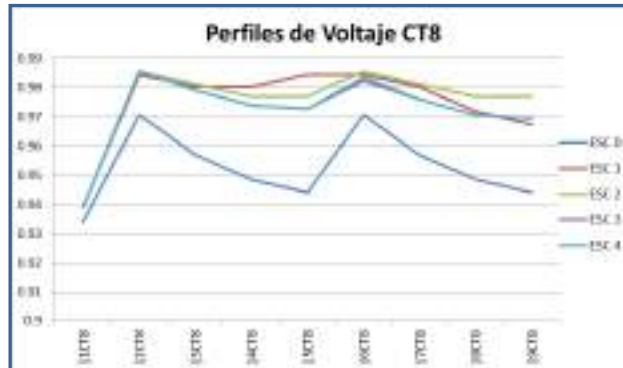
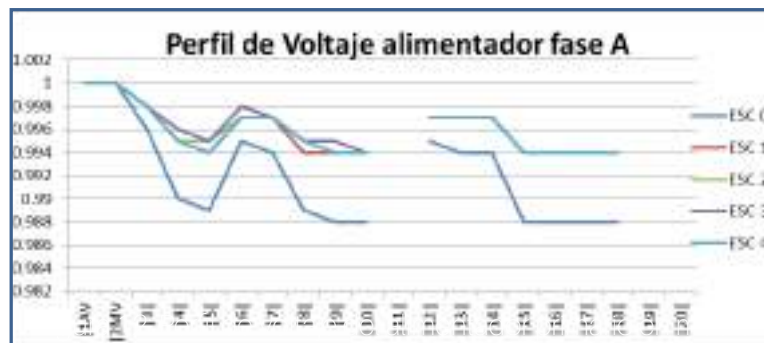


Figura 11: Perfil de voltaje de red secundaria asociada al transformador CT8.
Fuente: Autor.

La gráfica de la Figura 11 muestra el perfil de voltaje del Centro de transformación CT8, a diferencia del anterior casi no se tiene mucha variación con referencia a la mejora de los niveles de voltaje en función de los porcentajes de disper-

sión, en este caso específico se podría decir que la mejora en el nivel de voltaje no está relacionada con el porcentaje de dispersión sino más bien con el grado de penetración fotovoltaica en el sistema.



voltaje.
Fuente: Autor.

En el caso del perfil de voltaje en el alimentador primario en MV, según muestra la Gráfica de la Figura 12. Mantiene la tendencia que muestran los circuitos secundarios en bajo voltaje es

decir, existe una mejora en los niveles de voltaje que se mantienen relativamente uniformes con la variación de la dispersión de la generación.

3.4. Incidencia del Grado de Dispersión Fotovoltaica en las pérdidas de potencia activa en la red.

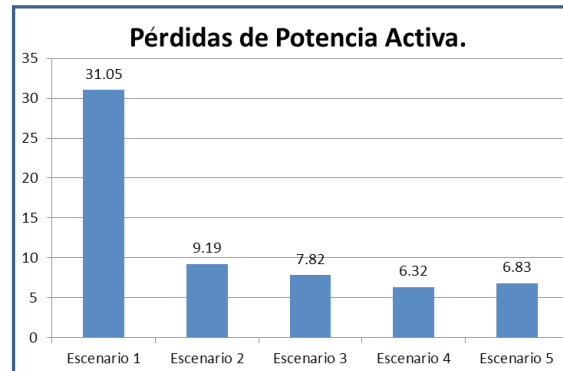


Figura 13: Pérdidas de potencia activa en la red de distribución primaria y secundaria.
Fuente: Autor.

En lo referente a las pérdidas de potencia en la red existe una variación que depende del nivel de dispersión sin embargo esta diferencia no es tan significativo con lo que se podría decir

que la disminución de las pérdidas está más relacionadas con el grado de penetración fotovoltaica antes que con el grado de dispersión.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestra el análisis del impacto de conectar generación distribuida en la red secundaria de bajo voltaje en configuración 2E/E (Monofásica a tres hilos), que constituye la configuración típica de Ecuador.

Para el presente análisis se realizó escenarios de operación tomando en consideración dos parámetros, el Grado de Penetración Fotovoltaica en la red y el Grado de Dispersión de la Generación distribuida en los nodos de conexión de la carga.

De forma general el ingreso de la Generación Distribuida en la red mejora los niveles de voltaje en los nodos dependiendo del Grado de Penetración Fotovoltaica en la red, mientras mayor este índice mejor perfil de voltaje se tiene en toda la red de distribución.

El grado de dispersión fotovoltaica en la red repercute de forma positiva en los perfiles de voltaje, pero depende de cada caso el escenario óptimo, en algunos casos se noto que un valor bajo de grado de dispersión provocaban mejo-

res perfiles de voltaje antes que con valores altos de dispersión.

En lo referente a las pérdidas de la red, estas también se ven reducidas por la inserción de Generación Distribuida, esto se debe a que la red convencional mientras mayor es el ingreso de Generación Distribuida, menor potencia transmite a través de sus líneas por lo que las pérdidas se ven también reducidas.

En el presente trabajo se analizó escenarios cuyo valor máximo tanto para el Grado de Penetración Fotovoltaica como para el Grado de Dispersión estaban en alrededor del 100%, estudios ha futuro deberán realizarse para valores que superen este valor puesto que en estos futuros escenarios presentaran un efecto regresivo, es decir, tanto los niveles de voltaje como las perdidas del sistema empeoran inclusive mucho más que en un escenario con generación convencional. Estos escenarios se analizarán en trabajos futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ioan Dulau, L. Abrudean, L. Bica, M. (2016). Optimal Location of a Distributed Generator for Power Losses Improvement. *Procedia Technology*, 22, 734–739. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.032>
- Ogunjuyigbe, A. Ayodele, T. Akinola, O. (2016). Impact of distributed generators on the power loss and voltage profile of sub-transmission network. *Journal of Electrical System and Information Technology*. 3, 94-107. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jesit.2015.11.010>
- Balamurugana, K. Srinivasana, D. Reindl, T. (2012). Impact of Distributed Generation on Power Distribution Systems. *Energy Procedia*, 25, 93–100. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.07.013>
- Campusano, G. (2013). Impacto de la generación distribuida en la operación de la distribución (Memoria de Ingeniería, Universidad de Chile, Chile). Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114121/cf-campusano_gg.pdf?sequence=1
- Empresa Eléctrica Quito. (2015). Normas para Sistemas de Distribución. (Revisión 06). Quito, Ecuador.
- Short, T. (2006). *Electric Power Distribution Equipment and Systems*. Boca Raton, FL, United States of America: CRC Pres.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2000). *IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*. New York, United States of America.
- García-Villalobos, J. Eguía, P. Torres, E. & Etxegarai, A. (2017). Impact of Photovoltaic Self-consumption on Power Losses and Voltage Levels of MV Distribution Networks. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ISGTEurope.2017.8260161>
- Mourad, N. Mohamed, B. (2016). Impact of Increased Distributed Photovoltaic Generation on Radial Distribution Networks. *International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 292–295. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/CoDIT.2016.7593576>
- Weij, M. (2014). Impact of Distributed Generation on Power System. *Applied Mechanics and Materials* (543-547), 681–684. doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.681>
- Davda, A. Parekh, B. (2012). System Impact Analysis of Renewable Distributed Generation on an Existing Radial Distribution Network. *IEEE Electrical Power and Energy Conference*. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/EPEC.2012.6474936>
- Mahmood, F. (2012). *Improving the Photovoltaic Model in PowerFactory* (Master thesis, KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia). Recuperado de: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:571921/FULLTEXT01.pdf>
- ARCONEL. (2018). Regulación Nro. 003/18 “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”. Quito, Ecuador.
- Priyangika, A. Wijayapala, W. & Wijekon, H. (2016). The Impact of Distributed Generation on Transmission and Distribution Losses in Sri Lankan Power System. *Electrical Engineering Conference (EECon)*. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/EECon.2016.7830935>

CREACIÓN DE SONIDOS SINTÉTICOS A TIEMPO REAL MEDIANTE EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN GRÁFICO PURE DATA

Christian Andrés Morales Torres,

Instituto Superior Tecnológico de Artes del Ecuador-Tecnología en Sonido y Acústica
christian.morales@itae.edu.ec

María Viviana Murillo Párraga,

Universidad de Guayaquil-Facultad de Comunicación Social
maria.muriNopa@ug.edu.ec

INTRODUCCIÓN

Este artículo contempla la implementación del lenguaje de programación gráfico Pure Data para la creación de sonidos sintéticos a tiempo real mediante el proceso denominado Audio Procedural. Por sonidos sintéticos nos referiremos a los generados mediante técnicas de síntesis sonora electrónicas y por Audio Procedural nos referimos al sonido tratado como un proceso en vez de al sonido como información almacenada. A diferencia de las grabaciones tradicionales que involucran el uso de micrófonos para registrar los sonidos reales y almacenarlos en formatos de archivos de audios digitales, el audio procedural permite construir el sonido mediante algoritmos que controlan el comportamiento mismo de la información, permitiendo generar sonidos de objetos o fuentes, cuya accesibilidad de grabación es limitada o imposible de realizar por los métodos convencionales, permitiendo además la manipulación de sus parámetros a tiempo real con propósitos de realismo y flexibilidad en el diseño sonoro para los distintos campos de aplicación.

Los ejemplos de simulación de sonidos que se presentan a continuación corresponden a la categoría de sonidos artificiales. Se abordarán los tonos telefónicos de teclado DTMF (Dual-tone multi-frequency) y los correspondientes a las cadencias en una central telefónica para el Tono de Invitación a Marcar, Tono de Ocupado y Tono de Llamada. Los modelos son obtenidos de la recopilación de datos de los documentos formales Libro Azul "Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización telefónicas" del Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico CCITT y el documento "Diferentes Tonos Utilizados en las Redes Nacionales (Según La Recomendación Uit-T E.180 (03/1998))" de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. La técnica de síntesis sonora aditiva a emplearse, permitirá generar frecuencias sinusoidales independientes que se sumen para generar los tonos descritos en ambos documentos.

Síntesis Aditiva

La técnica de Síntesis aditiva se la conoce por su particular implementación de osciladores individuales para la generación de tonos puros sinusoidales que permitan reconstruir cualquier sonido existente, al menos desde el punto de vista teórico. Si bien su implementación en la práctica es de un alto consumo de recursos y sus resultados de timbre no son musicalmente atractivos, han sido los respónsales del característico sonido de los primeros sintetizadores que dieron origen a la música electrónica. En el caso de generación de sonidos artificiales como el de alarmas o tonos telefónicos con parámetros muy bien establecidos, se convierte en una técnica ideal. La siguiente forma esquemática corresponde a la suma de salidas de señales por osciladores sinusoidales.

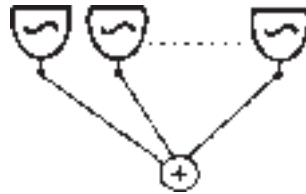


Figura 1. Esquema de Síntesis Aditiva

Códigos DMTF

Para el ejemplo de audio procedural por síntesis aditiva aplicado en Pure Data que se presentará, se ha escogido emular los sonidos de un teclado de teléfono digital moderno que se basa en la codificación DTMF (Dual-tone multi-frequency) en donde se suman las frecuencias de un grupo de frecuencias inferiores conformadas por 697Hz, 770 Hz, 852 Hz, 941 Hz y un grupo de frecuencias superiores conformadas por 1209 Hz, 1336 Hz, 1477 Hz y 1633 Hz para cada tecla que se pulse como se especifica en la siguiente figura y tabla de frecuencias:

		Grupo de frecuencias superiores (Hz)			
		1209	1336	1477	1633
Grupo de frecuencias inferiores (Hz)	697	1	2	3	A
	770	4	5	6	B
	852	7	8	9	C
	941	*	0	#	D

Figura 2. Atribución de Frecuencias a los diferentes símbolos y cifras del Teclado/ CCITT 48430

Tecla	Frecuencias	Tecla	Frecuencias
1	697+1209 Hz	7	852+1209 Hz
2	697+1336 Hz	8	852+1336 Hz
3	697+1477 Hz	9	852+1477 Hz
4	770+1209 Hz	*	941+1209 Hz
5	770+1336 Hz	0	941+1336 Hz
6	770+1477 Hz	#	941+1477 Hz

Tabla 1. Pares de frecuencias sumadas para la codificación DTMF

En Pure Data podemos utilizar el objeto grafico **"osc~"** que corresponde a un oscilador para generar un tono sinusoidal. Básicamente creamos los osciladores con las frecuencias especificadas en la codificación DTMF, dando como resultado horizontalmente **osc~ 697, osc~ 1209, osc~ 1336, osc~ 1477** y verticalmente **osc~ 697, osc~ 770, osc~ 852, osc~ 941**. A continuación conectamos los cables de salidas de los osciladores y los añadimos simultáneamente a un primer objeto multiplicador para dar el tono DTMF deseado. Por ejemplo, para el tono de la tecla 1 tomamos las salidas del **osc~ 697** y del **osc~ 1209** y las conectamos al objeto multiplicador de multiplicador de señal ***~** donde se sumarán y se amplificarán a una salida de audio mediante el objeto conversor digital-análogo **dac~** como un tono unísono que dará el sonido de la tecla 1 del teclado telefónico. Se ha estipulado que cada objeto multiplicador pueda prenderse y apagarse con un objeto conmutable **Toggle** de estado On/Off en su entrada derecha.

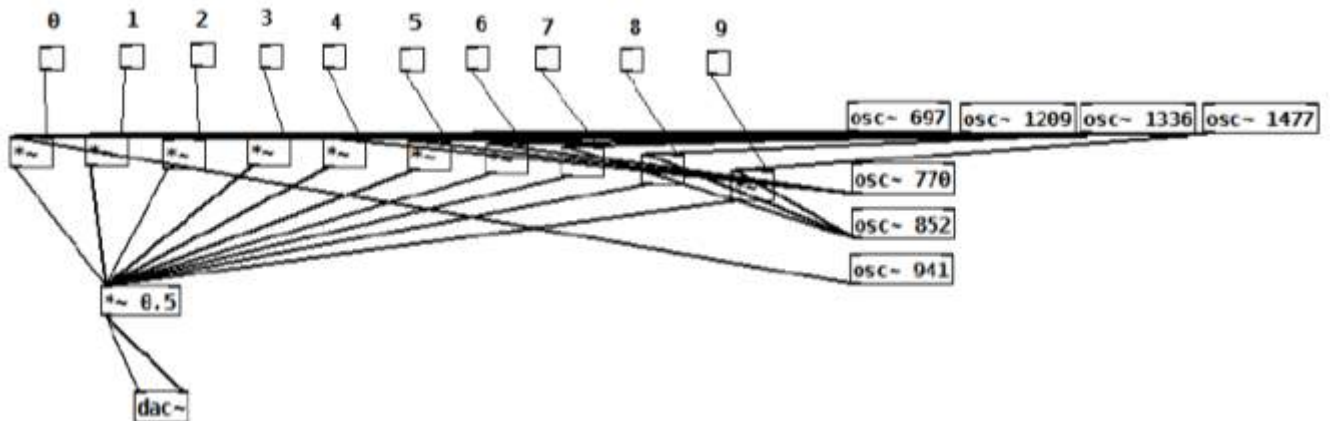


Figura 3. Algoritmo en Pure Data del Código DTMF

Tonos de Llamadas

La finalidad de la marcación de los códigos DTMF en un teléfono tiene como objetivo la identificación de un número de destinatario único asignado dentro de una red telefónica, que permita la comunicación entre los abonados. Debido al hecho de que tanto el abonado llamante como el abonado llamado necesitan ser informados del estado actual de sus líneas telefónicas, se estableció mediante la Recomendación ITU 182, la implementación de señales audibles para cada uno de ellos (García, 2005)

Las cadencias telefónicas que describiremos a continuación hacen referencia al Tono de Invitación a marcar, Tono de llamada y Tono de ocupado. La recomendación ITU ha establecido las cadencias y tonos de frecuencias a utilizarse por países. En la siguiente tabla se presenta la información de las cadencias Telefónicas utilizadas en Ecuador:

PAÍS/TONO	FRECUENCIA en Hz	CADENCIA en segundos
Ecuador		
Tono de ocupado -	425	0.33 on 0.33 off
Tono de congestión -	425	0.33 on 0.33 off
Tono de invitación a marcar -	425	continuo
Tono de llamada -	425	1.2 on 4.65 off
Tono de indicación de llamada en espera -	425	0.2 on 0.6 off

Tabla 2. Cadencias Telefónicas País: Ecuador

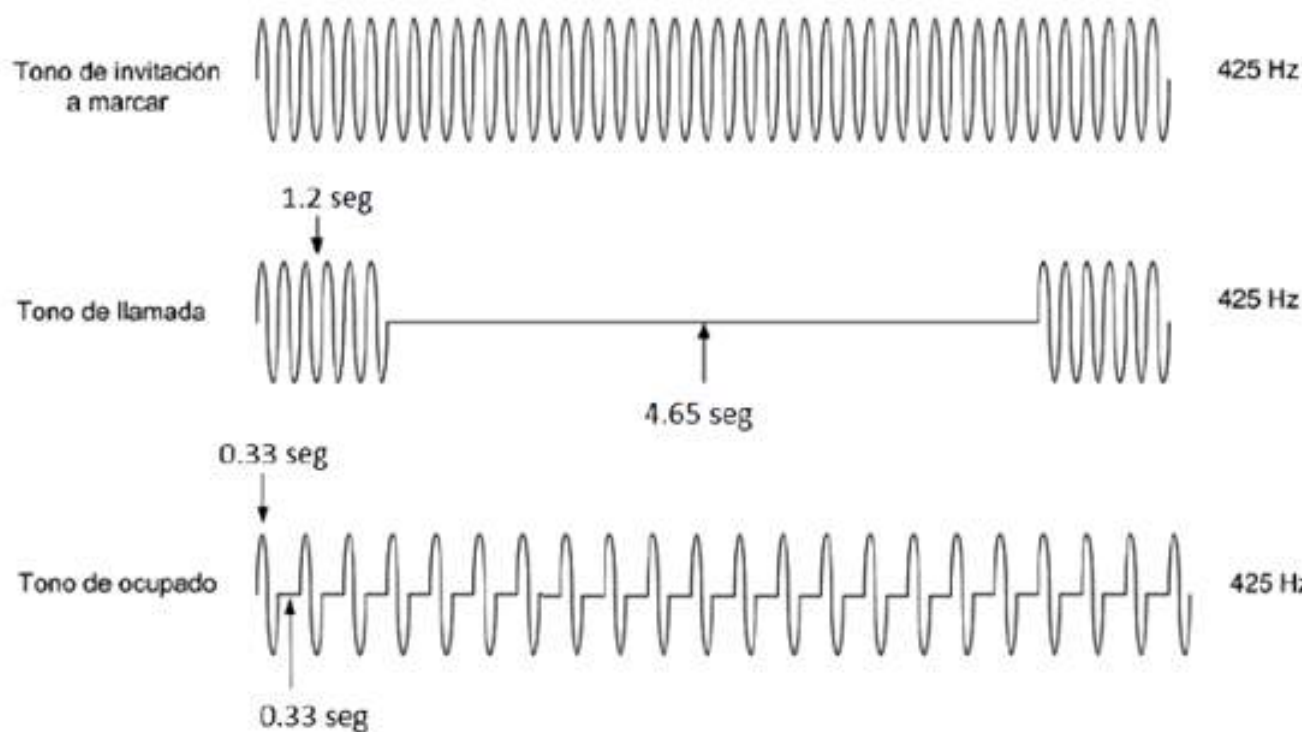


Figura 4. Representación Gráfica de señales en segundos de las cadencias para Ecuador.

En Pure Data el esquema que produciría el tono de invitación a llamar para Ecuador consistiría únicamente de un objeto oscilador osc~ que reproduzca la frecuencia de 425 Hz conectado al objeto multiplicador de señal *~ y enviado a las salidas de audio mediante el objeto conversor digital-analogo dac~ de la siguiente manera:

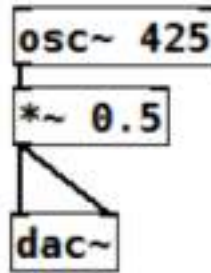


Figura 5. Algoritmo en Pure Data de Tono invitación a marcar. País: Ecuador

Para ejemplificar el esquema de síntesis aditiva de la figura 1 recurriremos a la información de Tonos de los Países de Canadá y Estados Unidos que utilizan 2 Frecuencias para la generación de sus cadencias Telefónicas como lo indica la siguiente tabla del documento ITU.

PAÍS/TONO	FRECUENCIA en Hz	CADENCIA en segundos
Canadá		
Tono de ocupado -	480+620	0.5 on 0.5 off
Tono de congestión -	480+620	0.25 on 0.25 off
Tono de invitación a marcar -	350+440	continuo
Tono de llamada -	440+480	2.0 on 4.0 off
Tono de indicación de llamada en espera -	440	2x(0.3 on 10.0 off)
Estados Unidos de América		
Tono de ocupado -	600x120//600x133//600x140//600x160//480+620	0.5 on 0.5 off
Tono de confirmación -	350+440	3x(0.1 on 0.1 off)
Tono de invitación a marcar -	600x120//600x133//600x140//600x160//350+440	continuo
Tono de repetición de invitación a marcar -	350+440	3x(0.1 on 0.1 off) + continuo
Tono de intervención -	600x120//600x133//600x140//600x160//480+620	0.5 on 0.5 off
Tono de abonado inaccesible -	200//400	0.5 on 6.0 off
Tono de señal permanente -	480//400//500	continuo
Tono de grabación -	440	0.5 on 5.0 off
Tono de llamada -	420x40//500x40//440+480	2.0 on 4.0 off

Tabla 3. Cadencias Telefónicas Países: Canadá y Estados Unidos

En Pure Data el esquema que produciría el Tono de Invitación a Marcar para los dos países consistiría de dos osciladores que reproduzcan las frecuencias de 350 Hz y 440Hz y se sumen mediante un objeto sumatorio de señal y se amplifiquen con un objeto multiplicador de señal a la salida de un objeto conversor digital-análogo de la siguiente manera:

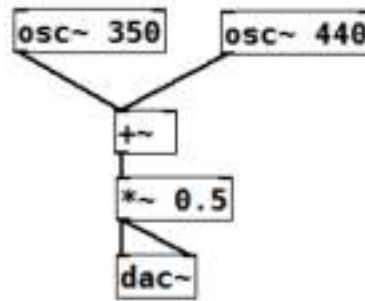


Figura 6. Algoritmo en Pure Data del Tono de Invitación a Marcar. Países: Canadá y Estados Unidos.

Para los Tonos de Ocupado de los 2 países cambiaremos a las frecuencias de 480 Hz y 620 Hz como consta en el documento ITU y agregaremos una programación para el control de las cadencias en segundos. Se especifica que el tiempo de encendido y el tiempo de apagado correspondan a 0.5 segundos igualmente por lo que el ciclo completo de la cadencia correspondería a un 1 segundo.

En Pure Data mantendremos la sumatoria de Frecuencias por la entrada izquierda, del objeto multiplicador, mientras que su entrada derecha corresponderá al algoritmo que permita encender en los tiempos estipulados las frecuencias. Debido a que Pure Data estima los tiempos en milisegundos, crearemos un objeto metro seguido del número 1000 que corresponderá al ciclo completo de 1 segundo. La salida de metro se conectara a un objeto Bang que permitirá visualizar y disparar el tiempo del ciclo a los mensajes 1 y 0 que están anteceditos por el objeto delay o retraso de 500 milisegundos en la entrada del mensaje 1, lo que permitirá generar la cadencia de prendido y apagado. Como complemento al diseño sonoro se crea una rampa de audio con el objeto line~ que suavizará los clicks producidos por el brusco cambio de estado de la membrana de altoparlantes o auriculares que pudiera notarse auditivamente. Finalmente con el objeto conmutable Toggle en la entrada del objeto metro se dará inicio a la cadencia correspondiente al tono de ocupado.

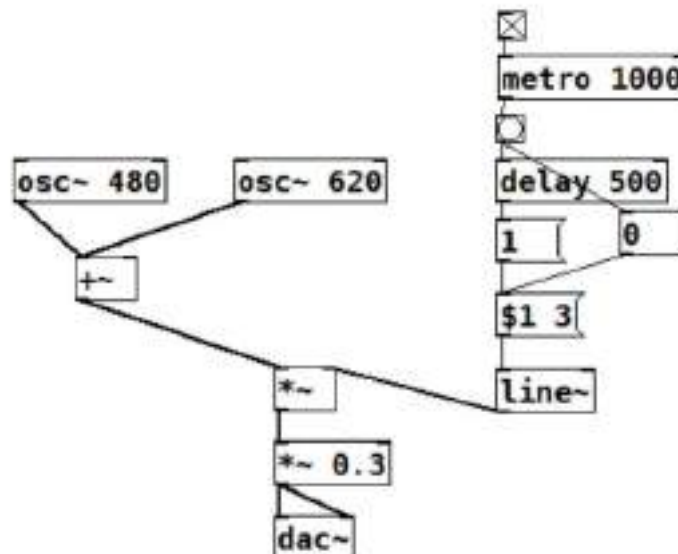


Figura 7. Algoritmo en Pure Data del Tono de Ocupado. Países: Canadá y Estados Unidos.

Para emular el Tono de Llamada utilizaremos los mismos recursos descritos en el patch de Pure Data para el Tono de Ocupado modificando ligeramente la información a emplearse. Reemplazaremos las frecuencias por 440 Hz y 480Hz en los objetos osciladores osc ~. Como se indica en la cadencia para este Tono, el ciclo completo corresponderá a los 6 segundos (2.0 On y 4.0 Off) por lo que metro estará seguido de 6000 milisegundos y el objeto delay de 4000 milisegundos.

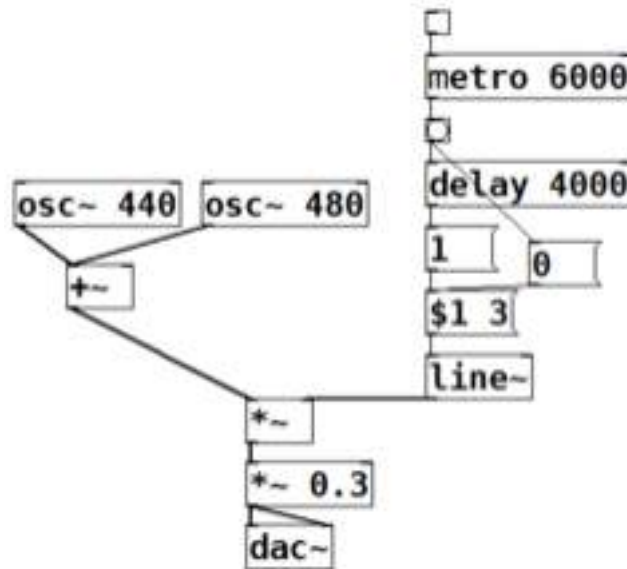


Figura 8. Algoritmo en Pure Data del Tono de Llamada. Países: Canadá y Estados Unidos.

RESULTADOS:

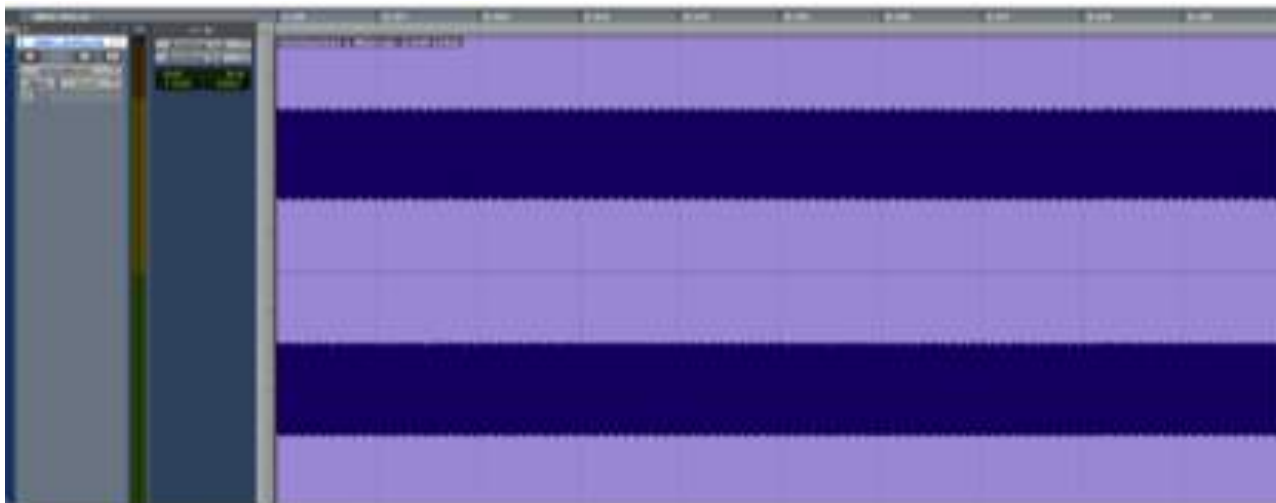
Al tratarse de información sonora generada únicamente por tonos puros recurrimos a la aplicación del analizador de Espectro Blue Cat's Fre FreqAnalyst para visualizar los resultados de respuesta en frecuencia en un rango de -60 dB, y para visualizar los resultados de los tiempos de cadencias telefónicas recurrimos al editor de la estación de Audio Digital Pro Tools.

La captura de pantalla 1 muestra en el analizador de espectro el tono continuo de invitación a marcar donde se constatan 2 valles correspondientes a las frecuencias de 350 Hz y 440 Hz separados por una depresión en amplitud en el orden de los -20 dB.



Cap. Pantalla 1. Analizador de espectro Blue Cats/ -60 db Range. Tono de Invitación a Marcar. Países: Canadá y Estados Unidos

La captura de pantalla 2 evidencia la cadencia telefónica del tono de invitación a marcar continuo que puede constarse en la regla de tiempo Min:Seg en ProTools

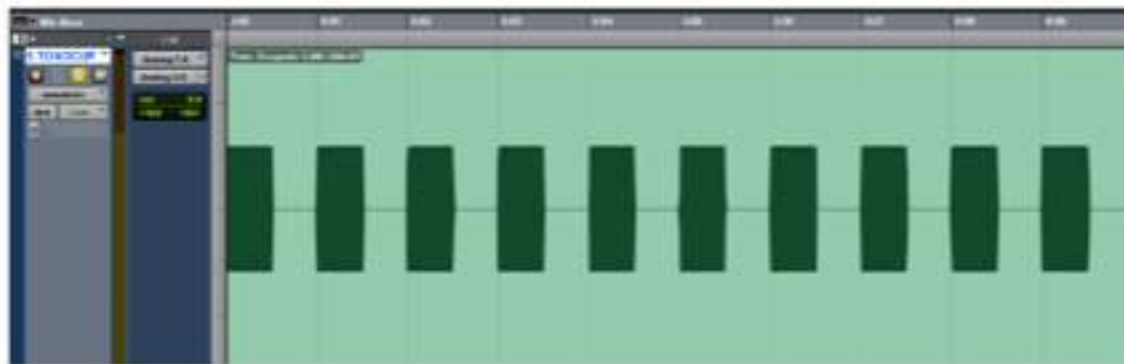


Cap. de Pantalla 2. Ventana de Edición de Pro Tools. Cadencia Telefónica Tono Invitación a Marcar. Países: Canadá y Estados Unidos.

La Captura de Pantalla 3 muestra dos valles de frecuencias predominantes separadas por una abrupta depresión en el orden de -40 dB con algunos cientos de frecuencias de distancia, el primer valle correspondiente a 480 Hz y el segundo a 620 Hz.



Cap. Pantalla 3. Analizador de espectro Blue Cats/ -60 db Range Tono de Ocupado. Países: Canadá y Estados Unidos.



Cap. Pantalla 4. Ventana de Edición de Pro Tools. Cadencia Telefónica Tono de Ocupado. Países: Canadá y Estados Unidos.

La captura de pantalla 4 evidencia la cadencia telefónica del Tono de Ocupado que puede constarse en la regla de tiempo Min:Seg en ProTools mostrando que en cada segundo se justifica los primeros 500 milisegundos de encendido, seguido del silencio que justifica los 500 milisegundos de apagado

La captura de pantalla 5 muestra dos valles de frecuencias predominantes muy cercanas con una depresión mínima de alrededor de los 3dB que corresponden a la frecuencia de 440 Hz y 480 Hz.



Cap. Pantalla 5. Analizador de espectro Blue Cats/ -60 db Range. Tono de Llamada. Países: Canadá y Estados Unidos

La captura de pantalla 6 evidencia la cadencia telefónica del Tono de Llamada que puede constatarse en la regla de tiempo Min:Secs en ProTools mostrando presencia de los tonos combinados en una duración de 2000 milisegundos, seguidos de un silencio correspondiente a los 40000 milisegundos que completan el ciclo total de los 6 segundos de la cadencia.



Cap. Pantalla 6. Ventana de Edición de Pro Tools. Cadencia Telefónica Tono de Llamada. Países: Canadá y Estados Unidos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

La generación de los sonidos como los del código DMTF y el de las cadencias telefónicas implementadas a tiempo real en un entorno de programación gráfico podrán brindar a los productores y diseñadores de sonido la habilidad y flexibilidad de usarlos en la simulación de llamadas telefónicas que puedan aportar un sonido limpio y directo a las producciones audiovisuales, a diferencia de emplear técnicas de microfónica con probables filtraciones de ruido que podrían registrarse en un entorno con malas condiciones acústicas. A su vez, el beneficio de una interfaz gráfica visual como la de Pure Data permitirá de una manera constructiva a un determinado usuario, relacionar los componentes

electroacústicos y técnicas de síntesis que se abordan desde la teoría, con un proceso sistemático y algorítmico del evento sonoro, permitiéndole ser partícipe del comportamiento del sonido con potenciales aplicaciones de interactividad y realidad virtual.

En conclusión se ha presentado un modelo de audio procedural que sintetiza sonidos artificiales como los especificados en documentos de la ITU y la CCIT con respecto a los sonidos de una central telefónica, basados en un motor de síntesis aditiva utilizando un lenguaje de programación gráfico como Pure Data.

REFERENCIAS:

García, M, & Santillán, L, (2005) Diseño e Implementación de un sistema de tarificación para Locutorios (Tesis de Pregrado) Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador

Barkl, Michael L.G, (2010) Composition: Pure Data as a meta-compositional instrument, PhD thesis, School of Music and Drama, University of Wollongong

Farnell, A, (2012) Designing Sound. London, England. The MIT Press

Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT. Diferentes tonos utilizados en las redes nacionales (según la recomendación uit-t e.180 (03/1998)). Anexo al boletín de explotación de la UIT N.o 955 - 1.v.201. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/sp/T-SP-E.180-2010-PDF-S.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT. Recomendaciones Generales sobre la Conmutación y la Señalización Telefónicas. Libro Azul. Tomo vi - Fascículo vi. Recuperado de: <http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.260.43.es.3025>.

IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE REDES TRIFÁSICO A BAJO COSTO

Paul Arqui, Bernardo Vallejo.

poularqui@live.com, bvallejo@itsct.edu.ec.

Carrera de Electrónica, ISTCT

Resumen

El analizador de redes trifásicas es un dispositivo electrónico portátil que ayuda a determinar el estado de un sistema de distribución de energía de forma rápida y segura, a través de la medición y registro del voltaje y corriente de la red, así como detectar posibles fallos que involucran pérdidas o sanciones económicas. El proyecto implementa una solución de bajo costo, en base a una plataforma de desarrollo electrónico (Arduino), para el monitoreo y análisis de los parámetros eléctricos fundamentales de la red. Este instrumento permite medir señales eléctricas de tensión y corriente en tiempo real, a través de 3 conectores y 3 pinzas amperimétricas. El analizador de redes trifásico cuenta con una interfaz gráfica GLCD para la visualización de las curvas de las señales conectadas y los valores medidos de las tres tensiones y corrientes de línea, adicional puede determinar el desfase entre las dos señales, datos base para el cálculo de la potencia activa(P) reactiva(Q) y aparente(S).

Palabras Claves: Voltaje, corriente, Analizador de red, GLCD, pinza amperimétrica, Factor de potencia.

Abstract

The three-phase network analyzer is a portable electronic device that helps determine the status of energy distribution system quickly and safely, through the network voltage and current register, as well as all possible failures that involve economic losses or sanctions. The project implements a low-cost solution, based on an electronic development platform (Arduino), for the monitoring and analysis of the fundamental parameters of the network. This instrument allows to measure voltage and current signals in real time, through 3 connectors and 3 current clamps. The three-phase network analyzer has a graphical interface GLCD for visualization of the curves of the connected signals and the measured values of the three voltages and currents of the line, in addition there may be the lag between the two signals, base data for the calculation of active (P) reactive (Q) and apparent (S) power.

Keywords: Voltage, current, network analyzer, GLCD, clamp meter, power factor.

INTRODUCCIÓN

Los Analizadores de red son instrumentos empleados para la detección temprana de problemas de calidad energética de forma rápida, segura y detallada. Entre los tipos que se pueden encontrar en el mercado destacan los analizadores monofásicos y trifásicos, clasificación determinada por la cantidad de líneas a las que el equipo puede conectarse para obtener el detalle de sus parámetros más importantes.

El objetivo principal de un analizador de red es detectar las perturbaciones energéticas que afectan la calidad del suministro eléctrico. Perturbaciones que han sido definidas por el estándar 1159-1995 del IEEE, y los ha organizado en categorías (Seymour & Horsley, 2010).

Las categorías Son: los transitorios, Interrupciones, subtensiones, sobretensiones, distorsión de onda, fluctuación de tensión y variaciones de frecuencia. Los transitorios se clasifican en impulsivos y Oscilatorios, siendo los primeros, eventos repentinos que elevan la tensión o corriente de forma muy rápida en dirección positiva o negativa, entre las causas que los provoca se incluyen rayos, puesta a tierra deficiente, encendido de cargas inductivas, entre otros, mientras que los segundos corresponden a un cambio repentino en la condición de estado estable de la tensión o corriente de una señal que fluctúa a la frecuencia natural del sistema. Esta perturbación ocurre cuando se conmuta

una carga inductiva o capacitiva, como un motor o un banco de capacitores. Las interrupciones son la pérdida total de tensión o corriente durante un determinado tiempo, pueden ocurrir por diversas causas, pero en su mayoría se producen por algún daño a la red de eléctrica.

La subtensión es una reducción de la tensión manteniendo la frecuencia, suele ocurrir por fallas del sistema, o son el resultado de encender cargas con altas corrientes de arranque. La sobretensión es un aumento de la tensión o de la corriente que al igual que la subtensión mantiene la frecuencia, suelen ser provocadas por conexiones neutras con alta impedancia, una falla monofásica dentro de un sistema trifásico o reducciones repentinas de carga.

Se pueden diferenciar 5 tipos de distorsiones de la forma de onda, tales como desplazamiento por corriente continua, Armónicas, Interarmónicas, Corte intermitente y ruido. Las fluctuaciones de tensión son una variación de la forma de onda, cualquier carga que muestre variaciones de corriente puede causar fluctuaciones de tensión, se puede observar esta perturbación en el parpadeo de luces incandescentes.

Por último, las variaciones de frecuencia que suelen ocurrir cuando en las instalaciones poseen generadores dedicados de reserva o una infraestructura pobre de alimentación (Seymour & Horsley, 2010).

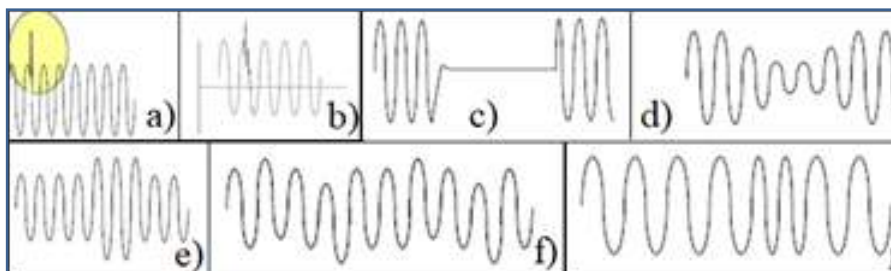


Figura 1. a) transitorios Impulsivos, b) transitorios Oscilatorios, c) Interrupciones, d) subtensiones, e) sobretensiones, f) fluctuación de tensión y g) variaciones de frecuencia. Información tomada de: "Los siete tipos de problemas en el Suministro Eléctrico"

Fuente: Seymour, J., & Horsley, T., 2010.

Cada una de estas categorías representan problemas que pueden perjudicar a los usuarios, sea provocando daños en los equipos, o generando sanciones económicas por parte de la empresa distribuidora de electricidad. Otros parámetros diferentes a las perturbaciones que se pueden determinar con un analizador son: tensiones, corrientes, potencia y factor de potencia.

El valor de corriente y tensión alterna, cambia en cada instante e incluso de sentido, siguiendo un ciclo repetitivo según una función senoidal a una frecuencia determinada que en el caso de

nuestro país es de 60 Hz lo que equivale a un periodo de 16.67ms entre pico y pico. En una señal alterna se pueden observar distintos parámetros tales como el valor máximo, el valor medio, el valor eficaz, el valor pico a pico, etc.

El analizador se encarga de determinar los valores eficaces tanto de corriente como de tensión de cada línea, Valores que equivalen a producir la misma cantidad de calor que una señal de corriente continua.

La relación entre el valor pico y el valor efectivo o eficaz está determinado por la expresión:

$$ValorEficaz = \frac{ValorPico}{\sqrt{2}}$$

Ec.1

La potencia se define como la relación que existe entre la cantidad de energía generada o consumida dentro de un intervalo de tiempo, en el caso de la potencia eléctrica es el resultado de la multiplicación de la corriente por la tensión, cuando se trabaja con corriente alterna se debe considerar otras variables para el cálculo de potencia, debido principalmente a la con-

exión de cargas capacitivas o inductivas, las que producen una componente activa y una reactiva que dan lugar a tres tipos de potencia: Aparente (S), potencia total consumida por la carga; Activa(P), potencia útil de trabajo y Reactiva(Q), potencia disipada por las cargas reactivas tales como bobinas y capacitores (Floyd, 2007).

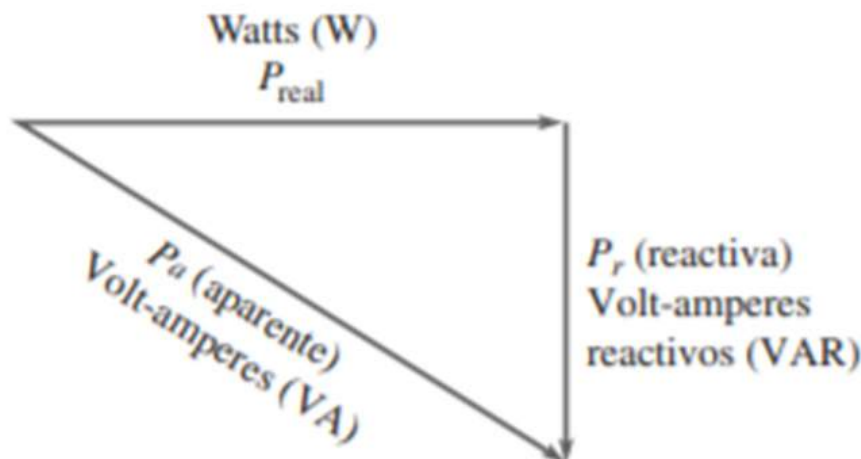


Figura 2. Triángulo de Potencia. Información tomada de: "Principios de Circuitos Eléctricos" por Floyd, T., 2007.

Fuente: www.pearsoneducacion.net/floyd

El ángulo que se forma entre la potencia aparente y la potencia activa se conoce con el nombre de factor de potencia ($\cos \varphi$), su valor varía entre 0 a 1 y es utilizado para medir la eficiencia del consumo eléctrico. Es un parámetro regulado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, la ARCONEL (2018) establece que: "el consumidor que mantenga suscrito un contrato de conexión con una Distribuidora, cance-

lará a ésta la penalidad por bajo factor de potencia cuando sea inferior a 0.92, aplicado al pliego tarifario vigente(p.34).

Según el PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELECTRICAS DE DISTRIBUCIÓN, Periodo Enero - Diciembre 2018, la penalización por tener un factor de potencia menor al establecido se calcula utilizando la fórmula:

$$P_{BFP} = B_{FP} \times FSPEEi$$

Ec.2

$$B_{FP} = \frac{0.92}{FPr} - 1$$

Ec.3

Dónde:

FPr = Factor de potencia registrado.

PBFP = Penalización por bajo factor de potencia.

BFp = Factor de penalización.

FSPEEi=Factura por servicio público de energía eléctrica inicial.

Además la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (2018) establece que:

Cualquiera sea el tipo de consumidor de la categoría general, con medición de energía reactiva, cuando el valor medio del factor de potencia sea inferior a 0,60, la distribuidora, previa notificación, podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite.

El conjunto de parámetros analizables en una red eléctrica sea monofásica o trifásica

contribuyen a determinar la calidad del servicio de energía, y el conocer el estado de cada uno de ellos pueden permitir al usuario final tomar las medidas necesarias para reducir las perturbaciones que perjudiquen a los procesos o al desarrollo normal de sus actividades. Los altos costos de los equipos analizadores de red comerciales es una desventaja al momento de querer implementarlos, con esa motivación se busca desarrollar un equipo que tenga un costo más asequible y que brinde la información más importante del estado de la red de distribución de energía eléctrica.

DESARROLLO

El desarrollo del proyecto se da como una investigación de tipo aplicada y tiene como propósito describir el procedimiento realizado hasta obtener un prototipo de analizador de red trifásico que permita determinar el consumo energético de la red, a través de la medición

de parámetros como la tensión corriente, factor de potencia y potencia consumida por fase.

La construcción del analizador se divide en dos etapas para facilitar su descripción, la primera es el diseño de hardware y la segunda el diseño del Software.

Diseño de Hardware

El equipo está diseñado a partir de una placa Arduino Mega 2560 (núcleo del analizador), 3 pares de conectores lagarto, 3 pinzas amperimétricas de 30A, 3 transformadores 120v a 12v ac, un teclado matricial 4x4, un GLCD de 128x64 pixeles, un lector de memoria SD, una pcb con el

circuito de acondicionamiento y un cargador de 7v dc.

En el siguiente diagrama se observan las etapas que forman el Hardware, etapas en las que se integran los componentes antes mencionados:

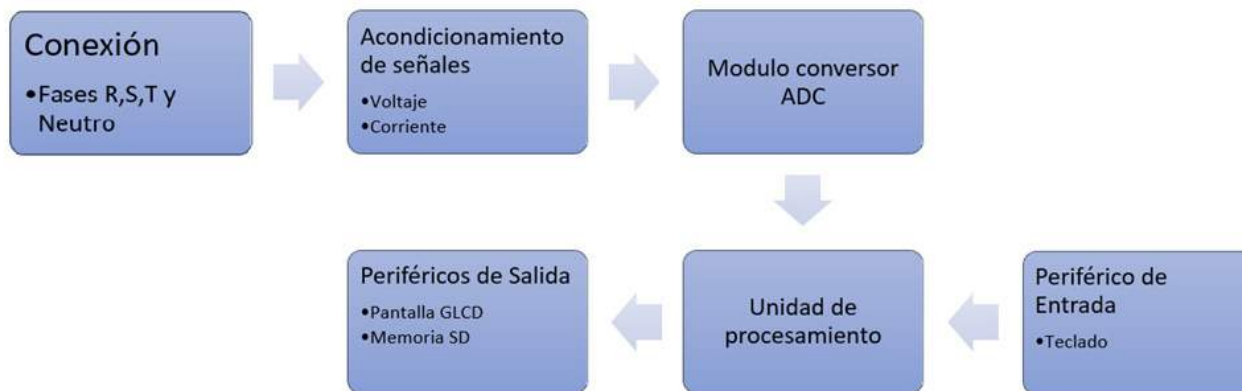


Figura 3. Diagrama de etapas del Hardware.
Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de conexión para la tensión se utiliza conectores lagartos por la facilidad de conexión para pruebas, se conectan a 3 transformadores cada uno dedicado para una tensión de fase, la tensión de entrada es de 120v ac y la de salida de cada uno es de 12v ac. Para la corriente se hace uso de pinzas amperimétricas

que presentan la ventaja de no ser invasivas y pueden conectarse directamente a la línea de tensión. El modelo de pinza seleccionado es el SCT-013-30 el cual funciona como un transformador de corriente a tensión, su corriente de entrada va de 0 a 30 amperios y la salida de tensión es de 0 a 1v respectivamente.



Figura 4. Pinza Amperimétrica. Información tomada de: Sensor de corriente eléctrica no invasivo con Arduino y SCT-013.
Fuente: <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-corriente-sct-013/>

Las entradas analógicas del Arduino mega tienen un rango de lectura desde 0 hasta 5 voltios, debido a lo cual es necesario realizar un acondicionamiento de las señales que entregan los sensores antes de conectarlos a sus entradas.

Para el caso de la tensión se utiliza dos circuitos divisores de tensión, el primero para reducirla a un valor inferior a los 5v, tensión analógica máxima que pueda leer el Arduino, al ser una señal ac existen valores negativos que se deben

eliminar, el método utilizado es conectar un circuito elevador que introduce una señal dc, para hacerlo utilizamos el segundo divisor de tensión y un capacitor que permite desacoplar la señal ac de la referencia, como recomendación el capacitor debe tener una reactancia baja de alrededor de unos cientos de ohmios.

Se selecciona un capacitor de 10uF que genera una reactancia de 265.26 la cual cumple con el criterio antes mencionado.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 10\mu F} = 265.26\Omega$$

Ec.4

El diseño realizado produce en la salida del primer divisor 2.47v pico y en la salida del segundo divisor 2.5v dc, la salida del segundo di-

visor eleva la tensión total hasta 4.97v pico positivo y 0.03v pico negativo valores dentro del rango de medida permitido por el Arduino.

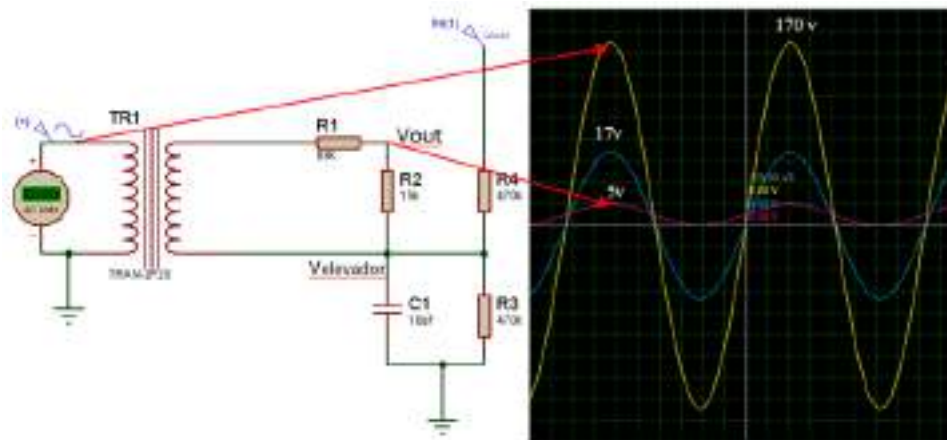


Figura 5. Circuito Acondicionamiento de Tensión.
Fuente: Elaboración propia.

$$V_{o1} = 12\sqrt{2}v * \frac{15k\Omega}{88k\Omega + 15k\Omega} = 2.47v$$

Ec.5

$$V_{elevador} = 5v * \frac{470k\Omega}{470k\Omega + 470k\Omega} = 2.5v$$

Ec.6

$$V_{out_{max}} = V_{elevador} + V_{o1} = 2.5 + 2.47 = 4.97v$$

Ec.7

Para el caso de la corriente se realiza un diseño más simple convirtiendo la corriente a un valor equivalente de tensión.

Solo se utiliza un divisor de tensión junto a un capacitor para elevar la tensión y desacoplar la señal ac de la referencia, el valor máximo de ten-

sión efectiva entregada por las pinzas amperimetricas es de 1v, lo que equivale a una tensión pico de 1.7v, el circuito elevador al tener los mismos valores de que el circuito anterior genera una tensión dc de 2.5v que se suman a la señal ac dando como resultado una señal con 4.2v de pico positivo y 0.8v de pico negativo.

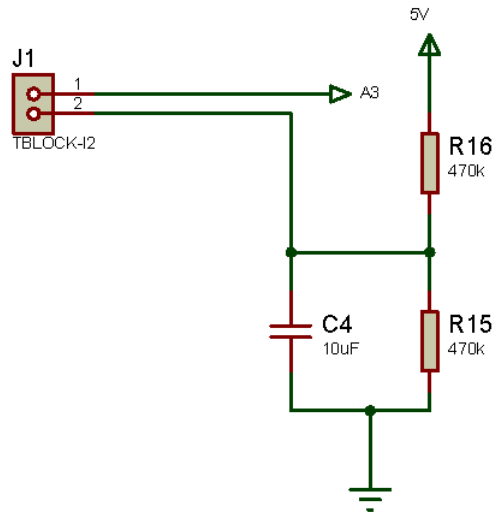


Figura 6. Circuito Acondicionamiento de Corriente.
Fuente: Elaboración propia

$$V_{elevador} = 5v * \frac{470k\Omega}{470k\Omega + 470k\Omega} = 2.5v$$

Ec.8

$$V_{out_{max}} = V_{elevador} + V_{pinza} = 2.5 + 1.7 = 4.2v$$

Ec.9

Los circuitos de acondicionamiento para la lectura de tensión y de corriente se repiten 3 veces por cada uno, las señales de salida están conectadas a las entradas analógicas del Arduino Mega desde A0 hasta A5.

La siguiente etapa de diseño hardware corresponde al circuito conversor análogo digital, circuito integrado dentro del Arduino mega,

tiene una resolución de 10 bits lo que equivale a 1024 valores digitales, donde 0 representa 000000000b y 5v representa 111111111b. El periodo de muestreo del módulo ADC del Arduino es de aproximadamente 100 microsegundos lo que permite tomar alrededor de 160 muestras por cada ciclo de la señal AC a una frecuencia de 60HZ, el número final de muestras que se puede tomar va a depender de la programación.

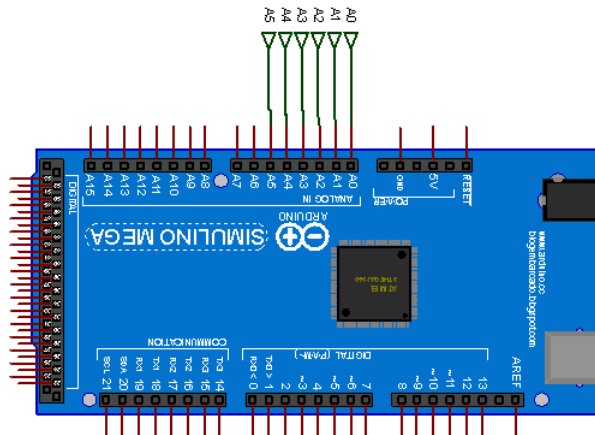


Figura 7. Arduino Mega 2560
Fuente: Elaboración propia

La unidad de procesamiento es la plataforma de desarrollo Arduino Mega 2560, modelo seleccionado debido a su cantidad de puertos necesarios para la conexión de los periféricos de entrada y salida y para la conexión de las entradas analógicas. Sus características principales según ANTONY GARCÍA GONZÁLEZ (2013) son:

- Voltaje Operativo: 5V
- Voltaje de Entrada: 7-12V
- Pines digitales de I/O: 54 (15 salidas PWM)
- Pines analógicos: 16
- Corriente DC I/O: 40 mA
- Corriente DC I/O a 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Velocidad: 16 MHz

Por último, tenemos la etapa de conexión de los periféricos de entrada y de salida, se selecciona un GLCD de 128 x 64 pixeles para una mejor visualización de las gráficas de tensión y corriente, un teclado matricial de 4x4 que in-

cluya flechas para el desplazamiento entre las gráficas, y un módulo de escritura y lectura de memorias SD para almacenar los datos medidos de la red trifásica.

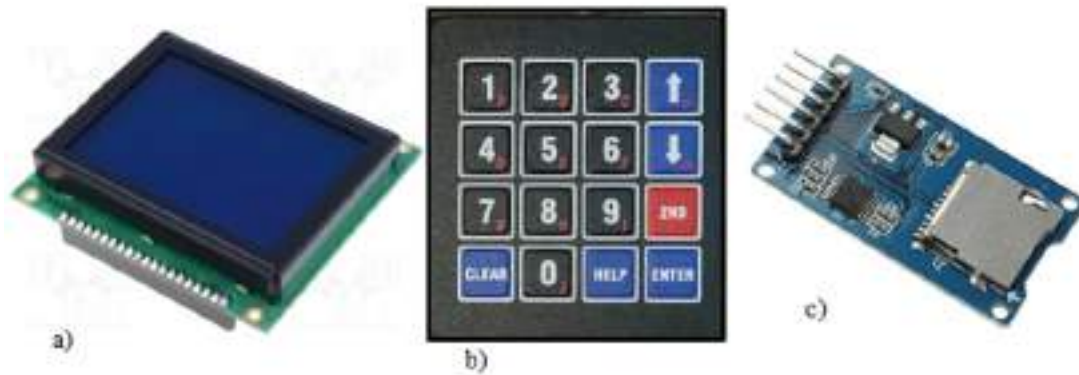


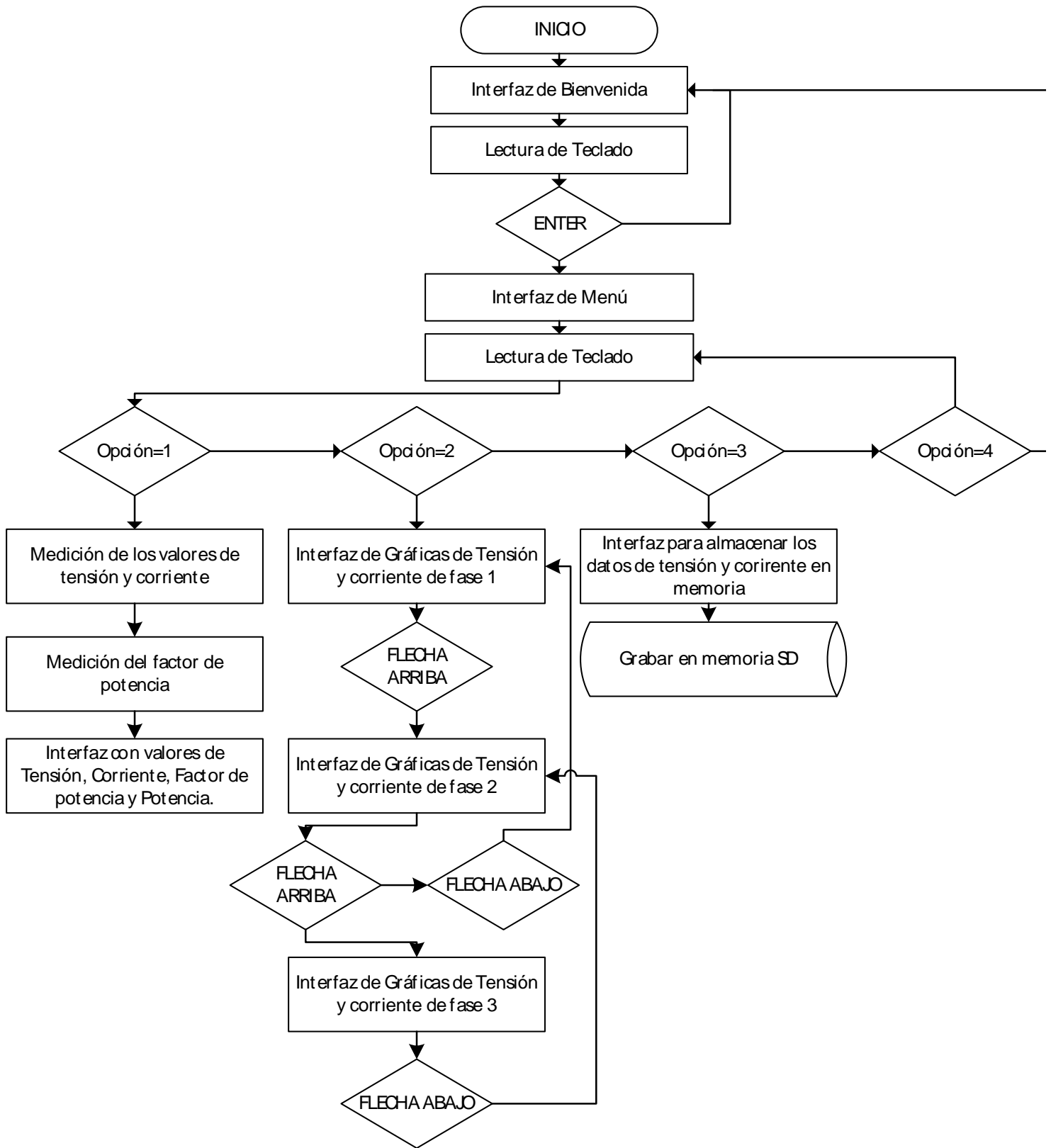
Figura 8. Periféricos de Entrada y salida: a) GLCD 128x64, b) Teclado matricial 4x4 y c) Módulo de escritura y lectura SD.
Fuente: Elaboración propia

Diseño de Software

Para la programación se utiliza el lenguaje propio de Arduino que está basado en un lenguaje de programación de alto nivel similar a C++. La ventaja de usar el entorno de desarrollo de Arduino sobre otras placas es debido a que es una herramienta de Software libre con una alta cantidad de desarrolladores que facilita la solución de problemas, además de que cuenta con un alto número de librerías disponibles para la integración de distintos tipos de módulos (Torrente, 2013).

El diseño del Software parte de la medición de las señales análogas y la conversión a sus valores reales, a través del procesamiento digital de los datos recibidos, a continuación, el diseño del Software se centró en presentar la información necesaria para que el usuario pueda interactuar con el módulo y cada uno de sus menús, integrando de modo funcional cada uno de los componentes externos al Arduino.

El diagrama de flujo siguiente describe el proceso funcional del Software implementado.



Diseño Final.

La etapa final del desarrollo incluye la integración y conexión de todos los componentes del sistema, se opta por una estructura prismática para poder almacenar todos los elementos y facilitar su transporte. La apariencia y dimensiones se aprecian en la figura siguiente.

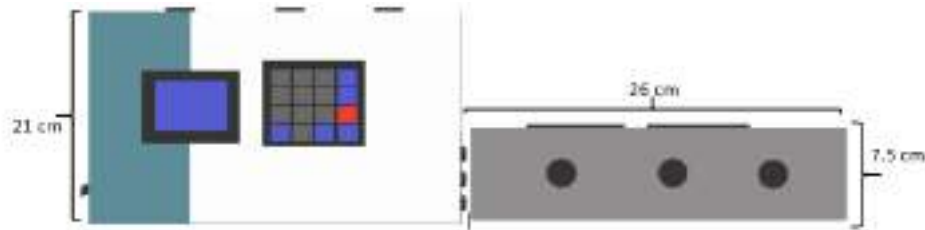


Figura 10. Diseño y Dimensiones prototipo de Analizador de Red.
Fuente: Elaboración propia

En la vista superior se tiene la pantalla GLCD y el teclado, de la vista lateral superior salen los conectores lagartos para la medición de tensión de fase, de la vista lateral derecha salen las pinzas amperimétricas para la medición de la corriente de fase y de la vista lateral izquierda sale el cargador para la alimentación del módulo.

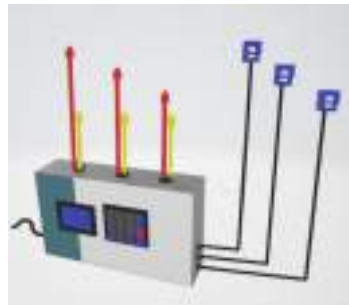


Figura 11. Diseño y posición de conectores
Fuente: Elaboración propia

El propósito de realizarlo de esta forma es facilitar la conexión del analizador a la red trifásica. Donde cada par de conectores lagarto se conecta a una fase y a la línea de neutro, y por su parte las pinzas al no ser invasivas, basta que rodeen la línea de fase que le corresponde.

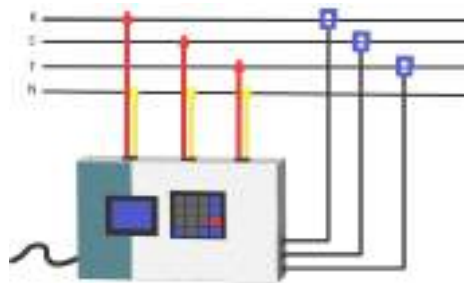


Figura 12. Esquema de conexión a la red Trifásica
Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Acabado el desarrollo se procedió al ensamblado y la realización de pruebas de funcionamiento. En la figura se aprecia el prototipo final del Analizador de Red trifásico.



Figura 13. Prototipo de Analizador de Red Trifásica
Fuente: Elaboración propia

Se realizó pruebas de funcionamiento del Hardware, Software y de la interfaz de Usuario (Rincón Roa, Cadena Téllez, & Flórez Franco, 2019), al conectar el cargador de alimentación del módulo se encendió la pantalla mostrando el logo del instituto.



Figura 14. Puesta en funcionamiento prototipo Analizador de Red.
Fuente: Elaboración propia

Se conectó uno de los pares de lagartos y la pinza amperimétrica a una carga de 40 watts, Se presionó la tecla ENTER y se desplegó el menú de opciones.

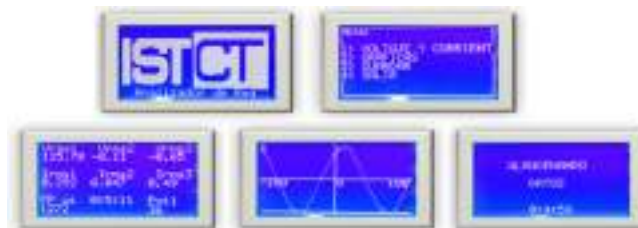


Figura 15. Interfaz de Bienvenida y Menú de Opciones.
Fuente: Elaboración propia

Se escogió la primera opción presionando la tecla número 1, a continuación, se mostró la pantalla que resume el estado de las señales conectadas, la tensión y corriente eran las esperadas, se pudo comparar con los valores medidos por un multímetro dando los mismos resultados. La potencia final consumida por el equipo era

de 36.5 watts, a continuación, se presionó la tecla número 2 y la interfaz gráfica se visualizó se aprecia la forma de la onda ac conectada, por último, se presionó la tecla número 3 y en la nueva interfaz aparece el mensaje de que los datos medidos se están almacenando, así como un contador de tiempo.

Tabla 1. Costos de implementación.

COSTOS DE MATERIALES		
Proyecto Analizador de Red Trifásica.		
Materiales	V/unitario	V/total
Arduino Mega	22,00	22,00
Cables lagartos	0,50	6,00
Transformadores	7.50	22.50
Sensores de corriente	16.00	48,00
Elementos electrónicos		10,75
Caja	18.00	18.00
TOTAL		126,5

Fuente: Elaboración propia de lista detallada de costos de materiales

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

La elección correcta del transformador es de suma importancia para el diseño, se deben realizar pruebas de los valores de salida y de su relación con respecto a la entrada antes de proceder al acondicionamiento, debido a que presentaron variaciones respecto a sus valores nominales de tensión establecidos, la forma de dar solución fue reemplazar una de las resistencias fijas del divisor por un potenciómetro de precisión, permitiendo así una mejor afinación de los dispositivos.

El uso de pinzas amperimétricas resultó ventajoso en el momento de la conexión, pero la resolución de su salida es muy baja para corrientes menores a 1 amperio, dando valores incluso menores al valor mínimo perceptible por la entrada analógica del Arduino, como recomendación usar el analizador para corrientes mayores al valor citado.

Una desventaja del uso del conversor ADC del propio Arduino es su falta de capacidad de

procesamiento en paralelo de más de una entrada analógica. Si bien tiene 16 entradas, internamente tiene un multiplexor que solo permite que trabaje uno a la vez. Esto reduce precisión al momento de medir el desfase entre las señales pudiendo introducir pequeños retrasos debido a la programación. Se recomienda para una mejora futura la implementación de un módulo externo ADC además de con una mayor frecuencia de muestro.

Actualmente el sistema realiza la medición únicamente de tensiones de fase para la medición de corrientes de línea se debe cambiar los transformadores para que soporten tensiones superiores. En comparación con otros equipos comerciales el rango de costo del prototipo implementado está por debajo de las marcas más económicas, que prestan una cantidad similar de servicios.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Servicio público de energía eléctrica. Período: enero - diciembre 2018. Retrieved from <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>

ANTONY GARCÍA GONZÁLEZ. (2013). ARDUINO MEGA: CARACTERÍSTICAS, CAPACIDADES Y DONDE CONSEGUIRLO EN PANAMÁ. Retrieved April 5, 2019, from <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>

ARCONEL. (2018). El Directorio De La Agencia De Regulación Y Control De Electricidad. Retrieved from <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/074-17.doc.pdf>

Floyd, T. L. (2007). PRINCIPIOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS OCTAVA EDICIÓN. (PEARSON EDUCACIÓN, Ed.). México. Retrieved from www.pearsoneducacion.net/floyd

Rincón Roa, I. F., Cadena Téllez, W. G., & Flórez Franco, M. F. (2019). Diseño y construcción de un analizador de redes eléctricas para sistemas trifásicos de bajo voltaje. *I+D Revista de Investigaciones*, 6(2), 57-75. <https://doi.org/10.33304/revinv.v06n2-2015005>

Seymour, J., & Horsley, T. (2010). Los siete tipos de problemas en el Suministro Eléctrico, 1-22.

Torrente, Ó. (2013). Arduino. Curso práctico de formación. (Alfaomega, Ed.). México D.F.

DISPOSITIVOS WEARABLES Y SU CONTRIBUCIÓN AL MONITOREO DE SISTEMAS INDUSTRIALES.

Nancy Piedad Rodríguez Sánchez,

Carrera de Mecánica Industrial, Instituto Tecnológico Superior Guayaquil, Ambato, Ecuador,
nrodriguez.itsg@gmail.com

Giovanni Javier Hidalgo Castro,

Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato,
Ambato, Ecuador,
hidalgo_gx@yahoo.es

Resumen

Este trabajo presenta el estudio, diseño, desarrollo e implementación de un sistema de comunicación en tiempo real que permite monitorear las variables críticas de un proceso industrial con el objetivo de determinar la incidencia de este sistema en la reducción de tiempos improductivos causados por la gestión no oportuna de alarmas, además de ofrecer una alternativa fácil para aplicaciones que pueden llevarse a cabo a gran escala a nivel industrial, a través de la comunicación de una red Ethernet y un dispositivo vestible. El objetivo principal es el monitoreo de procesos, verificando la optimización de tiempos improductivos como una prueba de funcionalidad del sistema. Se ha desarrollado el index HTML para obtener el acceso a los datos del PLC y se ha configurado el código java para tener acceso a la consulta web con Android Studio, se establece la conexión en tiempo real con el PLC y el dispositivo vestible smartwatch. La parte medular del sistema depende de la introducción de la lógica de control directamente dentro del sistema de automatización por medio del APK en el dispositivo vestible.

Palabras Claves— dispositivo vestible, APK, monitoreo, sistema

Abstract

This paper presents the study, design, development and implementation of a system of real-time communication that allows monitoring the critical variables of an industrial process in order to determine the incidence of this system in reducing downtime caused by management not timely alarm, as well as offering an easy alternative for applications that can be carried out large-scale industrial level, communication via an Ethernet network and a wearable device. The main objective is process monitoring, verifying optimization downtime as a test system functionality. Has developed the index HTML for access to PLC data and is configured java code to access the web consultation with Android Studio, real-time connection with the PLC and Wereable device, smartwatch, is established. The core of the system depends on the introduction of the control logic directly in the automation system through the wearable device APK.

Keywords — wearable device, APK, monitoring, system.

INTRODUCCIÓN

La conexión a las redes de información de todos los tipos de dispositivos puede permitir una multitud de aplicaciones dependiendo del sector donde se aplican estas tecnologías. Los avances tecnológicos y las nuevas tecnologías están siendo aplicadas a la industria, se comienza a hablar sobre la industria 4.0 o las fábricas 4.0. Recientemente, podemos encontrar en la literatura sobre IoT (internet de las cosas) mucha teoría y tecnología, especialmente en sectores como logística y transporte, pero no hay muchos artículos en entornos de fabricación que expliquen situaciones reales y concretas debido a la confidencialidad de sus operaciones y la competitividad del mercado. (Cañizares & Valero, 2018)

En la actualidad la digitalización es la nueva tendencia industrial correspondiente a la Industria 4.0 dentro del Internet de las Cosas. (Siemens, s. f.) En los últimos años, ha habido un cambio tecnológico cada vez mayor hacia una red descentralizada de objetos interconectados, todos equipados con capacidades de toma de decisiones y recopilación de datos "inteligentes". (Li & Kara, 2017)

Hoy por hoy se está implementando con más fuerza la digitalización en las industrias fabriles alrededor del mundo para la reducción de costos de manufactura a través de la disminución de tiempos improductivos presentes en los procesos industriales.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversas aplicaciones móviles para dispositivos wearables siendo principalmente utilizadas para mejorar el estilo de vida del usuario final, (Pobes Panisello, 1000) aplicativos de salud (Melo, 2016), (computerhoy, s. f.), recordatorios y tareas diarias hacen más fácil la administración de los recursos y tiempo de las personas (Pernek, Kurillo, Stiglic, & Bajcsy, 2015), e incluso capaces de brindar seguridad de control de acceso (Prado, 2017), siendo interactivo y de fácil manejo hasta para personas mayores, brindándoles apoyo en

diferentes ámbitos (Rosales, Fernández-Ardèvol, Comunello, Mulargia, & Ferran-Ferrer, 2017), y algo esencial en precautelar la vida humana en el campo de la industria minera, del cual existe estudios de su alcance futuro (Mardonova, Choi, Mardonova, & Choi, 2018)(Verma, Rajhans, Malik, & des Tombe, 2014).

Una de las principales tendencias de la automatización y control de los procesos se basa en tecnologías aplicadas al internet de las cosas IoT, que permite la conectividad a todo nivel dentro de la industria. Es así que el control de las operaciones en las industrias de procesos y fabricación irán adaptándose a estas tendencias ya que una de las bondades del internet de las cosas es que permite mejor conectividad y disponibilidad de la información de una forma eficaz y rápida, por lo tanto, se pueden diseñar sistemas más complejos para una mejor toma de decisiones. (Harjunkoski, 2017)

Sin embargo los aplicativos wearables para la industria hoy en día, aún están en etapa de desarrollo (Aleksy & Rissanen, 2014), donde se cuenta con potentes dispositivos wearables (Digital e Innova, 2017), (Luque, 2016) que pueden operar como interfaz hombre máquina con lenguajes de compilación basados en JVM (Java Virtual Machine), donde se puede escribir de manera nativa un script en java de código abierto. (Android Studio, s. f.) Utilizando las bondades que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) para el desarrollo de aplicaciones para Android basados en IntelliJ IDEA.(Android Studio, s. f.) Se establece el intercambio de datos en tiempo real entre una Wearable APK y el Controlador Lógico Programable PLC permitiendo el monitoreo de variables industriales de alto nivel.

Por lo expuesto, este artículo presenta una metodología para diseñar una arquitectura de sistema y generar un algoritmo que permita la comunicación en tiempo real con las variables del proceso del estudio.

Requerimientos principales

Wearable APK representa una aplicación puesta a prueba dirigida a acceder al control de las acciones de un sistema PLC y su monitoreo.

Acorde al entorno donde se valida mediante

- Evaluación y control a distancia.
- Monitoreo del funcionamiento del sistema de automatizado.
- Control de las variables de entrada y salida del controlador lógico programable.
- Acceso al control a través de varios dispositivos wereables inteligentes autorizados.

implementación del desarrollo se establecen los requerimientos o funcionalidades básicas esperadas que definen el alcance general de Wearable APK incluyen las siguientes:

Arquitectura del sistema

Un PLC con interfaz Ethernet brinda la posibilidad de acceder a variables de CPU (Ag, 2014) con la ayuda de la aplicación Wearable APK.

Se puede acceder a los mecanismos estándar del PLC mediante la configuración de la Red Ethernet como web server dentro de la página web del controlador, como identificación, búfer de diagnóstico, estado del módulo, comunicación, estado de variables y registros de datos, y se puede diseñar y llamar a páginas web indivi-

duales para el control y monitoreo de una tarea de automatización.

Se ha desarrollado el índice HTML para obtener el acceso a los datos del PLC y configurado el código java para tener acceso a la consulta web con Android Studio bajo el código. Fig. 1.

A través de lo mencionado se establece la conexión en tiempo real la con el PLC y el dispositivo wearable.

```
Protected void Werable_APK(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.sample_main);
    mDataText=(TextView) findViewById(R.id.data_text);
    mNetworkFragment = NetworkFragment.getInstance
        (getSupportFragmentManager(), "https://192.168.10.1/asp/Werable_APK.html");
}
```

Figura 1. Fragmento del código de programación
Fuente: El Autor

La parte medular del sistema depende de la introducción de la lógica de control directamente dentro del sistema de automatización por medio del APK con Network Fragmenty al PLC mediante un servidor web.

Para esto se vinculó la lógica virtual y la lógica real del sistema, para lo cual dentro del OB principal de la CPU, se enlazaron las variables utilizadas dentro de la librería Global del CPU con las utilizadas en el código HTML.

Gestión de variables

Se establecieron variables definidas por el usuario, estas variables son las que se enlazan con la programación instituida en el diagrama de contactos del PLC.

Se ha llamado la lógica virtual del PLC contenido en del código HTML a través de un enlace tipo Request.Index.HTML Para el intercambio de datos. Para esto se definió un bloque de ins-

trucción que inicializa el web server del CPU y enlaza la comunicación entre las variables del controlador y las del código HTML.

La figura 2 da una vista completa de la arquitectura del sistema aplicada como solución de implementación, la cual se detalla sus acciones a continuación.

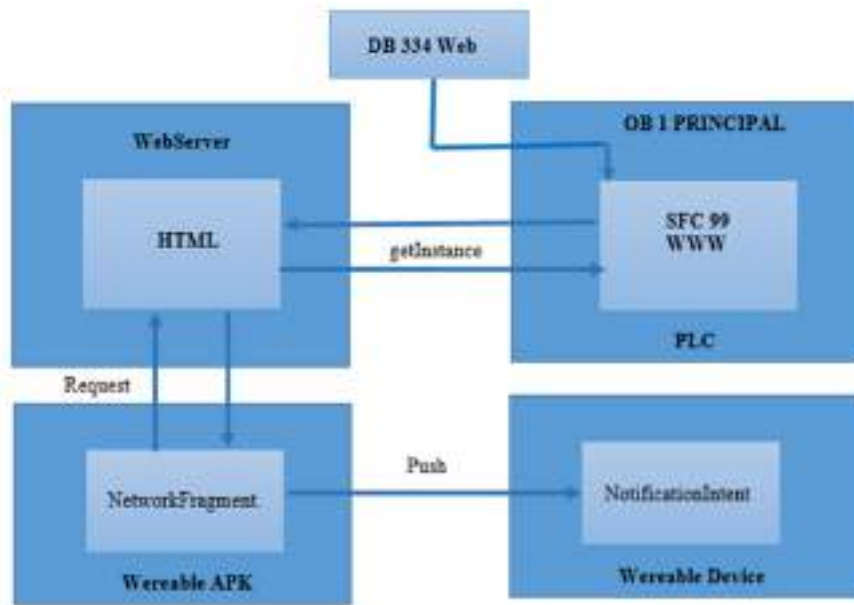


Figura 2. Arquitectura del sistema
Fuente: El Autor

Dentro de la configuración de la CPU del PLC son establecidas las parametrizaciones Ethernet con su dirección IP y las propiedades de servidor web del dispositivo, integrando de esta manera el directorio HTML de la página web definida para funciones de control con el PLC.

Estas parametrizaciones HTML, mostradas en la "TABLA 1", componen la página web que se mostrará como base de información wearable App, esto permite utilizar varias veces las variables configuradas para todos los dispositivos inteligentes incluso las variables asociadas con el código HTML.

Tabla 1. Protocolo de transferencia de hipertexto

HTTP Request HEADER		Value
Accept	=	text/html,application/xhtml+xml,application/xml,*/*'
Accept-Encoding	=	gzip,*/*'
Accept-Language	=	es-ES,*/*'
Connection	=	Keep-Alive, Real_Time', /*/*'
Cookie	=	siemen_ad_session0o6TG-JKK3343267sdf=='
Host	=	192.168.10.1
Referer	=	https://192.168.10.1/awp/Wearable_APK.html'
User_Agent	=	Android 24.0'

Fuente: El Autor

A. Variables de Control de Proceso

Para el caso de aplicación, dentro del proceso de dosificado de polvo, las principales variables del proceso se representan en el dispositivo wearable en tiempo real, permitiendo conocer su valor de estado en el dispositivo portable. La fig.3 muestra la visualización de una variable en el dispositivo.

B. Variables de Puesta en Marcha y Calibración

Las variables de puesta en marcha y calibración definidas para la aplicación Android se entienden como una página web con una sintaxis de comando adicional (comandos AWP) que se puede usar para acceder a un PLC con interfaz Ethernet para la calibración del controlador desde el dispositivo portable.



Figura 3. Visualización de variable en proceso
Fuente: El Autor

Los parámetros de funcionamiento del proceso tanto los establecidos como los reales se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Puesta en marcha y calibración
Fuente: El Autor

A. Notificación Eventos y Alarmas.

Los procesos industriales farmacéuticos que demandan altos estándares de esterilidad e inocuidad en sus operaciones, conocer de una manera rápida y eficaz donde está localizada la falla a través de notificaciones y alarmas permiten actuar dentro de las condiciones de las variables

de proceso críticas a controlar, para que de esta forma se pueda actuar directamente en la causa raíz de la avería. Las notificaciones de alarmas son de prioridad dentro de un proceso para la reducción de tiempo, estas señales llegan al dispositivo wearable, como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Notificación de una alarma
Fuente: El Autor

RESULTADOS

La realización de estas pruebas permitió validar y realizar varios ajustes con respecto a la funcionalidad del sistema implementado, realizando una prueba de la aplicación en el proceso de dosificado de productos inyectables estériles de una industria farmacéutica, donde el operador responsable de la calibración y puesta en marcha del sistema automatizado no se encuentra de manera permanente en el área estéril, debi-

do a que se debe conservar criterios de buenas prácticas de manufactura y mantener la calidad del aire y flujo laminar dentro del área productiva. De suscitarse una falla, el operador debe actuar de manera oportuna para evitar tiempos muertos en la operación, la fig.6 muestra la ruta que normalmente realiza el operador, para el ingreso al área estéril después de cumplir los protocolos de sanidad requeridos.



Figura 6. Ruta de ingreso al área estéril

Para este caso de estudio se diseñó una aplicación para dispositivos wearable que permite la interacción del operador y el sistema PLC operando como HMI wearable. En este estudio el dispositivo wearable con el que el operador interactúa y controla de manera remota que acciones debe llevar a cabo el PLC, mediante la app.

Por medio de un dispositivo wearable con sistema operativo Android, en donde se implementó una aplicación que recibe las ordenes

de control del operador y las envía al sistema de PLC mediante la conexión Ethernet

La Fig.7 muestra el esquema de flujo de la app que permite monitorear y gobernar el estado de las variables del programador en donde se pueden supervisar cualquier bit, byte o palabra deseada sean analógicos o digitales dentro de la app. Así se pueden controlar todos los diagnósticos del PLC directamente en la App con un punto de acceso inalámbrico para cualquier dispositivo móvil.

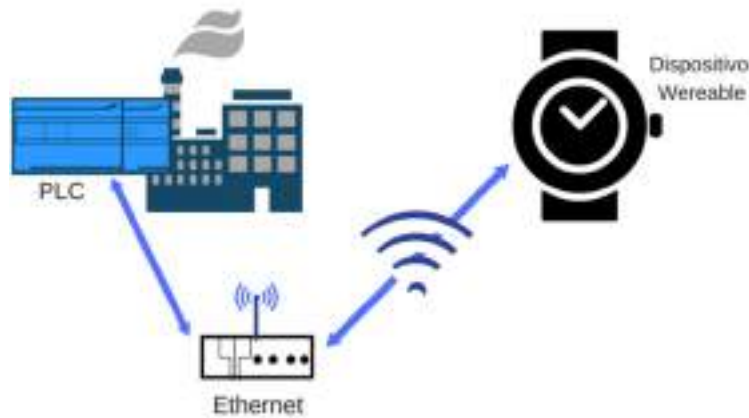


Figura 7. Esquema de flujo
Fuente: El Autor

Para este caso se encuentra viable el proyecto mediante el uso de toda la infraestructura de red de una planta sin componentes de hardware adicionales. Es decir, cada lugar de la planta donde se proporciona un acceso a la red, puede acceder a los controladores respectivos del sistema PLC.

Mediante la utilización del sistema de notificación mediante el uso de un dispositivo HMI

vestible, se pudo conocer el estado del sistema en tiempo real de forma remota a través de la wearable APK, permitiendo al operador reducir el tiempo de evaluación y puesta en marcha del equipo al suscitarse una falla dentro del sistema de automatizado como se muestra en la figura 8; comparativa donde se pudo observar la reducción de tiempo improductivo del proceso de do-



Figura 8. Datos Adquiridos
Fuente: El Autor

La gestión por monitoreo mediante dispositivos *wearables* incide en la disminución de tiempos improductivos del 9,3%, que implica una reducción por gestión oportuna de mantenimiento en el caso de estudio de aplicación en una planta farmacéutica en el proceso de dosificado en una zona estéril que opera de manera autónoma, pero requiere de monitoreo.

Las aplicaciones web integradas han logrado en el caso de estudio reducir 0,42 horas por lote de producción, brindando la capacidad de la evaluación, el diagnóstico y el control de los controladores a grandes distancias o dispositivos portátiles con tecnología Android.

CONCLUSIONES Y ESTUDIOS FUTUROS

En los últimos tiempos, la aparición de dispositivos electrónicos móviles capaces de manejar lenguajes HTML juntamente con la integración de tecnologías de automatización y control de los procesos ha dado lugar a un mayor desarrollo del campo industrial farmacéutico en monitoreo y operación de sus procesos.

Mediante la inclusión de tecnología de la industria 4.0 se ha realizado el control y monitoreo de un sistema PLC mediante una aplicación desarrollada para sistema operativo Android, obteniendo respuestas y un adecuado funcionamiento del sistema. Se ha podido obtener la respuesta del sistema en su monitoreo.

Como estudios futuros se puede desarrollar aplicaciones para los diferentes sistemas operativos de teléfonos inteligentes, para ampliar la

cobertura de la aplicación para iOS. Además, se ha planteado la extensión a la gestión y control de procesos de control finito en piso para plantas industriales con el propósito de que mediante la app se pueda monitorear el avance de las órdenes de producción y gestionar en la planta industrial en tiempo real.

Se puede también extender la aplicación para control y monitoreo de una planta de producción que permita alertar problemas en un proceso de producción y darle gestión oportuna aplicando criterios de Lean Manufacturing (Feld, 2000).

Otro campo aplicable es el estudio de gestión de reportes para procesos que se adapten al tiempo de respuesta que permite una comunicación a través de Ethernet.

REFERENCIAS

- Ag, S. (2014). Servidor web S7-1500 Servidor web. 1-94.
- Aleksy, M., & Rissanen, M. J. (2014). Utilizing wearable computing in industrial service applications. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 5(4), 443-454. <https://doi.org/10.1007/s12652-012-0114-2>
- Android Studio. (s. f.). Conoce Android Studio | Android Developers. Recuperado 3 de febrero de 2018, de <https://developer.android.com/studio/intro/?hl=es-419>
- Cañizares, E., & Valero, F. A. (2018). Analyzing the effects of applying IoT to a metal-mechanical company. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(2), 308-317. <https://doi.org/10.3926/jiem.2526>
- computerhoy. (s. f.). Diseñan un dispositivo wearable que predice los ataques de asma | Life - ComputerHoy.com. Recuperado 7 de enero de 2018, de <https://computerhoy.com/noticias/life/disenan-dispositivo-wearable-que-predice-ataques-asma-45934>
- Digital e Innova. (2017). EJEMPLOS DE DISPOSITIVOS "WEARABLES" | DIGITAL E INNOVA. Recuperado 25 de julio de 2018, de <https://digitaleinnova.wordpress.com/2017/07/09/ejemplos-de-dispositivos-wearables/>
- Feld, W. (2000). Lean Manufacturing. En *Resource Management*: Vol. 20. <https://doi.org/10.1201/9781420025538>
- Harjunkoski, I. (2017). Future of control and operations in the era of industrial internet of things. En *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 40). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50381-0>
- Li, W., & Kara, S. (2017). Methodology for Monitoring Manufacturing Environment by Using Wireless Sensor Networks (WSN) and the Internet of Things (IoT). *Procedia CIRP*, 61, 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.182>
- Luque, J. (2016). Dispositivos y tecnologías wearables. *Acta*, 18.
- Mardonova, M., Choi, Y., Mardonova, M., & Choi, Y. (2018). Review of Wearable Device Technology and Its Applications to the Mining Industry. *Energies*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/en11030547>
- Melo, Y. (2016). Métricas de rendimiento aeróbico. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Pernek, I., Kurillo, G., Stiglic, G., & Bajcsy, R. (2015). Recognizing the intensity of strength training exercises with wearable sensors. *Journal of Biomedical Informatics*, 58, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.09.020>
- Pobes Panisello, A. (1000). Wearable system for the monitoring of physical activity. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88644?show=full>
- Prado, E. (2017). SISTEMA DE GESTIÓN Y CONTROL DE ACCESO BASADO EN IOT Y SMARTPHONES Trabajo Final de Grado Presentado a la facultad de Escola Tècnica d' Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya por Eduardo de Prado Cañal En cumplimi. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rosales, A., Fernández-Ardèvol, M., Comunello, F., Murguía, S., & Ferran-Ferrer, N. (2017). Older people and smartwatches, initial experiences. *El Profesional de la Información*, 26(3), 457. <https://doi.org/10.3145/epi.2017.may.12>
- Siemens. (s. f.). El Futuro de la Industria 4.0 - El Futuro de la Industria - Siemens. Recuperado de https://w5.siemens.com/spain/web/es/el-futuro-de-la-industria/pages/el_futuro_de_la_industria.aspx
- Verma, D. K., Rajhans, G. S., Malik, O. P., & des Tombe, K. (2014). Respirable Dust and Respirable Silica Exposure in Ontario Gold Mines. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11(2), 111-116. <https://doi.org/10.1080/15459624.2013.843784>

MEDICIÓN DE LA CONTAMINACIÓN GENERADA POR LA GASOLINA EXTRA (85 OCTANOS) SÚPER (90 OCTANOS) CON EL USO DE ADITIVOS, USANDO UN SISTEMA DE CÁNISTER.

Ing. José Andrés Beltrán Ruiz,

Mecánica Automotriz, ISTCT,

joseandresbeltran16@gmail.com

Resumen

En la actualidad, en Ecuador debido al alza de precios de combustibles muchos vehículos han dejado de utilizar la gasolina “súper” y la han reemplazado por la gasolina “extra”, sin tomar en cuenta las consecuencias que puede tener en el funcionamiento del vehículo, ni el impacto en el medio ambiente. El objetivo de esta investigación es medir el grado de contaminación que se genera dependiendo del uso de gasolina extra o súper y aditivos de combustibles (ganadores de octanaje). Para el desarrollo del estudio se realizó una investigación de campo, efectuándose los trabajos en un taller automotriz especializado en vehículos a gasolina, además se recopiló información bibliográfica sobre las características de los combustibles.(Lima & Galvez, 2016). El desarrollo del experimento se efectuó con la ayuda de un cánister para el lavado de inyectores y se concluyó que el uso de un ganador de octanaje en la gasolina extra ayuda a mejorar el rendimiento de la misma, generando también un ahorro en cada repostada de combustible, sin embargo, el uso del mismo, más el aditivo, aumenta el porcentaje de contaminantes, mismos que fueron cuantificados usando un analizador de gases.(CHISTIAN, 2012) En el experimento también se probó la eficacia al usar una mezcla de combustibles extra - súper en un porcentaje de 50% cada uno, además se adicionó en la medición de la polución un ganador de octanaje, y el resultado que se obtuvo es que de esta manera aumenta aún más los valores de contaminación(Reyes Martínez, 2016).

Palabras Claves— Contaminación, gasolina extra, gasolina super, ganador de octanaje, detonación

Abstract

Actually, in Ecuador due to the rise in fuel prices, many vehicles have stopped using “super” gasoline and have replaced it with “extra” gasoline, without taking into account the consequences it can have on the operation of the vehicle, nor the impact on the environment. The objective of this research is to measure the degree of pollution that is generated depending on the use of extra or super gasoline and fuel additives (octane winners). For the development of the study, a field investigation was carried out, carrying out the work in an automotive workshop specialized in gasoline vehicles, and bibliographic information was collected on the fuel characteristics. (Lima & Galvez, 2016) The development of the experiment was carried out with the help of a canister for the washing of injectors and it was concluded that the use of an octane winner in the extra gasoline helps to improve the performance of the same, also generating a saving in each refueling, however, the

use of it, plus the additive, increases the percentage of pollutants, which were quantified using a gas analyzer. (CHRISTIAN, 2012) In the experiment was also tested the effectiveness of using an extra-super fuel mixture in a percentage of 50 % each, also an octane winner was added in the pollution measurement, and the result obtained is that in this way it increases to No more pollution values (Reyes Martinez, 2016).

Keywords — Pollution, extra gasoline, super gasoline, octane winner, detonation

INTRODUCCIÓN

“Esta evolución del comportamiento de una parte de la humanidad ha llevado a desembocar, en la actualidad, en una auténtica crisis ambiental o ecológica, caracterizada principalmente por el uso de combustibles fósiles, que han generado un impacto ambiental de alcance global, la dificultad de controlar algunos de los cambios que origina y la posibilidad que nos esté acercando al límite del crecimiento” (Illichia, 2014), por lo que la contaminación ambiental producida por gases de escape es uno de los problemas más grandes a los que la población mundial se enfrenta. En el Ecuador, no se han implementado completamente programas de revisión vehicular, como los hay en la ciudad de Quito (Municipio del distrito metropolitano de Quito, 2007). En la actualidad sólo en las ciudades más grandes existen programas de control del estado vehicular y de emisiones, siendo el Ecuador un país con mucha biodiversidad es importante que se cuide el medio ambiente, con un control de emisiones de los gases de escape, tomando en cuenta que de esta manera se puede mejorar la calidad del aire en las grandes urbes (Meneces, n.d.).

En países como México se han empleado soluciones como la de mezclar las gasolinas denominadas magna y premium (extra y súper) con etanol, siendo este elemento usado hasta en un 15% del total del volumen, sin embargo, este tipo de experimentos han demostrado que el poder calorífico del combustible descien-

de, lo que conllevaría a un mayor consumo de este para poder generar la misma cantidad de trabajo. (Castillo, Mendoza, & Caballero, 2012) la problemática ambiental y las importaciones de combustibles continuamente a la alza, han ocasionado que algunos países redirijan sus esfuerzos al desarrollo de biocombustibles con la finalidad de sustituir parcialmente a los combustibles fósiles. El Etanol es uno de los biocombustibles más usados; Estados Unidos, Brasil y Australia comercializan gasolina con Etanol con una concentración de hasta 85% en volumen. El presente trabajo muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica de mezclas comerciales de gasolina (Magna y Premium).

Realmente, la gasolina, es una mezcla de cientos de hidrocarburos destilados del petróleo para que los motores de combustión interna, puedan funcionar, en España la primera gasolina contenía plomo como aditivo elevador de octanaje y era de 85 octanos. Posteriormente, en la década de los 80 se aumentó el octanaje de la gasolina convencional a 91 octanos y surgió la conocida como gasolina súper esto debido al aumento de la relación de compresión en los motores, que además de contener plomo era de 97 octanos. No fue hasta el año 89 que se comercializó aquí la primera gasolina sin plomo tanto en formato de 95 como de 98, y tuvo tanto éxito que la que sí lo contenía comenzó a desaparecer. (Reyes Martínez, 2016).

Según la norma "INEN NTE INEN 2204, que explica la gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan gasolina", indica los parámetros permitidos de contaminación por vehículos que usan gasolina (INEN, 2017). En un estudio realizado por la Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleos del Ecuador (Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleos del Ecuador (Camddepe), 2012) se dice que en la actualidad se ha visto un notable incremento en el uso de la gasolina extra desde el año 2012, en donde hubo una mejoría en la calidad de los combustibles, pasando de 81 a 87 octanos, mejorando así su capacidad anti detonante. Sin embargo, en la actualidad esa calidad ha disminuido en 2 puntos, teniendo la gasolina súper una diferencia no muy significativa (Cajisaca, Rafael, Uzhca, & Gustavo, 2010), 90 octanos, por lo que su uso se ha reducido del 13,8% de participación en el mercado en 2012 al 5,2% en la actualidad, esto se debe también al aumen-

to en su valor de comercialización, que paso de \$2,00 dólares hasta llegar a \$2,98 dólares, siendo un incremento de prácticamente el 50% (Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleos del Ecuador Camddepe, 2012). Por estos motivos, en la actualidad muchos conductores usan únicamente gasolina extra y un pequeño grupo usa la mezcla de las dos gasolinas y en varios casos pueden adicionar un aditivo al combustible (Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleos del Ecuador (Camddepe), 2012).

En el caso de la investigación se usó un aditivo ganador de octanaje de marca Qualco R1, que es un producto proveniente de derivados 100% biodegradables y naturales, que al ser adicionado a la gasolina permite elevar el índice de octanos y, por consiguiente, mejora la potencia del motor. (Octanaje, n.d.)

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de contaminación con el uso de estos combustibles o mezclas, se rigen a los valores de INEN y de la Revisión técnica vehicular.

Tabla 1. Valores permitidos en la Revisión Técnica Vehicular.

UMBRAL DE MEDICIÓN DE GASES							
GASES	RPM	AÑO	CALIFICACIONES (TIPO 1-2-3-4)				UNIDADES
HC	ALTAS	>2000	0-160	160-180	180-200	>200	ppm
	BAJAS		0-161	160-181	180-201	>201	
CO	ALTAS	>2000	0-0,6	0,6-0,8	0,8-1	>1	%
	BAJAS		0-0,7	0,6-0,9	0,8-2	>2	
O ₂	ALTAS	>2000	0-3	3-4	4-5	>5	%
	BAJAS		0-4	3-5	4-6	>6	

Fuente: Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito

METODOLOGÍA

En el presente estudio se utilizó la metodología de campo realizada en el taller “Mecánica Europea” ubicado en el sector norte de la ciudad de Quito. También se realizó el estudio bibliográfico en las normas INEN del Ecuador y de la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito. (INEN, 2017)

El Procedimiento para el análisis de gases se realizó de la siguiente manera:

- Para realizar el análisis de gases de una manera adecuada, controlando al 100% el tipo de combustible que ingresa en el motor y sin necesidad de sacar el tanque de combustible, se usó un sistema de cánister, empleado también para la limpieza de los inyectores, sin necesidad de desmontarlos, este sistema incluye un tanque reservorio que trabaja con presión de aire y que reemplaza al tanque de combustible del automóvil.



Figura 1. Sistema de Cánister
Fuente: El Autor

- En el análisis de los gases de escape es necesario que el motor se encuentre encendido y en su temperatura óptima (90° C) de funcionamiento, además cabe aclarar que en las mediciones efectuadas el combustible no pasa por el sistema de filtrado del vehículo, ya que este filtro no afecta la química del combustible.

- Para enviar el combustible, se deben desconectar todas las cañerías de ingreso del mismo hacia el riel de inyección. Dichas cañerías son reemplazadas con las conexiones del cánister, tanto los conductos de suministro como de retorno de combustible.



Figura 2. Vehículo de prueba
Fuente: El Autor

- Se coloca mediante un acople rápido presión de aire (entre 40 psi y 65 psi), proveniente de un compresor de aire al sistema cánister que ayudará a mantener la presión en el riel durante el funcionamiento del motor.
- En el tanque reservorio del cánister se coloca 100 cc del combustible (extra o súper), mezcla de combustibles (extra 50% súper 50%) o mezcla de combustibles (extra 50% súper 50% y ganador de octanaje) y aditivos que se va a analizar.
- Se conecta el analizador de gases en la zona interna del escape, procurando realizar un cierre en la salida de los gases, tomando las medidas de seguridad necesarias y con el equipo de protección personal adecuado, ya que esta salida va a estar a elevada temperatura.
- Se enciende el motor, en caso de que sea necesario el arranque darse por un periodo más extenso que lo normal, puesto que en ocasiones la presión del riel de inyección desciende y es necesario que esta llegue al valor dado por el fabricante.
- Una vez encendido el motor, este hará uso del combustible que se encuentra en el sistema cánister, el tiempo en que el motor se encuentre encendido va a depender de la aceleración que se le dé al mismo y del tamaño o cilindrada del motor, que, para el caso del experimento, las mediciones se hicieron en ralentí (900 rpm) y en medias revoluciones (2700 rpm), la duración del combustible en el reservorio fue de aproximadamente 7 minutos, incluyendo el tiempo en que el motor se apagó por completo.
- Este proceso se repitió con cada una de las pruebas que realizaron.

RESULTADOS

En la Revisión Técnica Vehicular, existen cuatro tipos de calificaciones, siendo el primero el ideal en cuanto a contaminación se refiere y el número 3 el máximo permitido para la circulación de un automotor, por lo que se puede evidenciar

que en el caso de la investigación realizada es muy importante el estado mecánico técnico del automotor en el que se realiza el análisis, puesto que no presenta problemas ni calificaciones que excedan los parámetros de dicha revisión.



Figura 3. Sistema cánister de limpieza instalado
Fuente: Autor

A continuación, se presentan las tablas de cada una de las mediciones realizadas con los diferentes combustibles empleados y sus aditivos, usando el sistema de cánister para la limpieza de inyectores.

Tabla 2. Medición 1: Extra (85 octanos)

AVEO EMOT.	HC(ppm)	CO(%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	LAMBDA (λ)
RALENTÍ	8	0.02	14,150	0,990	1,048
ALTAS	12	0.15	14,150	0,990	1,048

Fuente: El Autor

Tabla 3. Medición 2: Extra (85 octanos) y ganador de octanaje

AVEO EMOT.	HC(ppm)	CO(%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	LAMBDA (λ)
RALENTÍ	7	0,050	14,270	0,710	1,033
ALTAS	8	0,080	14,520	0,890	1,038

Fuente: El Autor

Tabla 4. Medición 3: Extra (85 octanos) y súper (90 octanos)

AVEO EMOT.	HC(ppm)	CO(%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	LAMBDA (λ)
RALENTÍ	6	0,052	14,290	0,790	1,037
ALTAS	11	0,193	14,540	0,490	1,021

Fuente: El Autor

Tabla 5. Medición 4: Súper (90 octanos)

AVEO EMOT.	HC(ppm)	CO(%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	LAMBDA (λ)
RALENTÍ	6	0,053	142,300	0,930	1,044
ALTAS	9	0,092	14,640	0,460	1,020

Fuente: El Autor

Tabla 6. Medición 5: Súper (90 octanos) y ganador de octanaje

AVEO EMOT.	HC(ppm)	CO(%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	LAMBDA (λ)
RALENTÍ	7	0,063	142,300	0,880	1,041
ALTAS	15	0,636	14,240	1,500	1,062

Fuente: El Autor

Tabla 7. Medición 6: Súper (90 octanos), extra (85 octanos) y ganador de octanaje

AVEO EMOT.	HC(ppm)	CO(%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	LAMBDA (λ)
RALENTÍ	6	0,052	14,270	0,980	1,046
ALTAS	6	0,020	14,740	0,480	1,022

Fuente: El Autor



Figura 4. Medición del combustible que ingresará en el sistema cánister

Fuente: El Autor

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para lograr la obtención de los resultados se usó la investigación de campo, que combinada con la investigación bibliográfica permitió determinar que la gasolina que menos contamina es la extra mezclada con ganador de octanaje, siendo sus niveles de contaminación menores inclusive que los de la gasolina súper.

Comparación de valores en ralentí o bajas rpm

Tabla 8. Comparación de resultados en ralentí

BAJAS	VALOR AMT	EXTRA	SUPER	MEZCLA	EXTRA +ADITIVO	SUPER	MEZCLA +ADITIVO
HC ppm	0-161	8	6	6	7	7	6
CO %	0-0,7	0.02	0,053	0,052	0,050	0,063	0,052
O ₂ %	0-4	0,990	0,930	0,790	0,710	0,880	0,980

Fuente: El Autor

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la opción que menos contaminación genera es la gasolina extra (85 octanos) mezclada con ganador de octanaje, siendo los valores de esta mezcla incluso más bajos que los de la gasolina súper, además de que el cargar combustible de esta manera va a permitir un ahorro significativo al tratarse de varios galones de combustible.

Tabla 8. Comparación de resultados en altas rpm

ALTAS	VALOR AMT	EXTRA	SUPER	MEZCLA	EXTRA +ADITIVO	SUPER +ADITIVO	MEZCLA +ADITIVO
HC ppm	0-160	12	9	11	8	15	6
CO %	0-0,6	0,15	0,092	0,193	0,080	0,636	0,020
O ₂ %	0-3	0,990	0,460	0,490	0,890	1,500	0,480

Fuente: El Autor

En el caso de la gasolina extra y mezcla con ganador de octanaje en altas rpm, también se puede apreciar que los valores de contaminación son bajos, únicamente se encuentra una elevación en el caso del O₂, sin embargo el valor es de 0.890 y el valor máximo debería ser de 4, por lo que existe un muy extenso margen, cabe destacar también que se han tomado los datos de la calificación del tipo 1 de la revisión Técnica Vehicular, siendo estos los valores de contaminación más bajos permisibles.

CONCLUSIONES

- En el análisis de la gasolina extra de (85 octanos) más un elevador de octanaje (R-1) ayuda a mejorar su rendimiento y disminuye la cantidad de emisiones generadas por el motor hacia el medio ambiente, en comparación con la gasolina extra de (85 octanos).
- En caso de no usar aditivos en el combustible, la gasolina extra es la que menos emisiones contaminantes genera, por lo que su uso sería el más recomendado.
- En muchos casos se realiza mezclas de combustibles para tratar de abaratar el costo de cada repostada, sin embargo, esta práctica es la que más genera polución al medio ambiente.
- Para el desarrollo de esta investigación se tomó como referencia los valores de la Revisión técnica Vehicular, siendo inclusive reducidos a la calificación de nivel 1, la más baja, pese a esta exigencia se pudo determinar que sí se cumplen con los parámetros mínimos de polución.
- El estado mecánico y la correcta puesta a punto del motor influye en los gases contaminantes que éste emite, además, se debe usar el aceite de la viscosidad adecuada y verificar que no existan obstrucciones en el filtro de aire, lo que garantizará no sólo bajas emisiones sino un mejor desempeño del vehículo.
- En el caso de la presente investigación se usó el Ganador de Octanaje R1 de Qualco, siendo este ganador de octanaje el más económico y común encontrado en la mayoría de gasolineras visitadas.

RECOMENDACIONES

- En motores actuales es importante seguir las recomendaciones del fabricante, ya que este determina los valores mínimos de octanaje necesarios para que un motor funcione y en la actualidad la mayoría de motores a gasolina son de elevada relación de compresión, por lo que estaría pendiente aún ver el resultado a largo plazo usando la mezcla de gasolina extra y ganador de octanaje.
- Pese a que la química de las gasolinas es la misma en el caso de la gasolina extra y súper, se pudo determinar que no es conveniente realizar mezclas ya que la polución generada es mayor que usando un solo tipo de combustible.
- En el caso de las provincias del Ecuador donde se comercializa la gasolina ecopais, que está compuesta por etanol, también podría ser motivo de estudio ya que, pese a que este combustible tiene un valor de octanaje superior al de la gasolina extra, su poder calorífico es inferior por lo que al necesitarse mayor cantidad de combustible se podría estar produciendo un mayor número de subproductos contaminantes.
- Las mediciones que se realizaron con el ganador de octanaje pueden variar si es que se cambia la marca del Ganador de octanaje, ya que la química de este producto puede afectar en el momento de la combustión.

BIBLIOGRAFÍA

Cajisaca, E., Rafael, F., Uzhca, Ñ., & Gustavo, P. (2010). Incidencia del tipo de gasolinas, aditivos y equipos optimizadores de combustible comercializados en la ciudad de Cuenca, sobre las emisiones contaminantes emitidas al aire.

Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleos del Ecuador (Camddepe). (2012). CAMDDEPE - Sitio Web Oficial. Retrieved February 20, 2019, from <http://camddepe.ec/index.html>

Castillo, H. P., Mendoza, D. A., & Caballero, M. P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol Analysis of Physicochemical Properties of Mexican Gasoline and Diesel Reformulated with Ethanol. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIII(número 3), 293-306.

CHRISTIAN, A. (2012). República del Ecuador universidad estatal de milagro.

Illichia, M. (2014). La contaminación del medio ambiente provocado por los vehículos a motor por la emisión de monóxido de carbono y su incidencia en la ciudad de Quito.

INEN. (2017). Norma NTE INEN 2204 (Segunda; INEN, Ed.). Retrieved from <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar>

Lima, B. A., & Galvez, E. (2016). Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de los ciclos de conducción. 62.

Meneces, D. N. (n.d.). ENSAYO SOBRE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL INTRODUCCIÓN. Retrieved from https://www.academia.edu/4880869/ENSAYO_SOBRE_LA_CONTAMINACION_AMBIENTAL_INTRODUCCION

Municipio del distrito metropolitano de Quito. (2007). Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito - Derecho Ambiental Ecuador Sudamerica. Retrieved March 28, 2019, from 5 de abril website: <http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/Ordenanza-213-Distrito-Metropolitano-Quito.html>

Octanaje, E. D. E. (n.d.). Ficha técnica.

Reyes Martínez, O. (2016). La demanda de gasolinas y sus impactos en el medio ambiente en España. TDX (Tesis Doctorals En Xarxa). Retrieved from <https://www.tesis-enred.net/handle/10803/400378>

SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE ORIENTADO A INDUSTRIA 4.0

**David Trajano Basantes Montero¹,
Sylvia Nathaly Rea Minango²,
Daniel Isaías Barzallo Núñez¹**

dtbasantesm@gmail.com,snrea@outlook.com, dibarzallon@gmail.com

¹Instituto Superior Tecnológico Central Técnico

²Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Resumen

Actualmente la competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, presenta un reto para las empresas, sobretodo de manufactura, pues se ven forzadas a reconfigurar sus procesos para el creciente mercado de productos personalizados. La industria 4.0 y la manufactura generan una transformación, en la que las tecnologías tanto de fabricación como de la información se han integrado para crear eficientes sistemas de producción, gestión y formas de hacer negocios. Esta investigación tiene como objetivo analizar la influencia de las herramientas tecnológicas orientadas a Industria 4.0 en el incremento de la flexibilidad de un sistema de manufactura de forma aplicada, implementando sistemas de integración vertical y horizontal, análisis de datos, nube y simulación en sistemas de producción modular para la obtención de datos. Se determinó la flexibilidad alcanzada en función a los parámetros de un sistema de manufactura flexible: variedad de partes, cambio de programación, recuperación de errores y nuevas partes, permitiendo automatizar los procesos de fabricación, así como atender de forma oportuna las necesidades del mercado, promoviendo el crecimiento de la industria nacional en conceptos de flexibilidad e Industria 4.0 aplicada.

Palabras Claves— Manufactura, Flexibilidad, Industria 4.0, Redes Industriales, Interfaz Hombre Maquina, Sistemas de producción modular.

Abstract

Currently, global competition, development technological and innovation present a challenge for companies, above all for manufacturing, as they are forced to reconfigure their processes for the growing market of personalized products. Industry 4.0 and manufacturing generates a transformation, in which both manufacturing and information technologies have been integrated to create efficient systems of production, management and ways of doing business. The objective of their search is to analyze the influence of technological tools oriented to Industry 4.0 in their crease of the flexibility of a manufacturing system applied, implementing vertical and horizontal system integration, data analysis, cloud and simulation in production systems modular for obtaining data. The flexibility reached was determined according to the parameters of a flexible manufacturing system: variety of parts, programming change, error recovery and new parts, allowing to automate the process manufacturing, as well as to attend in a timely manner the market needs, promoting the growth of the national industry in concepts of flexibility and applied Industry 4.0.

Keywords — Manufacturing, Flexibility, Industry 4.0, Industrial Networks, Man Machine Interface, Modular production systems.

INTRODUCCIÓN

Los conceptos de la Industria 4.0 actualmente desafían a las empresas de fabricación en varias divisiones, tales como compras, producción, logística, ventas y recursos humanos. Los recientes avances en la industria manufacturera permiten que la información de todas las perspectivas relacionadas, se monitoreen de cerca y se sincronicen entre el nivel físico de la fábrica y el espacio cibernético computacional. Además, al utilizar el análisis avanzado de la información, las máquinas en red podrán rendir de manera más eficiente y colaborativa. Dicha tendencia está transformando la industria manufacturera a la siguiente generación, es decir, la Industria 4.0. (Lee, Bagheri, & Kao, 2015)

La automatización tendrá efectos de amplio espectro en todas partes y sectores, aunque es un fenómeno global, cuatro economías (China, India, Japón y los EE.UU.) representan un poco más de la mitad del total de salarios y casi dos tercios del número de empleados asociados con actividades que son automatizables si se adaptan las tecnologías probadas en la actualidad. (Manyika, y otros, 2017)

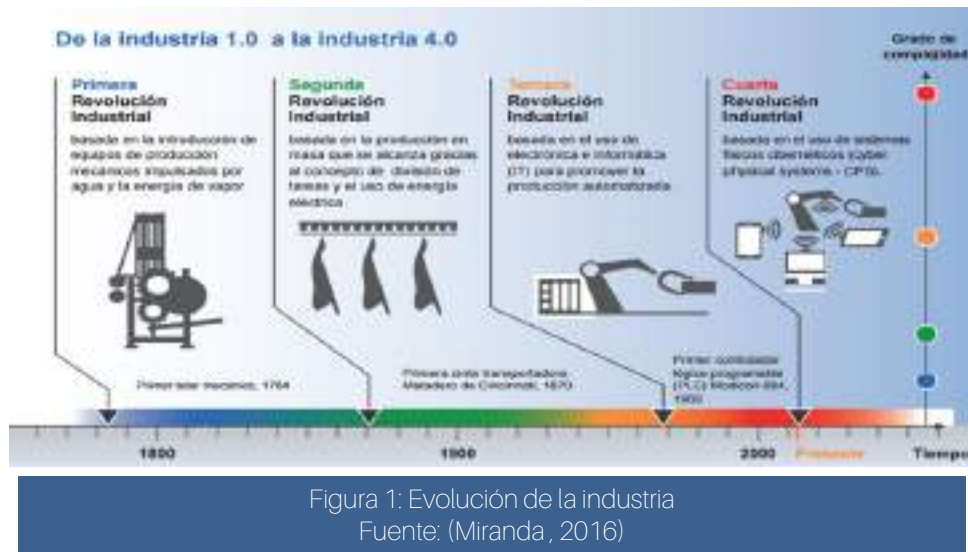
En América Latina el 60% de los trabajos son susceptibles de automatizar, en Ecuador un 49% de los procesos manuales son susceptibles de ser reemplazadas por alta tecnología. (Banco Mundial, 2016) La producción industrial actual se enfrenta a muchos desafíos críticos ya que los usuarios finales requieren continuamente productos altamente personalizados en pequeños lotes. (Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016)

Ecuador ocupa el puesto número 60 del mundo en función del producto industrial, siendo la octava economía industrial de América

Latina. “El nivel de automatización que presentan las industrias, es en accionamiento manual 48%, semiautomático 27%, automático 18%, y computarizado con 7%. Los resultados presentados dan a conocer el bajo nivel de tecnología que está presente en las PYMES” (Sánchez & Pizarro, 2010, pág. 1) dejando a un lado la integración vertical de varios componentes para implementar un sistema de fabricación flexible y reconfigurable es decir una fábrica inteligente. En industrias de altos niveles de producción por la gran demanda, estos métodos se tornan ineficientes generando productos de mala calidad, poco confiables y aumentado su costo.

El sector industrial ecuatoriano se caracteriza por una presencia predominante de ramas intensivas en recursos naturales y trabajo, y menor presencia de ramas intensivas en ingeniería. Hacia el año 2013, los sectores intensivos en ingeniería explicaban algo menos del 10% del empleo y del valor agregado industrial. Por su parte, las ramas intensivas en trabajo concentraban el 41% del empleo, y el 17% del valor agregado manufacturero. El papel central lo ocupan las ramas intensivas en recursos naturales que explicaban en 2013 casi la mitad del empleo industrial, y el 73% del valor agregado sectorial. (Garzón, Kulfas, Palacios, & Tamayo, 2016)

El término Industria 4.0 se refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación apoyado y hecho posible por las tecnologías de la información. El Gobierno alemán ha propuesto y adoptado una iniciativa estratégica denominada “Industrie 4.0” como parte del “Plan de Acción de la Estrategia de Alta Tecnología 2020”.



En esta transformación de las empresas, los sensores, las máquinas, las piezas de trabajo y los sistemas de TI tecnologías de la información, pueden interactuar entre sí para obtener previsiones más fiables, poder configurarse ellos mismos, y adaptarse a los cambios (Gerbert, y otros, 2015). En la Figura 1 se muestra una línea de tiempo con la evolución que ha tenido la industria.

DESARROLLO

El proyecto tuvo un enfoque cuantitativo, porque se manipuló un número de técnicas de Industria 4.0 para ejercer control sobre ellas y obtener datos cuantificables para verificar su influencia sobre la flexibilidad a través de sistemas de producción modular. Estos datos provienen del análisis de los parámetros de un sistema flexible. La Figura 2 muestra gráficamente la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación. Tomando en cuenta el funcionamiento base de cada sistema de producción modular, se generó una ficha de observación que se muestra en la Tabla 1.

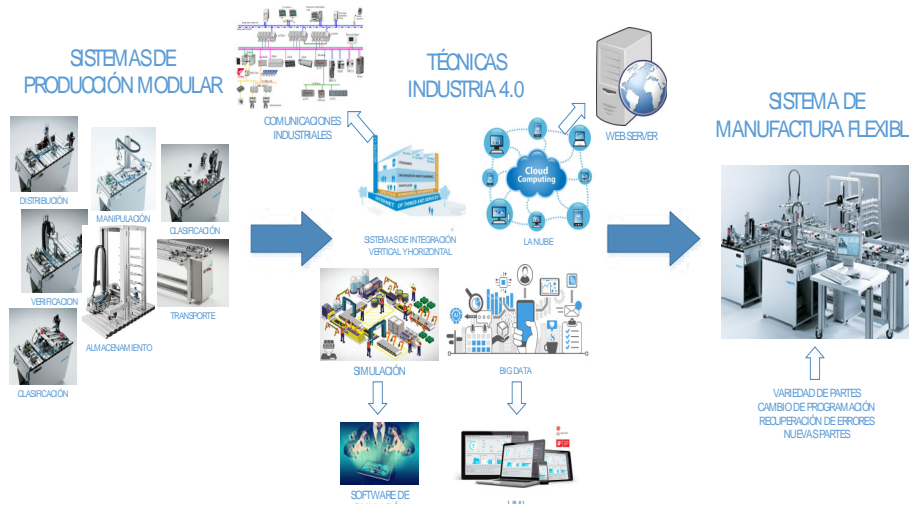


Figura2: Metodología para resolver la problemática
Fuente: El Autor

Tabla 1: Ficha de observación del sistema de manufactura modelo

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA DE MANUFACTURA MODELO					
ESTACIONES PARÁMETRO	MERCANCÍAS ENTRANTES	PROCESO	ALMACÉN	MERCANCÍAS SALIENTES	TRANSPORTE
Porcentaje actual de funcionamiento	35%	5%	5%	27.5%	5%
Mantenimiento y Calibración	Sensores magnéticos, ópticos capacitivos, resistivos análogos y presostatos.	Finales de carrera, sensores magnéticos, ópticos capacitivos e inductivos	Finales de carrera, sensores magnéticos y encoders.	Sensores magnéticos, ópticos capacitivos e inductivos	Sensores magnéticos ópticos de barrera e inductivos.
Red nivel campo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Red AS-interface no funcional
Red nivel célula	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional	Red ProfibusDP no funcional
Variedad de producción	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto	No se puede determinar pues no genera ningún tipo de producto

Fuente: El Autor

Según los parámetros de flexibilidad establecidos, se determina la siguiente situación actual del sistema en la Figura 3.

Porcentaje Logrado	Funcionamiento del sistema	Daño presente del sistema	Variedad de partes	Cambio de programación	Recuperación de errores	Nuevas partes
Distribución	50%	1%	0%	20%	0%	0%
Verificación	20%	20%	0%	10%	0%	0%
Manipulación	5%	1%	0%	5%	0%	0%
Maquinado	5%	1%	0%	5%	0%	0%

Fuente: El Autor

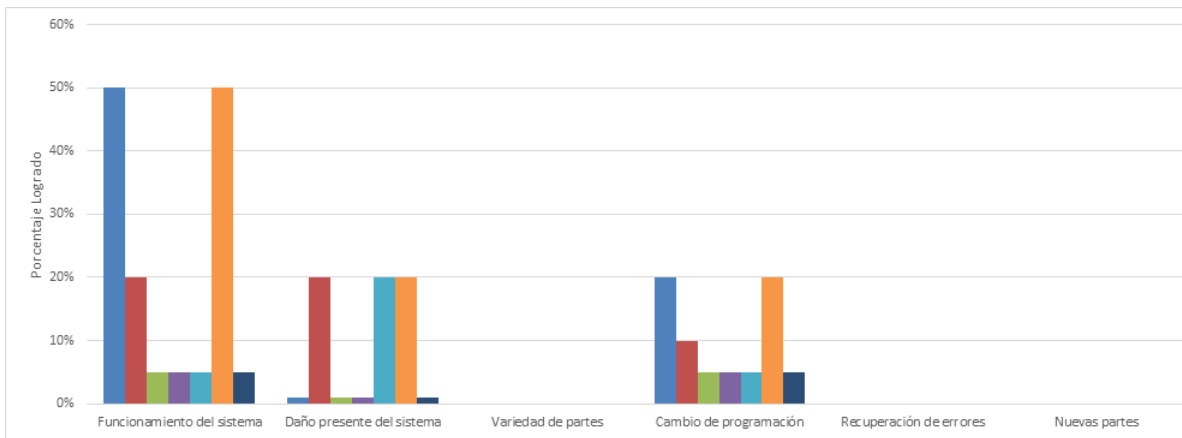


Figura 3: Análisis situación inicial
Fuente: El Autor

Integración Horizontal y Vertical del sistema

La integración horizontal y vertical del sistema de manufactura modelo como parte de las tecnologías de Industria 4.0 aplicables, se logró a través de la implementación de comunicaciones industriales tales como Bus AS-I, ProfibusDP, Industrial Ethernet, Profinet tal como se muestra en la Figura 4.

Análisis de datos

Para realizar un análisis de datos orientado a Big Data se desarrolló una interfaz humana máquina desde la cual se obtiene el control y visualización de las principales tareas de cada estación MPS, así como los datos de producción necesarios indicado en la Figura 5.

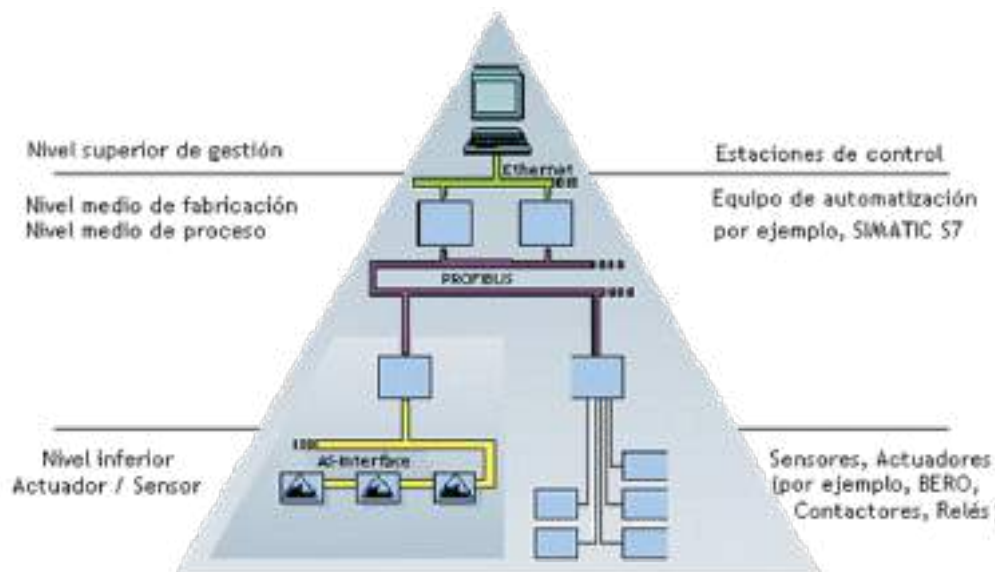


Figura 4: Diferentes niveles de comunicación industrial
Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

La Nube

Como parte de la investigación se propuso integrar tecnologías Industria 4.0, siendo la nube una de las funciones que mejor se acopla al desarrollo del sistema de manufactura modelo, se optó por el desarrollo de una aplicación web en la plataforma de nube GoDaddy dedicada a pequeñas empresas independientes que cuenta con más de 18 millones de clientes en todo el mundo y la gestión de más de 77 millones de nombres de dominio.

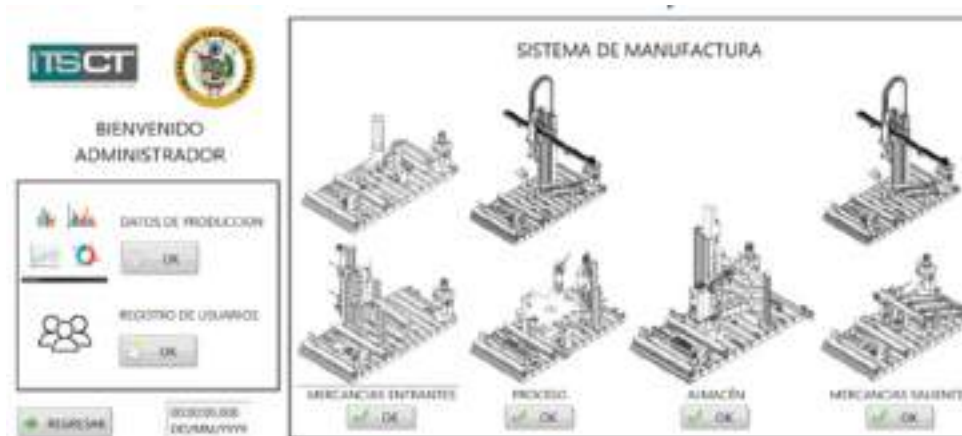


Figura 5: Ventana del administrador HMI
Fuente: El Autor

Simulación

Una de las técnicas orientadas a Industria 4.0 es el uso de estos sistemas de simulación en este caso el personal directamente relacionado con la operación del sistema de manufactura modelo puede obtener una visión generalizada del funcionamiento de cada una de las estaciones consideradas. El software Ciros de Festo es una poderosa herramienta de desarrollo industrial de simulación 3D para automatización de procesos y fábricas, proporciona entre sus ejemplos prácticos el entorno simulado de un sistema de manufactura MPS 507-FMS válido como simulación de nuestro sistema de manufactura modelo implementado.



Figura 6: Simulación sistema de manufactura
Fuente: Ciros

RESULTADOS

Las pruebas se desarrollaron tomando en cuenta dos fases importantes del proyecto, en primera instancia se verificó el funcionamiento base previamente establecido de cada uno de los MPS y su parcial integración analizando la capacidad de flexibilidad del sistema, para

después en función de las técnicas de Industria 4.0: Integración Horizontal y Vertical, Big Data, La Nube y Simulación aplicadas determinar el incremento de flexibilidad alcanzado según los parámetros establecidos del sistema de manufactura modelo.

Fase 1:

Posterior al análisis de la situación inicial, el mantenimiento realizado, el levantamiento de planos y diagramas, la configuración y programación base implementada en los sistemas MPS se determina el funcionamiento del sistema de manufactura en base al análisis de los parámetros de flexibilidad.

Análisis de variedad de partes

Debido a la implementación base del sistema solo es posible contar con un tipo de variedad de cilindros debido a la configuración inicial implementada de tal manera que:

- Tipo de material: Único
- Tamaño: Único

La estación de maquinado obedece órdenes del operador siendo necesario la implementación de un lazo de control descrito a continuación:

- Tipo de maquinado: Único

Por último, la estación de clasificación no cuenta con el siguiente sistema de control necesario para clasificar los colores de los cilindros

- Color: Único

Cambio de programación:

No existe ningún tipo de red a nivel célula por ende la falta de comunicación horizontal entre estaciones de producción impide que el sistema de manufactura soporte cambios de programación, el sistema no puede reconfigurarse automáticamente.

Recuperación de errores:

Ya que el sistema de manufactura base implementado no posee una comunicación vertical entre niveles de producción tampoco una interfaz humana máquina de control y supervisión no se puede establecer alarmas de error para que el operador pueda actuar según sea el caso.

Nuevas partes:

Debido a la falta de tecnologías de la información implementadas y el nulo análisis de producción para el posible mercado faculta la imposibilidad e innecesaria acción de introducir nuevos diseños a los existentes.

Fase 2:

A continuación de la fase uno y el análisis de los resultados obtenidos, se implementan las tecnologías orientadas a Industria 4.0 en el sistema de manufactura modelo y se determina su flexibilidad ante los parámetros establecidos obteniendo los siguientes resultados.

Análisis de variedad de partes

Tras la implementación de los sistemas de control necesarios y M2M *Machine-to-machine communication* como parte de las tecnologías orientadas a Industria 4.0 dentro de la integración horizontal y vertical implantada en el sistema de manufactura modelo específicamente brindado la comunicación necesaria a las estaciones de producción a través de la red Profibus, se logra que en función de los requerimientos del operador el sistema pueda producir nueve variedades de cilindros.

Tabla2: Variedad de partes

TAMAÑO	MATERIAL	MAQUINADO	COLOR
Grande	Plástico	Martillado	Rojo
		Taladrado	Rojo
		Martillado/taladrado	Rojo
	METÁLICO	Martillado	Plata
		Taladrado	Plata
		Martillado/taladrado	Plata
Pequeño	Plástico	Martillado	Negro
		Taladrado	Negro
		Martillado/taladrado	Negro

Fuente: El Autor



Figura 7: Cilindros maquinados



Figura 8: Cilindros clasificados por color

Figura 9: Cilindros clasificados por tamaño

Fuente: El Autor

Cambio de programación:

En base a M2M y HMI implantados en el sistema de manufactura modelo a través de las redes AS-i, Profibus, Profinet, y Ethernet Industrial es posible cambiar la programación en función de los requerimientos del operador por medio de la interfaz de control. Desde la perspectiva del operador se establece la facilidad requerida para que los sistemas sean puestos en marcha o paro y brinden toda la información pertinente en cuanto a producción se refiere para determinar el cambio de la programación de producción en función a la variedad de partes analizada.

Recuperación de errores:

Con la implantación del HMI el operador tiene a su disposición alarmas ante las posibles fallas o errores que se puedan suscitar en el sistema para actuar según corresponda con la posibilidad de parar y aislar del proceso el sistema afectado. La capacidad de recuperación de errores brindada por el cambio de programación susceptible es uno de los parámetros más importantes en cuanto a nivel de flexibilidad se refiere.

Nuevas partes:

Por último, la necesidad de introducir nuevas partes está estrechamente vinculada con el análisis de datos de producción generado por medio de la integración del sistema de manufactura modelo, así como el acceso en tiempo real de dichos datos a través de la nube. El sistema actualmente brinda esa posibilidad de forma eficiente. Sin olvidar la importancia de un análisis previo de factibilidad en cuanto a nuevas partes fabricadas a través del uso de sistemas de simulación en específico el presentado anteriormente con el que cuenta el sistema de manufactura modelo.

Es importante destacar que el sistema de manufactura modelo fue sometido a varias pruebas antes de la obtención de los resultados presentados, los niveles de flexibilidad se establecen en comparación a una programación base implantada siguiendo la línea de fabricación de un único producto, no obstante, el objetivo establecido se enfoca directamente en el impacto que el desarrollo y aplicación de tecnologías orientadas a Industria 4.0 generó en el sistema. En resumen, el análisis de flexibilidad del sistema de manufactura se presenta a continuación:

Tabla 3: Resumen pruebas

	VARIEDAD DE PARTES	RESULTADO	TECNOLOGÍAS INDUSTRIA 4.0
FASE 1	VARIEDAD DE PARTES	11%	NA
	CAMBIO DE PROGRAMACIÓN	NO	NA
	RECUPERACIÓN DE ERRORES	NO	NA
	NUEVAS PARTES	NO	NA
FASE 2	VARIEDAD DE PARTES	100%	Integración vertical y horizontal de sistemas
	CAMBIO DE PROGRAMACIÓN	SI	Interfaz humano máquina
	RECUPERACIÓN DE ERRORES	SI	Integración vertical y horizontal de sistemas, Interfaz humano máquina
	NUEVAS PARTES	SI	Análisis de datos, la nube, simulación



Figura 10: Sistema de manufactura
Fuente: El Autor

CONCLUSIONES

Haber alcanzado un nivel de capacidad en cuanto a variedad de partes del 100% en comparación al 11% inicial con la integración horizontal y vertical del sistema determina que dicha tecnología es fundamental para cumplir uno de los parámetros de flexibilidad establecidos, el resto de parámetros al ser netamente cualitativos sus resultados se expresan en niveles de cumplimiento y facilidad de aplicación, a través de la interfaz humano máquina, la cual brinda la capacidad de controlar todo el sistema desde un dispositivo en este caso una PC, más todos los datos adquiridos generados por cada estación, cada área y cada sensor desde los niveles de oficina, de planta de célula y campo respectivamente integra totalmente el sistema enfocado en la factibilidad de cambios de programación y recuperación de errores.

Al determinar los elementos que interviene en el sistema se habla de un total de 50 actuadores entre indicadores, válvulas, salidas parametrizadas y motores. Por otra parte, un total de 150 señales de entrada de presostatos, sensores magnéticos, ópticos, inductivos, capacitivos, encoders, pulsadores, selectores y entradas parametrizadas que sin el manejo adecuado a través de la adquisición de datos implantada su

control, visualización análisis y registro no sería posible, esto fundamenta la relativa facilidad con la que un cambio de programación es factible, incluso detección inmediata de fallas.

El análisis de nuevas partes a ser introducidas será determinado gracias al uso de herramientas de simulación propuestas, ya que el ahorro sustancial en temas de implementación para determinar la factibilidad de nuevas partes producidas constituye el principal factor de análisis.

Se determinó la influencia de las herramientas tecnológicas orientadas a Industria 4.0 del sistema de manufactura modelo a través del análisis cuantitativo y cualitativo con respecto a los parámetros establecidos obteniendo como resultado un importante incremento de la flexibilidad del sistema.

La aplicación de nuevas herramientas tecnológicas en función al desarrollo de los sistemas de manufactura incentiva directamente al crecimiento de la industria nacional en conceptos de flexibilidad en cuanto a fabricación de productos, así como la capacidad de análisis de dichas posibilidades dentro de laboratorios provistos de sistemas a escala y técnicas de simulación para el desarrollo de la educación técnica superior.

BIBLIOGRAFÍA

Ali Khan, W., Wisniewski, L., Lang, D., & Jasperneite, J. (2017). Analysis of the Requirements for Offering Industrie 4.0 Applications as a Cloud Service. 017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 1181-1188.

Banco Mundial. (2016). Dividendos digitales. Informe sobre el desarrollo mundial.

Brettel, M., Klein, M., & Friederichsen, N. (2016). The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0. *Procedia CIRP* 41, 105-110.

D'Emilia, G., & Gaspari, A. (2018). Data Validation Techniques for Measurements Systems Operating in a Industry 4.0 Scenario a Condition Monitoring Application. 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, Brescia, 112-116.

Daneri, P. (2008). *PLC Automatización y Control Industrial*. Buenos Aires: Hispano America S.A.

de la Fuente, E., & Mazaeda, R. (s.f.). *Industria 4.0. Informática Industrial*. Grado Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. EII. Universidad de Valladolid.

- Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática.
- Deutsches Institut für Normung. (2002). Control Technology - Rules for the Designation of Measuring Instrument. DIN 19223.
- García Moreno, E. (1999). Automatización de Procesos Industriales. Universitat Politècnica de València.
- Garzón, N., Kulfas, M., Palacios, J., & Tamayo, D. (2016). Evolución del sector manufacturero ecuatoriano 2010-2013 Tipologías estadísticas y dinámicas de las manufacturas. Cuaderno de Trabajo N.1.
- Gerbert, P., Lorenz, M., Rößmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industria 4.0: El futuro de la productividad y el crecimiento en las industrias manufactureras. Boston Consulting Group.
- González, T., & Ramírez, A. (2015). Control On/Off Sistemas de Control y Controladores. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira, Departamento de Ingeniería Electrónica.
- Guerrero, V. (2005). BUS AS-I Configuración y programación de una red.
- Guerrero, V., Yuste, R., & Martínez, L. (2010). Comunicaciones industriales.
- Kagermann, H. (2015). La industria 4.0 llega a los clientes del futuro a través de servicios inteligentes. Weidmüller, S.A.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry. Manufacturing Letters.
- Li, C., & Lau, H. (2017). A Critical Review of Product Safety in Industry 4.0 Applications. 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 1661-1665.
- Li, C., & Lau, H. (2018). Integration of industry 4.0 and assessment model for product safety. IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPC), 1-5.
- Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). Un Futuro que Funciona: Automatización, Empleo Y Productividad. McKinsey Global Institute, 7.
- Miranda, A. (2016). Industria 4.0. NC Tech.
- Pallás Areny, R. (2004). Sensores y Acondicionadores de Señal. Marcombo.
- Pethig, F., Niggemann, O., & Walter, A. (2017). Towards Industrie 4.0 Compliant Configuration of Condition Monitoring Services. 017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 271-276.
- Sánchez, V., & Pizarro, D. (2010). Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de Cuenca. INGENIUS, Revista de Ciencia y Tecnología.
- Smith, C., & Corripio, A. (1991). Control Automático de Procesos Teoría y Práctica. Mexico DF: Limusa.
- VDMA German Engineering Federation. (2016). Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses. Guideline Industrie 4.0.
- Waller, D., & Werner, H. (1997). Neumática Nivel Básico. Esslingen: Festo Didactic KG.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0 a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. Li & Zhang Computer Networks, 158-168.

WSN ROBOTIZADO PARA EL RESCATE DE LAGUNAS

María Mendoza_1a, Stalin Flores_2a, José Morales_3b

a Tecnología Superior en Desarrollo de Software, Instituto Tecnológico Superior Riobamba
b Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Electrónica Control y Redes Industriales,
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
mmendoza@institutos.gob.ec, sflores2000@hotmail.es, jose.morales@esepoch.edu.ec

INTRODUCCIÓN

Las lagunas almacenan agua estancada, su profundidad varía entre 1 y 2000 m, y su superficie puede ser desde unos cuantos m² hasta miles de km². Se forman por el deshielo glacial o por la erosión, otros por el estancamiento de los ríos. Dada la íntima relación de los ecosistemas lacustres con los terrestres que los rodean, el aporte de materiales de unos a otros es inevitable. Hoy en día, cantidades importantes de sedimentos se depositan en las lagunas provenientes de los alrededores. Las plantas que mueren y el aporte de materia orgánica producen mayor cantidad de materia en descomposición, sobre la que actúan las bacterias. Esta actividad consume la cantidad de oxígeno disuelto, modificando las condiciones del medio y restringiendo la vida por debajo de la superficie. El número de especies se reduce considerablemente y la actividad termina por limitarse a la superficie.

En nuestro país son escasas las investigaciones de estos ecosistemas y la contaminación del agua de los mismos, no se han incluido en los programas de desarrollo urbano, sólo la ciudad de Ibarra ha implementado un proyecto para recuperar las lagunas de la zona, pero no han generado investigaciones relevantes sobre el mismo. En la mayoría de los casos por la falta de equipos debido a sus altos costos y la ausencia de normativas a nivel local o nacional que promuevan su estudio.

La mayoría de sistemas que monitorean los ecosistemas y calidad del agua trabajan por separado y las tomas de datos se analizan en laboratorios, los mismos se encuentran formados por el equipo de recolección de datos y el área de análisis de la información; sus limitaciones son los costos excesivos de equipos, su gran volumen que dificulta su traslado a diferentes lugares y la toma de muestra es en su mayoría de difícil acceso. Por lo que es necesario elaborar diseños que faciliten su movilidad.

Por lo expuesto anteriormente se ha desarrollado la investigación, cuyo objetivo es diseñar un prototipo robotizado con una red inalámbrica de sensores inteligentes, para el monitoreo en línea del ecosistema y contaminación del agua presente en las lagunas. Su implementación es de bajo costo comparado con equipos tradicionales, y su aplicación se enmarca en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad de vida de la población y del medio ambiente, para el desarrollo de esta investigación se convino la utilización de métodos y técnicas como una revisión documental, para conocer información relacionada al ecosistema y calidad del agua de lagos y lagunas, trabajos relacionados al objeto de estudio así como avances tecnológicos; una análisis histórico-lógico, empleado para estudiar la evolución de los sistemas electrónicos para la monitoreo de la calidad del agua; la sistematización, para aplicar la información bibliográfica y experimental al

diseño del sistema de monitoreo en línea del ecosistema y calidad del agua; el análisis y síntesis, para evaluar los resultados, llegar a conclusiones y recomendaciones; además de métodos de experimentación, para realizar la simulación y comprobación de los módulos que se describen en la investigación; la medición, para la evaluación

los niveles de temperatura y PH del agua durante la implementación práctica de la investigación; la observación, para la validación del sistema diseñado y los métodos estadísticos que permiten procesar e interpretar los resultados obtenidos con el prototipo desarrollado y contrastarlos con los parámetros de diseño originales.



Figura 1: Arquitectura de la WSNRobotizado
Fuente: El Autor

DESARROLLO

Para cumplir con el objetivo trazado se llevaron a cabo las tareas de Investigación en cuanto al estudio y selección de las formas de transmisión de información y de los distintos dispositivos electrónicos a emplear; la revisión bibliográfica sobre la medición de datos de calidad del agua y estado del ecosistema; una revisión bi-

bliográfica de los ecosistemas de las lagunas; y mediante estos conocimientos se procede a realizar el diseño e implementación del hardware y software para finalmente realizar las pruebas y puesta a punto del algoritmo y circuitos de adquisición de datos para su posterior valoración de resultados y análisis de errores.

Arquitectura de la WSN Robotizado

La concepción general propuesta para la WSN Robotizado se presenta en la figura 1, en cual se puede observar el Nodo Robotizado Acuático (NRA), la Estación Remota en Tierra (ERT) y el Módulo de Aviso. Estos módulos se comunican entre sí por radiofrecuencia, Wi-Fi y GSM.

Nodo Robotizado Acuático (NRA): Encargado de supervisar, recolectar y transmitir la información medida por los sensores en tiempo real, permite obtener datos de pH y temperatura del agua, temperatura y humedad relativa ambiente, latitud/longitud del sitio en donde se realiza la monitoreo, además realiza la captura de video-imágenes del ecosistema acuático. Parámetros necesarios para el monitoreo del ecosistema y la contaminación del agua. Transmite la información recolectada por los sensores hacia la estación remota en tierra en forma directa al computador por módulos de radiofrecuencia (RF). El módulo está integrado por sensores, una fuente de alimentación independiente, un transmisor de RF y un circuito de procesamiento, los mismos se encuentran contenidos en un nodo robotizado encargado de transportarlos y protegerlos. El NRA integrado por nueve bloques, dos de estos contienen los sensores que se encargan de la medición de las 4 variables físico-químicas del agua y del ambiente, un bloque se encarga de verificar que estas variables se encuentren dentro del rango permisible de lo contrario forma un mensaje para ser enviado a través de la red GSM, otro bloque contiene el sensor que obtendrá la ubicación mediante el

sistema de posicionamiento global (GPS), un bloque se encarga de capturar las video imágenes y las transmite a través de Wi-Fi, el bloque de procesamiento que recibe la información de los sensores. Esta información es entregada al bloque de transmisión para ser enviada a los módulos restantes. Por último, está el bloque Nodo Robotizado encargado de transportar a los bloques antes mencionados.

Estación Remota en Tierra (ERT): Es una estación fija o móvil que se encarga de concentrar toda la información transmitida por radiofrecuencia desde el NRA por las zonas donde se desplace el nodo robotizado; permite visualizar y almacenar la información en el computador, de esta manera se crea una base de datos para que el usuario pueda acceder a la misma. Además, cuenta con un bloque que transmite información al nodo robotizado para el control de sus movimientos.

Módulo de Aviso: Consta de cuatro bloques interconectados unidireccionalmente. El bloque de recepción de datos que recibe a través de la red GSM un mensaje de alerta, además recibe las video-imágenes por medio de Wi-Fi, información enviada desde el NRA; la misma se procesa en el módulo de Procesamiento de la Información la cual se envía al módulo de Visualización para que las muestre: la primera en forma de mensaje SMS y la segunda mediante la APP Android. El cuarto bloque es el de Transmisión de la Información encargado de controlar los movimientos de la cámara robotizada.

Hardware de la WSN robotizado

Para cumplir con los requerimientos de la WSN robotizado se eligieron las plataformas Arduino UNO y MEGA 2560, por el costo, factibilidad y facilidad de uso, para el Nodo Robotizado Acuático son necesarios algunos sensores que se encargan de obtener las mediciones de temperatura y humedad relativa ambiente, tem-

peratura y pH del agua, además uno de los ellos realiza la captura de video-imágenes y otro obtiene la ubicación de las mediciones. Estos sensores pueden definirse como inteligentes pues combinan las funciones de detección, procesamiento de señal y comunicación dentro de ellos. Según los criterios de calidad de aguas para la

preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario del Ministerio del Ambiente define los valores mínimos y máximos que son: Temperatura Ambiente -10°C , 40°C ; Humedad Relativa Ambiente 60% HR, 80% HR; Temperatura del agua -10°C , 20°C ; Conductividad 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Turbidez <5 , 50 NTU, 100 NTU; pH del Agua 6,5 a 9. El dispositivo de captura de video-imágenes debe supervisar el ecosistema en tiempo real es decir debe permitir ver las video-imágenes de la laguna en diferentes ángulos, y con poca entrada de luz, por lo que es necesario que cuente con visión nocturna. De la revisión de las características de algunos sensores de temperatura, humedad, pH y dispositivos para la captura de video-imágenes que existen en el mercado, se seleccionaron los que cumplen con los requerimientos para la WSN-Robotizado que son el Sensor de temperatura y humedad relativa del ambiente (AM2301), Sen-

sor de temperatura del agua DS18B20, Logo Ph Sensor v1.1, Módulo GPS NEO 6M, WANS CAM HW0024 W.

Para la estructura del nodo robotizado se utiliza la herramienta de diseño mecánico SOLIDWORKS CAD en 3D que proporciona facilidad de diseño robusto, está compuesto por material tipo PLA o ácido poliláctico que es uno de los filamentos más versátiles para la impresión en 3D de tipo biodegradable y normalmente se obtiene del almidón de maíz, permitiendo una textura de las piezas no tan suave, pero sumamente brillante y con esquinas suavizadas. Además, los dispositivos a utilizar para la construcción del Nodo Robotizado son los Driver dual para motores (Full-Bridge) - L298N y Motores Motorreductores DC para el movimiento del nodo. Usa tecnología ZigBee por su flexibilidad, bajo costo y bajo consumo de energía; se utilizó módulos XBee-PRO 900 OEM del fabricante DiGi International, GSM/GPRS SIM 900's, Flysky Fs-i6,

Esquema de conexión físico de la WSN robotizado

La WSN robotizado se comunica con cada uno de los componentes de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura y humedad relativa del ambiente (AM2301) se une su salida de datos (OUT) con el terminal 4 del Arduino. Adicional se debe conectar una resistencia de 5,1 k Ω entre el terminal OUT y la alimentación de 5 V.
- El sensor de temperatura del agua DS18B20 se une su salida de datos (DQ) con el terminal 12 del Arduino. Se debe conectar una resistencia de 4,7 k Ω entre el terminal DQ y la alimentación de 5 V.
- Sensor de pH del agua SEN0161 se conecta su salida Po al pin A2 del Arduino y la alimentación a 5 V.
- El GPS NEO 6M se conecta a la alimentación de 3.3V del Arduino UNO el pin GND del Arduino UNO al pin GND del módulo GPS, el pin digital 4 del Arduino UNO al pin Tx del módulo GPS y el pin digital 3 del Arduino UNO al pin Rx del módulo GPS.
- Se debe conectar una fuente de alimentación externa al shield GPRS y alimentar el Arduino con una fuente aparte, se utiliza los pines 7 y 8 para la comunicación serie y el GND entre ambas tarjetas.

Software de la WSN robotizado

El software para manejar los diferentes módulos de la WSN robotizado se realiza con programación estructurada, por medio de funciones. Las herramientas de programación utilizadas para en el desarrollo del software son el entorno de desarrollo integrado también llamado IDE de Arduino utilizado para desarrollar los programas que corren en el NRA, LabVIEW que desarrolla las herramientas virtuales de monitoreo y control, Software Android

Studio P2P IPC es una APP para control de la cámara robotizada para la supervisión del ecosistema acuático.

En el software desarrollado para el NRA trabaja con cuatro librerías y siete funciones para la lectura de los sensores y generar el protocolo de comunicación para esto cuenta con encabezado que declara las librerías externas DHT.h, Dallas, temperatura.h, TinyGPS, el Loop que repite indefinidamente GPS_h_f(), Temp_amb(), Hum_amb(), Temp_agua(), pH_agua(), Conductividad(), Tubidez(), Mensaje_sms().

La estructura del protocolo de comunicación se presenta como una trama de datos a ser enviada a la ERT tiene una longitud de 70 caracteres ASCII y está distribuida de la siguiente manera:

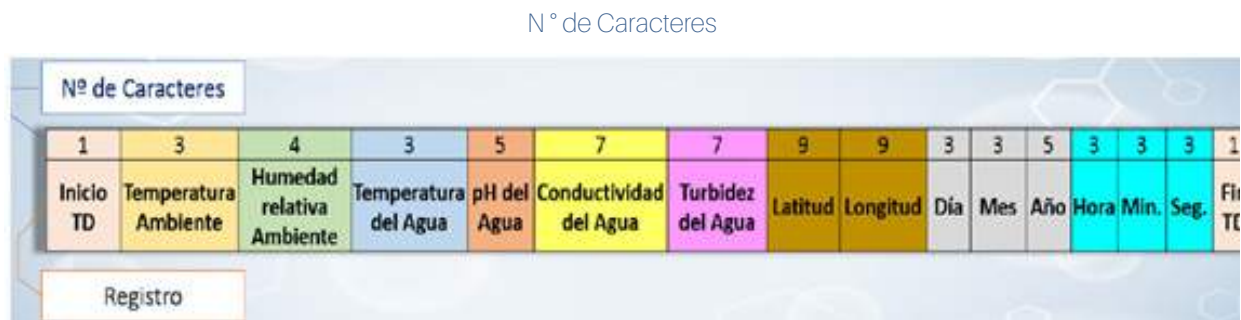


Figura 2. Trama de datos
Fuente: El Autor

Resultados de la WSN robotizado

Al no disponer de equipos especializados por sus costos excesivamente altos se efectúa un análisis comparativo de los datos obtenidos por cada sensor del NRA con respecto a equipos comerciales de medición de características similares.

Caracterización de las mediciones de temperatura y humedad relativa ambiente

En la tabla 1 se presenta los valores del resultado de las mediciones realizadas con los sensores incorporados al NRA, los mismos presentan una exactitud de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ en la medida de temperatura ambiental y 3% RH en la medida de humedad relativa ambiente. Para el efecto comparativo se toma como referencia el equipo (*Electronic Thermo-Hygrometer Model: ETHG912*) cuya exactitud es $\pm 1^\circ$ en temperatura y $\pm 1\%$ HR en Humedad Relativa Ambiente.

Las mediciones se obtuvieron sometiendo a funcionamiento continuo al NRA, durante un tiempo estimado de siete días sin considerar el horario, se generan 25 muestras para su análisis con el objetivo de comprobar si el sistema no introduce un error adicional al de los sensores juntos cuyos errores máximos son de $\pm 1,5^\circ$ en la temperatura y $\pm 4\%$ HR en humedad relativa.

Tabla 1. Mediciones con los sensores de temperatura y humedad del ambiente

Nro	REFERENCIA		MÓDULO DE RECOLECCIÓN		Error Absoluto Temperatura	Error Absoluto Humedad Relativa
	ETHG912		AM2301			
	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %HR	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %HR		
1	21	49	22	53	-1	-4
2	21	50	21	53	0	-3
3	21	50	21	53	0	-3
4	21	50	21	53	0	-3
5	21	50	21	53	0	-3
6	21	50	21	53	0	-3
7	21	50	21	53	0	-3
8	21	50	21	53	0	-3
9	21	50	21	53	0	-3
10	21	50	21	53	0	-3
11	21	50	21	53	0	-3
12	21	50	21	53	0	-3
13	21	50	21	53	0	-3
14	20	50	21	53	-1	-3
15	20	50	21	53	-1	-3
16	20	50	21	53	-1	-3
17	20	50	21	54	-1	-4
18	20	50	21	54	-1	-4
19	20	50	21	54	-1	-4
20	21	50	21	53	0	-3
21	20	50	21	53	-1	-3
22	20	50	21	53	-1	-3
23	20	50	21	53	-1	-3
24	20	50	21	53	-1	-3
25	20	50	21	53	-1	-3

Fuente: El Autor (Datos tomados durante las pruebas de medición)

Mediante el análisis se concluye que el sistema diseñado no introduce error al medir la temperatura ambiente y la humedad relativa, presentando errores máximos de $\pm 1^\circ\text{C}$ y $\pm 4\%$, que corresponden a los errores de medida de los sensores utilizados en esta investigación.

Caracterización de las mediciones de temperatura y pH del agua

En la tabla 2 se presenta los valores del resultado de las mediciones realizadas con los sensores para mediciones en el agua, los mismos presentan una exactitud de $\pm 0,5$ °C en la medida de temperatura ambiental y ± 0.1 pH (a 25 °C) en la medida de potencial de hidrógeno del agua. Para el efecto comparativo se toma como referencia el equipo (TDS&EC Hold) cuya exactitud es ± 1 °C en temperatura del agua. (METRICS-Digital Meters, 2015) El Macherey-Nagel pH-Fix tienen una precisión de $\pm 0,1$ pH en el agua.

Se generan 25 muestras para su análisis cuyos errores máximos deben estar en $\pm 1,5$ °C en la temperatura y $\pm 0,2$ pH del agua.

Mediante el análisis se concluye que el sistema diseñado no introduce error al medir la temperatura y potencial de hidrógeno del agua, presentando errores máximos de ± 1 ° y $\pm 0,1$ pH, que corresponden a los errores de medida de los sensores utilizados en esta investigación.

Tabla 2. Mediciones con los sensores de temperatura y pH del agua

Nro	REFERENCIA		MÓDULO DE RECOLECCIÓN		Error Absoluto de Temperatura	Error Absoluto pH
	TDS&EC	pH-Fix	DS18B20	SON0161		
	TEMPERATURA °C	pH	TEMPERATURA ° C	pH		
1	18	7	18	6,9	0	0,1
2	18	7	18	6,9	0	0,1
3	18	7	18	6,9	0	0,1
4	18	7	18	6,9	0	0,1
5	18	7	18	6,9	0	0,1
6	18	7	18	6,9	0	0,1
7	18	7	18	7	0	0
8	18	7	18	7	0	0
9	18	7	18	7	0	0
10	18	7	18	7	0	0
11	18	7	18	7	0	0
12	18	7	18	7	0	0
13	18	7	18	7	0	0
14	18	7	18	7	0	0
15	18	7	18	7	0	0
16	18	7	18	7	0	0
17	18	7	18	7	0	0
18	18	7	18	7	0	0
19	18	7	18	6,9	0	0,1
20	18	7	18	6,9	0	0,1
21	18	7	18	7	0	0
22	18	7	18	7	0	0
23	18	7	18	7	0	0
24	18	7	18	7	0	0
25	18	7	18	7	0	0

Fuente: El Autor (Datos tomados durante las pruebas de medición)

Caracterización del sensor de posicionamiento GPS

Para este análisis se puso en funcionamiento el Nodo robotizado con el cual se tomaron varias muestras durante un lapso de tiempo de 10 minutos almacenados en un archivo en el computador y a través de la herramienta software

Matlab R2015a se realiza el gráfico de las trayectorias tomadas, para comprar con las mediciones tomadas con el equipo comercial (Oregon 550T), y se muestran los resultados en la figura 3. (Garmin Ltd., 2017)

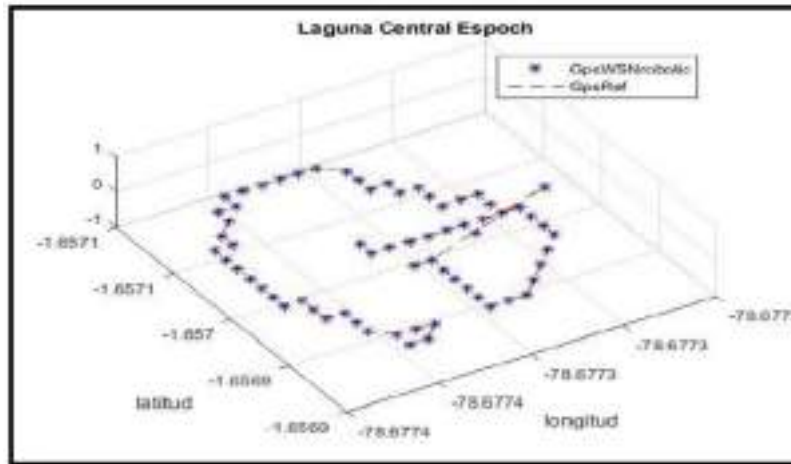


Figura 3. Trayectoria realizada por el sensor de posicionamiento del NRA y el equipo comercial Oregon 550T

Fuente: El Autor

Para una mejor referencia se utiliza la herramienta virtual en línea "GPS Visualizer" en la cual se puede mostrar rutas de conducción, direcciones de calles o coordenadas simples para vi-

sualizar rápidamente datos geográficos como observaciones científicas, eventos, ubicaciones; la estabilidad de las mediciones realizadas se muestra en la figura 4.



Figura 4. Representación de la trayectoria realizada con el nodo robotizado utilizando el GPS Visualizer.

Fuente: El Autor

Repetitividad del NRA

Repetitividad de los sensores de temperatura y humedad relativa ambiente, temperatura y pH del agua

Para este análisis se tomaron 25 muestras durante un lapso de tiempo de un minuto almacenado en un archivo en el computador a través de la herramienta desarrollada en LabVIEW2015. El análisis estadístico se realizó con la ayuda de Microsoft

Excel 2013, con cual se calculó la media (\bar{x}), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (Cv) como se muestra en la tabla 3-4, determinándose que el coeficiente de variación del 0% en la temperatura del agua, 0.05% en el pH del agua, 0.20% en la temperatura ambiente y 0.33% en la humedad relativa del ambiente, valores que exhiben poca variabilidad, determinándose la estabilidad de las mediciones realizadas con el NRA.

Tabla 3. Evaluación de repetitividad de las mediciones de los sensores del NRA

Nro	DS18B20	Logo Ph Sensor v1.1	AM2301	
	TEMPERATURA ° C	pH	TEMPERATURA ° C	HUMEDAD %HR
1	18	6,9	22	53
2	18	6,9	21	53
3	18	6,9	21	53
4	18	6,9	21	53
5	18	6,9	21	53
6	18	6,9	21	53
7	18	7	21	53
8	18	7	21	53
9	18	7	21	53
10	18	7	21	53
11	18	7	21	53
12	18	7	21	53
13	18	7	21	53
14	18	7	21	53
15	18	7	21	53
16	18	7	21	53
17	18	7	21	54
18	18	7	21	54
19	18	6,9	21	54
20	18	6,9	21	53
21	18	7	21	53
22	18	7	21	53
23	18	7	21	53
24	18	7	21	53
25	18	7	21	53
Media	18,00	6,97	21,04	53,12
Desviación Estándar (σ)	0,00	0,05	0,20	0,33
Coefficiente de Variación	0,00%	0,68%	0,95%	0,62%

Fuente: El Autor (Datos tomados durante las pruebas de medición)

Caracterización de las comunicaciones de la WSN Robotizado

La caracterización de las comunicaciones en la WSN Robotizado se realizó en dos etapas: una durante la implementación de cada módulo y la otra con el sistema en conjunto. Las pruebas diseñadas tienen el objetivo de evaluar la integridad de los datos transmitidos en las diferentes comunicaciones que se realizan.

Evaluación de la comunicación del NRA, en el proceso de recolección de datos por la ERT

Para la evaluación de la comunicación del NRA y la ERT se realiza dos pruebas:

Prueba 1: Se utiliza el puerto de comunicaciones y el computador para evaluar este enlace, las pruebas consistieron en observar los datos transmitidos del NRA a la ERT y constatar que no exista pérdida de información durante la recolección de datos, como se puede observar en la figura 5 en la cual se muestra la trama generada por el NRA y mostrada en la ERT, las mismas corroboran que no existe pérdida del enlace, ni de datos.



Figura 5. Verificación de la comunicación entre el NRA y la ERT
Fuente: El Autor

Prueba 2: Consistió en determinar el alcance de la comunicación, para ello se pone en funcionamiento el NRA transportándolo cada vez más lejos de la ERT. Al finalizar la prueba se concluye que la comunicación puede alcanzar una distancia de hasta 3 km con una alimentación de 5V.

Evaluación de la comunicación del Módulo de Aviso

El módulo de aviso recibe dos tipos de información un SMS y la captura de video-imágenes desde el NRA, por lo que se evalúa la comunicación para la recepción de los mismos.

En la figura 6 se puede observar el mensaje SMS enviado desde el NRA al dispositivo móvil cuando uno de los parámetros medidos se encuentra fuera del rango permisible, el mismo presenta un tiempo de respuesta de 37 segundos.

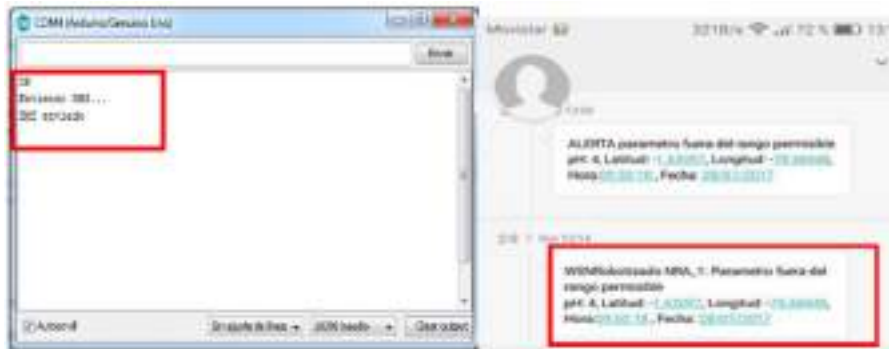


Figura 5. Módulo de Aviso en funcionamiento
Fuente: El Autor

La captura de las video-imágenes se evalúa con el dispositivo móvil y la cámara robotizada en enlace inalámbrico punto a punto. Para la prueba se utiliza el comando ping que permite comprobar el enlace de datos en la red del Módulo de Aviso y el NRA como se aprecia en la figura 7.

En la figura 8 se observa la APP de la cámara robotizada para la monitoreo en línea del ecosistema acuático, se realizó el envío y recepción de datos de control de la cámara robotizada comprobando de esta manera el enlace de comunicación Wi-Fi y se verifica que los ángulos de monitoreo pueden variar de 70° en elevación y 135° en azimut con un alcance máximo de transmisión de datos de 30 metros.



Figura 7. Comprobación del estado de enlace de red
Fuente: El Autor



Figura 8. APP de la cámara robotizada.
Fuente: El Autor

Luego de la validación de la WSNRobotizado, las pruebas en conjunto verificaron que la WSNRobotizado mantiene una adecuada comunicación de los módulos que la integran, no se genera interferencia entre ellos y se comprueba la integridad de los datos transmitidos. En la figura 8 se puede observar la integración de los módulos en la WSNRobotizado.



Figura 9. Integración hardware y software de la WSN Robotizado
Fuente: El Autor

Análisis económico de la implementación de la WSN Robotizado

Se describe el análisis económico de la implementación de la WSN Robotizado desarrollado en esta investigación. En la tabla 4 se muestra el presupuesto detallando cada uno de los elementos que conforman los módulos de la WSN Robotizado.

Se puede apreciar en la tabla 4 que el costo total de la WSN Robotizado es relativamente económico \$ 710.25, siendo de entre este el costo más elevado los módulos XBee-Pro cuyo costo es de \$150.00 que corresponde al 22% del total.

Tabla 4. Costos de los elementos que conforman la WSN Robotizado

Cantidad	Dispositivos	Costo Unitario	Costo Total
1	Sensor AM2301	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Sensor DS18B20	\$ 6,00	\$ 6,00
1	Logo_Ph_Sensor_v1.1 + Sonda de pH	\$ 70,00	\$ 70,00
1	GPS NEO 6M	\$ 25,00	\$ 25,00
1	WANS CAM HW0024 W	\$ 55,00	\$ 55,00
1	Driver dual para motores (Full-Bridge) – L298N	\$ 12,00	\$ 12,00
2	Motor motoredutores DC	\$ 25,00	\$ 50,00
2	XBee-PRO 900 OEM	\$ 75,00	\$ 150,00
1	GSM/GPRS SIM 900's	\$ 44,00	\$ 44,00
1	Arduino UNO	\$ 18,00	\$ 18,00
1	Arduino Mega 2560	\$ 25,00	\$ 25,00
1	Estructura del Nodo Robotizado Impresión en 3D	\$ 200,00	\$ 200,00
2	Baterías Lipo	\$ 15,00	\$ 30,00
1	Placa de cobre	\$ 5,00	\$ 5,00
2	Resistencias	\$ 0,25	\$ 0,25
1	Flysky Fa-6	\$ 110,00	\$ 110,00
Costo Total			\$ 710,25

Fuente: Mercado Libre Ecuador, 2018

CONCLUSIONES

Se diseñó e implemento la red inalámbrica de sensores inteligentes, con nodos robotizados para la monitoreo en línea del ecosistema y contaminación del agua presente en lagos y lagunas, cuya operatividad se concibe mediante un Nodo Robotizado Acuático, la Estación Remota en Tierra y el Módulo de Aviso; utilizando tres tipos de comunicación inalámbrica Wifi, radiofrecuencia (RF) y GSM.

Mediante al análisis de repetitividad y comparación se comprobó que la WSNRobotizado no incorpora error adicional en las mediciones, y es capaz de medir temperatura ambiente y del agua con error máximo de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, humedad relativa ambiente con error máximo de $\pm 4\%$ HR y $\pm 0,1\text{pH}$ del agua, compatibles con la exactitud de los equipos comerciales similares y ajustándose a los requerimientos de diseño previstos.

En la validación de las comunicaciones entre los módulos de la WSNRobotizado se determinó que alcanza distancias de hasta 3 Km sin obstáculos, con una alimentación de 5V. Las pruebas realizadas con la comunicación por Wifi determinaron que se puede establecer un enlace fiable de hasta 30 m. La comunicación con la interfaz de la ERT no afecta a las demás comunicaciones.

La WSNRobotizado es un sistema escalable pues se pueden añadir más sensores analógicos o digitales, pues se dispone de 8 terminales libres.

La información suministrada por el NRA se almacena en un archivo, el mismo se constituye como la base fundamental en la generación de reportes históricos para la toma de decisiones en pro de cuidar el ecosistema de los lagos y lagunas.

BIBLIOGRAFÍA

Aakvaag, N. & Frey, J.-E., 2006. Redes de sensores inalámbricos Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. Reista ABB, pp. 39-42.

Aosong (Guangzhou) Electronics Co., L., 2015. *electronilab.co*. [En línea] Available at: <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2015/02/AM2301.pdf>

Arduino, 2017. *arduino.cc*. [En línea] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>, Available at: http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/7560/5/TFM_Pablo_Pico_2012.pdf.

Available at: http://www.agua.unam.mx/noticias/2015/unam/not_unam_marzo22.html Kharsansky, A., 2013. <http://laboratorios.fi.uba.ar>. [En línea] Available at: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Tesis-Grado-Alan-Kharsansky-2013-Presentacion.pdf>

Electronilab, 2017. *electronilab.co*. [En línea] Available at: <https://electronilab.co/tienda/driver-dual-para-motores-full-bridge-l298n/>

Fernández, D., 2015. [En línea] Available at: Disponible en: <http://www.instructables.com/id/Modu->

[los-RF433-Mhz-con-Arduino/](#) [Último acceso: 27 Abril 2016].

Galindo, D. L. & Sánchez, C. P., 2015. Redes de sensores inalámbricos para monitoreo de parámetros hidrológicos aplicado en lagunas, estanques y plantas de tratamiento de agua. Cuenca(Azuay): Universidad del Azuay.

Garmin Ltd., 2017. *static.garmin.com*. [En línea] Available at: http://static.garmin.com/pumac/Oregon_x50_Series_OM_ES.pdf

GEEETECH, A. G. S., 2014. *geeetech.com*. [En línea] Available at: http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_Shield

GNU Free Documentation License 1.3, M., 2017. *dfrobot.com*. [En línea] Available at: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:SEN0161))

Gobierno de los Estados Unidos, 2017. *GPS.GOV*. [En línea] Available at: <http://www.gps.gov/spanish.php>

Guerra Salazar, J., 2015. Diseño e implementación de un sistema inalámbrico para el monitoreo en línea del

microclima de invernaderos artesanales. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigaciones en Microclima.

Impresoras3d.com, 2017. Impresoras 3D. [En línea] Available at: <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/122774855-filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas>

MECHATRONICS, n., 2017. naylampmechatronics.com. [En línea] Available at: <http://www.naylampmechatronics.com/blog/18-Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html>

Ministerio del Ambiente, 2015. ANEXO 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. En: Ministerio del Ambiente. Ecuador: eSilec.

Modeltronic.es, 2017. www.modeltronic.es. [En línea] Available at: <http://www.modeltronic.es/download/FS-T6=fs-i6 ESP.pdf>

Newark, 2017. Newark, "Amphenol advanced sensors, Tsd-10 turbidity sensor, 5vdc, phototransistor. [En línea] Available at: <http://www.newark.com/amphenoladvanced-sensors/tsd-10/turbidity-sensor-5vdc-phototransistor/dp/18X9859>

Pololu Corporation, 2017. www.pololu.com. [En línea] Available at: <https://www.pololu.com/product/713Proble/32785626889.html?spm=a219c.search0306.4.2.Lw-TtGt>

Ribas Lequerica, J., 2013. Desarrollo de aplicaciones para Android. s.l.:Anaya Multimedia-Anaya Interactiva.

Scientific, O., 2016. Electronic Thermo-Hygrometer. [En línea] Available at: <http://www.distec1.be/gs/handler/getmedia.ashx?moid=814&dt=3&g=1>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017. Quito, Ecuador: Senplades.

Tecnun, 2017. www4.trcnun.es. [En línea] Available at: <http://www4.tecnun.es/assignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/130RioLa.htm>

TELEDPRES, 2008. Diario Opinión. [En línea] Available at: <http://www.diariopinion.com/nacional/verArticulo.php?id=39490>

UNESCO, (N. E. S. a. C. O., 2003. WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE Executive Summary of the UN World Water Development Report. Paris: © UNESCO/ Mundi-Prensa.



INVESTIGACIÓN
TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca
Quito - Ecuador • Telf.: (593) 2411322
www.istct.edu.ec • email: revistatecnologicaistct@gmail.com