

Sistema de gestión para mantenimiento de equipos eléctricos mediante indicadores de confiabilidad

Santiago Jiménez, Hernán Valencia

Universidad Pontificia Bolivariana, Cir.1 #70-01,

Medellín Colombia

santiago.jimenezgo@alfa.upb.edu.co

hernan.valencia@upb.edu.co

Resumen

Las grandes empresas necesitan implementar un sistema de gestión óptimo para estructurar el mantenimiento de sistemas numerosos y complejos, uno de los pilares necesarios para contar con estándares de alta calidad es la capacidad de medir resultados de cualquier proceso dentro de una empresa; para esto se diseñó un aplicativo en el que se ingrese, administre y cuantifique la efectividad del mantenimiento de equipos eléctricos mediante índices universales de confiabilidad.

Abstract

Large companies need to implement a management system to structure optimal maintenance of many complex systems, one of the cornerstones required to ensure high quality standards is the ability to measure results of any process within an enterprise, in order to do this an application was designed to enter, manage, and quantify the effectiveness of maintenance for electrical equipment using universal indicators of reliability.

Keywords: *maintenance, management system, reliability, electrical equipment.*

1 Introducción

El mantenimiento de equipos es una rama de la ingeniería que en ocasiones ha sido opacada por el diseño y montaje. Sin embargo, en la industria la mayor parte de esfuerzo, capital y recurso humano se destina a la manutención de equipos para garantizar que se lleve a cabo la actividad productiva de las empresas y se pueda ser competitivo en mercados que exigen calidad y regularidad en la producción y/o prestación de bienes y servicios.

Dentro del mantenimiento hay tres pilares esenciales que son la planeación, ejecución y el control. Hay infinidad de software para administrar rutas de mantenimiento diseñadas particularmente por cada empresa, basadas en la cantidad de recursos y equipos con los que cuenta; dichos software generalmente proveen avisos u órdenes de trabajo para enlazar la planeación con la ejecución. De cualquier forma, la tarea de control se reduce a una simple variable booleana, es decir, si se realizó o no la orden generada.

En una economía globalizada, los dos referentes son la calidad y confiabilidad de procesos y productos. Ambos referentes son inherentes a la labor de control, y paradójicamente es el pilar en el que menos énfasis se hace en la mayoría de software de administración. Gracias a la apertura de mercados y la economía liberal aparece el proceso de *outsourcing* que destina recursos propios de una empresa para la elaboración de una tarea, a otra empresa que se especializa en esa tarea en específico.

Las grandes empresas como Cerro Matoso S.A. subcontratan muchas tareas a varias empresas contratistas para concentrarse en su labor productiva. Aunque la subcontratación gesta la sana competencia entre empresas en pro de una mejor prestación de servicios, también conlleva a la pérdida parcial del control administrativo por parte de la empresa subcontratante. Se hace necesario llevar un control interno de la organización subcontratante para poder medir el desempeño de la empresa subcontratada. Los indicadores de confiabilidad son parámetros universales que nos dicen la efectividad con la que se llevan a cabo las diferentes labores del mantenimiento. En este trabajo se desarrolla un software que no solo calcula e ilustra indicadores como la disponibilidad, fallas recurrentes, Pareto 80/20 y tiempo medio entre fallas, sino que también permite ingresar simultáneamente fallas en equipos y llevar un historial de las mismas para tener acceso a información detallada para lapsos de tiempo variables.

2. Sistema de gestión de calidad

Un sistema de gestión es el conjunto de estrategias, políticas, estructuras, métodos, tecnologías, procesos, procedimientos y reglas de trabajo mediante los cuales la

dirección de una organización planifica, ejecuta y controla todas sus actividades en pro del logro de objetivos definidos con antelación.

Específicamente, un sistema de gestión de la calidad es un componente del sistema de gestión, es el medio con el que las organizaciones orientan la gestión de la calidad que la dirección ha adoptado. La constitución de un SGC se rige según el enfoque de aseguramiento de la calidad que tengan las directrices establecidas por los modelos normativos para la gestión de la calidad; estas directrices son:

- La definición de una serie de procedimientos estandarizados y bien documentados.
- La documentación de los requisitos de comportamiento en un manual de calidad.
- El cumplimiento de las directrices estipuladas en los procedimientos.

Los modelos normativos de gestión de la calidad son procedimientos de gestión de la misma; sin embargo, no tiene estándares para la cuantificación de la calidad de un producto; en otras palabras, no precisan las exigencias técnicas de un producto específico ni garantizan la calidad en el resultado final de los procesos productivos de una organización.

Estos modelos simplemente son guías organizativas que indican cómo definir e implantar patrones de conducta en todas las áreas y departamentos de una empresa para controlar factores que podrían afectar a la calidad del producto, promoviendo tareas sistemáticas óptimas en las actividades relacionadas con la calidad.

Las ventajas de implantar un sistema de gestión de la calidad son las siguientes:

- Aumento de beneficios
- Aumento del número de clientes
- Motivación del personal
- Fidelidad de los clientes
- Organización del trabajo
- Mejora de las relaciones con los clientes
- Reducción de costos debidos a la ausencia de controles de calidad
- Aumento de la cuota de mercado

3 Mantenimiento eléctrico

El mantenimiento eléctrico comprende un grupo de operaciones clasificadas, organizadas y planificadas que se ejecutan sobre equipos eléctricos por manos técnicamente instruidas, tanto en conocimientos específicos como en protocolos de seguridad para garantizar la vida útil de estos y en casos ideales extenderla sin comprometer la continuidad del proceso productivo.



El diseño de sistemas es el camino por el que la mayoría de ingenieros se inclinan en su preparación académica, sin embargo, olvidan que un sistema, sin importar qué tan bien concebido sea, tiene desgastes propios de la operación y se van deteriorando tras horas de trabajo continuas. La mayor parte del presupuesto de una empresa se destina a asegurar que se pueda dar una prestación de servicios ininterrumpida durante la mayor cantidad de tiempo posible.

De modo que hay que programar unas rutas de mantenimiento analizando las plantas de una empresa como un conjunto de elementos distintos e interconectados. Se necesita mano de obra calificada, instalaciones y herramientas acordes con los equipos que se tienen, un *stock* de repuestos actualizados y un esquema lógico que permita disminuir los tiempos de intervención sobre la maquinaria.

3.1 ¿Que se busca con un plan de mantenimiento eléctrico?

Hay objetivos esenciales para invertir en la implementación de un programa de mantenimiento eléctrico, y todos van encaminados a la competitividad, y por ende al uso adecuado de recursos. Por ser un tema tan amplio habrá distintas percepciones en cuanto a beneficios; de igual forma, consideramos como principales las siguientes:

- Conservar los equipos eléctricos en estado óptimo la mayor cantidad de tiempo posible.
- Minimizar riesgos para equipos, personas y medio ambiente por fallas eléctricas.
- Prevenir paradas de planta con tiempos de intervención extensos.
- Fijar políticas en cuanto a suministros de repuestos.
- Clasificar tareas de mantenimiento que se puedan llevar a cabo con personal propio o determinar la necesidad de subcontratación para labores específicas.
- Reconocer fortalezas y deficiencias del personal técnico.
- Aumentar la competitividad de la compañía debido a la alta disponibilidad de los equipos para llevar a cabo la tarea productiva.
- Detectar desgastes, malfuncionamientos y fallas que puedan llevar a daños mucho más severos y costosos.
- Reforzar el inventario de equipos y proyección de gastos a partir del estado de los equipos.

4. Unidad de negocios - servicios de operaciones Cerro Matoso

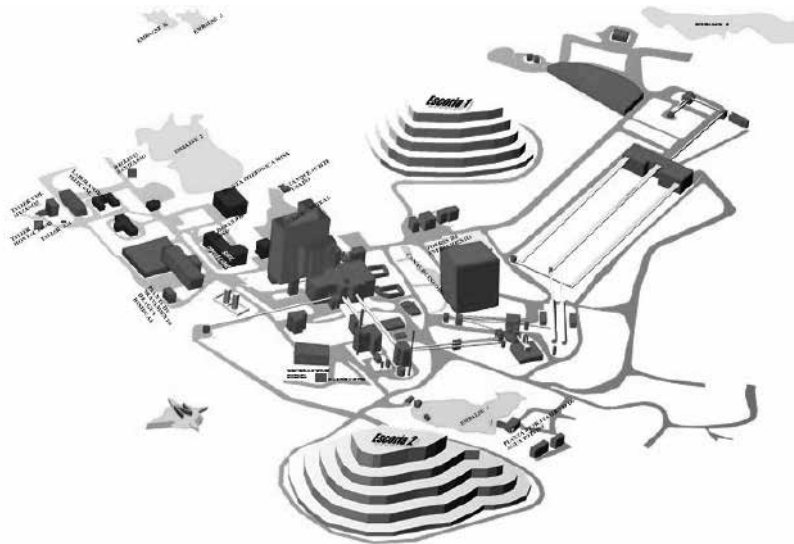
Servicio de Operaciones es una unidad de negocio eficiente y eficaz que satisface a sus clientes (otras unidades de negocio de Cerro Matoso S.A.) a través de una buena comunicación, ofreciendo productos y servicios de excelente calidad, cumpliendo

los requerimientos de sus clientes de forma oportuna y con absoluta credibilidad, minimizando los costos de mantenimiento y operación, y garantizando completa disponibilidad de los equipos y servicios a su cargo.

Esta unidad suministra a las Unidades de Negocios de Cerro Matoso S.A. a través de contratación externa los servicios de mantenimiento de aires acondicionados, subestaciones eléctricas satélites, redes eléctricas perimetrales, alumbrado interno de la planta, sistemas diesel de emergencia, ascensores L1 y L2, alarmas, UPS, DPS, seccionadores, líneas de media tensión y sistemas de puesta a tierra.

Da apoyo logístico y asesoría en dichas competencias a quienes lo requieran dentro de la compañía, las áreas de influencia son las que se ven a continuación marcadas en color rojo. (Ver Figura 1).

Fig. 1. Áreas de influencia red de área doméstica. [Presentación] Inducción de ingreso a UN SOP Cerro Matoso S.A.



El mantenimiento de la unidad se basa en la teoría del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) y en las reuniones de desempeño se mide la eficacia y calidad de las tareas de los mantenedores. Por tratarse de tantas empresas subcontratistas, las evaluaciones se llevan a cabo en reuniones independientes de desempeño y hay varios administradores jefes de contrato que son empleados directos de Cerro Matoso y se encargan de que cada una de estas empresas en efecto cumplan los acuerdos pactados en los contratos; estos son quienes tienen el poder de prorrogar o darle finalidad a los contratos de las prestadoras externas de servicio.

5. Prototipo para control del mantenimiento en CMSA

El proyecto de control de activos surgió a partir de una recomendación de una auditoría de nivel que se hizo en la unidad de servicio de operaciones, ya que se consideró poco eficiente y fiable la manera como se estaba evaluando la gestión del mantenimiento. (Ver Figura 2).

Fig. 2. Home del aplicativo desarrollado. [Software] Cactivos2.0



Fue necesario dominar un lenguaje de programación antes de empezar a mirar qué era exactamente lo que se quería desarrollar, se llegó al acuerdo de que el aplicativo se haría en Visual Basic para usar Microsoft Excel como interfaz gráfica, y de esta manera se desarrollaba en un programa que era de amplio dominio público, tanto para ingenieros como tecnólogos, e incluso técnicos, abriendo la posibilidad de que un asistente con un grado de confianza dentro de la empresa pudiera hacerse cargo de alimentar el aplicativo con información diaria. Además, se podía desarrollar el aplicativo a gusto de la empresa y sin necesidad de pagar altas cuantías de dinero por licencias.

5.1 Hoja de Información

Luego de dominar todo lo requerido en la parte de programación y macros, lo primero que se hizo fue la hoja donde se guardaría la información vital, como sistemas, subsistemas, ubicación técnica, zonas de máquinas, componentes y modos de falla para el activo a mantener.

Todo parte de la determinación sistemática de tareas que se consigue a partir de un análisis taxonómico que se realice sobre un sistema en una empresa; para este

caso en particular el objeto de estudio fueron los aires acondicionados y equipos de refrigeración. (Ver Tabla 1).

Tabla. 1. Hoja de información. [Aplicativo] cActivos2.0

SISTEMAS		SUBSISTEMAS		EQUIPO-TAGS		
ID Sistema	Descripcion Sistema	ID Subistema	Descripcion Subistema	ID Tag	Tag	Descripcion
01	Aires Acondicionados	0101	AC Central Cond. Agua	0101001	AC049	Transformadores 412-T-020 L1
		0102	AC Central Cond. Aire	0101002	AC050	Transformadores 412-T-021 L1
		0103	AC de Ventana	0101003	AC051	Transformadores 412-T-022 L1
		0104	Mini Split	0101004	AC052	Switchgear L1
		0105	Fan Cool	0101005	AC053	Estación hidráulica de Electrodo L1
		0106	Maquinas de Hielo	0101006	AC054	Estación hidráulica de Electrodo L1
		0107	Chiller	0101007	AC055	Subestación 2 Equipo #1
		0108	Cavas	0101008	AC056	Subestación 2 Equipo #2
				0101009	AC059	Cuarto Advand Control/Estructural
				0101010	AC062	Subestación 6 Unidad #1 Refineria
				0101011	AC063	Subestación 6 Unidad #2 Refineria
				0101012	AC064	Subestación 6 Extensión Unidad #1
				0101013	AC065	Subestación 6 Extensión Unidad #2
				0101014	AC068	Cuarto de Control Central Refineria
				0101015	AC152	Transformadores L2
				0101016	AC153	Cuarto Hidráulico L2
				0101017	AC154	Switch Gear L2
				0101018	AC166	Cuarto Instrumentacion L2
				0101019	AC191	Cuarto de Control Carro Transferencia Línea 2
				0101020	AC210	Cuarto Control Central DRKEF Equipo #1
				0101021	AC211	Cuarto Control Central DRKEF Equipo #2
				0101022	AC316	Subestación 27 cubiculo CN-10
				0101023	AC358	Carro Transferencia L1
				0101024	AC365	Subestación 24 Equipo #1
				0101025	AC366	Subestación 24 Equipo #2
				0101026	AC369	Bomba Hidráulica L1
				0101027	AC370	Subestación 2 Extensión
				0101028	AC388	Estación hidráulica HS-15
				0102001	AC001	Ofic. Materiales Primer Y Segundo Piso
				0102002	AC002	Clinica Penzenu

5.2 Reporte de fallas

El reporte de fallas se hace luego de recolectar las órdenes de trabajo al final de cada jornada y se digitaliza lo que los técnicos y tecnólogos hicieron a mano, la primera parte del reporte de falla es identificar exactamente qué fue lo que falló.

Fig. 3. Ingreso de fallas. [Software] Aplicativo Cactivos2.0

The screenshot shows a software window titled "FailureReport" with several dropdown menus for data entry:

- Sistema:** A dropdown menu with "Aires Acondicionados" selected.
- Subistema:** A dropdown menu with "AC Central Cond. Agua" selected.
- Equipo:** A dropdown menu with "AC068 Cuarto de Control Central Refineria" selected.
- Zona de Maquina:** A dropdown menu with "Unidad Evaporadora" selected.
- Componente:** A dropdown menu with "Serpentin Evaporador" selected.
- Modo de Falla:** A dropdown menu with "Suciedad Serpentin Evaporador" selected.

At the bottom of the window, there are "OK" and "Cerrar" buttons.

Se hizo un formulario en *Visual Basic for Applications* (VBA) que tiene seis *combo boxes*. Un *combo box* es un formulario de control al que se le asocia una macro. Las macros de cada *combo box* se programaron de modo que se fijen en lo que tiene la anterior, es decir, en la cbox de subsistema se fija qué sistema tiene seleccionado la cbox de sistema y con base en el valor que tenga, se dirige a la hoja de información y recorre toda la base de datos, seleccionando únicamente los subsistemas asociados a ese sistema y mostrándolos como opciones para el usuario. (Ver Figura 3).

Por medio de algoritmos de selección se delimitan las posibilidades para el usuario de modo que reporte una falla consistente a un tipo de equipo.

Todo lo reportado se almacena en una base de datos de donde se tomaron los datos para calcular los índices de evaluación del mantenimiento.

6. Desarrollo de indicadores de confiabilidad

La parte más importante del trabajo de grado fue programar las macros que recorren la hoja de información, el historial de fallas, para que acumule solo la información necesaria y la manipule por medio de operaciones aritméticas de modo que se lleguen a resultados fiables y de manera eficiente.

Se diseñó un formulario amigable para el usuario de modo que éste pueda pedir la información que necesita, al ingresar a la función de indicadores en la pantalla de *home* aparecerá el siguiente formulario. (Ver Figura 4)

Fig. 4. Formulario cálculo de indicadores. [Software] Aplicativo cActivos2.0

The screenshot shows a window titled "Indicadores" with the following elements:

- Two date input fields labeled "Desde" and "Hasta" with the format "dd/mm/aaaa".
- A dropdown menu labeled "Sistema".
- Three sections, each with a checkbox and a group of dropdown menus:
 - Disponibilidad: Radio button "Subsistema" and dropdown "Equipo".
 - Tiempo medio entre fallas: Radio button "Subsistema" and dropdown "Equipos".
 - Fallas Recurrentes: Radio button "Subsistema", dropdown "Componente", and radio button "Pareto 80/20 de equipos".
- Two buttons at the bottom right: "Calcular" and "Cerrar".

El aplicativo tiene la capacidad de calcular índices como la disponibilidad, tiempo medio entre fallas, fallas recurrentes y Pareto 80/20, tanto en subsistemas como en equipos específicos. Al calcular cada indicador se mostrará una tabla con los resultados de los índices bajo las condiciones requeridas al software, además de una gráfica con el estándar propio de Cerro Matoso y un pequeño historial de las fallas a partir de las cuales se obtuvieron los resultados por si el usuario desea hacer una revisión manual. Todo se logra en un lapso de tiempo inferior a los tres segundos. (Ver Tabla 2)

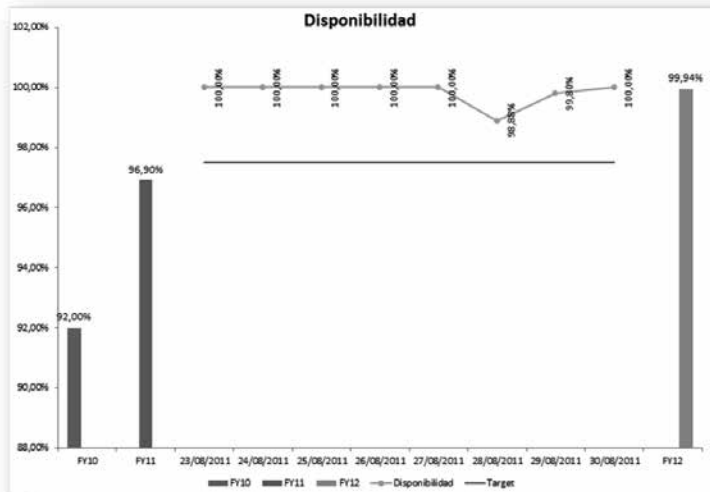
Tabla. 2. Resultado cálculo de disponibilidad. [Aplicativo] cActivos2.0

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		FY10	FY11	23/08/2011	24/08/2011	25/08/2011	26/08/2011	27/08/2011	28/08/2011	29/08/2011	30/08/2011	FY12
2	FY10	92,00%										
3	FY11		96,90%									
4	Disponibilidad			100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	98,88%	99,80%		100,00%
5	Target			97,50%	97,50%	97,50%	97,50%	97,50%	97,50%	97,50%	97,50%	97,50%
6	FY12											99,94%

Esta tabla muestra la manera correcta según Cerro Matoso de cómo se debe tabular información, la tabla debe tener en su primera fila los dos años fiscales anteriores que son conocidos en la empresa como FY, el rango de fechas que se está analizando día por día y finalmente el año fiscal que transcurre. En la primera columna debe tener los dos años fiscales anteriores al igual que en la fila, la disponibilidad y el *target* de contrato, es decir, el porcentaje que se debe cumplir según los pactos de con la empresa subcontratada, y finalmente el año fiscal en curso.

En la tabla también deben estar tres recuadros en rojo que son datos con información clasificada, solo el jefe administrador del contrato debe ingresar estos datos manualmente, los demás datos son producto de los códigos que se diseñaron y se generan automáticamente junto con el formato de la tabla. El gráfico de disponibilidad que corresponde a esta tabla tiene ciertas exigencias de forma.

Fig. 4. Gráfica de confiabilidad. [Software] Aplicativo cActivos2.0



Dentro de servicios de operaciones se exige que los porcentajes de FY's (años fiscales) se hagan en gráficas de barras, mientras que los datos puntuales de cada día se haga en una curva y el *target* de contrato que sea una línea recta sin etiqueta de datos. En adición a esto, las leyendas que explican la gráfica deben ir en la parte inferior central del eje horizontal. En este lapso analizado, la empresa subcontratista ha tenido resultados positivos debido a que su contrato les exige una disponibilidad mínima de 97,5% y en lo que va del año fiscal actual se ha mantenido una disponibilidad del 99,94% como se ve en la barra del extremo derecho. En el lapso de tiempo particular seleccionado por el usuario el mínimo de disponibilidad ha sido del 98,88% que sigue siendo mejor al límite inferior admisible.

Cada indicador tiene su forma de tabla y gráfica definido y el aplicativo satisface cada demanda, de manera similar a lo que ilustramos para confiabilidad se logran todos los demás índices, cabe resaltar la versatilidad del aplicativo es la capacidad que tiene de ingresarle nuevos activos y que éstos queden automáticamente ligados a análisis por indicadores.

Conclusiones

Mediante los índices de confiabilidad se propicia la revisión de los planes de mantenimiento, se establece el alcance y frecuencia que deben tener las paradas de planta para la intervención preventiva y correctiva de equipos.

Un sistema de gestión de mantenimiento bien implantado reduce los costos a mediano y largo plazo en reparación y renovación de maquinaria, disminuye riesgos asociados a procesos, personas y medio ambiente.

El modelaje de sistemas mediante el desarrollo de tecnología de control afecta positivamente a nivel operacional, productivo, económico y social porque se trabaja en un entorno organizacional donde prima la seguridad industrial, sin descuidar la competitividad.

Planear y ejecutar las tareas de mantenimiento sin tener una forma de realimentar las labores, no provee a los interesados de herramientas válidas que los guíen hacia cambios encaminados a la optimización.

Con la elaboración del aplicativo se aprende la sintaxis del lenguaje de Visual Basic, a su vez se domina gran cantidad de funciones propias de Microsoft Excel.

A pesar de que este trabajo fue desarrollado para necesidades específicas, todo el trasfondo conceptual se conserva para poder aplicarse en el futuro en cualquier otra empresa y garantizar mejoras continuas en el factor de servicio de todos sus sistemas. Se le da un valor agregado al mantenimiento a través de mediciones sistemáticas, bases de datos, y manejo de incertidumbre, gracias al modelaje probabilístico que generan los índices del aplicativo.

Debido a que el aplicativo es administrable y eficiente, no le demandará a la empresa tener un recurso exclusivo encargado de las labores que este ejecuta; se puede delegar esta función a un trabajador que ya tenga otras ocupaciones porque no demanda gran cantidad de tiempo ni de esfuerzo.

Se facilita la consecución de datos reales de desempeño para tomar decisiones que sean consecuentes con el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Se podrán incluir los demás tipos de activos que maneja la unidad sin necesidad de capacitar personal en el manejo de lenguajes de programación que es una labor que demanda una gran cantidad de tiempo, anexar nuevos sistemas será cuestión de seguir unos pasos sencillos, ya que este aplicativo piloto desarrolló la parte compleja que era el diseño y ejecución de la plantilla administrable.

Agradecimiento

Un agradecimiento muy especial al asesor John Pérez Bonnet, quien dio orientaciones en el maravilloso mundo del mantenimiento y la planeación, por su paciencia y excelente disposición para la enseñanza.

Referencias

- Tavares, L. A. (s.f.). Administración moderna de mantenimiento. Sao Paulo: Novo Polo Publicaciones.
- ISO 9001, G. d. (versión 2008). International Organization for Standardization. Obtenido de http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/management_and_leadership_standards/quality_management.htm
- Amendóla, L. (2002). Modelos mixtos de confiabilidad. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Boero, C. (1998). Mantenimiento industrial. Córdoba: Editorial Universitat.
- Calloni, J. C. (2004). Mantenimiento eléctrico para pequeñas y medianas empresas. Nobuko.
- César Camisón, S. C. (2006). Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Corporation, M. (s.f.). Ayuda de Microsoft Visual Basic para aplicaciones 7.0. 6.1.7001.3. Service pack build 1.
- Ebeling, C. (1997). An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Boston: McGraw-Hill.
- Ospina, A. (2008). Notas de clase. Fundamentos de programación. Medellín, Antioquia, Colombia.

Autores



Santiago JIMÉNEZ GONZÁLEZ. Nació en Montelíbano, Córdoba. Realizó sus estudios de básica primaria y secundaria en el colegio Fundación Educativa de Montelíbano; en 2004 se le otorgó el galardón Andrés Bello en inglés por el Ministerio de Educación, culminó sus estudios superiores de ingeniería eléctrica en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.



José Hernán VALENCIA GALLÓN, nacido el 27 de Mayo de 1947, en Fredonia, Antioquia, culminó su básica primaria en el colegio Julio César García de Medellín, el bachillerato en el Liceo Nacional Marco Fidel Suárez y realizó sus estudios superiores en ingeniería eléctrica en la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín donde se graduó en el año 1970 y posteriormente realizó sus estudios de especialización en transmisión y distribución.

Se ha desempeñado durante 40 años como profesor titular de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UPB sede Medellín, durante todos estos años de docencia ha publicado 4 libros, “Sistemas de control eléctrico industrial” en 1995, “Sistemas automáticos de control” en 2006,

“Electrónica industrial” en 2008 y “Grupos electrógenos diesel” en 2010, todos por la Editorial UPB. Ha sido asesor en plantas eléctricas para entidades como CORFOPYM (Quito y Guayaquil), EMP, ISA, CHEC, Ecopetrol, Frontino Gold Mines, entre muchas otras. Actualmente sigue dedicado a la pedagogía en la UPB y edita un nuevo libro.

