

Implementación de una línea electiva en automatización avanzada para ingeniería electrónica

Alexander Cortés Llanos
Coordinación Ingeniería electrónica
Universidad ECCI
Bogota, Colombia
acortesll@eccci.edu.co

Luis Fernando Rico Riveros
Coordinación Ingeniería electrónica y
mecatronica
Universidad ECCI
Bogota, Colombia
coordinacion.electronica@eccci.edu.co

Victor Hugo Bernal Tristancho
Coordinación Ingeniería Mecatronica
Universidad ECCI
Bogota, Colombia
vbernal@eccci.edu.co

Abstract— Las asignaturas electivas les brindan a los programas de estudio la posibilidad de ser pertinentes y actuales. La línea electiva de automatización avanzada en ingeniería electrónica de la universidad ECCI, le permite al estudiante adquirir conocimientos para el diseño y la implementación de sistemas automatizados para procesos industriales y automatización de edificios de mediano y gran tamaño utilizando herramientas de hardware y software de tipo profesional.

Keywords— Docencia en automatización, redes de Petri, GEMMA.

I. INTRODUCCION

El trabajo para la creación de la nueva línea electiva comenzó a finales del año 2015 con un estudio de pertinencia a nivel sectorial y regional. Los resultados y análisis de este estudio llevo al comité curricular a la propuesta de tres asignaturas de la línea en automatización avanzada orientada a los modelos de ingeniería para el diseño e implementación de sistemas automatizados de pequeña y gran envergadura en procesos industriales y la inclusión de automatización para edificios.

Las tres asignaturas son teóricas practicas por lo cual se diseñaron y crearon las prácticas de laboratorio propias para cada una. Se utiliza hardware y software de tipo industrial con el cual el egresado se va a encontrar en las empresas de ingeniería para la implementación. Las dos primeras asignaturas de la línea electiva se encuentran enfocadas a procesos industriales, para la primera el modelo de ingeniería utilizado son redes de Petri [1] y su implementación se realiza en laboratorios donde se utiliza bancos de electro-neumática, PLC S7-1200 marca Siemens, software TIA portal [2] y LabView [3]. Los conceptos de base de la primera asignatura son ampliados con la metodología de diseño GEMMA [4], que permite al estudiante contemplar todos los estados posibles dentro de una automatización: producción normal, marchas, paros, paradas de emergencias, mantenimiento, entre otros. La tercera y última asignatura contempla los diferentes sistemas dentro de una automatización de edificios con el objetivo de buscar interoperabilidad, control centralizado y gestión

energética. El diseño se realiza a través de software de simulación y AutoCAD [5]. El trabajo está organizado de la siguiente forma: en la sección II se expone el estudio de pertinencia realizado para la justificación de la electiva, sección III trata de la estructura de las asignaturas de la línea electiva, sección IV plantea la metodología empleada en cada una de las asignaturas, por último, en la sección V se exponen los resultados obtenidos y los problemas encontrados.

II. ESTUDIO DE PERTINENCIA

Durante finales del 2015 y basados en la percepción de nuestros estudiantes y la dinámica económica de Colombia, nos dimos a la tarea de analizar la pertinencia de una nueva electiva para nuestro programa de ingeniería electrónica que nos permitiera fortalecer las competencias profesionales de nuestros egresados.

A. Información sectorial

Según los datos del observatorio laboral y ocupacional del Sena [6] en diciembre del 2015, casi la tercera parte de las

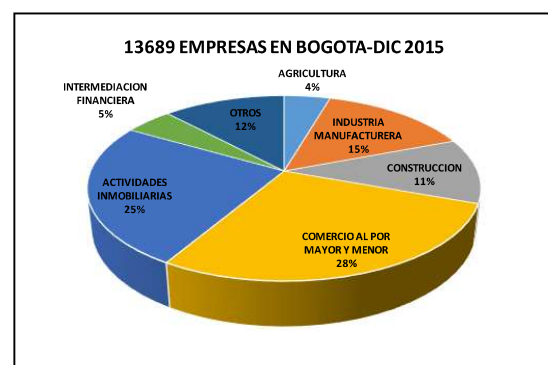


Fig. 1. Participación de empresas por sectores en la ciudad de Bogotá.

empresas (26%) en la ciudad de Bogotá, son empresas dedicadas a la industria manufacturera y de construcción. Teniendo en cuenta que, desde hace unos años por políticas de ordenamiento territorial, muchas empresas se han ubicado a las afueras de la ciudad capital, es importante tener en cuenta las empresas ubicada en el departamento de Cundinamarca, donde podría existir un mercado potencial de nuestros ingenieros.

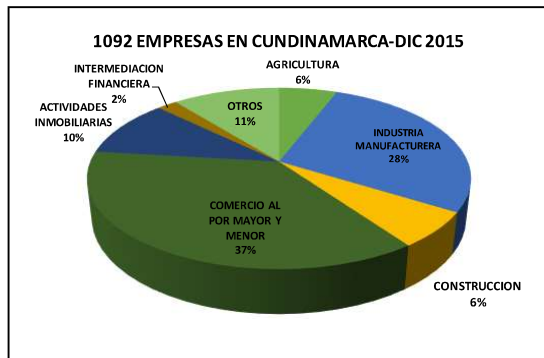


Fig. 2. Participación de empresas por sectores en el departamento de cundinamarca.

En la figura 2, se puede apreciar que la industria manufacturera y construcción, se encuentra en el segundo lugar dentro de la actividad económica de las empresas, lo que implica un potencial de 474 empresas de diferentes tamaños: micro, pequeña, mediana y gran empresa.

B. Percepcion Empleadores

Para complementar el estudio de pertinencia y bajo un instrumento de encuesta se le pregunto a los empleadores de nuestros egresados, que contestaran una serie de preguntas con respecto al desempeño en el ejercicio profesional. Con una muestra de 132 respuestas, los empresarios evidenciaron la necesidad de fortalecer el area de control y automatizacion.

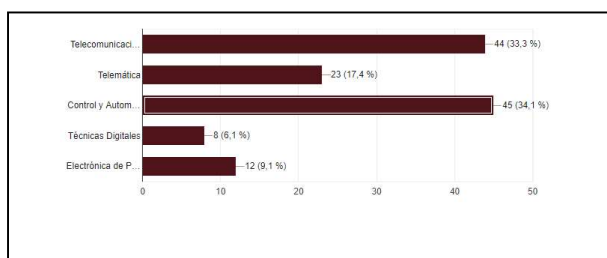


Fig. 3. ¿Cuál de las siguientes áreas considera importante que los ingenieros electrónicos profundicen sus estudios? Encuesta realizada dic-2015.

Después de analizar los anteriores datos, y en búsqueda de fortalecer el perfil de nuestros ingenieros electrónicos, se propuso una electiva orientada a modelos y formalismos de automatización que permitiera desarrollar competencias en el control de procesos industriales de eventos discretos y tipo

Batch. Con el fin de que las empresas manufactureras pudiesen llevar a cabo sus procesos de actualización tecnológica contando con un recurso profesional preparado para esos nuevos retos. De la misma forma el incremento de proyectos en infraestructura para los sectores residenciales, comercio y gubernamentales exigen contar con ingenieros que diseñen e implementen diferentes sistemas que permita manejar el concepto BAS (*Building Automation System*).

III. ESTRUCTURA DE LAS ASIGNATURAS DE LA LINEA ELECTIVA

En el programa de ingeniería electrónica de la universidad ECCI, existían tres líneas electivas de profundización: control, telemática y telecomunicaciones, de las cuales el estudiante debe cumplir como requisito para poderse graduar haber cursado al menos dos.

La propuesta para la nueva línea electiva enfocada en automatización avanzada que fue aprobada por el comité curricular de la coordinación se presenta a continuación.

TABLE I. LINEA DE AUTOMATIZACION AVANZADA

SEMESTRE	ASIGNATURA
Octavo	Automatización Avanzada I
Noveno	Automatización Avanzada II
Decimo	Automatización Avanzada III

A. Automatizacion avanzada I

Uno de los principales objetivos de la nueva línea electiva era brindar un formalismo bajo modelos de ingeniería para los proyectos de automatización que permitieran realizar análisis gráfico y matemático, pero fuera independiente de la implementación. Es decir que el modelo de ingeniería se pudiera llevarse a diferentes soluciones tecnológicas como lo son: Controladores lógicos programables PLC's, sistemas de adquisición de datos controlados por programación en LabVIEW o un arreglo de compuertas programables FPGA. La estructura de la asignatura esta orientada al diseño y análisis bajo los siguientes modelos:

- Diagramas de transición de estados, con entradas y salidas.
- Redes de Petri interpretadas
- Redes de Petri binarias
- GRAFCET

B. Automatizacion avanzada II

Después de que el estudiante adquiere algunas destrezas en el diseño de la producción normal de un proceso de eventos discretos. El siguiente paso es contemplar otros posibles estados que pueden ocurrir en el sistema, además de la intervención coordinada de un operador. Procedimientos de marcha, paro y emergencia deben de ser analizados e implementados en nuestros sistemas de automatización para

procesos industriales. Para lo cual utilizamos la guía metodológica GEMMA (Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt) y sus 16 posibles estados entre los cuales tenemos seis estados para marcha, siete estados de paro y tres de emergencia. Esta asignatura está orientada a desarrollar competencias de diseño en los estudiantes utilizando:

- GRAFECT base y su ampliación de acuerdo a GEMMA
- GRAFCET parciales de acuerdo a GEMMA
- Coordinación horizontal y vertical con GRAFCET de mando

C. Automatización avanzada III

Las dos anteriores asignaturas brindan las herramientas para el fortalecimiento en el análisis y diseño de sistema de procesos industriales, mientras que la última materia de la línea permite al estudiante enfocarse en la automatización de edificios o lo que se conoce en inglés como *Building Automation System BAS* [7]. El estudiante tiene la posibilidad de conocer y diseñar algunos sistemas típicos como lo son:

- Sistemas de comunicación de datos cableados e inalámbricos
- Circuitos cerrados de televisión CCTV
- Sistemas de iluminación
- Sistemas de control, acceso e intrusión
- Sistemas de detección de incendio

Además, la última parte del curso está orientado a eficiencia energética de los edificios, para lo cual se exponen las políticas que tiene Colombia durante el periodo 2017-2022 y sus estrategias para lograrlo en este sector, una de ellas tiene que ver con la implementación de sistema de gestión de energía bajo la norma ISO 50001.

IV. METODOLOGIA IMPLEMENTADA EN LAS ASIGNATURAS

Nuestro programa de ingeniería electrónica está basado en sistemas de créditos académicos, cada una de las materias de la línea de automatización avanzada tiene 3 créditos académicos, lo que implica 9 horas de trabajo en la semana, 4 horas de trabajo presencial (2 para la clase magistral y 2 para la implementación de laboratorios) y 5 de trabajo independiente.

Todas las prácticas de laboratorios refuerzan los conceptos formales vistos en la clase magistral. A continuación, se expone el manejo dado a cada una de las asignaturas.

A. Metodología en Automatización avanzada I

- Se trabaja inicialmente con problemas típicos encontrados en los procesos industriales: el control de

maquinas estampadoras, de tablas de indexación, Maquinas *pick and place* entre otras. El estudiante como primera medida debe comprender la función de cada uno de los sensores y actuadores para poder establecer la secuencia de control para producción normal.

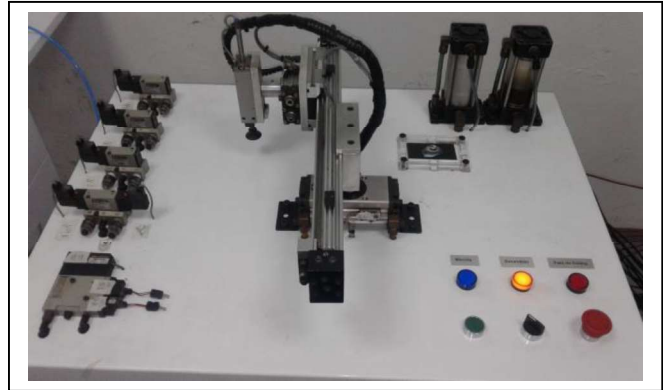


Fig. 4. Estacion de Maquina Pick and place que hace parte del laboratorio de electroneumatica

- El siguiente paso después de plantear la secuencia de control en un listado de tareas que debe hacer la maquina es establecer la red de Petri binaria o GRAFCET. Con lo cual se puede realizar un análisis de vivacidad y reversibilidad de la red, garantizando que no exista bloqueo dentro de su estado de producción normal.

MAQUINA PICK AND PLACE			
TAREA	DESCRIPCION	SALIDAS	
T1	POSICIONAR EN 1	A RETRAER Y B EXTENDER	
T2	POSICIONAR EN 2	B RETRAER	
T3	POSICIONAR EN 3	A EXTENDER	
T4	POSICIONAR EN 4	A EXTENDER Y B EXTENDER	
T5	CILINDRO ARRIBA Y ENCIENDE BOMBA	ON BOMBA	
T6	CILINDRO ABAJO	C EXTENDER	
T7	CILINDRO ABAJO Y ENCIENDE BOMBA	C EXTENDER Y ON BOMBA	
T8	CILINDRO ABAJO Y APAGA BOMBA	C EXTENDER Y OFF BOMBA	
TAREA	COMIENZA SI (Tareas)	HASTA QUE (Sensores)	AUTORIZA (Tareas)
T1	FIN REPOSO	START	T2
T2	FIN T1	B1 OR B3	T5, T7
T3	FIN T6	S1	T8
T4	FIN T7	S1B2	T8
T5	FIN T2	B3ON	T6
T6	FIN T5	B4	T3
T7	FIN T2	B4ON	T4
T8	FIN T3	S2B4 OR S1B4	T2, T1
SENSORES	DESCRIPCION		
S1	A EXTENDIDO		
S2	A RETRAIDO		
B1	B RETRAIDO		
B2	B EXTENDIDO		
B3	C RETRAIDO		
B4	C EXTENDIDO		

Fig. 5. Listado de tareas para el diseño del control de la maquina Pick and place

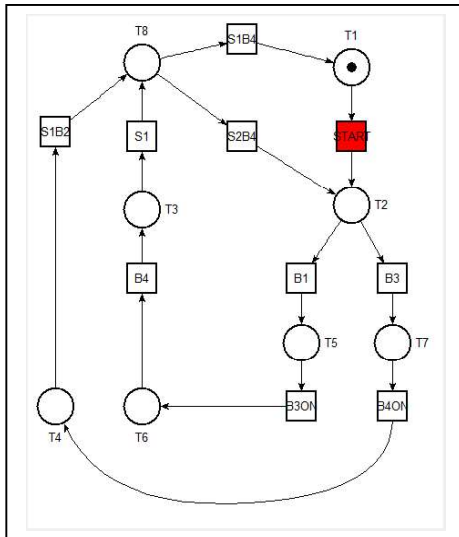


Fig. 6. Red de Petri maquina Pick and place utilizando TINA [8]



Fig. 7. Módulos de capacitación diseñados por la coordinación de Ingeniería electrónica Universidad ECCI.

- Por último, tenemos la implementación de nuestro diseño. Para ello nos basamos en una metodología que consiste en mapear nuestra estructura de red de Petri o GRAFCET a lenguaje LADDER de controladores lógicos programables PLC's. Esto le permite al estudiante programar cualquier PLC, sin importar si soporta directamente programación en GRAFCET. Los pasos para la programación son los siguientes:

- Creacion de variables en el PLC entradas, salidas y bits de memoria.
- Inicializacion del sistema
- Evolucion de la Red de Petri o GRAFCET
- Activacion de salidas

- Los estudiantes tienen asignado dos horas de trabajo en el laboratorio de electroneumática para la implementación de los diferentes ejercicios de automatización. Estos espacios están diseñados para el montaje fácil y rápido de cilindros, válvulas y sensores de proximidad. Además, bajo diseño de la coordinación de ingeniería electrónica se tiene módulos que incorporan una CPU S7-1200, Pantalla HMI siemens KTP-700, los cuales están acoplados a borneras para conexión eléctrica rápida Fig. 7.
- La programación se realiza en TIA PORTAL Basic. Allí los estudiantes pueden realizar la implementación final, la cual se cargará a la CPU y también el diseño de la HMI. Este software permite monitorear en tiempo real las señales de entrada y salida, lo que permite que los estudiantes establezcan los errores ya sea, en la conexión física, líneas de programación o el modelo de la red de Petri.

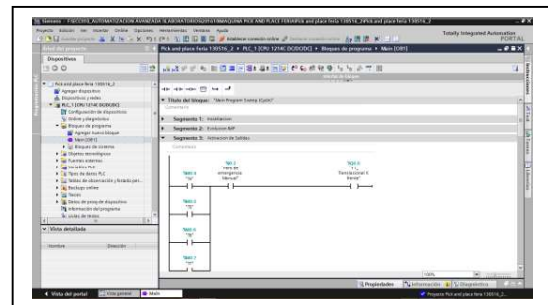


Fig. 8. Implmentacion final en TIA PORTAL v13

B. Metodología en Automatizacion avanzada II

- El objetivo de esta asignatura es contemplar de una manera integral todos los posibles estados de un sistema automatizado en un proceso industrial. Los ajustes que se puedan hacer a los diferentes sensores y elementos finales de control. Los mantenimientos por parte de los operadores en la maquinas. Y las paradas de emergencia son estados que pueden ocurrir en la práctica.
- Es importante que el estudiante conozca una metodología o proceso secuencial formal que permita contemplar dentro de su diseño todos los posibles estados, para ello utilizamos GEMMA, Guía de modos de marcha y parada. La cual consiste en:
 - Seis procedimientos de funcionamiento
 - Siete procedimientos de paro
 - Tres procedimientos de Emergencia

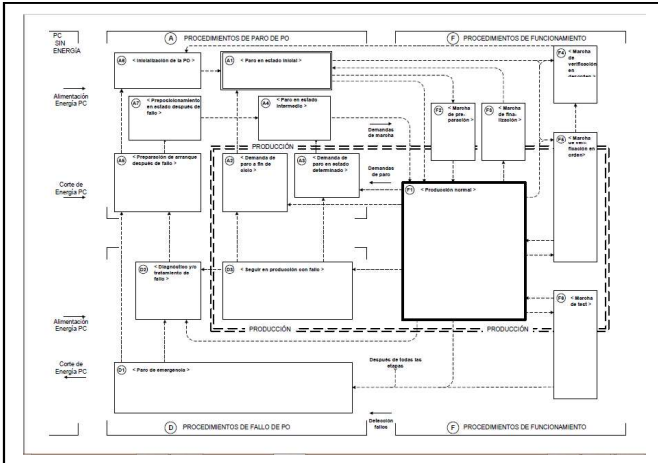


Fig. 9. Plantilla GEMMA. Tomado de [9]

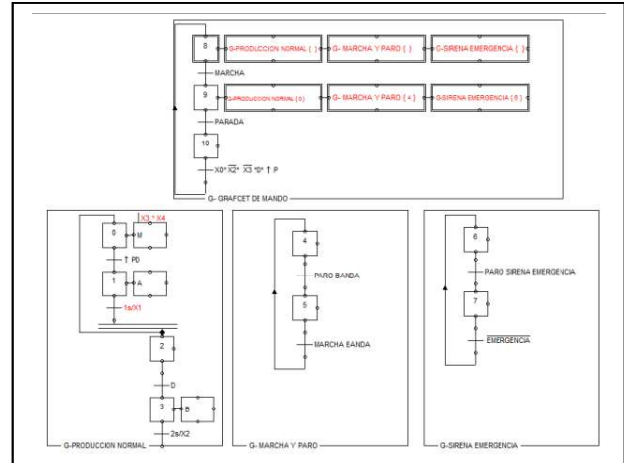


Fig. 10. GRAFCET's parciales utilizando la metodología de GEMMA.

- A partir del conocimiento de la funcionalidad de cada estado del GEMMA, y unas especificaciones de diseño el estudiante establece los bloques que se van a contemplar en el automatismo y procede a definir las acciones que llevarian de un estado a otro utilizando las líneas de conexión en la guía. Es importante resaltar que la guía GEMMA establece una filosofía de modularidad y escalabilidad, por lo cual no es necesario tomar en cuenta los dieciséis procedimientos en el primer momento.
- Para poder implementar los estados del GEMMA, hacemos uso de dos técnicas: Ampliación del GRAFCET base o la utilización de GRAFCET's parciales Fig. 10. La primera está orientada a automatización de sistemas pequeños, mientras que la segunda nos permite establecer el control para sistemas de mediana y gran envergadura.
- Por último, realizamos la programación en lenguaje LADDER, utilizando los mismos pasos planteados en la asignatura de automatización avanzada I. Cabe resaltar que en esta asignatura también se incluye la programación básica de pantallas HMI, la cual nos permite contemplar mas entradas relacionada con botones, pulsadores, selectores y mas salidas como indicaciones visuales con parpadeo o cambio de color Fig. 11.

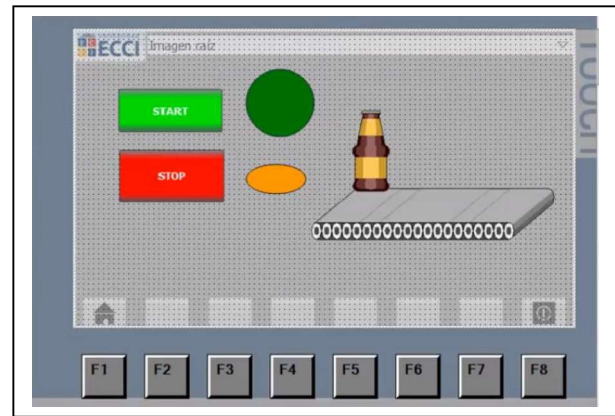


Fig. 11. Diseño de HMI para la utilización de entradas por parte del operador en la guía GEMMA

C. Metodología en Automatización avanzada III

- Para el diseño de los diferentes sistemas en automatización de edificios se utilizan bases de edificios encontradas en repositorios de uso libre. El software utilizado es AUTOCAD, el cual nos permite ubicar los diferentes elementos en los planos de cada uno de los pisos. Dependiendo del sistema a diseñar se utilizan diferentes programas de simulación. Para el caso de la red de WIFI, los estudiantes hacen uso de un software libre para el diseño de cobertura que se trabaja en el navegador web [10]. Y para otros sistemas como el circuito cerrado de televisión, se utiliza versiones demo [11].

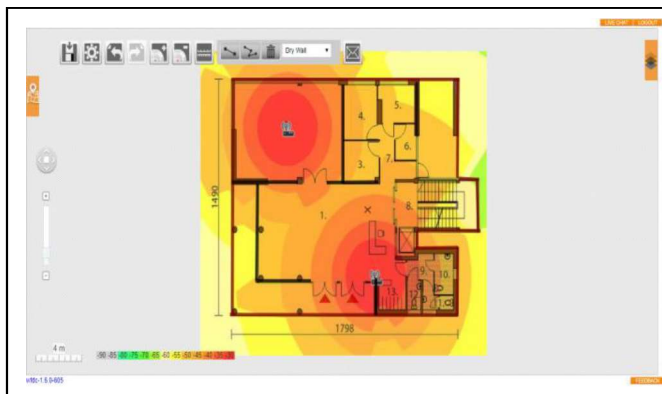


Fig. 12. Diseño y simulacion de red de WIFI

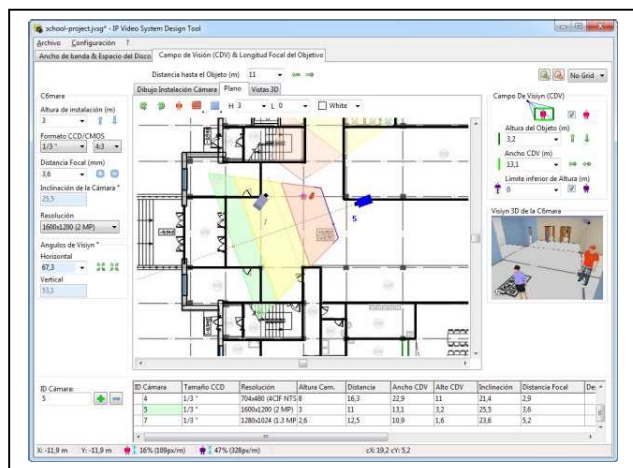


Fig. 13. Diseño y simulacion de CCTV. Tomado de [11]

- Para otros sistemas, como detección de incendios y sistemas de control de acceso e intrusión, las prácticas y clases presenciales están enfocadas a presentar los diferentes tipos de sensores o transmisores específicos utilizados. Además del tipo de arquitectura y tecnologías que se manejan, ampliando un poco sobre los principios físicos utilizados, y estableciendo métricas de comparación.
- La última parte del curso es la presentación de la norma ISO 50001. Su estructura, alcance y objetivos. Teniendo como presentación preliminar el plan de acción indicativo de eficiencia energética PAI PROURE 2017-2022 [12]. El cual nos presenta un contexto sobre el consumo y uso de energéticos en los sectores donde existen edificios.

- El principal objetivo es presentar las partes de un sistema de gestión de energía, el cual puede ser implementado en procesos industriales, transporte y edificios. Los estudiantes escogen un caso de estudio donde identifican usos significativos de energía y empiezan a formular las actividades para lograr un sistema de gestión de energía SGE.
- Para poder establecer una metodología formal con respecto a la implementación de un SGE, se utiliza el software del departamento de energía de estados unidos [13], el cual contempla todas las etapas para la formulación e implementación que lleve a la organización o a los implementadores a buscar una certificación del sistema.

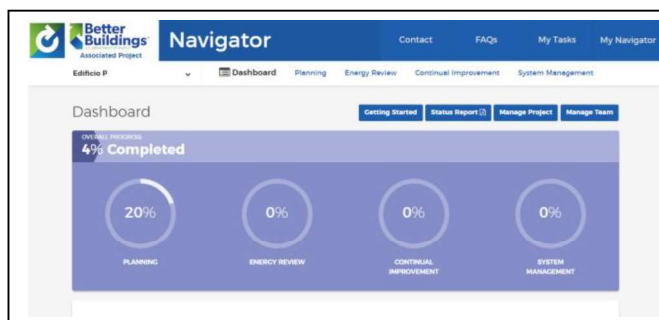


Fig. 14. Software guia para la implementacion de Sistema de gestion de energia SGE bajo la norma ISO 50001[13]

V. RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS

La línea electiva de automatización avanzada comenzó su oferta en el primer semestre de 2016, hasta el momento las asignaturas han sido muy atractivas para los estudiantes, hemos tenido dos cohortes de la línea y la motivación de los estudiantes es evidente.

En el primer semestre que se oferto la asignatura de automatización avanzada I, se realizo una encuesta de satisfacción a nuestros estudiantes. Con una muestra de 32 personas los resultados mostraron una gran satisfacción de la propuesta: Fig. 15 y 16. Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

¿Los formalismos y técnicas vistas en clase son pertinentes para la solución de problemas de mediana y gran envergadura en el area de automatización?

¿Considera que los formalismos y técnicas vistos en clase complementan temáticas vistas en otros cursos?

¿Cree que la asignatura responde a las necesidades del sector industrial colombiano en la automatización de procesos industriales y de manufactura?

¿Considera que la tecnología de implementación (PLC Siemens) trabajada en los laboratorios del curso, responde a lo implementado en el sector industrial?

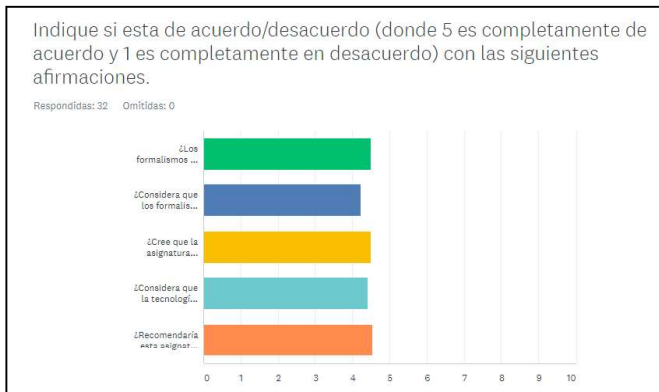


Fig. 15. Resultados de las preguntas realizadas al primer grupo de estudiantes de Automatización avanzada I – I-2016

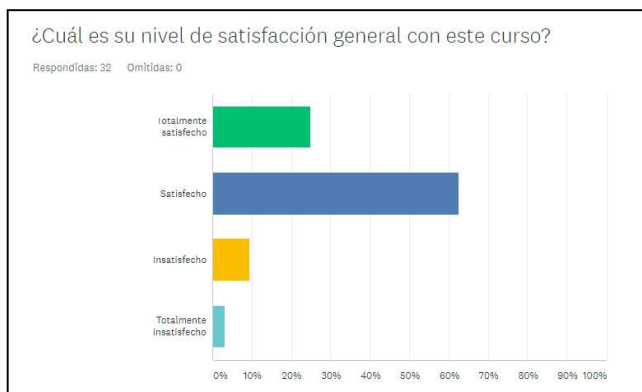


Fig. 16. Resultados encuesta de satisfacción estudiantes de Automatización avanzada I – I-2016

En este momento la línea electiva de automatización avanzada ha logrado posicionarse dentro de la profundización que buscan muchos estudiantes. Se tiene totalmente estructurada en sus contenidos y sus prácticas de laboratorios. Automatización avanzada I y II cuenta con sus laboratorios para prácticas basados en electroneumática y para este semestre 2018-I la

universidad ha realizado una adquisición de una celda de manufactura de seis estaciones, la cual será base importante para nuevos retos dentro de los diseños de los estudiantes.

Con respecto a Automatización Avanzada III, carecemos de un laboratorio para prácticas con sistemas de edificios inteligentes, pero se ha empezado a contemplar un diseño que nos permite trabajar el concepto de *BMS (Building Management System)*, donde podamos gestionar, monitorear y controlar diferentes sistemas, a través de un prototipo.

Es importante tener en cuenta que la estructura de la línea electiva obedece a la pertinencia con el sector industrial colombiano, por lo tanto el comité curricular del programa de ingeniería electrónica, está atento a la dinámica sectorial para proponer nuevos temas dentro del contenido o nuevas metodologías que nos permitan tener una carrera actualizada, y pertinente.

REFERENCES

- [1] R. David, and H. Alla, "Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets," Edition 2. France: Springer, 2010.
- [2] (2018)"Siemens TIA PORTAL". [Internet]. Disponible en: <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/pages/tiaportal.aspx>
- [3] (2018)"Que es LabVIEW" ". [Internet]. Disponible en: <http://www.ni.com/es-co/shop/labview.html>
- [4] (2018)"Curso GEMMA". [Internet]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Gu%C3%ADa_de_estudio_de_los_modos_de_marchas_y_paradas
- [5] (2018)"Descripcion general AUTOCAD". [Internet]. Disponible en: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview>
- [6] (2013)"Observatorio Laboral y ocupacional + trabajo SENA". [Internet]. Disponible en: <http://observatorio.sena.edu.co/>
- [7] S. Wang "Intelligent Buildings and Automation," Abingdon/New York:Spon Press, 2010.
- [8] (2018)"Time petri Net Analyzer". [Internet]. Disponible en: <http://projects.laas.fr/tina/home.php>
- [9] (2018)"Conceptos fundamentales GEMMA". [Internet]. Disponible en: <http://olmo.pntic.mec.es/jmarti50/gemma/gemmal.htm>
- [10] (2018)"Wi-Fi Designer" [Internet]. Disponible en: <https://wfd.cloud.xirrus.com/wfdc/>
- [11] (2018)"JVSG: CCTV Design Software" [Internet]. Disponible en: <http://www.jvsg.com/es/>
- [12] (2017)" Portal UPME/Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética PAI PROURE 2017 – 2022" [Internet]. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/Paginas/Plan-de-Acci%C3%B3n-Indicativo-de-Eficiencia-Energ%C3%A9tica-PAI-PROURE-2017--2022.aspx>
- [13] (2018)"50001 Ready U.S. DEPARTMENT OF ENERGY" [Internet]. Disponible en: <https://navigator.industrialenergytools.com/>