

**HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN  
Y LA CLIMATIZACIÓN AUTOMATIZADA DE ESPACIOS ESPECÍFICOS DEL  
EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

ANDRÉS EDUARDO SUÁREZ SUÁREZ  
LEIDY CAROLINA ACEVEDO CELIS  
JULIÁN RENÉ BENÍTEZ CORDERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
DE TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016

**HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN  
Y LA CLIMATIZACIÓN AUTOMATIZADA DE ESPACIOS ESPECÍFICOS DEL  
EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ANDRÉS EDUARDO SUÁREZ SUÁREZ  
LEIDY CAROLINA ACEVEDO CELIS**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

**JULIÁN RENÉ BENÍTEZ CORDERO**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Director:

**MSc. GERMAN ALFONSO OSMA PINTO**

Codirectores:

**Dr. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA**

**Ing. LAURA YAZMÍN AMADO DUARTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
DE TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016**

## DEDICATORIAS

*A mis padres Eutimio y Nydian por su apoyo incondicional, ejemplo, amor, dedicación, sacrificio y grandes cosas que me han ofrecido para poder hacer de mis sueños una realidad.*

*A mi abuela Soledad, por su cariño, apoyo incondicional, ejemplo y sabiduría, mostrándome lo valiosa que es la vida con la presencia de Dios en ella.*

*A mi hermana Paola Carolina, por su compañía y apego en todos los momentos que compartimos juntos.*

*A mi prometida Mónica Rondón, quien me brindó su amor para hacer de esta etapa una forma de crecimiento a nivel personal y profesional, gracias por tu apoyo incondicional, consejos y estar a mi lado en este camino que con dificultades logramos salir adelante juntos.*

*A Juliancito y Leidicita, por su ayuda y trabajo en equipo para poder hacer de este proyecto una realidad, con quienes compartimos alegrías y tristezas preguntándonos en algunos momentos la siguiente frase que se volvió en icono grupal “¿Y yo que hago...?”*

*A mis familiares y amigos, que forjaron en mí una motivación de seguir adelante y luchar por lo que se quiere con sus con sus consejos y apoyo.*

*Andrés Eduardo Suárez Suárez*

---

*La vida me dio una lección de humildad, y a Dios le doy gracias por siempre estar conmigo a lo largo de este camino, por enviarme personas tan especiales que a pesar de las adversidades y de los problemas estuvieron con una sonrisa, un abrazo y una palabra de aliento en el instante correcto.*

*Personas que con su cariño y amistad me enseñaron a ser más fuerte y a no sentirme sola; por ello quiero agradecerle a la mujer más valiente y fuerte que conozco, Lucila mi madre, quien siempre creyó en mí y ha estado a mi lado a pesar de los errores, de los momentos de incertidumbre y llanto.*

*Al angelito de mi vida, Dylan mi primito, que se las arregla para darme fuerzas de seguir adelante tan solo con una sonrisa o con un te quiero.*

*A mi segundo padre, Jesús mi tío, que siempre estuvo pendiente de mí y de mi madre, que me apoyo y siempre creyó en mis capacidades.*

*A la alegría de la casa, Leonilde y Alfonso mis abuelos, que con sus chistes malos, bailes inesperados y comentarios imprudentes siempre me sacaron una sonrisa, claro sin olvidar sus cuidados y compañía en cada instante de mi vida.*

*A mis amigas incondicionales, Sonia, Linda y Marcela, que se convirtieron en mi puesta a tierra y nunca me desampararon a pesar de lo lejos que se encontraban.*

*A la pareja más hermosa que conozco, Andrés y Mónica, que me brindaron su cariño y apoyo cuando sentía que estaba cayendo y que en poco tiempo se ganaron mi amistad, respeto y admiración. Sin olvidar agradecerles por su trabajo y empeño en la culminación de este proyecto.*

*A mis grandes amigos; Tinoco, Sami, Carlos, Yuri, Jhovanny, Liceth y Magreth; que me han llenado de alegrías, gratos momentos y palabras de aliento de forma inesperada.*

*A mí querido compañero de tesis, Julián, que me tuvo paciencia cuando no nos poníamos de acuerdo, aquel que con su compañía y trabajo permitió ver esta meta cumplirse.*

*A mi familia y amigos, que desempeñaron un papel importante a lo largo de este tiempo, "gracias por enseñarme a ver la vida con otros colores".*

*Leidy Carolina Hoovedo Celis*

---

*A mis padres Arturo y Marlen por su esfuerzo y apoyo que me permitieron culminar esta etapa de la vida.*

*A mis hermanos Sergio y Sebastián por el apoyo ofrecido durante el transcurso de la carrera.*

*A Katalina Morante quien con su amor y compañía alegra mis días.*

*A Leidy y Andres por su trabajo para sacar adelante este proyecto.*

*Julían René Benítez Cordero*

---

## **AGRADECIMIENTOS**

*A nuestros padres por habernos brindado la oportunidad de realizar nuestros estudios para ser profesionales, siempre con su apoyo incondicional acompañado de una voz de aliento en los momentos difíciles.*

*A nuestro director, MSc. Germán Alfonso Osma Pinto, por el acompañamiento, compromiso, colaboración y orientación para la elaboración de este proyecto de grado.*

*A nuestros codirectores, PhD. Gabriel Ordoñez Plata e Ing. Laura Yazmín Amado Duarte, por las recomendaciones y acompañamiento en la ejecución de este proyecto.*

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1. GENERALIDADES DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICIOS ..</b>	<b>21</b>
1.1 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES (BAS).....	21
1.2 DISEÑO VERDE DE EDIFICACIONES .....	22
1.3. ASPECTOS RELEVANTES DE UN SISTEMA BAS .....	23
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE LOS ESPACIOS SELECCIONADOS .....</b>	<b>27</b>
2.1 SELECCIÓN DE ESPACIOS .....	27
2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA AUTOMATIZADO DE ILUMINACIÓN.....	29
2.2.1 Espacios monitoreados con tubos solares .....	31
2.2.2 Espacios monitorizados sin tubos solares.....	32
2.2.3 Espacios no monitorizados sin tubos solares.....	33
2.3 FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA AUTOMATIZADO DE CLIMATIZACIÓN...	34
2.3.1 Grupo A: Descripción del sistema: .....	35
2.3.2 Grupo B: Descripción del sistema: .....	37
<b>3. CÁLCULOS IMPLEMENTADOS EN HCASICA-E3T .....</b>	<b>39</b>
3.1 CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN .....	39
3.1.1 Consumo energético.....	39
3.1.2 Simulación .....	42
3.1.3 Dimerización. ....	44
3.2 CÁLCULOS DE CLIMATIZACIÓN .....	46
3.2.1 Consumo energético.....	47
3.2.2 Simulación .....	51
<b>4. REPRESENTACIÓN EN MÁQUINAS DE ESTADOS .....</b>	<b>53</b>

4.1 DIAGRAMA DE ESTADOS PARA LAS VARIABLES DE SALIDAS DEL SUBSISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	56
4.1.1 Posición tubos solares salón 401 y espacios del 5 piso con tubos solares: Los tubos solares presenta tres posiciones.....	57
4.1.2 Balastros dimerizables salón 401, 402 y espacios del 5 piso .....	59
4.1.3 Variable de salida I_O salón 401 .....	62
4.2 DIAGRAMA DE ESTADOS PARA LAS VARIABLES DE SALIDAS DEL SUBSISTEMA DE CLIMATIZACIÓN .....	63
4.2.1 Aire acondicionado .....	64
4.2.2 Extractores.....	65
4.2.3 Lámpara de abrir.....	66
4.2.4 Lámpara de cerrar .....	67
<b>5. MODELO ESTRUCTURAL DE HCASICA-E3T .....</b>	<b>69</b>
5.1 ESTRUCTURA GENERAL .....	69
5.2 ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN.....	71
5.2.1 Investigación.....	71
5.2.2 Desarrollo .....	76
5.2.3 Culminación .....	78
5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS .....	83
<b>6. VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....</b>	<b>87</b>
6.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE USO .....	88
6.1.1 Lineamientos de las pruebas .....	90
6.2 FORMATO Y VALORACIÓN DE LAS PRUEBAS .....	90
6.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE FUNCIONALIDAD.....	92
6.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	93
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>101</b>

**BIBLIOGRAFIA.....104**  
**ANEXOS.....105**

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estructura de un edificio inteligente [9] .....	23
Figura 2. Arquitectura centralizada de un BAS [9] .....	25
Figura 3. Sistemas implementados en el edificio E3T [10] .....	26
Figura 4. Diagrama de entradas y salidas de espacios monitoreados con tubos solares .....	32
Figura 5. Diagrama de entradas y salidas de espacios monitoreados sin tubos solares .....	33
Figura 6. Diagrama de entradas y salidas de espacios no monitoreados sin tubos solares .....	34
Figura 7. Diagrama de entradas y salidas para el subsistema automatizado de climatización (grupo A) .....	37
Figura 8. Diagrama de entradas y salidas para el subsistema automatizado de climatización (grupo B) .....	38
Figura 9. Máquina de estados para posición de tubos solares .....	57
Figura 10. Máquina de estados para balastos dimerizables .....	60
Figura 11. Máquina de estados para encendido y apagado de luminarias .....	62
Figura 12. Máquina de estados para aire acondicionado .....	64
Figura 13. Máquina de estados para extractores .....	65
Figura 14. Máquina de estados para lámpara de abrir .....	66
Figura 15. Máquina de estados para lámpara de cerrar .....	68
Figura 16. Módulos principales .....	69
Figura 17. Módulo de selección de espacio .....	70
Figura 18. Módulo de funcionamiento de área seleccionada .....	70
Figura 19. Módulo de simulación .....	71
Figura 20. Inicio de la herramienta computacional .....	73
Figura 21. Iconos de ayuda e información respectivamente .....	74
Figura 22. Diseño de casillas de visualización de resultados .....	74

Figura 23. Lista desplegable, botón de única selección y botón para activar resultados respectivamente .....	75
Figura 24. Cuadro de selección de radiación en la azotea .....	75
Figura 25. Gráfica de funcionamiento del salón 401 .....	76
Figura 26. Ventana de funcionamiento .....	83
Figura 27. Ventana de consumo .....	84
Figura 28. Ventana de simulación.....	85
Figura 29. Ventana de dimerización .....	86
Figura 30. Grupo de validación de la herramienta .....	89
Figura 31. Puntos focales para el cumplimiento del objetivo de la herramienta ....	90

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Espacios automatizados de iluminación y climatización .....	28
Tabla 2. Variables presentes en el subsistema de iluminación.....	29
Tabla 3. Espacios que presentan tubos solares .....	30
Tabla 4. Variables presentes en el subsistema de iluminación.....	34
Tabla 5. Ejemplo grupos y combinaciones para la máquina de estados de los tubos solares.....	54
Tabla 6. Ejemplo tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado .....	55
Tabla 7. Espacios y su abreviación.....	56
Tabla 8. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los tubos solares salón 401 .....	58
Tabla 9. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de tubos solares para espacios del 5 piso con tubos solares .....	59
Tabla 10. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los balastros dimerizables salón 401 .....	60
Tabla 11. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los balastros dimerizables de CPOS, CPRE, SREUN, CESP, CESP, DE3T, CCTV, SECADM.	61
Tabla 12. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los balastros dimerizables de Salón 402, SAPRE, SECPOS, PYS, SESTAR, CALID, SDIR .....	61
Tabla 13. Grupos y combinaciones para la máquina de estados para aire acondicionado para salones 401,404, 405 y 406.....	65
Tabla 14. Grupos y combinaciones para la máquina de estados para extractores para salones 401,404, 405 y 406.....	66
Tabla 15. Grupos y combinaciones para la máquina de estados para lámpara de abrir para salones 401,404, 405 y 406.....	67
Tabla 16. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de lámpara de cerrar para salones 401,404, 405 y 406 .....	68
Tabla 17. Porcentajes de resultados para la encuesta .....	91

Tabla 18. Porcentajes de la prueba de funcionamiento iluminación. ....	92
Tabla 19. Porcentajes de la prueba de funcionamiento climatización.....	93
Tabla 20. Relación entre las preguntas de la encuesta y los puntos focales.....	94
Tabla 21. Resultados de la encuesta de validación .....	95
Tabla 22. Promedio general de aceptación según cada ítem .....	95
Tabla 23. Resultados encuesta validación director y codirectores de proyecto .....	96

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Datasheet Controladora Andover Continuum Infinet II i2800.....	105
Anexo B. Datasheet Controladora Andover Continuum Infinet II i2920.....	111
Anexo C. Elementos presentes en los sistemas automatizados.....	117
Anexo D. Diagramas de flujo.....	120
Anexo E. Tablas de verdad.....	141
Anexo F. Manual de usuario HCASICA-E3T.....	168
Anexo G. Talleres realizados a miembros de la comunidad E3T.....	201
Anexo H. Encuesta realizada a miembros de la comunidad E3T.....	209
Anexo I. HCASICA-E3T.....	210

## RESUMEN

**TÍTULO:** HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN Y LA CLIMATIZACIÓN AUTOMATIZADA DE ESPACIOS ESPECÍFICOS DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA<sup>1</sup>.

**AUTORES:** Andrés Eduardo Suárez Suárez, Leidy Carolina Acevedo Celis, Julián René Benítez Cordero<sup>2</sup>.

**Palabras claves:** Automatización, edificaciones verdes, simulación energética, uso racional y eficiente de la energía, aplicativo computacional

El presente trabajo de grado consiste en la realización de una herramienta computacional que muestre y simule el funcionamiento de los sistemas automatizados de iluminación y climatización híbrida (natural y mecánica) implementados en espacios específicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. La finalidad de esta herramienta es describir el comportamiento de los sistemas automatizados de iluminación y climatización del edificio de la E3T-UIS<sup>3</sup>, para entrenar a los usuarios sobre el funcionamiento del mismo, basados en el criterio de diseño verde, como una estrategia de aprovechamiento de los recursos naturales y ahorro energético.

La herramienta computacional realizada proporciona al usuario información de los sistemas automatizados de iluminación y climatización del Edificio de la E3T-UIS, mediante una interfaz que suministra datos y curvas de consumo y ahorro energético. La mayor parte de la herramienta se realiza en el software VBA Excel debido a que la Universidad posee la licencia de este software y se facilita su difusión en la comunidad universitaria. Las gráficas y datos de radiación solar que se muestran en el simulador de la interfaz, se realizaron con el software gratuito SOLEA-2<sup>4</sup>.

El funcionamiento de cada subsistema de iluminación y climatización se visualiza mediante la manipulación de controles que se pueden seleccionar según la función que se desee observar. La herramienta proporciona información de forma gráfica y numérica para cada subsistema seleccionado, permitiendo al usuario, de forma interactiva, visualizar la información de los sistemas monitoreados y automatizados en el edificio de ingeniería eléctrica.

Este libro contiene información introductoria a temas como: edificaciones verdes, uso racional de la energía (URE), funcionamiento, composición y simulación de sistemas automatizados de iluminación y climatización, utilizando el concepto de máquina de estados.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MSc. German Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata, Ing. Laura Yazmín Amado Duarte.

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander

<sup>4</sup> SOLEA-2: Software gratuito que permite calcular la intensidad solar instantánea y diaria para cualquier localidad, época y nubosidad.

## ABSTRACT

**TITLE:** COMPUTER TOOL FOR AUTOMATED CLIMATE AND LIGHTING ANALYSIS OF SPECIFIC AREAS OF THE ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING<sup>5</sup>.

**AUTHORS:** Andrés Eduardo Suárez Suárez, Leidy Carolina Acevedo Celis, Julián René Benítez Cordero<sup>6</sup>.

**KEYWORDS:** Automation, green buildings, energy simulation, rational and efficient use of energy, computer application.

### DESCRIPTION:

This document consist in the making of a computational tool that shows and simulates the functioning of hybrid HVAC (natural and mechanical) and illumination systems implemented in specific parts of the Electrical Engineering Building of UIS. The main use of this tool is to describe the behavior of the automatized HVAC and illumination systems, to teach the users about the functioning of itself, based on green design criteria, like a strategy to be able to take benefit in all the natural resources and saving energy.

This computational tool gives the user information about the automatized HVAC and illumination systems of the E3T building, with an interface that supplies data and consumption and energy saving graphics. The bigger part of this tool is made in the software Excel VBA because this software is licensed and its interface is user friendly. The data and solar radiation graphics showed in the simulator were made with the free-ware SOLEA-2.

The functioning of each illumination and HVAC subsystem is viewed through the manipulation of controls that can be chosen according the function the user needs to observe. The tool provides graphic and numeric information for each sub-system chosen, allowing the user (in an interactive way) to visualize the monitored and automatized system information in the E3T building.

This document contains important information about subjects like green buildings, rational use of energy, functioning, composition and simulation of automatized HVAC and illumination systems, using the concept of State Machines.

---

<sup>5</sup> Trabajo de grado.

<sup>6</sup> Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MSc. Germán Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata, Ing. Laura Yazmín Amado Duarte.

## INTRODUCCIÓN

La iluminación y climatización empleada en edificaciones a nivel mundial, representa aproximadamente un 40% del consumo total de energía eléctrica, generando un incremento de gases contaminantes y agotamiento de recursos naturales [1]. Por esta razón, se busca intensamente disminuir las emisiones y el consumo energético.

Como estrategia para lograr la disminución de dicho consumo, se ha implementado el uso de sistemas automatizados energéticamente eficientes, brindando soluciones para reducir los daños al medio ambiente y a su vez ofrecer a las personas comodidad y bienestar [2] [3].

Este trabajo de grado aborda la visualización de la automatización del Edificio de la E3T-UIS desde una perspectiva didáctica, por medio de la interacción del usuario con una herramienta computacional realizada en el *software Microsoft Excel*.

La comprensión íntegra del funcionamiento del sistema automatizado BAS (Building Automation System) implementado en los subsistemas de iluminación y climatización con los que cuenta el Edificio E3T-UIS, es la razón principal para el desarrollo e implementación de una herramienta computacional. Otra razón es la disminución del consumo energético como producto de la comprensión del funcionamiento del BAS.

En el desarrollo de esta herramienta se contó con información del comportamiento (estado *On/Off* o valor continuo) de cada una de las variables monitorizadas por la Controladora *Andover Continuum Infinet II*, tales como: radiación, nivel de tensión de los balastos y fotoceldas, sensor de movimiento, posición de tubos solares, *On/Off* de balastos y aire acondicionado, temperatura exterior e interior, detectores de apertura, luz de abrir, luz de cerrar y extractores. Siendo este un primer esfuerzo para analizar los datos suministrados por el sistema además con medi-

ciones realizadas por los autores de los niveles de radiación en luxes para conocer el punto de menor incidencia de iluminación natural en las aulas de la E3T-UIS.

Este documento consta de 7 capítulos; el capítulo 1 aborda el tema de sistemas automatizados en edificaciones como el implementado en el edificio E3T-UIS, el capítulo 2 describe el funcionamiento de los sistemas automatizados de iluminación y climatización presentes en el edificio E3T-UIS, en el capítulo 3 se muestra una representación del funcionamiento de las variables de salida de los sistemas en máquinas de estado. En el capítulo 4 se presentan los cálculos usados en la elaboración de la herramienta computacional para hallar el consumo y ahorro energético como también los cálculos usados en el simulador. El modelo estructural de la herramienta se muestra en el capítulo 5. La forma como se realizó la validación de la herramienta se detalla en el capítulo 6. El capítulo 7 expone las conclusiones del proyecto.

El contenido de este libro va a permitir a la comunidad educativa UIS un mayor conocimiento sobre los subsistemas de automatización con los que cuenta la E3T-UIS, de tal forma que se amplíe la perspectiva en temas relacionados con los diseños de construcciones verdes y sistemas de automatización en edificaciones, como tópico principal en las técnicas de uso racional de la energía (URE).

## **1. GENERALIDADES DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICIOS**

En este capítulo se describen los componentes y funcionamiento de los sistemas de automatización en edificios (BAS) en el marco del diseño verde en edificaciones y se presenta el sistema BAS implementado en el Edificio de la E3T-UIS.

### **1.1 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES (BAS)**

El término BAS por sus siglas en inglés “Building Automation Systems”, conocida en español como sistema de automatización en edificaciones, se ha venido implementando a partir de la necesidad de optimizar los sistemas. La industria de la construcción de sistemas de automatización comenzó con Warren Johnson quién patentó el primer sistema de control de temperatura en 1895 [4].

Cabe resaltar que desde los comienzos de la automatización, la producción y desarrollo de estos sistemas automatizados se dirigía hacia la industria petrolera, pero debido a la decadencia que hubo en 1973 y al uso de nuevos sistemas como son las unidades de control programable (CPU) y controladores lógicos programables (PLC), se empezaron a implementar nuevos estándares para la manufacturación, enfocados en las necesidades básicas de las personas [5]. Esto conllevó a un proceso acelerado de ejecución y venta en el mercado para estas estructuras de construcción.

La monitorización de los sistemas BAS, evolucionó con la palabra domótica. Entre las características más relevantes de estos sistemas se puede enunciar que proporcionan un control de las condiciones de los ambientes interiores, como la calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), iluminación, incendios, entre otros [6].

## **1.2 DISEÑO VERDE DE EDIFICACIONES**

El tema concerniente a diseño de edificaciones verdes entró en auge en la década de los 90's cuando se inició la polémica referente al cambio climático e impacto por la gran demanda de construcciones de tipo residencial, industrial y comercial, centrándose en el atributo ambiental de la construcción y bases en técnicas respetuosas con el medio ambiente a partir de diseños verdes en edificaciones [7].

Uno de los componentes importantes en el concepto de edificaciones verdes es el uso de energías renovables y tecnologías amigables con el ambiente. La finalidad de implementar el uso de nuevas energías en el sistema eléctrico en edificaciones y permitir la mitigación del impacto medio ambiental, economizar recursos energéticos, y mejorar las condiciones de vida, entre otras.

Actualmente, las edificaciones verdes cuentan con sistemas ahorradores de energía eléctrica y de agua, utilización de cantidades mínimas de obra en cuanto a materiales de construcción, implementación de diseños que sean más amigables con el entorno utilizando vegetación y formas arquitectónicas que permitan una mayor incidencia de iluminación natural, entre otras.

El desempeño ambiental buscado en el diseño de edificaciones verdes se desarrolla a partir de una simulación que permite proyectar la minimización de la cantidad de emisiones y la optimización del consumo energético [8].

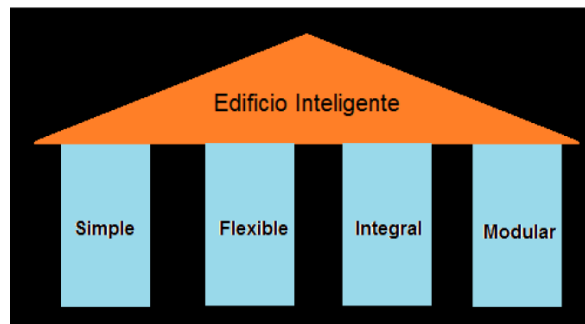
La reestructuración del Edificio de la E3T-UIS se realizó con el fin de aplicar un diseño verde, partiendo de una arquitectura que permita la ventilación e iluminación natural; junto a ello se implementó la utilización de tubos solares en dos aulas y en las oficinas de la edificación, la construcción de techos verdes, sin olvidar el uso de balastos dimerizables para optimizar el uso de energía natural junto con la artificial y como proyectos a largo plazo se encuentra la implementación de paneles solares.

### 1.3. ASPECTOS RELEVANTES DE UN SISTEMA BAS

Los elementos claves para desarrollar e implementar un sistema BAS, se pueden resumir en la Figura 1, donde se plantea una metodología basada en la estructuración de una edificación inteligente, con pilares que permitan un funcionamiento eficiente, y que contenga características como la simpleza, flexibilidad, integralidad y modularidad.

Un sistema BAS debe ser simple para su fácil ejecución y entendimiento, con una organización flexible para permitir ser interpretado por una persona que requiera realizar modificaciones, integral para facilitar la comunicación con otros sistemas y modular para que se obtenga un funcionamiento fraccionado en partes y oficios diferentes. [9]

Figura 1. Estructura de un edificio inteligente



*FUENTE: IMPLEMENTACION DE UN BAS (BULDING AUTOMATION SYSTEM) BASICO PARA EL CONTROL INTEGRADO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO E ILUMINACION MEDIANTE DISPOSITIVOS CON COMUNICACION BACNET [9]*

Con base en lo descrito de la anteriormente, uno de los aspectos principales al momento de automatizar el edificio de la E3T-UIS, fue el diseño de un sistema que permitiese brindar un manejo eficiente de los recursos energéticos, a partir de estrategias de control de procesos y monitorización de variables.

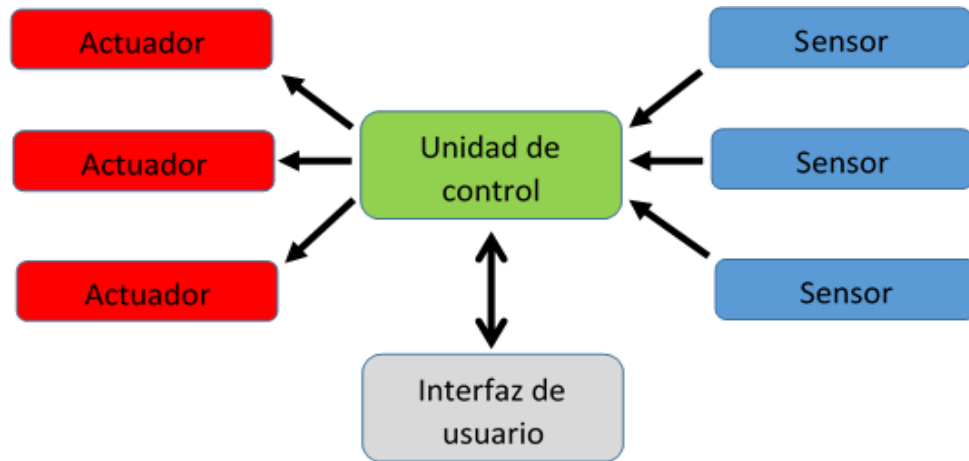
El sistema BAS del edificio de la E3T-UIS a nivel general, tiene funciones como: control de acceso, control de iluminación, cctv, sistemas de detección de incendios, control de energía HVAC, sistema de detección de presencia, entre otros.

En cuanto a los componentes relacionados con la monitorización de variables, es preciso decir que esta labor se realiza con la Controladora *Andover Continuum Infinet II i2800* [Ver anexo A] y la Controladora *Andover Continuum Infinet II i2920* [Ver anexo B], como unidades de control, a partir de elementos que censan y envían datos por medio de señales eléctricas a la controladora generando una arquitectura centralizada.

La estrategia de control aplicada a los subsistemas de iluminación y climatización, se enfoca en la intervención de los actuadores presentes en ellos. Los actuadores de los subsistemas son: tubos solares, balastos, balastos dimerizables, lámparas, extractores y aires acondicionados. Adicionalmente los elementos de control presentes en los subsistemas de iluminación y climatización son: sensores de temperatura, sensores de ocupación, fotoceldas y detectores de apertura.

En la Figura 2, es posible observar la arquitectura de un sistema BAS centralizado, compuesto por actuadores, sensores, unidad de control e interfaz de usuario. Para este tipo de arquitectura, los componentes actúan alrededor una unidad de control, ya que todo el funcionamiento es monitoreado y controlado por esta, representando las actividades a partir de una interfaz gráfica.

Figura 2. Arquitectura centralizada de un BAS

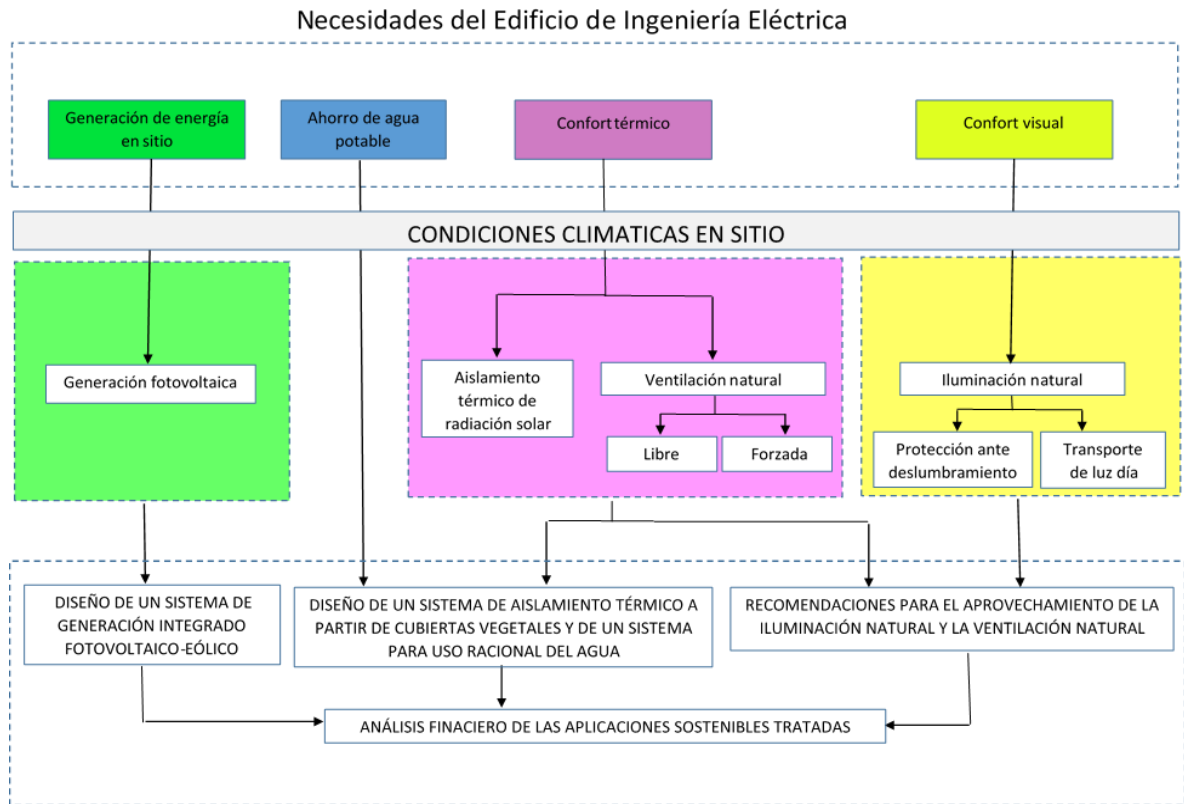


FUENTE: IMPLEMENTACION DE UN BAS (BULDING AUTOMATION SYSTEM) BASICO PARA EL CONTROL INTEGRADO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO E ILUMI-NACION MEDIANTE DISPOSITIVOS CON COMUNICACION BACNET [9]

Cabe mencionar que hay diferentes tipos de arquitectura, pero se enfatiza en la mencionada en la Figura 2 puesto que tiene similitud con la implementada en el edificio de la E3T-UIS.

En la Figura 3 se hace una breve descripción de las necesidades y disposición del edificio de la E3T, enfatizando en aspectos importantes al momento de desarrollar la herramienta computacional. Para este caso en particular se va a centrar en el confort térmico y en el confort visual, con condiciones determinadas para definir el funcionamiento de la ventilación natural y artificial, así como las condiciones de iluminación natural y artificial.

Figura 3. Sistemas implementados en el edificio E3T



FUENTE: PILOTO DE EDIFICACIÓN VERDE COMO LABORATORIO VIVO EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER [10]

## **2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE LOS ESPACIOS SELECCIONADOS**

Los sistemas automatizados de iluminación y climatización se encuentran detallados a lo largo del capítulo por medio de la descripción de variables presentes y funcionamientos de los subsistemas, sin olvidar la selección de los espacios que se utilizaron en el proyecto de grado.

### **2.1 SELECCIÓN DE ESPACIOS**

Los espacios se escogieron de acuerdo a los siguientes parámetros de selección:

- Similitud de los espacios.
- Cantidad y tipo de sensores y actuadores.
- Espacios monitoreados y no monitoreados.

Con base en los parámetros establecidos para la selección, se analizó por medio de la herramienta aulas del cuarto piso y oficinas del quinto que tienen sistema automatizado de iluminación y climatización, monitoreado por la Controladora *Andover Continuum Infinet II i2920* y *Andover Continuum Infinet II i2800* descritos en la tabla 1.

Estas controladoras permiten obtener un registro de cómo fue el comportamiento de los elementos presentes en los espacios, los datos se obtuvieron a partir de un muestreo cada tres minutos del mes de agosto de 2014, donde están presentes variables como: radiación, nivel de tensión de los balastos y fotoceldas, sensor de movimiento, posición de tubos solares, *On/Off* de balastos y aire acondicionado, temperatura exterior e interior, detectores de apertura, luz de abrir, luz de cerrar y extractores; permitiendo analizar el funcionamiento y observar los beneficios de la automatización.

También se seleccionó un aula del primero, segundo y tercer piso, debido a que en estos espacios hay presencia de sistemas automatizados de iluminación pero no son monitoreados por la controladora. Por tal motivo, no se puede analizar el funcionamiento o consumo a partir de la base de datos, pero sí por medio de la simulación de los espacios en la herramienta dado que en esta sección se muestra su funcionamiento.

En la tabla 1 se representan los espacios automatizados de iluminación y climatización, los cuales están indicados con una “X” para espacios monitoreados y en caso que no la tenga indica que es un espacio no monitoreado.

Tabla 1. Espacios automatizados de iluminación y climatización

Espacio	Sistema automatizado de Iluminación monitoreado	Sistema automatizado de climatización monitoreado
Salón 401	X	X
Salón 402	X	
Salón 404		X
Salón 405		X
Salón 406		X
Coordinación de posgrados	X	
Coordinación de pregrado	X	
Sala de atención a estudiantes de pregrado	X	
Secretaría de posgrados	X	
Sala de reuniones	X	X
Coordinación de especialización	X	
Proyectos y servicios	X	
Dirección E3T	X	X
Sala de estar profesores	X	
Círculo cerrado de televisión	X	X
Secretaría administrativa	X	
Coordinación de calidad	X	
Sala de espera dirección E3T	X	
Salón 103		
Salón 201		
Salón 301		

Los espacios que no se encuentran marcados en la tabla 1, en la columna sistema automatizado de climatización, no presentan aire acondicionado sólo tienen ventilación natural.

## 2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA AUTOMATIZADO DE ILUMINACIÓN

El funcionamiento del subsistema de iluminación depende del comportamiento de los elementos presentes en los espacios seleccionados, por ende, para llegar a comprenderlo es importante identificar las variables presentes en el subsistema y la clasificación de los espacios.

En la tabla 2 se pueden observar las variables de entrada y salida del subsistema automatizado de iluminación que corresponden a los elementos presentes en los espacios del Edificio de la E3T-UIS. Dentro de los elementos se encuentran: sensores de ocupación, fotocelda dimerizable, fotocelda de control de luz y tubos solares; estos elementos se pueden visualizar junto con sus referencias en el Anexo C.

Tabla 2. Variables presentes en el subsistema de iluminación

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hora del día</li> <li>• Presencia</li> <li>• Intensidad de luz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posición de tubos solares</li> <li>• Nivel de dimerización del balasto</li> <li>• Energizar o desenergizar los balastos</li> </ul>

Los espacios seleccionados se dividen en dos grupos: Los que tienen tubos solares y los que no. Debido a esto el funcionamiento del sistema de cada grupo es diferente. La posición o porcentaje de apertura de los tubos solares es controlada automáticamente.

La siguiente tabla permite visualizar los espacios según el grupo al que correspondan:

Tabla 3. Espacios que presentan tubos solares

<b>Espacios</b>	<b>Con tubos solares</b>
Salón 401	X
Salón 402	X (No auto)
Coordinación de posgrados	X
Coordinación de pregrado	X
Sala de atención a estudiantes de pregrado	
Secretaría de posgrados	
Sala de reuniones	X
Coordinación de especialización	X
Proyectos y servicios	
Dirección E3T	X
Sala de estar profesores	
Circuito cerrado de televisión	X
Secretaría administrativa	X
Coordinación de calidad	
Sala de espera dirección E3T	
Salón 103	
Salón 201	
Salón 301	

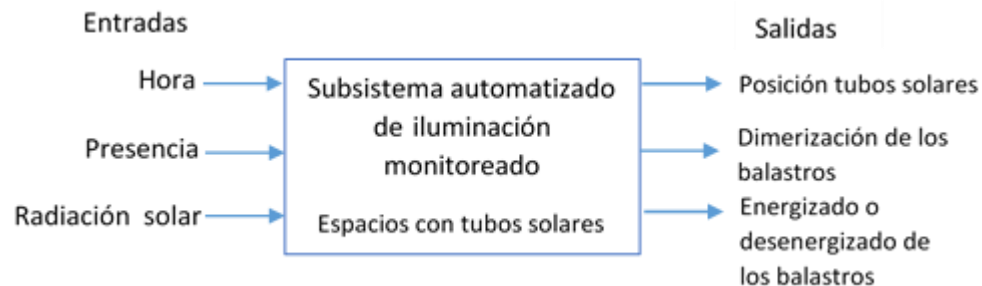
El Aula 402 tiene tubos solares que se controlan de forma manual por medio de un pulsador presente en el espacio y no por el sistema automatizado de iluminación, por esta razón en la Tabla 3 el Aula 402 aparece como si no tuviera tubos solares.

### 2.2.1 Espacios monitoreados con tubos solares: Descripción del sistema:

- El sistema de iluminación se desactiva en el periodo de 10 p.m.- 6 a.m.
- Las lámparas se encienden cuando se cumplan las siguientes condiciones: hay presencia y el nivel de iluminación natural en el espacio es menor al establecido como óptimo para el confort del estudiante.
- A las 6:00 a.m. el sistema abre los tubos solares; Si los sensores detectan presencia y el nivel de iluminación natural es insuficiente, los balastos dimerizables se activan, encendiendo lámparas para que complementen el nivel de iluminación natural en búsqueda de un rango óptimo para el confort del estudiante.
- Cuando en un espacio las lámparas se encuentren encendidas y no exista presencia durante algún tiempo (tiempo programado en la controladora): Los balastos se encargan de dimerizar las lámparas para que durante los siguientes quince minutos la intensidad lumínica se reduzca y el consumo sea mínimo. Si durante este tiempo no se vuelve a sensor presencia, las lámparas se apagan. Este proceso es una protección que evita conmutaciones innecesarias que pueden causar daños en las lámparas.
- Cuando en un espacio durante un tiempo de diez minutos el sensor detecte presencia, las lámparas se encuentren encendidas y el nivel de iluminación natural sea apropiado, el sistema procede a desenergizar las lámparas.
- Si en la franja horaria de 9:00 a.m. a 4:00 p.m., el sensor detecta presencia, las lámparas se encuentran encendidas, el nivel de iluminación natural es apropiado y han pasado más de quince minutos a partir de que los tubos solares cambiaron de posición, éstos tenderán a cerrarse, es decir, si estaban en la posición dos (100% de apertura) pasara a la posición 1 (50% de apertura) y si estaban en la posición 1 (50% de apertura) pasarán a la posición 0 (0% de apertura).
- Si después de las 6 p.m. se registra presencia en el espacio, los tubos solares se abren.

En el diagrama de bloques de la figura 4 se exponen las entradas y salidas que presenta el subsistema, resumiendo el comportamiento descrito.

Figura 4. Diagrama de entradas y salidas de espacios monitoreados con tubos solares



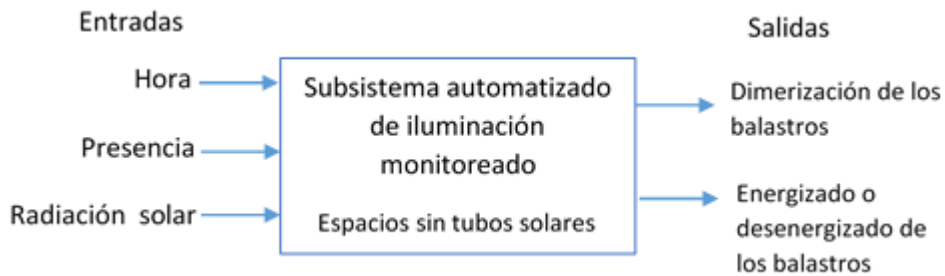
### 2.2.2 Espacios monitorizados sin tubos solares: Descripción del sistema:

- Las lámparas se encienden cuando se existe presencia y el nivel de iluminación natural en el espacio es menor al establecido como óptimo para el confort del estudiante.
- Los balastos dimerizables mediante las lámparas suministran la iluminación faltante para lograr el confort de cada espacio.
- Cuando en un espacio no existe presencia y las lámparas están encendidas, los balastos se encargan de dimerizar las lámparas para que durante los siguientes quince minutos la intensidad lumínica se reduzca y el consumo sea mínimo. Si durante este tiempo no se vuelve a sensor presencia, las lámparas se apagan. Este proceso es una protección que evita conmutaciones innecesarias que pueden causar daños en las lámparas.
- Si durante diez minutos hay presencia en el espacio, las lámparas se encuentran encendidas y el nivel de iluminación natural es apropiado, el sistema desenergiza las lámparas.

- El sistema de iluminación se desactiva en el periodo de 10 p.m.- 6 a.m.

En el diagrama de bloques de la figura 5 se exponen las entradas y salidas que presenta el subsistema, resumiendo el comportamiento descrito.

Figura 5. Diagrama de entradas y salidas de espacios monitoreados sin tubos solares

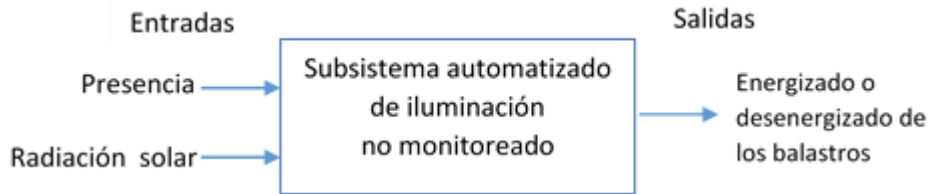


### 2.2.3 Espacios no monitorizados sin tubos solares: Descripción del sistema:

- Las lámparas se encienden cuando se cumplan las siguientes condiciones: hay presencia y el nivel de iluminación natural en el espacio es menor al establecido como óptimo.
- Si todas las lámparas están encendidas y se activa el escenario de proyección, el 65% de éstas se apagará.
- Cuando en un espacio no haya presencia, las lámparas se mantendrán encendidas durante cinco minutos, luego se apagarán evitando conmutaciones.

En el diagrama de bloques de la figura 6 se exponen las entradas y salidas que presenta el subsistema, resumiendo el comportamiento descrito.

Figura 6. Diagrama de entradas y salidas de espacios no monitoreados sin tubos solares



### 2.3 FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA AUTOMATIZADO DE CLIMATIZACIÓN

El funcionamiento del subsistema de climatización depende del comportamiento de los elementos presentes en los espacios seleccionados, de allí, para comprenderlo es importante conocer la clasificación de los espacios según la finalidad de la monitorización en el mismo y las variables presentes en el subsistema.

En la tabla 4 se encuentran las variables de entrada y salida del subsistema automatizado que corresponden a los elementos presentes en los espacios del Edificio de la E3T-UIS. Dentro de los elementos se encuentran: sensor de temperatura, unidades de aires acondicionados y extractor de aire; estos elementos se pueden visualizar junto con sus referencias en el Anexo C.

Tabla 4. Variables presentes en el subsistema de iluminación

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hora del día</li> <li>• Presencia</li> <li>• Estado de la puerta</li> <li>• Estado de las ventanas</li> <li>• Temperatura interior</li> <li>• Temperatura exterior</li> <li>• Día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado de los extractores</li> <li>• Estado del energizado del aire acondicionado</li> <li>• Estado de la lámpara de abrir</li> <li>• Estado de la lámpara de cerrar</li> </ul>

Los espacios que presentan sistema automatizado de climatización monitoreada se encuentran en la tabla 1, de allí se clasificaron en dos grupos según su finalidad: el **grupo A** (aulas 401, 404, 405 y 406), que busca ahorro energético y confort en el espacio; y el **grupo B** (Sala de reuniones, Dirección E3T y Circuito Cerrado de Televisión), que busca ahorro energético por medio de la energización o desenergización de los aires acondicionados, mientras que el confort depende de las decisiones que tome el usuario (es quien define si enciende o no el aire, al igual que selecciona la temperatura en el espacio).

### 2.3.1 Grupo A: Descripción del sistema:

- Si hay presencia en el espacio en la franja horaria de 10 p.m. a 6 a.m. solo se activan los extractores y en caso de estar cerrada alguna ventana se pedirá abrir esta.
- El sistema de climatización tiene temperaturas de referencia interior ( $TRINT^7$ ) y exterior ( $TREXT^8$ ) que usa para el control de los elementos presentes en el espacio, estas cambian para la franja después de las 5 p.m. del viernes hasta las 6 p.m. del sábado.
- Si hay presencia en el espacio y  $TEXT^9 < TREXT + 1,5^{\circ}C$ ,  $TEXT > TREXT - 1,2^{\circ}C$ , se encienden los extractores durante 15 minutos.
- Pasado los 15 minutos desde que se encienden los extractores si las ventanas están cerradas y  $TINT^{10} > TRINT - 0.5^{\circ}C$  se apagan los extractores y se revisa si hay condiciones para encender el aire acondicionado.

---

<sup>7</sup> Temperaturas de referencia interior

<sup>8</sup> Temperaturas de referencia exterior

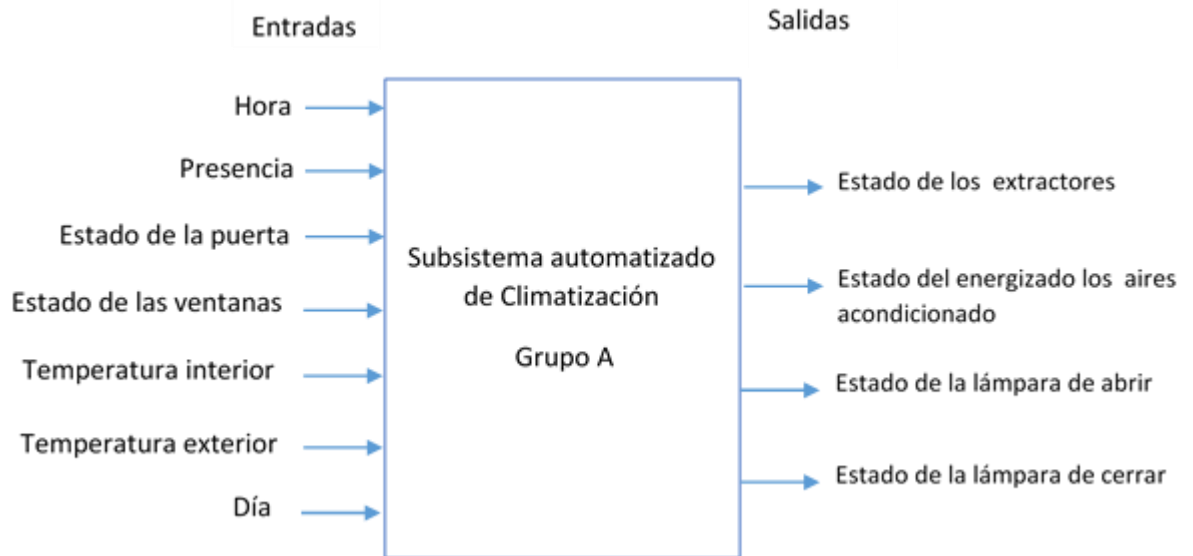
<sup>9</sup> Temperatura exterior

<sup>10</sup> Temperatura interior

- Pasado los 15 minutos desde que se encienden los extractores si hay alguna ventana cerrada o  $TINT > TRINT - 0,5^{\circ}C$ , se revisa si aún hay presencia en el espacio, si hay y  $TINT < TRINT + 1,5^{\circ}C$  se mantienen encendidos los extractores. Si las ventanas están cerradas se enciende el bombillo de abrir ventanas. Si no hay presencia se apagan los extractores.
- En caso de cumplirse las siguientes condiciones: presencia en el espacio,  $TEXT > TREXT + 1,5^{\circ}C$ , y alguna ventana abierta. El sistema da aviso para cerrar puertas y ventanas. Después de cerrarlas y si  $TINT > TRINT$  se enciende el aire acondicionado.
- Si el aire acondicionado está encendido, este se apaga si se cumple alguna de las siguientes condiciones: que deje de haber presencia en el espacio, que  $TINT < 23,6^{\circ}C$  o la puerta se haya dejado abierta por más de cinco minutos. En la última condición después de 15 segundos de abrir la puerta se enciende el bombillo de cerrar puertas y ventanas.
- El sistema de climatización no funciona los días domingo.

En el diagrama de bloques de la figura 7 se exponen las entradas y salidas que presenta el subsistema, resumiendo el comportamiento descrito.

Figura 7. Diagrama de entradas y salidas para el subsistema automatizado de climatización (grupo A)

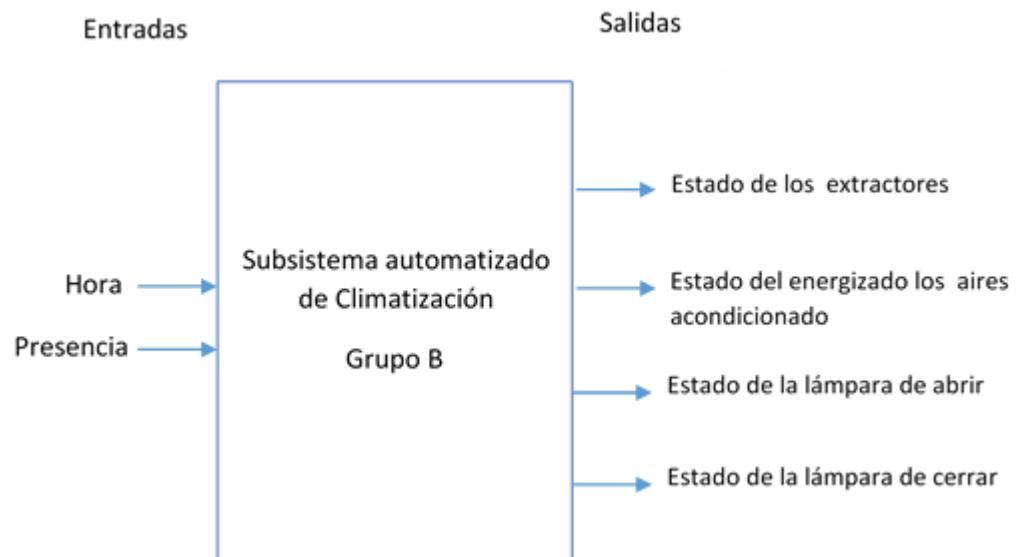


### 2.3.2 Grupo B: Descripción del sistema:

- Si hay presencia en el espacio el sistema energiza el aire acondicionado, el prender o apagar el aire depende del usuario.
- El sistema mantiene el aire acondicionado energizado durante 5 minutos, al cumplirse este tiempo revisa si hay presencia en el espacio, si hay presencia lo mantiene energizado en caso contrario lo desenergiza.

En el diagrama de bloques de la figura 8 se exponen las entradas y salidas que presenta el subsistema, resumiendo el comportamiento descrito.

Figura 8. Diagrama de entradas y salidas para el subsistema automatizado de climatización (grupo B)



Para un análisis más detallado del funcionamiento de los subsistemas de iluminación o climatización revisar el **Anexo D** de este libro, en este se encuentran los diagramas de flujo programados en la controladora *Andover Continuum Infinet II i2920*. De los cuales se realizaron las descripciones mencionadas anteriormente.

### 3. CÁLCULOS IMPLEMENTADOS EN HCASICA-E3T<sup>11</sup>

Las ecuaciones utilizadas en la herramienta HCASICA-E3T, proporcionan información sobre el consumo energético y el funcionamiento de los subsistemas automatizados de iluminación y climatización de espacios determinados del Edificio de la E3T-UIS.

Estas ecuaciones fueron adquiridas a partir de la caracterización de los elementos presentes en los subsistemas, tales como: Lámparas, Balastos, Aires acondicionados, datos suministrados por la plataforma *Andover*, fotoceldas y otros elementos que se mencionan a lo largo de este capítulo.

#### 3.1 CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN

Las ecuaciones utilizadas en los cálculos de iluminación de HCASICA-E3T permiten obtener los datos mostrados en la herramienta, para ello se clasificaron los cálculos en consumo energético, simulación y dimerización.

**3.1.1 Consumo energético:** Para la estimación de consumo de energía eléctrica se tuvo en cuenta varios aspectos que inciden por espacio, en los que se puede apreciar unas aproximaciones a partir de la caracterización de los elementos requeridos para hacer el análisis. Uno de estos aspectos es cómo se modeló el sistema, donde el factor predominante para saber si hay consumo es teniendo en cuenta que el sistema se encuentre energizado y las variables de control como presencia y condiciones necesarias según especificaciones, se encuentren activas.

---

<sup>11</sup> Herramienta computacional para el análisis de la iluminación y la climatización automatizada de espacios específicos del edificio de ingeniería eléctrica

En la descripción del sistema de iluminación se tiene en cuenta como factor principal la cantidad de luminarias con sus respectivas lámparas y potencia de c/u de ellas por espacio. Donde el sistema a partir de la caracterización realizada determinó un muestreo cada tres (3) minutos por programación en la plataforma *Andover*, mostrando una cantidad de energía tratada a partir de la siguiente metodología:

Para el análisis de consumo por espacio se tuvo en cuenta la siguiente fórmula:

$$E = B \cdot \left( \frac{3}{60 \cdot 100} \right) [kWh] \quad (1)$$

Esta ecuación se utiliza para calcular la energía consumida por espacio a partir del registro de eventos en un instante, donde 3, es el tiempo que transcurre en minutos entre eventos; 60 es la cantidad de minutos que hay en una hora, y 1000 es el factor de conversión de *Watts [W]* a *kilo Watts [kW]*. La energía total consumida por día se obtiene a partir de la suma de eventos muestras para sacar ya sea la cantidad total de consumo por espacio al día, semana o mes.

Ahora bien, la variable *B* es la potencia requerida por las lámparas, caracterizadas de la siguiente forma por parte de nuestro director de proyecto de grado:

$$B = M \cdot N \cdot ((-0.1072 \cdot R^3) + (1.21 \cdot R^2) + (3.3196 \cdot R) + 31.314) [W] \quad (2)$$

Donde:

**R** = Nivel de requerido por el Balasto para brindar la dimerización necesaria.

**M** = Variable de funcionamiento que indica si el sistema está encendido o no [1 ó 0].

**N** = Cantidad de luminarias.

Los espacios de los pisos 4 y 5 del edificio cuentan con Balastos Dimerizables, que para nuestro caso implícitamente hace que el consumo dependa directamente de lo que las lámparas le pidan a los Balastos, característica que permite no tener en cuenta la potencia de las lámparas para el cálculo de consumo.

Para los espacios de los pisos 1,2 y 3 del edificio de la E3T-UIS, no hay sistema monitoreado de iluminación, funcionando solo a partir del control brindado por los sensores de movimiento y fotoceldas, con lo que se hace un cálculo de consumo a partir de la cantidad de lámparas presentes que tienen un funcionamiento sectorizado denominado escenario de proyección equivalente al encendido de dichas establecidas de la siguiente forma: aproximadamente el 35% si está activo y si no al 100 % de la totalidad de lámparas encendidas.

Para este caso se modeló de la siguiente forma:

$$E = P \cdot \left( \frac{3}{60} \frac{1}{1000} \right) \cdot ((L \cdot M \cdot N) + P_b) [kWh] \quad (3)$$

Donde:

**P**= Porcentaje del espacio tenido en cuenta si está activo el escenario de proyección o no.

**L**= Cantidad de luminarias por espacio.

**M**= Cantidad de lámparas por luminaria.

**N**= Potencia de la lámpara por luminaria.

**P<sub>b</sub>**= Potencia de los balastos

El consumo total ya sea por espacio o en la totalidad de espacios dados por la herramienta, se adquiere por la suma de la cantidad total de muestras según el requerimiento necesario.

**3.1.2 Simulación:** Para simular el funcionamiento de las fotoceldas se hace por medio de una fórmula que muestra la representación de la luminancia en el espacio, esta depende del valor que se establece como set point para el encendido de las luminarias. La fórmula es la siguiente:

$$NDN = NDM \cdot \left(1 - \frac{NIP}{NIMIN}\right) \quad (4)$$

Donde:

***NDN***= Nivel de dimerización necesaria, este es el nivel al que se deben dimerizar las lámparas para obtener en el espacio la iluminación necesaria para el confort.

***NDM***= Nivel de dimerización máxima, es el nivel de dimerización de las lámparas en el cual se obtiene la iluminación que da confort para los usuarios del espacio.

***NIP***= Nivel de iluminación presente, es el nivel de iluminación que hay en el espacio.

***NIMIN***= Nivel de iluminación mínimo, es el límite inferior al cual se considera que hay confort en el espacio.

Para obtener el nivel de iluminación presente en el espacio simulado se toman los lux medidos en el punto de menor incidencia de iluminación en el enmallado realizado al espacio.

Este valor se halla por medio de la siguiente ecuación:

$$NIP = (RADext \cdot 120) \cdot P_{rad\_fach} \cdot P_{rad\_int} \quad (5)$$

Donde:

***RADext*** = Radiación solar exterior, es la radiación solar medida por la estación meteorológica que se encuentra en el la azotea del edificio de la E3T-UIS.

***P\_rad\_fach*** = Porcentaje de radiación en la fachada, es el porcentaje de radiación entre la radiación de la azotea y las fachadas sur o norte, tomando como 100% la medición de la azotea.

***P\_rad\_int*** = Porcentaje de radiación interna, es el porcentaje de radiación entre la radiación de la fachada sur o norte según el espacio y el punto de menor incidencia de iluminación, tomando como 100% la medición en la fachada.

Para obtener el porcentaje de radiación en la fachada se usó el *software SOLEA-2*, este programa calcula la intensidad solar instantánea y diaria para cualquier localidad, época y nubosidad, sobre las principales orientaciones y para cualquier plano inclinado [7].

Se tomaron los datos de radiación solar para la azotea, fachada norte y sur de cada hora desde las 6:00 hasta las 18:00 pertenecientes a los días 21 de cada mes del año para dos condiciones diferentes soleado y nublado. El promedio de radiación solar diaria para la ciudad de Bucaramanga es de 4,6 kW/m<sup>2</sup> con mayoría de días soleados y despejados [11], para obtener este promedio anual en el *software SOLEA-2*<sup>12</sup> se asignaron los valor de horas sol =0.9, horizonte = 45° y albedo =0.1 teniendo valores máximos en el mes de abril. De igual forma para obtener los valores para días nublados se tomaron horas sol =0.3, horizonte =45° y albedo 0.1.

Como los datos obtenidos por *SOLEA-2* son de cada hora se hizo una interpolación para obtener los datos cada tres minutos ya que la herramienta usa datos con

---

<sup>12</sup> SOLEA-2: Software gratuito que permite calcular la intensidad solar instantánea y diaria para cualquier localidad, época y nubosidad.

este intervalo de tiempo. También se hallaron los porcentajes de radiación entre la azotea y las fachadas cada tres minutos para los 12 meses.

Con estos datos obtenidos se tienen los límites de radiación para condiciones de días soleado o nublado, la herramienta permite al usuario escoger un valor de radiación entre estos límites para cada hora.

**3.1.3 Dimerización:** La utilización de balastos dimerizables permite un ahorro energético considerable, haciendo de este un gran aporte al URE (uso racional de la energía), ya que gracias a elementos como sensores y fotoceldas el sistema automatizado puede tomar una decisión para dar un mejor uso de la iluminación artificial.

- **Índice de presencia:** Indica el promedio de presencia por hora que hubo en el espacio.

La fórmula que se utiliza para la primera hora es la siguiente:

$$I_{pres} = \frac{\left[ \sum_{h_i}^{h_f} SM_h \right]}{20} \quad (6)$$

Donde:

$SM_h$  = Valor del sensor de presencia a lo largo de la hora de análisis.

$h_i$  = Primer minuto de la hora de análisis.

$h_f$  = Último minuto de la hora de análisis.

$20$  = es el número de muestras en el rango tomado.

- **Índice de iluminación natural:** Muestra el aporte (porcentaje) de iluminación natural a la iluminación total del espacio, siendo 100% la iluminación total de aula. Es importante resaltar que si no se cumplen las condiciones para que las lámparas se enciendan la iluminación total del aula dependerá de la iluminación natural con que cuente el espacio.

$$I_{Nat} = \frac{fc - I_{lum_N}}{fc} \quad (7)$$

Donde:

$I_{Nat}$  = Índice de iluminación natural.

$fc$  =iluminación optima en el aula.

$I_{lum_N}$ = promedio del valor de la fotocelda por hora.

- **Índice de dimerización:** Muestra el aporte (porcentaje) de iluminación artificial a la iluminación total del espacio, siendo 100% la iluminación total de aula. Es importante resaltar que si no se cumplen las condiciones para que las lámparas se enciendan la iluminación total del aula dependerá de la iluminación natural con que cuente el espacio, por tanto el aporte de iluminación artificial será de un 0%.

**0,1:** se pone mayor o igual puesto que los balastros duran 15 minutos en este valor llegado al caso vuelve haber presencia evitar las conmutaciones.

$$I_{Dimer} = \frac{I_{lum_N}}{fc} \quad (8)$$

Donde:

$I_{Nat}$  =iluminación óptima en el aula.

$fc$  =iluminación óptima en el aula.

$Ilum_N$ = promedio del valor de la fotocelda por hora.

- **Valor del balastro:** En esta columna se determina si el valor óptimo de iluminación en el espacio se está cumpliendo, si no es así se toma el valor que tiene la fotocelda como valor de iluminación natural.
- **Iluminación natural ( $Ilum_N$ ):** En esta columna se saca un promedio del valor de la fotocelda por hora, de tal forma que se utilizara este valor para sacar los índices de iluminación natural.
- **Estado de los balastos dimerizables (*On/Off*):** En esta columna se suma por hora cuantas veces estuvieron encendidas las lámparas del espacio correspondiente, puesto que es importante saber el estado de las lámparas (*on/off*) en el transcurso de cada hora. De allí se puede saber si hubo aporte o no de iluminación artificial al espacio.

### 3.2 CÁLCULOS DE CLIMATIZACIÓN

Las ecuaciones utilizadas en los cálculos de climatización de HCASICA-E3T permiten obtener los datos mostrados en la herramienta, para ello los cálculos se clasificaron consumo y simulación.

**3.2.1 Consumo energético:** De igual manera que el cálculo de consumo por iluminación, se hace el análisis de los datos obtenidos de la plataforma Andover cada tres minutos, para lo cual se tuvo en cuenta:

Para el análisis de consumo por climatización del espacio se muestran ciertos factores tal como se presenta en el manual de usuario, de los cuales se puede mencionar el consumo por Consumo potencial, Uso del AA, Profesor no usa el AA, etc.

La metodología implementada para el cálculo de las consideraciones que se presentan a continuación, son planteadas por medio de condiciones realizadas a los datos suministrados por la plataforma *Andover*, donde se analiza circunstancias que generarían un mayor consumo si no se implementara la automatización realizada al edificio al igual que el consumo efectuado por el sistema en su correcto funcionamiento:

- **Consumo potencial:** Consumo y tiempo de uso que habría si el sistema energiza los aires acondicionados inmediatamente haya presencia. Fue necesario tener en cuenta las unidades de aire acondicionado en el espacio, por lo que se asimiló que los aires consumen aproximadamente 2 kWh y la variable que tendría prioridad sería el encendido automático a partir del sensor de movimiento, adicionalmente para la cantidad de tiempo de utilización para dicha condición se ve ligada a la cantidad de veces que el sistema haya detectado movimiento (presencia).
- **Uso del AA:** Indica el consumo y cantidad de tiempo en el que los aires acondicionados por espacio seleccionado se energizaron. Los valores de la plataforma Andover son llevados a cantidad de unidades de energía y tiempo, indicando la cantidad de veces que fueron utilizados dichos acorde a las condiciones preestablecidas por el control de la automatización, siendo el

consumo real aproximado por utilización de los aires acondicionados en los espacios dados.

- **Disponibilidad del AA:** Es el consumo que se daría si el aire acondicionado está disponible en condiciones de uso sin importar que la temperatura sea demasiado baja (Su funcionamiento sería automatizado pero sin tener en cuenta condiciones de temperatura). Es decir, el consumo del aire se ajusta a las condiciones establecidas por la programación, exceptuando los niveles del termostato, con lo que el aire se mantendría en funcionamiento a todo instante. Las variables llevadas a cabo son las que se tuvo en cuenta en Uso del AA sumada al No Uso por baja temperatura.
- **Uso del extractor:** Indica el consumo y cantidad de tiempo en el que el sistema de ventilación forzada (Extractores) por espacio seleccionado se energizó. Muestra el consumo real aproximado por parte del sistema de extractores, para lo que se tuvo en cuenta la presencia y factores como temperatura externa más la temperatura interna y otros factores adicionales tales como los tiempos de programación.
- **No usa AA:** Muestra el consumo y cantidad de tiempo cuando el usuario no cierra la puerta y el sistema cumplía condiciones para energizar los aires, indicando a los usuarios cerrar puerta y/o ventanas para activar los aires acondicionados. Se implementa ventilación natural y forzada. Esta opción hace alusión al correcto funcionamiento y el ahorro energético logrado por parte de la automatización en cuanto al sistema funcionara sin tener variables indicativas como son la puerta abierta y se mantuviese energizado los aires.

- **Uso de extractores por ventilación inicial:** El extractor es usado sin haber presencia, es decir que el sistema de ventilación forzada queda activado instantes sin presencia y el aire se encuentre apagado. Esto es implementado para evitar que los extractores estén encendiendo y apagando, conservando un tiempo de espera en caso de que alguien entre de nuevo en un lapso corto. Este consumo energético y de tiempo se hace para mostrar el consumo adicional por mantener esa condición. Esta opción indica el consumo real aproximado de los extractores automatizados en su adecuado funcionamiento según lo estipulado por la automatización.
- **No uso AA por puerta abierta:** Se muestra el tiempo que el sistema apaga los aires acondicionados porque se ha dejado abierta la puerta más de 5 minutos, estos teniendo condiciones para estar encendidos. Aquí es posible ver el ahorro y la incidencia en el sistema por parte de la automatización adicionando información al URE.
- **Correcto uso de extractores:** Se presenta la relación de consumo correcto, siendo el instante de uso de extractores sin emplear ventilación inicial y sin que se enciendan los extractores mientras el usuario no use el Aire Acondicionado.
- **No uso aire acondicionado por baja temperatura:** Esta opción demuestra la ventaja de los aires al mantener una temperatura programada que brinde confort a los usuarios bajo condiciones estables como son: Puerta cerrada, presencia y aire energizado. Para este caso se exhibe el consumo que habría en caso que no tuvieran esta programación los aires y por el contrario dichos se mantuvieran energizados generando mayor consumo sin brindar el confort térmico. El consumo presentado es el ahorro energético logrado por el sistema de control efectuado a los aires acondicionados.

- **Consumo real total:** Es el consumo generado en su totalidad por uso del sistema de climatización por espacio seleccionado, teniendo en cuenta el uso de extractores en la ventilación forzada y de aires acondicionados para ventilación artificial.
- **Potencial:** Es la energía total consumida en el espacio por los aires acondicionados.
- **Uso correcto:** Es la suma de energía consumida según la condición de disponibilidad del aire acondicionado y correcto uso de los extractores.
- **Conmutación por baja temperatura:** La conmutación por baja temperatura indica la cantidad de veces que el sistema de aires acondicionados se encuentra funcionando y se apaga de manera esporádica por alcanzar el valor mínimo de temperatura, sin embargo solo sucede en pequeñas fracciones de tiempo debido a que no alcanzan el punto de estabilidad, haciendo que los aires vuelvan a encender casi de inmediato.
- **Conmutación por puerta abierta:** La conmutación por puerta abierta, implica que el sistema haga cambios eventuales de encendido a apagado en los aires acondicionados. Teniendo como índice el instante en que la puerta se encuentre abierta y los sistemas se apaguen y vuelvan a encender.
- **Total conmutaciones:** Es la cantidad total de conmutaciones del sistema de aires acondicionados, donde se presenta la cantidad de veces que el sistema fluctuó de encendido a apagado repentinamente, volviendo a su condición de encendido.

**3.2.2 Simulación:** La temperatura interna de los salones se simula dependiendo de las condiciones en que se encuentre el espacio, estas condiciones se representan por medio de ecuaciones que fueron halladas al analizar los registros históricos del salón 401 que se obtienen del sistema automatizado.

A continuación se nombran las diferentes condiciones y respectivas ecuaciones usadas para la simulación de la temperatura interna de los salones 401, 404,405 y 406, ya que estos espacios requieren este dato para el funcionamiento de su sistema automatizado de climatización.

- Sin presencia en el espacio, temperatura exterior menor a 25° C.

$$Tint[n] = 0.00336616 \cdot Text[n] + 0.996829 \cdot Tint[n - 1] \quad ( 9 )$$

- Sin presencia en el espacio, temperatura exterior mayor a 25° C.

$$Tint[n] = 0.054848 \cdot Text[n] + 0.94531714 \cdot Tint[n - 1] \quad ( 10 )$$

- Presencia en el espacio, Aire acondicionado apagado, extractores apagados.

$$Tint[n] = -0.01696 \cdot Text[n] + 0.1.02387 \cdot Tint[n - 1] \quad ( 11 )$$

- Presencia en el espacio, Aire acondicionado apagado, extractores encendidos.

$$Tint[n] = 0.108 \cdot Text[n] + 0.897 \cdot Tint[n - 1] \quad ( 12 )$$

- Presencia en el espacio, Aire acondicionado encendido, extractores apagados, temperatura exterior menor a 25° C.

$$Tint[n] = 0.0864807 \cdot Text[n] + 0.9129957 \cdot Tint[n - 1] \quad ( 13 )$$

- Presencia en el espacio, Aire acondicionado encendido, extractores apagados, temperatura exterior mayor a 25°C.

$$Tint[n] = 0.06433 \cdot Text[n] + 0.9308867 \cdot Tint[n - 1] \quad ( 14 )$$

Donde:

***Text*** = Temperatura exterior

***Tint*** = Temperatura interior

Nota:

Las ecuaciones fueron suministradas por el director del proyecto.

#### 4. REPRESENTACIÓN EN MÁQUINAS DE ESTADOS

La herramienta computacional realizada en este proyecto busca que el usuario comprenda el funcionamiento de los subsistemas automatizados de los espacios por medio de dos módulos: Funcionamiento de espacios seleccionados y simulación.

El módulo de simulación por medio de su ventana de análisis permite al usuario controlar las variables de entrada de los subsistemas y ver la respuesta que tienen las variables de salida. Estas últimas siendo el estado de los elementos presentes en el espacio. Se hizo un análisis de los diagramas de flujo programados en la controladora y de estos determinar un diagrama de estados para cada una de las salidas que se muestran en la herramienta. Al usar las máquinas de estado permite ver directamente las condiciones que se deben cumplir en las entradas para que se cumplan las transiciones de estados en las salidas.

Un diagrama de estados representa el cambio de estado de un sistema como respuesta a la variación de sus entradas y/o variables internas. Estos muestran un nodo (ver figura 9) que representa un estado, de estos salen flechas que apuntan a otro estado o al mismo, estas flechas representan una transición. Las transiciones son las combinaciones de los valores de las variables de entrada del sistema, según determinada combinación se realiza la transición de estados.

A lo largo de este capítulo se presentan los diagramas de estados para las variables de salida de los subsistemas de iluminación y climatización de la E3T-UIS. Para una mejor interpretación de los diagramas se agruparon las combinaciones de transición que tienen la misma función al cambiar los estados, también se presenta una tabla que muestra cuales son los grupos de las combinaciones de transición y su función.

A continuación se muestra un ejemplo de la forma interpretar los diagramas y las tablas:

El subsistema de climatización controla energizado del aire acondicionado del salón 401 teniendo en cuenta dos entradas y la condición anterior del aire acondicionado. El aire acondicionado puede tener dos estados energizado o desenergizado.

Figura 9. Ejemplo máquina de estado para el funcionamiento del aire acondicionado

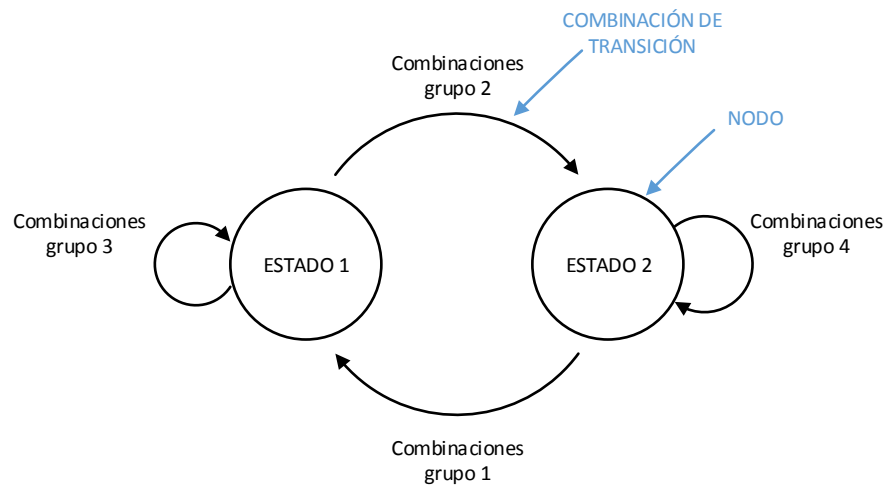


Tabla 5. Ejemplo grupos y combinaciones para la máquina de estados de los tubos solares

<b>Espacios</b>	<b>401</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>4</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Tabla 5</b>	
	<b>Función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	Hace que el aire acondicionado se desenergice o mantenga en ese estado	1
<b>Grupo 2</b>	Hace que el aire acondicionado se energice o mantenga en ese estado	2
<b>Grupo 3</b>	Mantiene el aire acondicionado desenergizado	4
<b>Grupo 4</b>	Mantiene el aire acondicionado energizado	3

En la figura 9 se puede observar un diagrama de estados con dos nodos, cada uno representa un estado. Hay cuatro grupos de transiciones dos que hacen cambiar el estado y dos que mantienen el mismo. En la tabla 5 se muestra un ejemplo para un aire acondicionado, en esta se muestra el número de combinaciones, el nombre de la tabla de verdad en la que se pueden observar las combinaciones de las variables de entrada. También se encuentra la función de los grupos y el número de las respectivas combinaciones. Estas combinaciones se muestran en la tabla 6

Entonces:

- Para el grupo 1 de combinaciones hace que el aire acondicionado se desenergice o mantenga en ese estado cuando sus dos entradas se encuentran en valor 0 y la condición anterior del aire era 1 o 0 (energizado o desenergizado)
- Para el grupo 2 de combinaciones hace que el aire acondicionado se energice o mantenga en ese estado cuando su entrada 1 esta en 0 , su entrada 2 en 1 y no se tiene en cuenta la condición anterior del aire acondicionado
- Para el grupo 3 mantiene el aire acondicionado desenergizado cuando su entrada 1 tiene estado 1 y su condición anterior es 0 o desenergizada, el valor de entrada 2 no importa.
- Para el grupo 4 mantiene el aire acondicionado energizado cuando su entrada 1 tiene estado 1 y su condición anterior es 1 o desenergizada, el valor de entrada 2 no importa.

Tabla 6. Ejemplo tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado

Combinaciones	Condiciones de entrada			salida
	Ant	2	1	
1	X	0	0	0
2	X	1	0	1
3	0	X	1	0
4	1	X	1	1

Las tablas de verdad para las variables de salida de los subsistemas de iluminación y climatización de la E3T-UIS se encuentran en el Anexo E.

En la tabla 7 se encuentra la abreviación de algunos espacios que se utilizaran a lo largo del capítulo.

Tabla 7. Espacios y su abreviación

Espacio	Abreviación
Coordinación de posgrados	CPOS
Coordinación de pregrado	CPRE
Sala de atención a estudiantes de pregrado	SAPRE
Secretaría de posgrados	SECPOS
Sala de reuniones	SREUN
Coordinación de especialización	CESP
Proyectos y servicios	PYS
Dirección E3T	DE3T
Sala de estar profesores	SESTAR
Circuito cerrado de televisión	CCTV
Secretaría administrativa	SECADM
Coordinación de calidad	CALID
Sala de espera dirección E3T	SDIR

#### 4.1 DIAGRAMA DE ESTADOS PARA LAS VARIABLES DE SALIDAS DEL SUBSISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para crear las máquinas de estados que representan el funcionamiento de las variables de salida del subsistema de iluminación (posición tubos solares, Balastos dimerizables y variable I<sub>O</sub> ) primero se realizó una tabla de verdad donde las variables de entrada son los valores verdadero o falso de la condiciones programadas en la controladora para estos espacios lo que da 30 entradas y también tomando como entrada adicional el estado anterior de la variable de salida.

Se muestran los diagramas de estado que representan el funcionamiento de las variables de salida para el subsistema de automatización de iluminación y una tabla donde se separan en grupos diferentes combinaciones de transición de las

entradas que hacen tener a la variable de salida el mismo estado. Teniendo en cuenta que de estas combinaciones hay variables de entrada que no importa el estado en que se encuentren. Las tablas de verdad se encuentran en Anexo E.

**4.1.1 Posición tubos solares salón 401 y espacios del 5 piso con tubos solares:** Los tubos solares presenta tres posiciones: la primera posición está representada por “0” la cual indica que los tubos solares están totalmente cerrados, la segunda posición está representada por “1” la cual indica que están abiertos a un 50 % y la última posición está representada por “2” indicando que están abiertos un 100%. La figura 10 muestra el diagrama de estado que representa el funcionamiento de los tubos solares, la tabla 8 y tabla 9 especifican la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos del salón 401, CPOS, CPRE, SREUN, CESP, DE3T, CCTV, SECADM.

Figura 10. Máquina de estados para posición de tubos solares

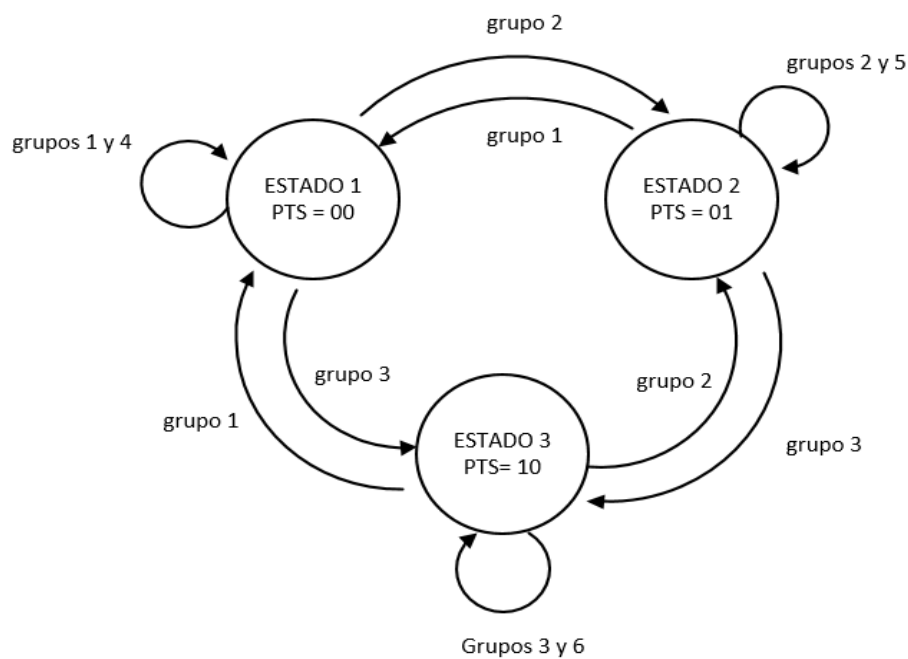


Tabla 8. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los tubos solares salón 401

<b>Espacios</b>	<b>Salón 401</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>109</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.5</b>	
	<b>Función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>grupo 1</b>	Hace que los tubos solares se cambien o mantengan en la posición cero (0)	7, 10, 39, 63, 66, 68-72,74, 76, 79,81-85,87,89-91,93,99-105,107,109
<b>grupo 2</b>	Hace que cambien o mantengan en la posición uno (1)	9, 33, 38, 62, 65, 67, 75, 78, 80, 88, 94, 98, 108
<b>grupo 3</b>	Hace que se cambien o mantengan en la posición dos (2)	8, 29, 37, 58, 64, 73, 77, 86, 92, 106.
<b>grupo 4</b>	Hacen que los tubos solares mantengan la posición (2)	1, 4, 11, 14,17, 20, 23, 26, 30, 34, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 59, 95
<b>grupo 5</b>	Hacen que los tubos solares mantengan la posición (1)	2, 5, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 31, 35, 41, 44, 47, 50, 53, 56, 60, 96.
<b>grupo 6</b>	Hacen que los tubos solares mantengan la posición (0)	3, 6, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 61, 97.

Tabla 9. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de tubos solares para espacios del 5 piso con tubos solares

<b>Espacios</b>	<b>CPOS, CPRE, SREUN, CESP, CESP, DE3T, CCTV, SECADM</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>65</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.6</b>	
	<b>Función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>grupo 1</b>	Hace que los tubos solares se cambien o mantengan en la posición cero (0)	8-9, 33-39, 41, 43, 45, 51, 53
<b>grupo 2</b>	Hace que los tubos solares cambien o mantengan en la posición uno (1)	7, 32, 42, 44, 54,
<b>grupo 3</b>	Hace que los tubos solares se cambien o mantengan en la posición dos (2)	25, 40, 52.
<b>grupo 4</b>	Hacen que los tubos solares mantengan la posición (2)	1, 4, 10, 13, 16, 19, 22, 26, 29.
<b>grupo 5</b>	Hacen que los tubos solares mantengan la posición (1)	1, 4, 10, 13, 16, 19, 22, 26, 29.
<b>grupo 6</b>	Hacen que los tubos solares mantengan la posición (0)	3, 6, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 61, 97.

**4.1.2 Balastros dimerizables salón 401, 402 y espacios del 5 piso:** Para este espacio los balastros dimerizables pueden tomar uno de tres diferentes estados, para el estado cero (0) es cuando los balastros toman un valor de 0.1 [V], en el estado uno (1) toman los valores de tensión igual al de la fotocelda y en el estado dos (2) mantiene el valor anterior. La figura 11 muestra el diagrama de estado que representa el funcionamiento de los balastros dimerizables, la tabla 10, 11 y 12 especifica la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos.

Figura 11. Máquina de estados para balastros dimerizables

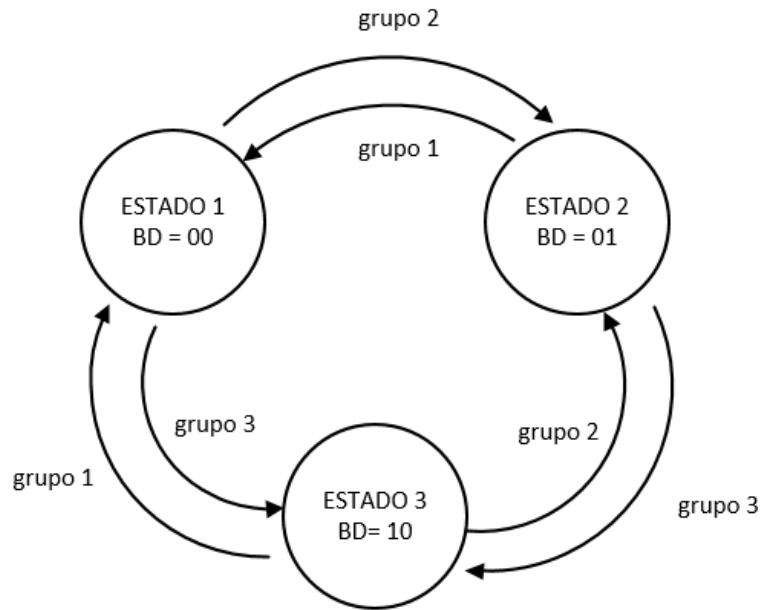


Tabla 10. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los balastros dimerizables salón 401

<b>Espacios</b>	<b>Salón 401</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>15</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.7</b>	
	<b>función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	Hace que los balastros dimerizables se cambien o mantengan en estado cero (0)	2
<b>Grupo 2</b>	Hace que los balastros dimerizables cambien o mantengan en el estado uno (1)	3, 7, 9, 11, 14, 15.
<b>Grupo 3</b>	Hace que los balastros dimerizables se cambien o mantengan en el estado dos (2).	1, 4-6, 8,10, 12-13

Tabla 11. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los balastros dimerizables de CPOS, CPRE, SREUN, CESP, CESP, DE3T, CCTV, SECADM

<b>Espacios</b>	<b>CPOS, CPRE, SREUN, CESP, CESP, DE3T, CCTV, SECADM</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>15</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.8</b>	
	<b>Función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	grupo hace que los balastros dimerizables se cambien o mantengan en estado cero (0)	2
<b>Grupo 2</b>	hace que cambien o mantengan en el estado uno (1)	4-5,8-9
<b>Grupo 3</b>	hace que se cambien o mantengan en el estado dos (2).	1,3,6-7.

Tabla 12. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de los balatros dimerizables de Salón 402, SAPRE, SECPOS, PYS, SESTAR, CALID, SDIR

<b>Espacios</b>	<b>Salón 402, SAPRE, SECPOS, PYS, SESTAR, CALID, SDIR</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>7</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.9</b>	
	<b>función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	grupo hace que los balastros dimerizables se cambien o mantengan en estado cero (0)	2, 3
<b>Grupo 2</b>	hace que cambien o mantengan en el estado uno (1)	4
<b>Grupo 3</b>	hace que se cambien o mantengan en el estado dos (2).	1, 5-7

**4.1.3 Variable de salida I\_O salón 401:** La variable de salida I\_O indica cuando hay consumo de energía eléctrica por parte de los luminarias según si el subsistema automatizado de iluminación decide tenerlas encendidas para este caso el valor de la variable de salida es uno (1), en caso contrario de estar apagadas las luminarias el valor de I\_O es cero (0). La figura 12 muestra el diagrama de estado que representa el encendido y apagado de las luminarias, la tabla 12, 13 y 14 especifica la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos según los espacios.

Figura 12. Máquina de estados para encendido y apagado de luminarias



Tabla 11. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de variable I\_O del salón 401

Espacios	Salón 401	
Nº combinaciones	30	
Tabla de verdad	Anexo E, Tabla E.10	
	Función	Combinaciones
<b>Grupo 1</b>	hace que la variable I_O se cambie o mantenga en el estado cero (0)	1, 4, 8, 21-22, 25, 30.
<b>Grupo 2</b>	hace que cambie o mantenga en el estado uno (1)	5, 13, 16.
<b>Grupo 3</b>	mantienen la variable en el estado 0	2, 6, 9, 11, 14, 17, 19, 23, 26, 28.
<b>Grupo 4</b>	mantienen la variable en el estado 1	3, 7, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 27, 29.

Tabla 12. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de variable I\_O de espacios del 5 piso con tubos solares

<b>Espacios</b>	<b>CPOS, CPRE, SREUN, CESP, CESP, DE3T, CCTV, SECADM</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>20</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.11</b>	
	<b>función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	hace que la variable I_O se cambie o mantenga en l estado cero (0)	1, 4, 12-13, 21.
<b>Grupo 2</b>	hace que cambie o mantenga en el estado uno (1)	7,16
<b>Grupo 3</b>	mantienen la variable en el estado 0	2, 5, 8, 10, 14, 17, 19.
<b>Grupo 4</b>	mantienen la variable en el estado 1	3, 6, 9, 11, 15, 18, 20.

Tabla 13. Grupos y combinaciones para la máquina de estados variable I\_O de espacios del 5 piso sin tubos solares

<b>Espacios</b>	<b>Salón 402, SAPRE, SECPOS, PYS, SESTAR, CALID, SDIR</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>11</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.12</b>	
	<b>función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	hace que la variable I_O se cambie o mantenga en l estado cero (0)	1, 11.
<b>Grupo 2</b>	hace que cambie o mantenga en el estado uno (1)	6.
<b>Grupo 3</b>	mantienen la variable en el estado 0	2, 4, 7, 9.
<b>Grupo 4</b>	mantienen la variable en el estado 1	3, 5, 8, 10

#### 4.2 DIAGRAMA DE ESTADOS PARA LAS VARIABLES DE SALIDAS DEL SUBSISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Para crear las máquinas de estados que representan el funcionamiento de las variables de salida del subsistema de climatización (aire acondicionado, extractores, lámpara de abrir y lámpara de cerrar) para los espacios del grupo A, primero se realizó una tabla de verdad donde las variables de entrada son los valores verdadero o falso de la condiciones programadas en la controladora para estos espa-

cios lo que da 30 entradas y también tomando como entrada adicional el estado anterior de la variable de salida.

A continuación se muestran las máquinas de estado que representan el funcionamiento de las variables de salida para el subsistema de automatización de climatización y una tabla donde se separan en grupos diferentes combinaciones de transición de las entradas que hacen tener a la variable de salida el mismo estado. Teniendo en cuenta que de estas combinaciones hay variables de entrada que no importa el estado en que se encuentren. Las tablas de verdad se encuentran en el Anexo E.

**4.2.1 Aire acondicionado:** La figura 13 muestra el diagrama de estado que representa el funcionamiento del aire acondicionado, la tabla 13 especifica la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos.

Figura 13. Máquina de estados para aire acondicionado

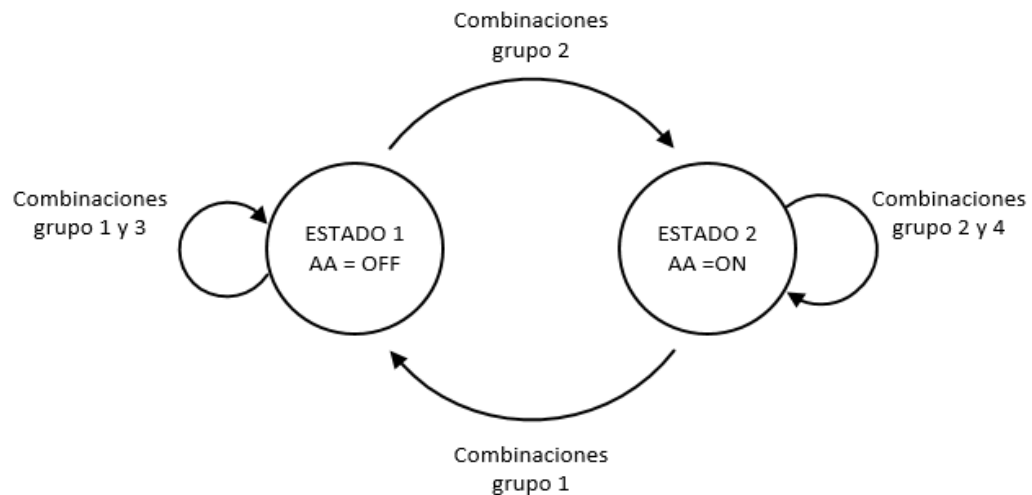


Tabla 13. Grupos y combinaciones para la máquina de estados para aire acondicionado para salones 401,404, 405 y 406

<b>Espacios</b>	<b>Salón 401, 404,405 y 406</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>114</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.1</b>	
	<b>Función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	Hace que el aire acondicionado se desenergice o mantenga en ese estado	1-3, 6-16, 22, 23, 34-45, 47-58, 64-65
<b>Grupo 2</b>	Hace que el aire acondicionado se energice o mantenga en ese estado	74-83.
<b>Grupo 3</b>	Mantiene el aire acondicionado desenergizado	4, 5, 17-21, 24, 33, 46, 59-63, 66-73
<b>Grupo 4</b>	Mantiene el aire acondicionado energizado	84-114

**4.2.2 Extractores:** La figura 14 muestra el diagrama de estado que representa el funcionamiento de los extractores, la tabla 14 especifica la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos.

Figura 14. Máquina de estados para extractores

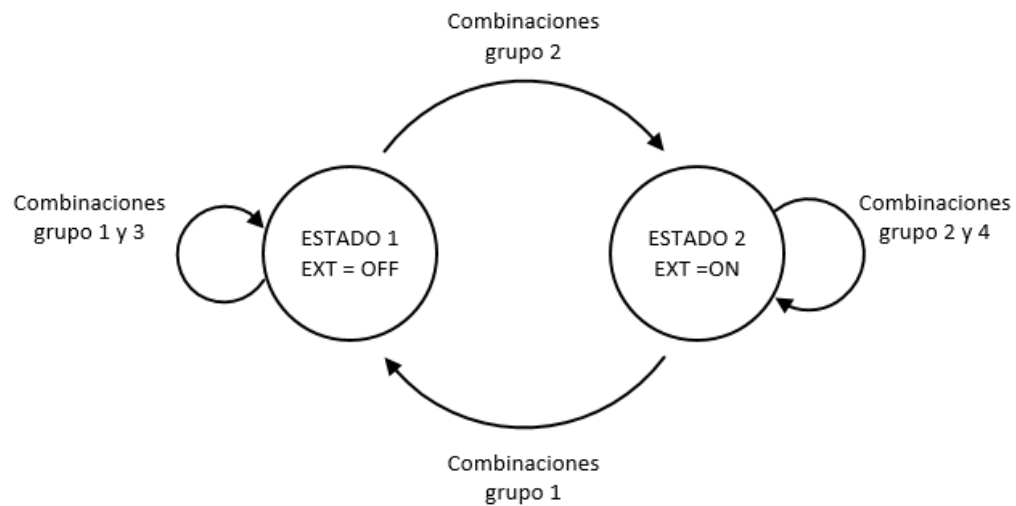


Tabla 14. Grupos y combinaciones para la máquina de estados para extractores para salones 401,404, 405 y 406

<b>Espacios</b>	<b>Salón 401, 404,405 y 406</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>26</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.2</b>	
	<b>función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	Hace que los extractores se apaguen o mantenga en ese estado	1, 3-5, 7, 11, 14, 16, 22, 24.
<b>Grupo 2</b>	Hace que los extractores se enciendan o mantenga en ese estado	2,6, 8-10,15, 17-19, 23, 25-26.
<b>Grupo 3</b>	Mantiene los extractores apagados	12, 20.
<b>Grupo 4</b>	Mantiene los extractores encendidos	13, 21

**4.2.3 Lámpara de abrir:** La lámpara de abrir (LA) indica a los presentes en el espacio que deben abrir las ventanas, según la decisión del subsistema automatizado que considera mejor aprovechar la ventilación natural. La figura 15 muestra el diagrama de estado que representa el funcionamiento de la lámpara de abrir, la tabla 15 especifica la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos.

Figura 15. Máquina de estados para lámpara de abrir

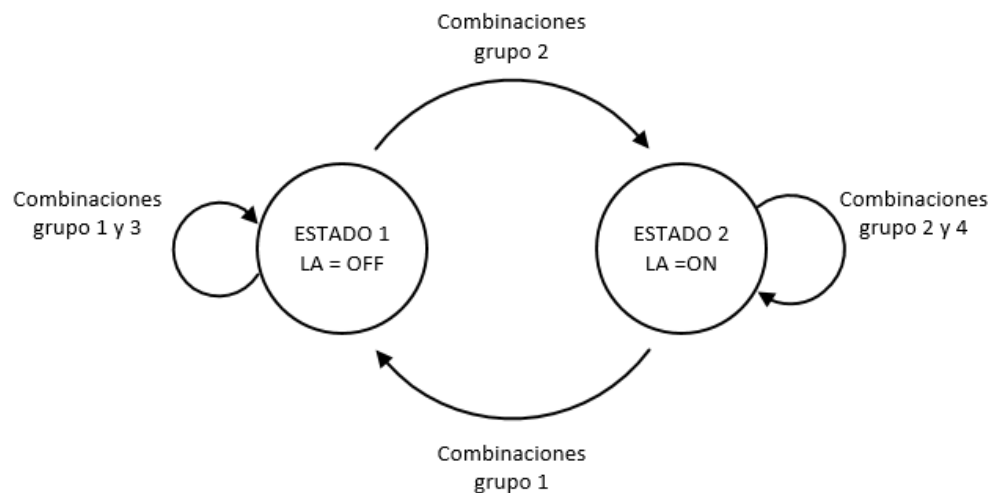


Tabla 16.

Tabla 15. Grupos y combinaciones para la máquina de estados para lámpara de abrir para salones 401,404, 405 y 406

<b>Espacios</b>	<b>Salón 401, 404,405 y 406</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>46</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.3</b>	
	<b>Función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	Hace que la lámpara de abrir se apague o mantenga en ese estado	1,3-6,9,16-20,22,25,27-29,31,34,36-39,42,45-46.
<b>Grupo 2</b>	Hace que la lámpara de abrir se encienda o mantenga en ese estado	2,14,15,21,23,24,26,30,32,33,40,41,43,44
<b>Grupo 3</b>	Mantiene la lámpara de abrir apagada	7,10,12
<b>Grupo 4</b>	Mantiene la lámpara de abrir encendida	8,11,13

**4.2.4 Lámpara de cerrar:** La lámpara de cerrar (LC) indica a los presentes en el espacio que deben cerrar las ventanas y la puerta, según la decisión del subsistema automatizado que considera necesario encender el aire acondicionado y para no hacer un uso ineficiente de este el espacio debe estar cerrado. La figura 16 muestra el diagrama de estado que representa el funcionamiento de la lámpara de cerrar, la tabla 16 especifica la función de los grupos y las combinaciones de transiciones que pertenecen a dichos grupos.

Figura 16. Máquina de estados para lámpara de cerrar

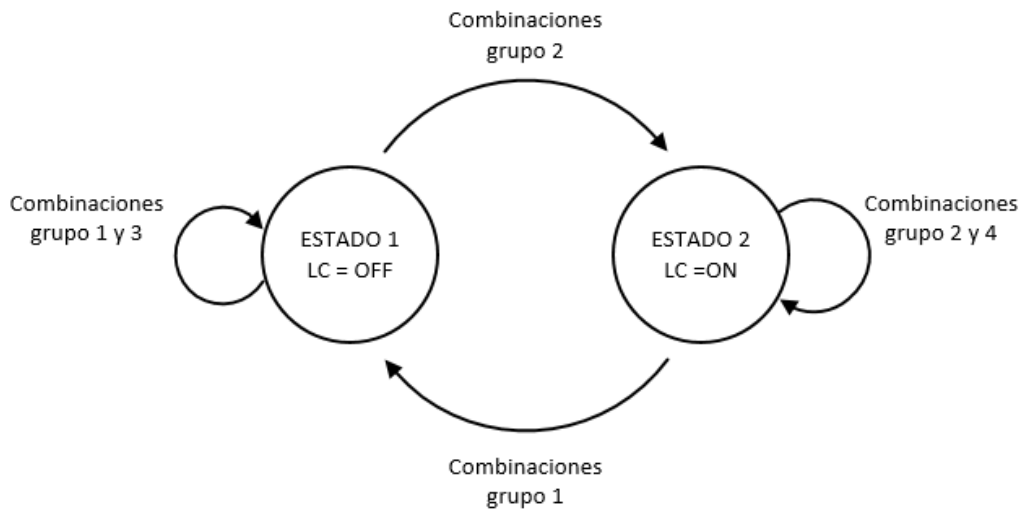


Tabla 16. Grupos y combinaciones para la máquina de estados de lámpara de cerrar para salones 401,404, 405 y 406

<b>Espacios</b>	<b>Salón 401, 404,405 y 406</b>	
<b>Nº combinaciones</b>	<b>65</b>	
<b>Tabla de verdad</b>	<b>Anexo E, Tabla E.4</b>	
	<b>función</b>	<b>Combinaciones</b>
<b>Grupo 1</b>	Hace que la lámpara de abrir se apague o mantenga en ese estado	1-6, 11-13, 16-19, 22-25, 28-31, 34-37, 40-43, 46-49, 52-56, 59-62, 65
<b>Grupo 2</b>	Hace que la lámpara de abrir se encienda o mantenga en ese estado	7-8,14-15,20-21,26-27,32-33,50-51,63-64
<b>Grupo 3</b>	Mantiene la lámpara de abrir apagada	9
<b>Grupo 4</b>	Mantiene la lámpara de abrir encendida	10

## 5. MODELO ESTRUCTURAL DE HCASICA-E3T

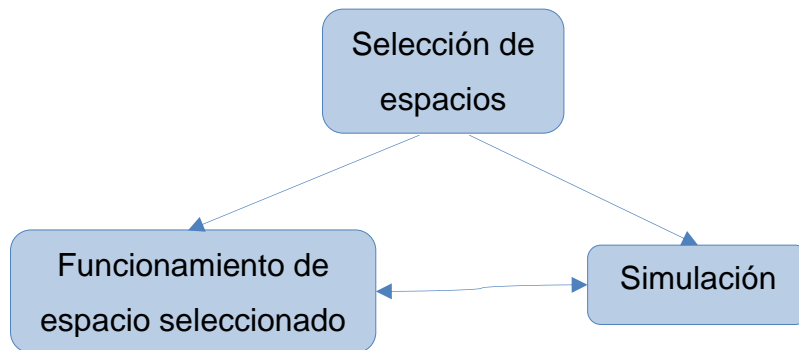
Toda herramienta computacional presenta una estructura que engloba o simplifica su funcionalidad en grades bloques, que desglosados correctamente muestran una descripción detallada de su proceso funcional.

Sin embargo, para obtener la culminación de la última etapa de la herramienta fue necesario pasar por dos etapas previas, la etapa de desarrollo y la de investigación que serán descritas a lo largo del presente capítulo.

### 5.1 ESTRUCTURA GENERAL

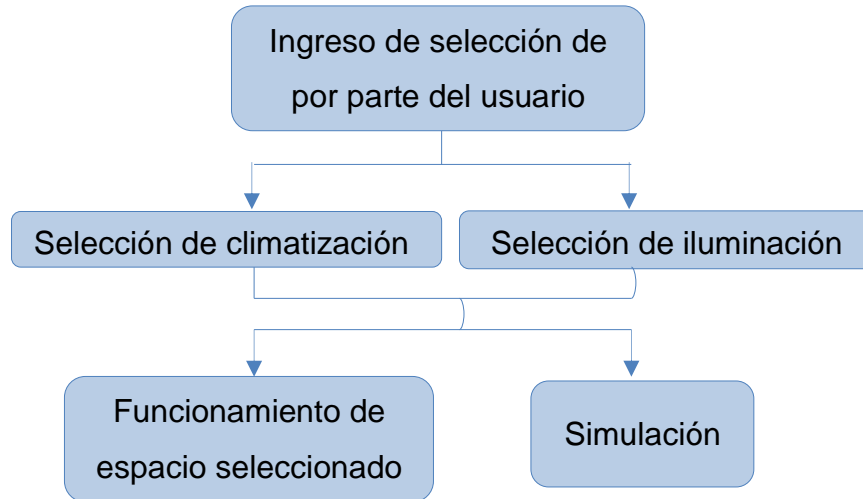
La herramienta computacional implementada se encuentra organizada en tres módulos principales: selección de espacios, funcionamiento de espacio seleccionado y simulación, los cuales permiten una mejor apreciación de la misma (ver figura 17).

Figura 17. Módulos principales



Mediante el módulo de selección de espacio el usuario puede determinar el sub-sistema que desea analizar (iluminación o climatización), obteniendo así vía libre para la selección del proceso deseado (ver figura 18).

Figura 18. Módulo de selección de espacio



De esta forma esta forma el usuario inicia la interacción con la interfaz luego de habilitar el uso de macros, de allí por medio del módulo de funcionamiento de espacio seleccionado se ejecutan los grupos de códigos que corresponden al espacio activado en su respectiva ventana de análisis; cumpliendo de esta manera con el proceso expuesto en la figura 19.

Figura 19. Módulo de funcionamiento de área seleccionada

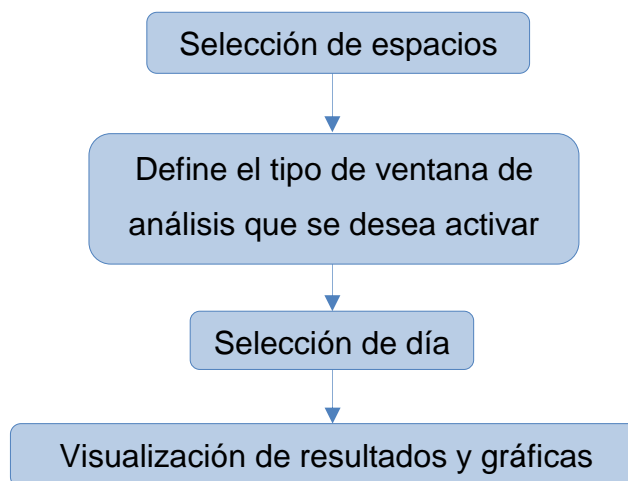
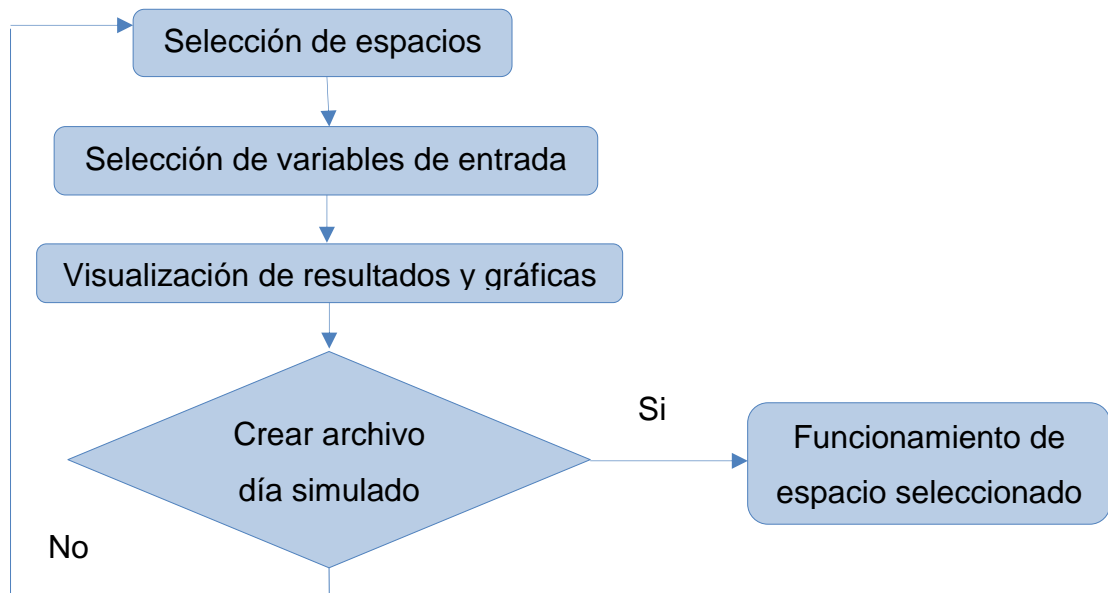


Figura 20. Módulo de simulación



## 5.2 ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN

Las etapas de construcción exponen el proceso que se llevó a cabo para obtener la versión final de la interfaz de usuario, dentro de ellas se encuentra la investigación realizada tanto para el diseño como para la programación de macros en *Excel*, permitiendo un mejor manejo del complemento de *Visual Basic* por parte de los autores en la etapa de desarrollo y así poder llegar a la culminación del proceso mediante la descripción del funcionamiento de la herramienta.

**5.2.1 Investigación:** En esta etapa se darán a conocer las investigaciones preliminares realizadas para la fase de desarrollo, aquellas que facilitaron la construcción y desarrollo de los códigos que se encuentran tras cada botón de la interfaz; haciendo del manejo de macros en *Excel* un aspecto principal en el desarrollo de la misma, tanto en el lenguaje de programación como en el diseño de la misma mediante las diferentes opciones que se pueden realizar en el aspecto físico (cambio de colores, tamaños, posiciones y diseño de botones, variación de páginas etc.).

### 5.2.1.1 Conceptual

La realización de investigaciones permite obtener información relevante para la contextualización y desarrollo de un tema específico; en el caso del presente documento es el diseño y construcción de herramientas computacionales, además del lenguaje de programación requerido para la presentación de resultados y realización de procedimientos.

Dentro de ello se encuentra la comparación de diseño entre distintos tipos de interfaz para obtener una mejor visión y ampliar la perspectiva con respecto a la ubicación de botones, gráficas e información; las comparaciones se realizaron por medio de documentos que se buscaron en primera instancia en la base de datos de la Biblioteca de la Universidad, donde se indagó acerca de trabajos de grado alusivos a las carreras de ingeniería que manejan temas referentes a energías renovables, automatización y herramientas computacionales [12][13][14][15][16] .

Adicionalmente se efectuaron búsquedas en línea, que posibilitaron la observación de diversos tipos de herramientas computacionales enfocadas a temas variados, lo que resultó útil para las mejoras de color e interacción del usuario con la herramienta; y de esta manera poder brindar una mejor información de una forma sencilla y educativa.

En lo concerniente al lenguaje de programación requerido para la ejecución del proyecto, se indagó a profesores y compañeros que tenían conocimiento sobre macros en *Excel*, pero pese a que fue muy poca la información obtenida se optó por la búsqueda en línea de libros virtuales y páginas oficiales de *Microsoft Excel* que proporcionan ayuda con respecto a algunos comandos y posibles errores que se presentan en la unión de comandos.

Uno de los inconvenientes que se presentaron, fue la reducida cantidad de información en español sobre programación en *Visual Basic* para *Excel*, sin embargo muchos de los *blogs* fueron de gran ayuda para la corrección de errores puntuales.

### 5.2.1.2 Diseño

En la realización de la interfaz de usuario se buscó un diseño atractivo al público y sencillo de manejar (Ver figura 21), de tal forma que la ubicación de los botones básicos y las ventanas de selección utilizadas en la herramienta puedan ser encontradas de forma intuitiva, donde las figuras 21 a 26 hacen alusión a la estructura mencionada.

Figura 21. Inicio de la herramienta computacional



Gracias a ello se llegó a la creación de opciones de ayuda, casillas de resultados, listas desplegables, diseño de gráficas y selección didáctica de variables a lo largo de la simulación.

Figura 22. Iconos de ayuda e información respectivamente



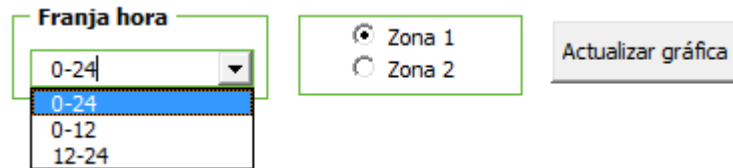
Opciones de ayuda tales como botones y ventanas emergentes que se activan de diferente forma, cuya función es que activar ventanas que permiten visualizar una breve descripción del sistema y del funcionamiento de los diferentes espacios respectivamente (Ver figura 22). A la vez con lo descrito anteriormente se encuentran las casillas de resultados, en ellas se pueden ver valores de potencia, energía consumida, cantidad de tiempo de funcionamiento, conmutaciones realizadas, porcentajes de ahorro e información propia del espacio (Ver Anexo F).

Figura 23. Diseño de casillas de visualización de resultados

Día	Luminarias	Espacio	Nº de luminarias (4 x 17 W)
<b>Potencia [ W ]</b>	4x17 = 68	6x4x17= 408	6
<b>Energía [ kWh ]</b>	0,43	2,579	Switcheos 8

Haciendo un enfoque en las variables de selección (Ver figura 24), se encuentran diferentes modelos de ingreso, que permiten la ejecución del proceso deseado con mayor facilidad. Dentro de ellas se encuentra la lista desplegable, que es la encargada de mostrar diferentes opciones de selección en forma de lista, la cual es utilizada para la elección de días (fechas de documentación y días de la semana en simulación) e intervalo de horas (franja horaria); los botones de opción son aquellos que admiten única selección y cuyo fin es permitirle al usuario visualizar la información de iluminación o climatización en cada una de las ventanas de análisis (Ver figura 23).

Figura 24. Lista desplegable, botón de única selección y botón para activar resultados respectivamente



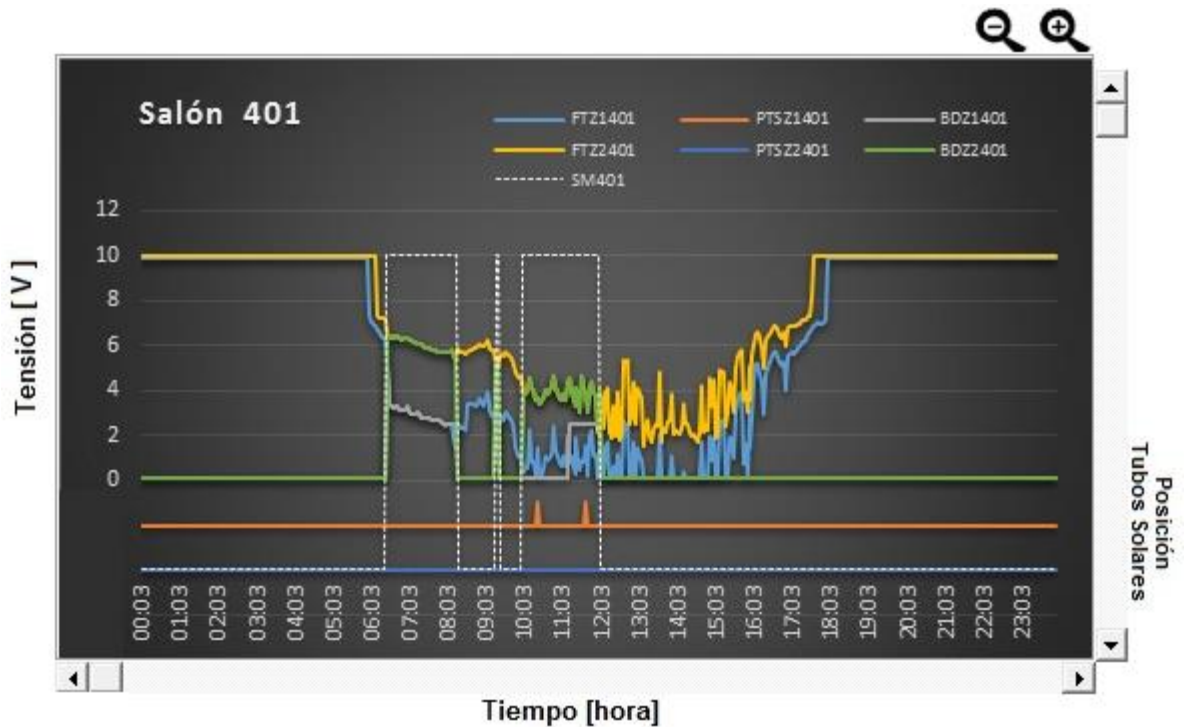
En la sección de simulación que contiene la interfaz se presentó una selección didáctica de variables, la cual se diseñó con dibujos alusivos al estado del clima que se desea aplicar (Ver figura 25), de tal forma que si selecciona soleado los luxes en el espacio serán mucho mayores con respecto a un día nublado, mostrando y permitiendo variar la radiación correspondiente al mes que se seleccionó. Todo ello con el fin de que el usuario cree su día según su preferencia, dentro de las variables que puede controlar esta el sensor de presencia y los detectores de apertura mediante botones que cambian de color dependiendo del estado en que se encuentren.

Figura 25. Cuadro de selección de radiación en la azotea



En lo correspondiente las gráficas de la interfaz (Ver figura 26), su diseño presenta colores llamativos que contrastan con la estructura, de tal forma que se convierten en un punto focal para el entendimiento del sistema automatizado mediante la comprensión de gráficas.

Figura 26. Gráfica de funcionamiento del salón 401



Buscando cumplir que en el diseño anterior el usuario visualizará de una forma agradable el consumo y comportamiento de parte de sistema automatizado.

**5.2.2 Desarrollo:** Al inicio de esta etapa se realizaron una serie de mediciones que permitieron conocer de forma más dinámica el comportamiento de los espacios analizados, para llegar a resultados óptimos; para ello fue necesario realizar un proceso de enmallado de acuerdo a la forma que presenta el aula, en éste se ubicaron puntos estratégicos permitiendo un mejor análisis de la incidencia en luxes de iluminación natural y artificial correspondiente a las condiciones establecidas para la toma de medidas.

Al realizar el enmallado se determinaron las dimensiones de todas las aulas del Edificio de Ingeniería eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, para ello se utilizaron un decámetro, un metro y un sensor ultrasónico para mediciones que permitieron ratificar las medidas tomadas en cada una de ellas; continuando con el

proceso se adicionaron otros elementos como cinta de enmascarar, marcadores permanentes, hoja y lapiceros que permitieron un mejor desenvolvimiento en la realización del enmallado.

En este proceso se determinaron la cantidad de puntos en cada espacio, para ello fue imprescindible la ubicación de las ventanas y la verificación de la forma junto con medidas del espacio, llegando así a clasificar en dos grupos de espacios, los que cuentan con 12 puntos que son mucho más amplios y sus ventanales hacen un gran aporte de iluminación natural y los que cuentan con 9 puntos cuyas ventanas son un poco más pequeñas y la incidencia lumínica es más reducida.

Las mediciones se clasificaron de acuerdo al tipo de día (soleado, nublado, lluvioso etc...) y a la posición de los tubos solares (*On/Off* o abierto/cerrado) para los espacios que presentan este elemento dentro de sus características, éstas están definidas por la cantidad y ubicación de los elementos de control presentes en el espacio.

Gracias a ello se obtuvo información importante para la realización y desarrollo de la ventana de simulación de la herramienta, dentro de los datos obtenidos se encuentra el aporte de los tubos solares al espacio, el punto de menor incidencia lumínica de acuerdo a su ubicación (Norte, Sur, Este, Oeste).

Al tener la información pertinente para el desarrollo de la herramienta (datos de la controladora, mediciones) se programaron cada uno de los cálculos descritos en el capítulo 4, al tener estos resultados se diseñó la imagen de la interfaz la cual cuenta con botones que permiten la visualización de la información pertinente a cada ventana de análisis.

Para llegar a obtener la información deseada con un *click*, fue necesario programar el proceso de llamado de los datos y de los *userform* que se activan en el botón correspondiente.

A lo largo del desarrollo de la herramienta se realizaron varias versiones, las cuales permitieron mejoras considerables tanto en diseño estructural como en diseño físico, que hacen de la interfaz un elemento de fácil manejo y agradables ante la vista del usuario final.

**5.2.3 Culminación:** La herramienta computacional HCASICA-E3T busca acercar al usuario al funcionamiento de los subsistemas automatizados de iluminación y climatización instalados en aulas y oficinas administrativas del edificio de la E3T-UIS, por medio del análisis de datos históricos y su simulación.

En la figura 27 se presenta la estructura general de HCASICA-E3T, donde se pueden observar los elementos internos de cada ventana de análisis, botones de control, cuadros de datos y gráficas.

- Los botones de control permiten al usuario manipular la herramienta para cambiar ventanas de análisis, seleccionar el día o espacio a trabajar, escoger el subsistema automatizado que desee analizar; ya sea iluminación o climatización, entre otras cosas. En la figura 27 se identifican como cuadros con fondo rosa.
- Los cuadros de datos y gráficas muestran los resultados del análisis que hace la herramienta a los datos históricos o de simulación que varían según la manipulación de los botones de control.

Los botones de control y cuadros de datos se muestran dependiendo del subsistema automatizado seleccionado, estos se identifican con un asterisco ( \* ) o dos asteriscos ( \*\* ) para iluminación o climatización respectivamente.

Figura 27. Estructura general de HCASICA-E3T

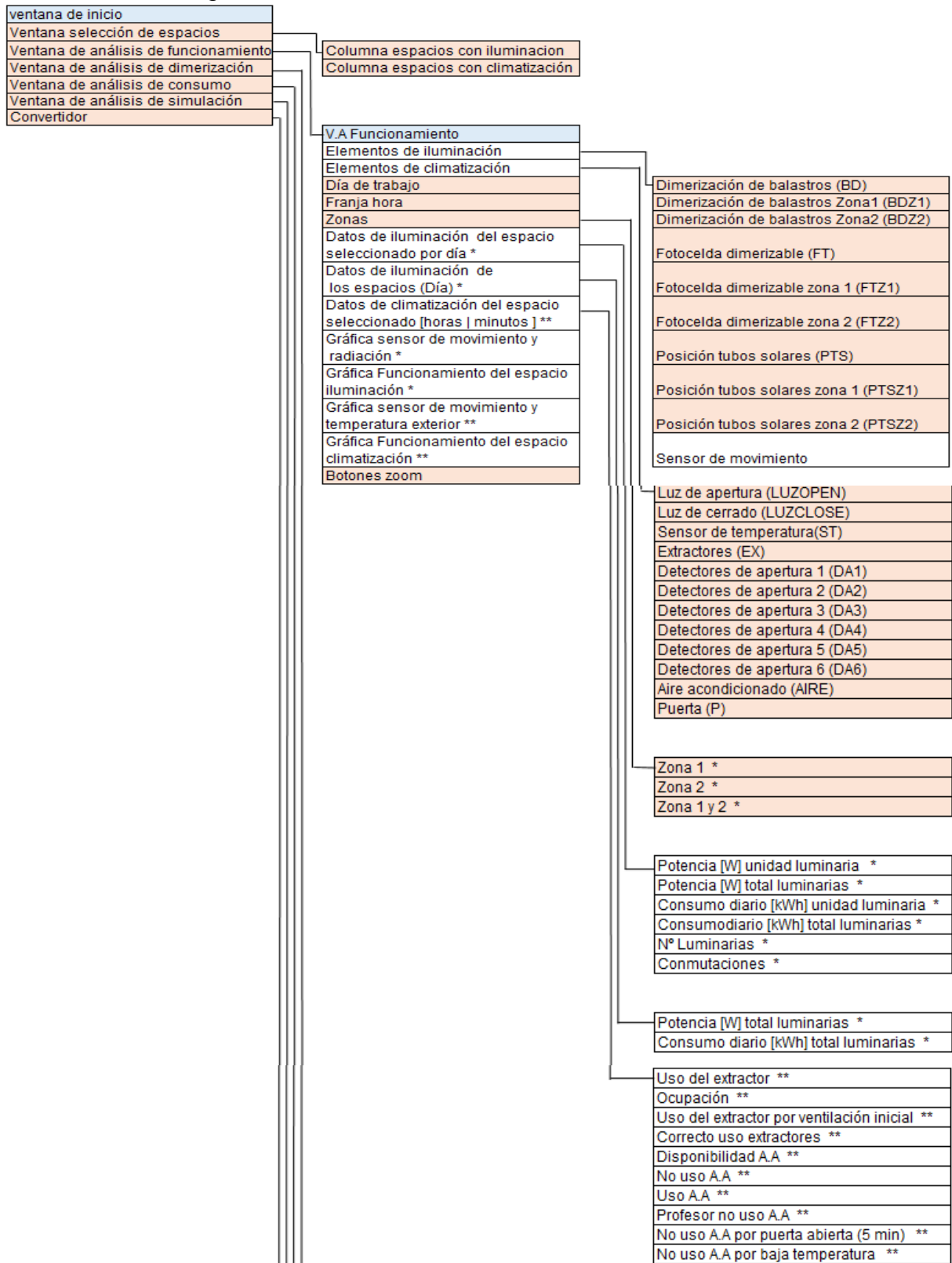


Figura 27. Estructura general de HCASICA-E3T (Continuación)

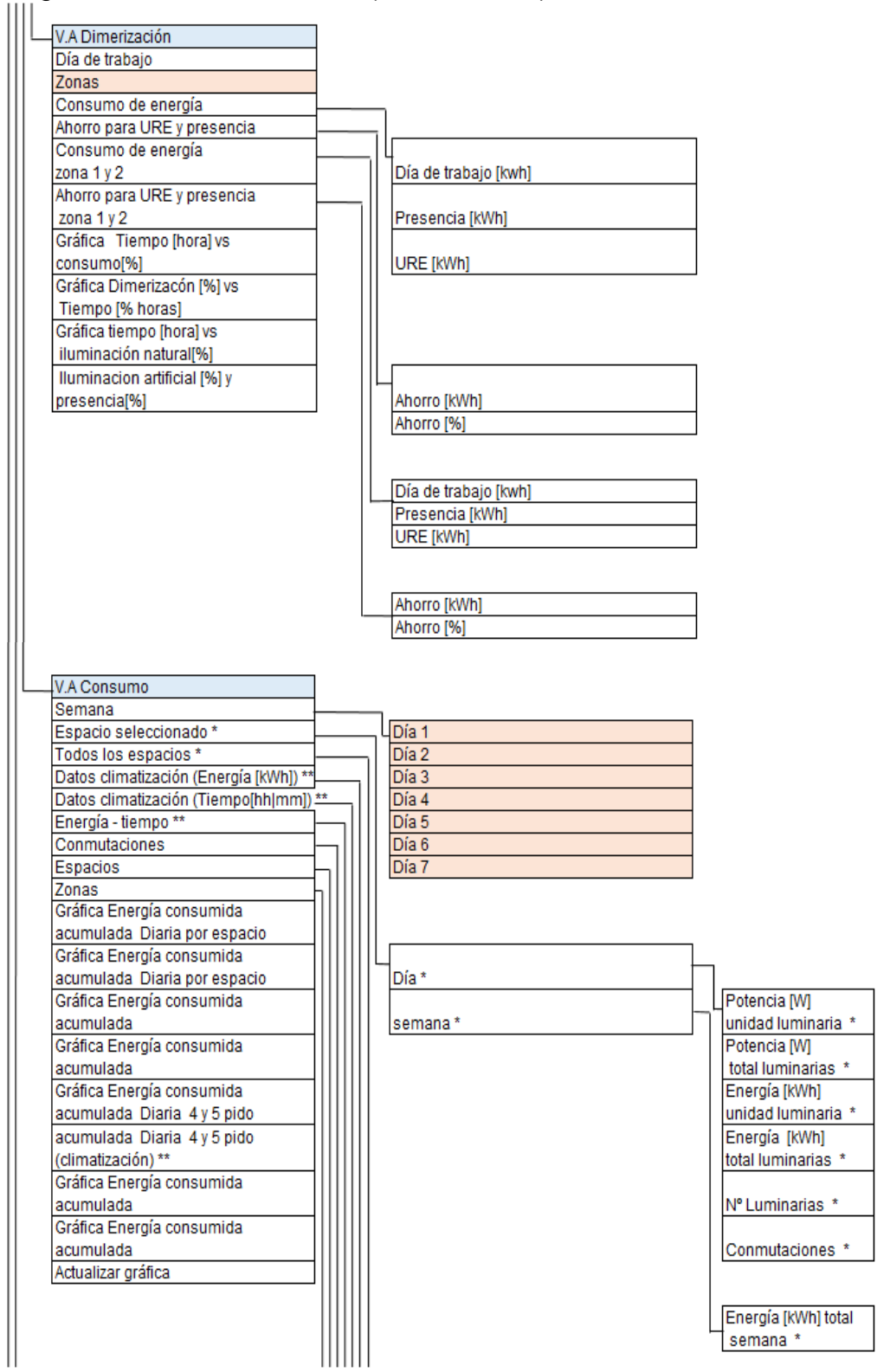


Figura 27. Estructura general de HCASICA-E3T (continuación)

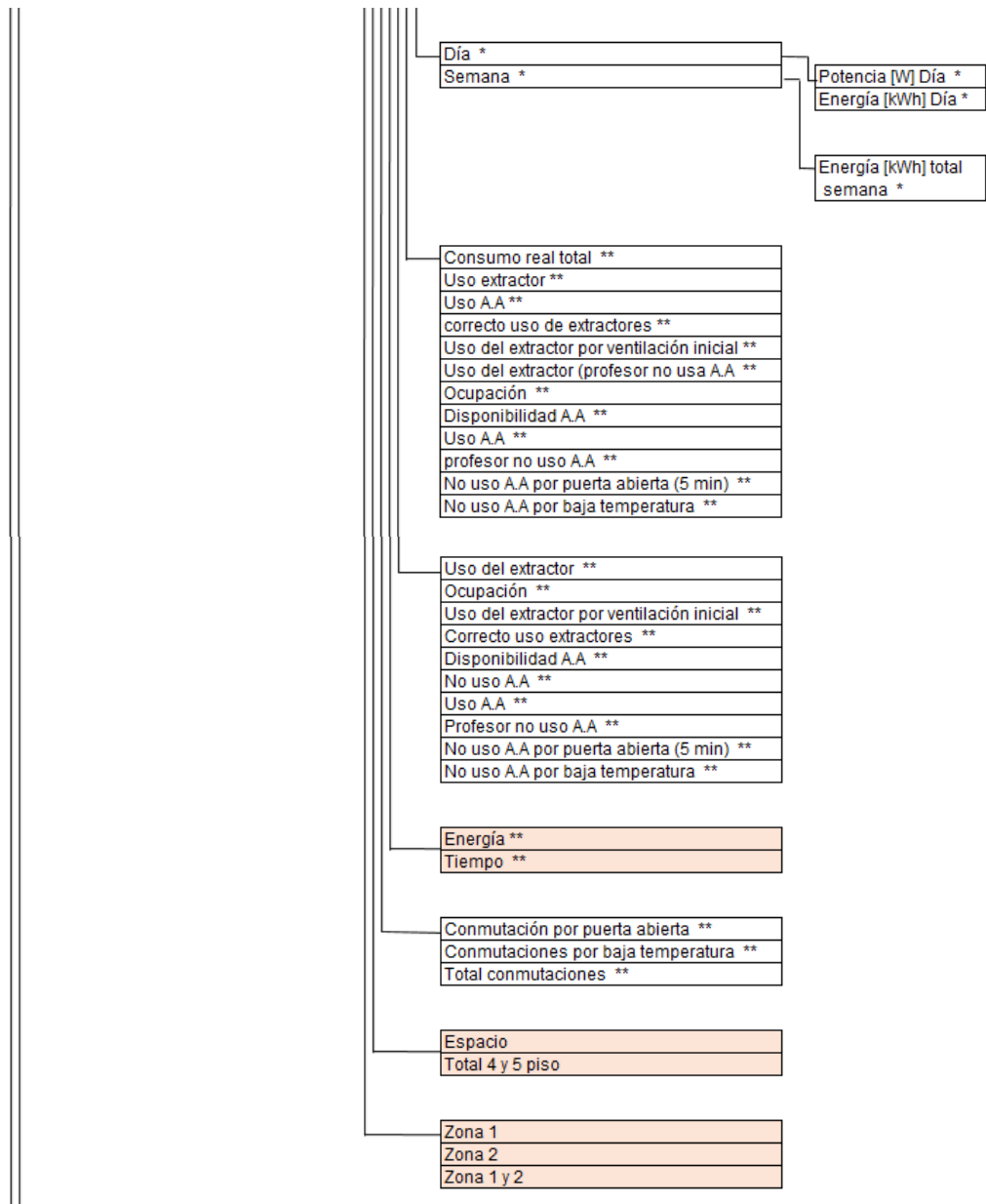
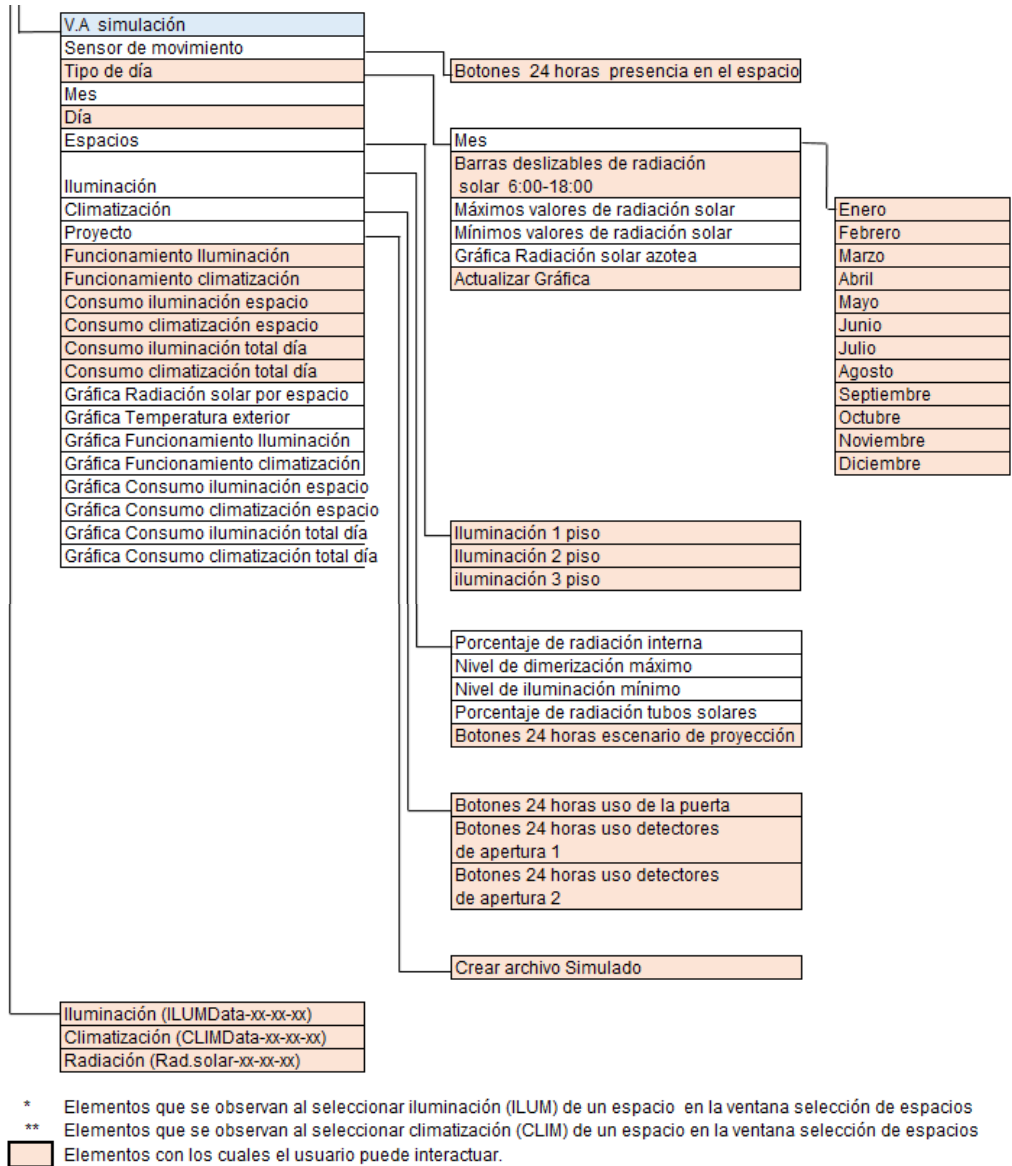


Figura 27. Estructura general de HCASICA-E3T (continuación)



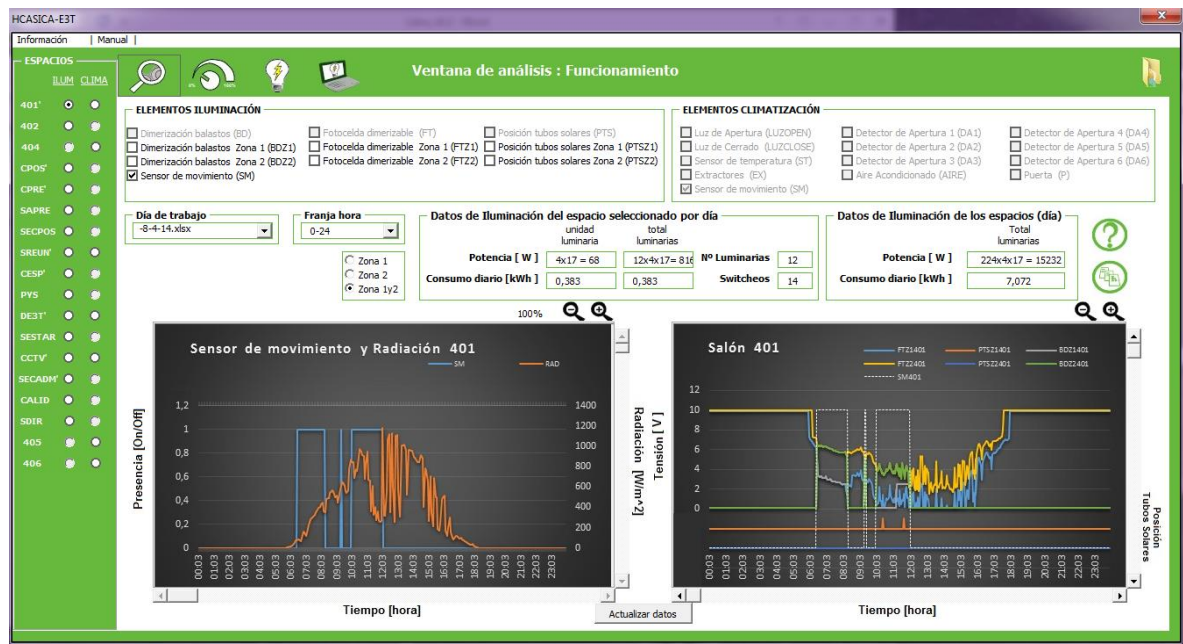
Luego de varias versiones y obtener la interfaz de usuario deseada en la parte de diseño físico se inició la etapa de culminación, en ella cual se realizaron verificaciones de cálculos, correcciones de palabras y su validación con potenciales usuarios (ver capítulo 6).

En la verificación de cálculos se determinó la coherencia de los mismos respecto al comportamiento de cada uno de los elementos del subsistema de iluminación y climatización.

### 5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

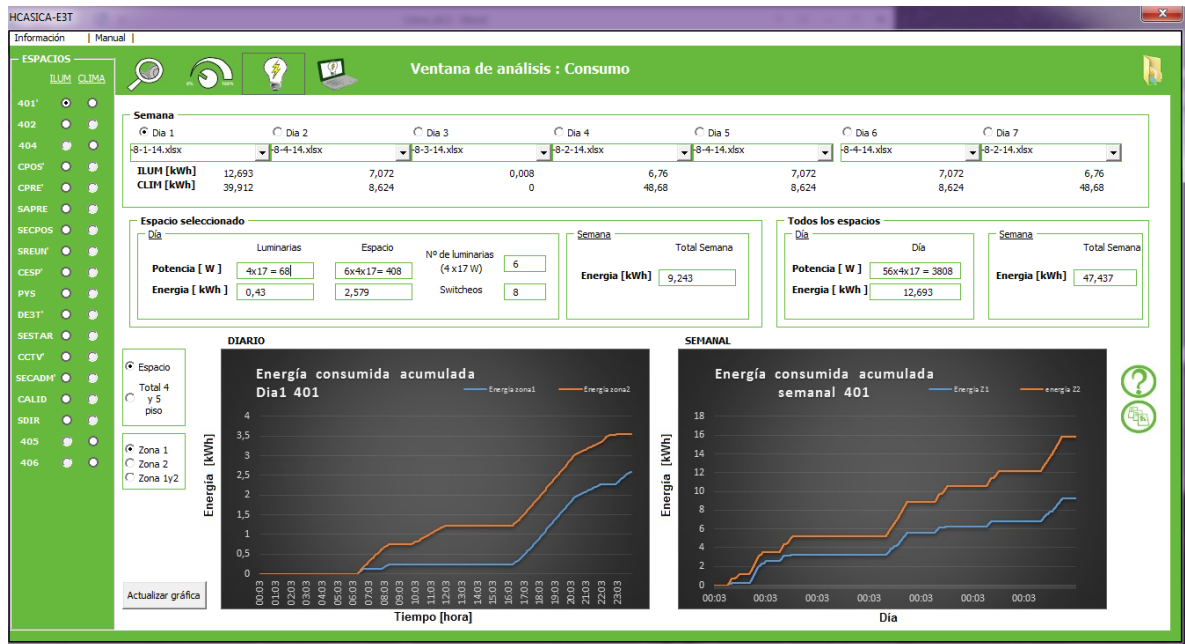
- Ventana de funcionamiento:** En esta sección de la herramienta se puede visualizar el comportamiento de iluminación y climatización del espacio seleccionado por el usuario, de un día específico, basado en datos obtenidos de la plataforma *Andover Continuum Infinet II* o de los generados por el simulador presente en esta herramienta. La interfaz de la ventana de análisis de funcionamiento está distribuida en diferentes marcos y gráficas, que permiten observar características y datos específicos respecto al día y espacio seleccionado.

Figura 28. Ventana de funcionamiento



- Ventana de consumo:** Esta ventana permite analizar el consumo energético por espacios, en ella se puede evidenciar la potencia en [kW] utilizada por lámparas y elementos presentes de los espacios, y la energía en [kWh] consumida por la cantidad total de lámparas y otros elementos que conforman los espacios.

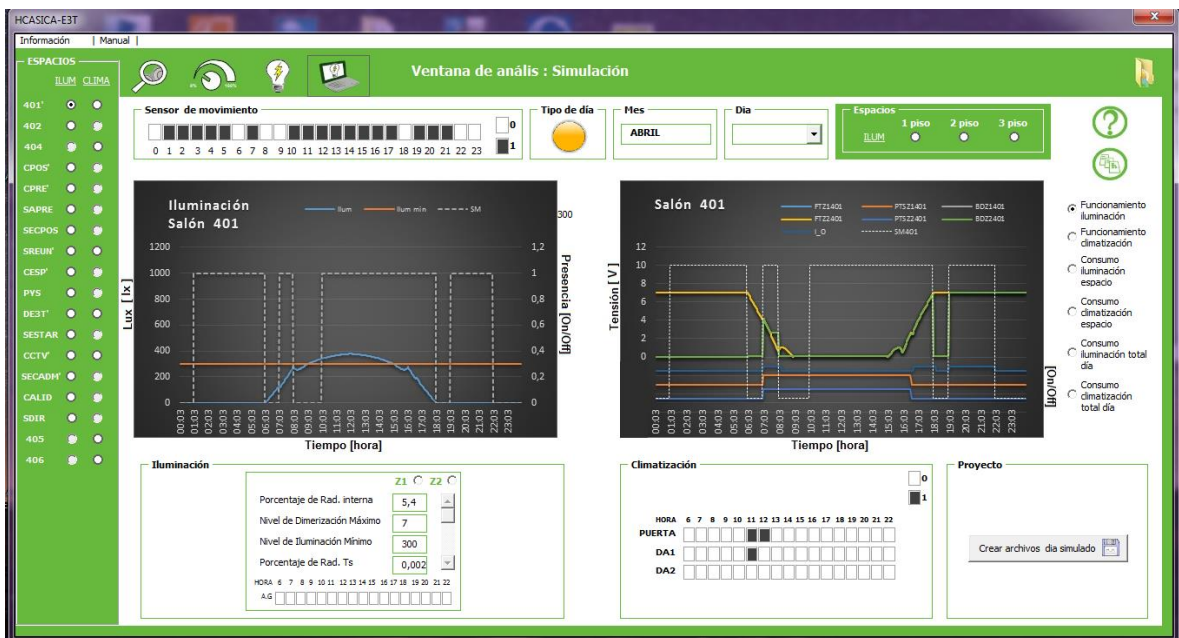
Figura 29. Ventana de consumo



- **Ventana de simulación:** Esta ventana de análisis, permite al usuario interactuar con los diferentes elementos que componen un espacio, para visualizar los cambios que ocurren al manipular las diferentes variables y comprender el funcionamiento de los sistemas automatizados de iluminación y climatización presentes en el edificio de la E3T-UIS.

El usuario puede controlar diferentes variables de entrada y evidenciar la toma de decisiones que los sistemas automatizados realizan en busca del confort de las personas presentes en el espacio y del ahorro energético. Estas variables se encuentran en los diferentes cuadros de la ventana.

Figura 30. Ventana de simulación



- Ventana de dimerización:** Esta ventana de análisis, muestra el ahorro que se obtuvo al implementar un sistema centrado en el uso racional de la energía (URE), en el caso específico del edificio de la E3T-UIS, además muestra el aporte en porcentaje de iluminación natural y artificial en cada espacio. Si se desea conocer el funcionamiento de esta ventana de la herramienta se puede remitir al Anexo F de este libro.

Figura 31. Ventana de dimerización



## 6. VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

La validación de la herramienta sirve para corroborar la confiabilidad y practicidad de la misma, a partir de diferentes pruebas realizadas con potenciales usuarios.

La herramienta está compuesta de dos partes, una parte que permite realizar los análisis para datos de una semana y otra que permite analizar datos de un mes. Para el caso de la validación solo se le realiza a la parte que comprende los datos de una semana, debido a que la otra parte consiste en lo mismo y realiza las mismas funciones solo que para una mayor cantidad de datos.

Por medio de las pruebas se va a verificar si la herramienta cumple como simulador y a su vez enseñar el estado de operación de los equipos (*On/Off*), el consumo energético y el nivel de iluminación de los espacios listados en la interfaz.

Adicionalmente, se listan los siguientes aspectos abordados y aprobados por nuestro director de proyecto, como método de validación y constancia de haber logrado los alcances de la herramienta computacional:

- ✓ Caracterización de la operación de los sistemas de iluminación y climatización híbrida de espacios específicos del Edificio de la E3T a partir del enfoque de máquina de estados.
- ✓ Permite la simulación del comportamiento de los sistemas de iluminación y climatización de espacios específicos.
- ✓ La ventana de análisis de funcionamiento muestra el registro de datos históricos obtenidos por la plataforma Andover, el funcionamiento de los elementos existentes en los espacios específicos a partir de gráficas e iconos, información de consumo, potencia y funcionamiento de los sistemas de iluminación y climatización.

- ✓ La ventana de análisis de dimerización indica la relación de ahorro energético obtenido por medio de la automatización en ciertos espacios específicos; permitiendo hacer una relación de consumo por espacios y representar gráficamente cantidades de energía consumida.
- ✓ La ventana de análisis de consumo da acceso al usuario a información de la energía consumida de los espacios, asimismo, posibilitar la realización de un análisis comparativo de datos a partir de un día hasta una semana.
- ✓ En la ventana de análisis de simulación se permite al usuario manipular ciertas variables presentes en los espacios del Edificio de la E3T, mostrando un funcionamiento aproximado al real.
- ✓ Los datos de monitorización de variables fueron validados con los datos obtenidos en la herramienta a partir de pruebas de funcionamiento.

## **6.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE USO**

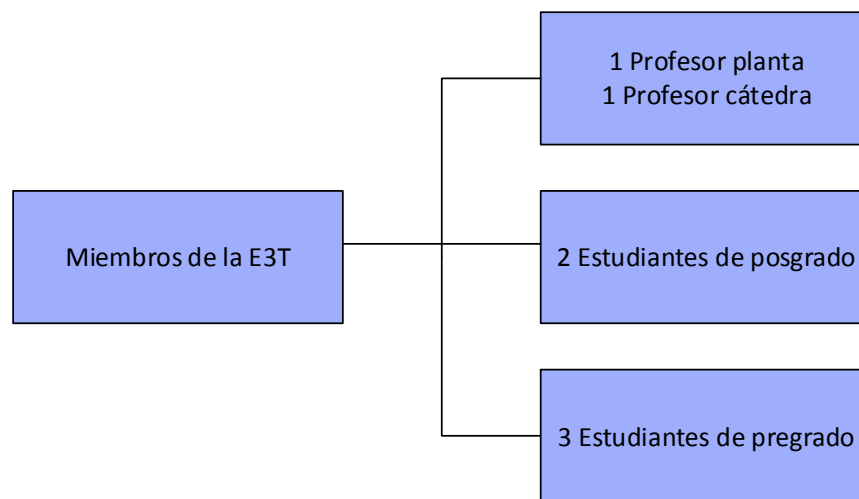
La metodología se basa en la adquisición de información a partir pruebas realizadas a los usuarios. Estas pruebas consisten en un taller y una encuesta donde al usuario se le suministra información e indicaciones para efectuar ciertas tareas con la herramienta.

El taller se fundamenta en el reconocimiento y selección de las ventanas presentes en la interfaz, permitiendo al usuario identificarlas por nombre y función. Esta prueba también va a suministrar al usuario información sobre el funcionamiento de los sistemas descritos a lo largo de este libro, haciendo que no sea estrictamente necesario acudir al manual de usuario para entender el funcionamiento de la herramienta.

La otra parte consiste en una encuesta de validación donde se formulan unas preguntas con sus respectivas opciones de respuesta. Cada ítem va a tener única respuesta con ponderación acorde a la que el usuario considere pertinente según el grado practicidad y facilidad al momento de trabajar en la herramienta.

Para implementar las pruebas de validación se va a requerir de un grupo de 7 miembros de la E3T compuesto de la siguiente forma (Ver Figura 32). El tamaño de la muestra, se tomó como base con un tamaño de universo de 1000 personas, heterogeneidad del 50%, margen de error del 25%, y un nivel de confianza del 80%; obteniendo un tamaño muestral de 7 personas.

Figura 32. Grupo de validación de la herramienta

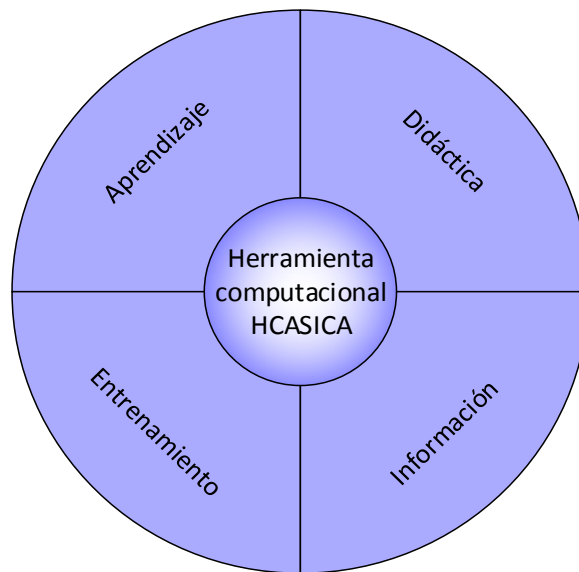


Una vez concretados los miembros se procede a reunirlos para dar indicaciones y atender dudas al respecto, esto se hace en búsqueda de suministrar la herramienta y difundir la información en conjunto por si se presenta algún tipo de inconveniente en particular.

Después de realizar la validación se debe hacer un análisis de los resultados arrojados a partir de las pruebas realizadas con los usuarios, estas pruebas van a determinar si la interfaz funciona como instrumento de entrenamiento para la comprensión de los sistemas de iluminación y climatización descritos en capítulos anteriores.

**6.1.1 Lineamientos de las pruebas:** Para recopilar y analizar la información se van a tener en cuenta los siguientes ámbitos:

Figura 33. Puntos focales para el cumplimiento del objetivo de la herramienta



Estos ámbitos van a ser evaluados con el fin de cumplir el objetivo de la herramienta que consiste en suministrar al usuario información de forma didáctica sobre el comportamiento de los sistemas automatizados de iluminación y climatización de la E3T, de forma tal que la herramienta permita el entrenamiento y aprendizaje del tema expuesto a la comunidad universitaria.

## **6.2 FORMATO Y VALORACIÓN DE LAS PRUEBAS**

Los formatos de evaluación (taller y encuesta) permiten asentar la información de la herramienta y exponer el grado de conformidad acorde a las respuestas.

Las pruebas de validación están basadas en lineamientos dados por diferentes ramas de la investigación, donde se concuerda que para la elaboración de un diseño de evaluación se debe seccionar en varias etapas. Estas etapas de cons-

trucción van a permitir buscar un resultado deseado, aplicando criterios de realimentación y centrándose en la adquisición de información relevante.

El taller consta de 9 preguntas donde el usuario va a seguir unas instrucciones para realizarlo, haciendo alusión a los conceptos tratados dentro de la herramienta. Al finalizar la prueba, se va a verificar los resultados obtenidos, permitiendo evaluar si los usuarios lograron comprender el funcionamiento y validar la información dada (Ver Anexo G).

La encuesta está constituida por 9 preguntas y va a permitir a los autores analizar el beneplácito de los usuarios a partir de las respuestas obtenidas tras la experiencia con la herramienta (Ver Anexo H).

La Tabla 17 tiene el formato de las opciones de respuesta con porcentajes, considerados como bajo, bueno o muy bueno. Estos porcentajes van a definir la herramienta como validada o no, teniendo en cuenta que si por encuesta se obtiene una cantidad superior o igual a 3 preguntas con calificación baja (33%), la herramienta no puede considerarse validada. La selección de porcentajes fue tomada a partir de pruebas que se realizan en universidades Europeas para indicar el nivel de satisfacción con alto grado de estándar.

Tabla 17. Porcentajes de resultados para la encuesta

NS/NR	Bajo	Bueno	Muy bueno
---	33%	66%	100%

Si las pruebas presentan resultados negativos la herramienta no se va a considerar apropiada para suministrársele a la comunidad universitaria en general, lo que requiere repetir la prueba con las correcciones de las respectivas anotaciones realizadas.

### 6.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE FUNCIONALIDAD

Para evaluar la funcionalidad de HCASICA-E3T como simulador, se compararon los datos históricos de los días 4 y 5 de agosto de 2014 registrados por la controladora ANDOVER con los datos arrojados por el simulador del funcionamiento de los subsistemas de iluminación y climatización.

La prueba consiste en obtener 479 muestras por cada variable, con un muestreo cada tres minutos. Los resultados obtenidos se simulan y se comparan en el mismo tiempo de la variable de los datos históricos, consiguiendo un porcentaje de error como se presenta en la tabla 18, donde porcentajes de error diarios de los espacios seleccionados del subsistema de iluminación.

Tabla 18. Porcentajes de la prueba de funcionamiento iluminación.

Subsistemas de iluminación								
Espacio	% error 4/08/2014				%error 5/08/2014			
	Fotoceldas	balastros dimerizables	I_O	posición tubos solares	Fotoceldas	Balastros dimerizables	I_O	Posición tubos solares
CALID	62,8108141	15,65163928	0,41841004	N.A	70,7906246	15,81495478	2,09205021	N.A
DE3T	87,1354962	1,742904825	1,25523013	8,158995816	38,7755642	24,33814223	4,39330544	1,778242678
salón 401	48,8914775	6,118708324	8,36820084	64,64435146	50,2690077	8,0340019	5,64853556	48,9539749

En la Tabla 18. N.A, significa que para ese espacio no se tuvo en cuenta esa variable para la simulación.

A partir de la Tabla 18, los niveles de error más altos, se observan en los espacios dónde no se tiene en cuenta la incidencia de radiación solar propia, debido a que

se caracterizó un espacio en general a partir de las medidas de radiación en la azotea y estos valores se replicaron para los demás espacios; además la utilización del software SOLEA no tiene en cuenta la incidencia de radiación en los espacios y la precisión del mismo no es apropiada para una caracterización detallada.

Para la simulación del subsistema de climatización, se realizó el mismo proceso de obtención del porcentaje de error diario a cada variable. Para poder simular cada día estipulado en la tabla 19, fue necesario tener en cuenta los datos de temperatura exterior, sensores de presencia y detectores de apertura en puertas y ventanas.

A partir de la simulación del subsistema de climatización, es posible obtener valores de: temperatura interior, estado de los aires acondicionados, estado de extractores, estado de lámparas para abrir y cerrar puertas en los espacios DE3T y salón 401.

En la tabla 19 se muestran los porcentajes de error diarios de los espacios seleccionados del subsistema de climatización.

Subsistema de climatización										
Espacio	% error 4/08/2014					%error 5/08/2014				
	Temperatura interior	Energizado Aire acondicionado	Extractores	lámpara abrir	lámpara cerrar	Temperatura interior	Energizado Aire acondicionado	Extractores	lámpara abrir	lámpara cerrar
Salón 401	2,39618034	2,296450939	1,04384134	0	0	1,669176577	0,20876827	0	0	0
DE3T	N.A	15,031	N.A	N.A	N.A	N.A	8,76	N.A	N.A	N.A

cionados del subsistema de climatización.

Tabla 19. Porcentajes de la prueba de funcionamiento climatización.

#### 6.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de las pruebas efectuadas a miembros de la comunidad E3T, proporcionan información que permiten dar por validada la herramienta, donde la metodología evaluación, asiente en la capacidad de brindar un instrumento de entre-

namiento, al funcionamiento de los sistemas de iluminación y climatización presentes en el Edificio de la E3T-UIS.

A partir de las pruebas realizadas, es posible constatar que la información que comprende la parte de la herramienta para análisis de datos de un mes, se puede validar con el criterio descrito en el capítulo anterior, ya que es igual a la herramienta de análisis de datos por semana y por ende no es necesario repetir las pruebas.

El enfoque dado a las preguntas de la encuesta de validación, relaciona los puntos focales descritos en la Figura 33, indicando si hay falencias en la operación de la herramienta e identificar aspectos que se permitan mejorar a partir de las muestras tomadas. La relación entre las preguntas y los aspectos evaluados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Relación entre las preguntas de la encuesta y los puntos focales

N°	Pregunta	Aspectos tenidos en cuenta
1	¿La interfaz de la herramienta es clara y atractiva?	Didáctico, aprendizaje e información.
2	¿Le fue fácil manipular los controles de la herramienta?	Didáctico e información.
3	¿Logró comprender la operación de los sistemas automatizados de iluminación y climatización?	Entrenamiento, didáctico, aprendizaje e información.
4	¿Entendió el funcionamiento de dimerización?	Aprendizaje e información.
5	¿Comprendió el ahorro energético logrado a partir de la automatización de los sistemas de iluminación y climatización?	Entrenamiento, didáctico, aprendizaje e información.
6	¿Le resultó práctica la herramienta para simular el comportamiento de los sistemas de iluminación y climatización?	Didáctico, aprendizaje e información.
7	¿Fue sencillo entender las gráficas presentadas en la interfaz?	Aprendizaje e información.
8	¿La información presentada en la herramienta fue útil y sencilla de entender?	Aprendizaje e información.
9	¿La información sobre los temas de iluminación y climatización híbrida para poder abordar la herramienta, fue suficiente?	Entrenamiento, didáctico, aprendizaje e información.

Una vez concretados los miembros descritos en la en la Figura 32, se realizaron las pruebas de funcionamiento de HCASICA, arrojando como resultado de la encuesta, la tabla 21.

Tabla 21. Resultados de la encuesta de validación

Número de pregunta	GRUPO DE VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA						
	PROFESOR PLANTA	PROFESOR CATEDRA	ESTUDIANTES DE POSGRADO		ESTUDIANTES DE PREGRADO		
	Javier Enrique Solano Martínez	Manuel José Ortiz Rangel	Jorge Luis Cárdenas	Julián Oswaldo Florez Reyes	Gustavo Roa Cano	Ferney Leonardo Manrique Lizarazo	Sandra Milena Vargas Calderón
1	100	100	66	33	66	100	100
2	100	100	66	100	66	66	100
3	66	100	33	100	33	66	66
4	33	100	66	100	66	100	66
5	66	100	100	100	66	100	100
6	66	100	66	66	66	100	100
7	66	100	66	66	66	100	66
8	66	100	33	33	66	100	100
9	100	100	66	66	33	100	66

Ya con esto, y según lo descrito en el capítulo 6.2, se puede constatar que las pruebas fueron exitosas y la herramienta se considera validada, ya que para ninguno de los casos se obtuvo una cantidad de respuestas mayor o igual a 3 con un porcentaje del 33%.

A partir de la Tabla 21, fue posible calcular un promedio por respuesta, arrojando un promedio de aceptación como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Promedio general de aceptación según cada ítem

Número de pregunta	Promedio
1	80,7
2	85,4
3	66,3
4	75,9
5	90,3
6	80,6
7	75,7
8	71,1
9	75,9

Adicionalmente, se realizó una prueba adicional con el director y codirectores del proyecto, evidenciándolo en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados encuesta validación director y codirectores de proyecto

Número de pregunta	Germán Alfonso Osma pinto	Gabriel Ordoñez Plata	Laura Yazmin Amado Duarte
1	66	100	66
2	100	66	66
3	100	66	66
4	100	66	100
5	100	66	66
6	100	66	66
7	100	100	66
8	100	66	66
9	66	66	100

En cuanto al taller realizado, fue usado para orientar al grupo de validación y constatar que las respuestas dadas por parte de los evaluados, se asemejen a las respuestas de los evaluadores.

El formato del taller usado y la encuesta de validación se encuentran en el Anexo G y Anexo H respectivamente.

## 7. CONCLUSIONES

Culminadas las etapas de elaboración de la herramienta computacional, en cuanto a programación, diseño de la interfaz, puesta en marcha y pruebas con usuarios, se puede concluir lo siguiente:

- La función principal de la herramienta computacional HCASICA es permitir al usuario conocer y comprender el funcionamiento de los sistemas de iluminación y climatización del edificio de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones.
- Fue posible desarrollar en el software Excel, la herramienta HCASICA con una interfaz gráfica de fácil manejo y formato atractivo, enmarcando temas de investigación de nivel académico e industrial, como: Edificaciones verdes y sistemas de automatización en edificaciones-BAS.
- La creación de una herramienta que puede ser utilizada por diferentes usuarios con conocimientos en la parte eléctrica, permite una manera didáctica de aprendizaje en áreas del conocimiento tales como automatización y uso racional de la energía.
- La simulación de los sistemas híbridos de iluminación y climatización en la herramienta HCASICA, se hace a partir de la implementación de procesos a partir de máquina de estados, lo cual permite mostrar un sistema operando en estado ON/OFF, propiciando resultados aproximados al sistema real con un margen de confianza del 68%. Sin embargo, el funcionamiento de la herramienta es ideal y cuenta con restricciones, lo que no permite alterar los valores preestablecidos de trabajo en ella o diferentes a los adquiridos mediante la plataforma Andover.

- La estructura de la herramienta computacional, brinda una inducción al funcionamiento de los subsistemas automatizados de iluminación y climatización de espacios específicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica, a partir de funciones que integran elementos didácticos y ayudas, tales como: gráficas, controles de operación, ayudas visuales, cuadros de texto, manuales, entre otros.
- Las funciones de la herramienta facultan a los usuarios comprender de forma casi intuitiva, el funcionamiento de algunos elementos que componen los subsistemas descritos, con la limitante de que si se quiere adquirir una mayor destreza y mayor exploración del contenido de la herramienta, es necesario emplear una gran cantidad de tiempo de manipulación, para mejorar la habilidad al trabajar en la herramienta.
- Una vez realizada la validación de uso de la herramienta en un grupo de miembros de la E3T, compuesto por estudiantes de pregrado y posgrado, profesores planta y cátedra. Se estudiaron los resultados obtenidos concluyendo que los aspectos más relevantes al valorar la herramienta, fue la facilidad de asociar información gráfica con la información textual presentada en la interfaz, lo que permitió relacionar el funcionamiento de los sistemas tratados en HCASICA de forma más sencilla.
- Por medio de la encuesta y del taller de validación realizada, fue posible observar, que la herramienta HCASICA facilita visualizar y entender funcionamiento de los sistemas de iluminación y climatización presentes en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. Sin embargo se requiere emplear una mayor cantidad de tiempo para ampliar la información tratada, pese a que la temática no es sencilla de comprender y requiere de mayor dedicación.

## 8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

1. A partir de la herramienta realizada, es posible observar que la temática abordada tuvo un alto grado de aceptación y comprensión por parte de los usuarios, brindando como alternativa la ejecución proyectos similares a nivel industrial para estudiar sistemas y procesos antes de ejecutarlos; de esta forma se pueden enfocar en proyectos más eficientes, tal como se realiza en otros países, donde emplean herramientas computacionales para evaluar y estudiar el funcionamiento antes de ponerlos a operar.
2. Para el caso en el que la herramienta realiza la simulación por espacios acorde a condiciones climáticas dadas, es necesario tener en cuenta que debido al alcance del proyecto la estimación de temperaturas se realizó a partir de cálculos promedios elaborados por los autores de los datos adquiridos por la plataforma Andover, efectuando una comparación entre varias fechas y ajustando a temperaturas admisibles para la emisión de resultados con porcentajes mínimos de error. Dicha estimación es tomada en cuenta para poder presentar al usuario unos resultados que permitan la comprensión y faciliten el entendimiento del funcionamiento.
3. La herramienta presenta limitaciones de software, por tanto es recomendable realizar versiones futuras en un software más robusto (por ejemplo Matlab) que permita mayor velocidad.
4. La herramienta computacional diseñada para el análisis de los datos del mes, cuenta con limitaciones de velocidad para la obtención de resultados, debido a la cantidad de datos que se manejan en las operaciones, lo que se puede mejorar realizando una versión en otro tipo de software.

5. Para el manejo óptimo de la herramienta el usuario debe cumplir con los requerimientos de hardware descritos en la primera parte del manual.

Para la realización de proyectos futuros, se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

6. Trabajar en un software más robusto en cuanto a programación y ejecución de ambientes, como por ejemplo, MATLAB.

7. Para obtener datos más verídicos (menor rango de error) es necesario reducir el intervalo de datos que suministra la plataforma, es decir, que los datos suministrados no sean cada 3 minutos, si no cada 1 minuto.

8. Implementar una herramienta versátil y fácil de modificar en caso de que se realicen mejoras en el sistema de iluminación y climatización del edificio de la E3T.

9. Quitar las limitaciones que se presentaron en cuanto a gráficas, de tal forma que se pueda sacar etiquetas en las coordenadas de posición, dentro de la gráfica en el punto deseado, una mejor resolución y poder ponerle el nombre a los ejes dentro de la gráfica.

10. Trabajar rangos de simulación menores a una hora.

11. Reducir las limitaciones de uso en cuanto a limitaciones de software y de hardware.

12. Trabajar la herramienta con datos en tiempo real desde la plataforma andover o poder adquirir los datos directamente de la plataforma.

13. Trabajar datos hasta de un mes en una sola herramienta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] B. Sun, C. Dept. of Autom., Tsinghua Univ., Beijing, and P. B.; Q.-S. J.; Z. J.; F. W.; C. S. Luh, "Building Energy Management: Integrated Control of Active and Passive Heating, Cooling, Lighting, Shading, and Ventilation Systems," 2013.
- [2] D. Pacull, F.; Ducreux, L.-F.; Thior, S.; Moner, H.; Pusceddu, D.; Yaakoubi, O.; Guyon-Gardeux, C.; Fedor, S.; Leseq, S.; Boubekeur, M.; Pesch, "Self-organisation for Building Automation Systems: Middleware LINC as an Integration Tool." 2013.
- [3] F. C. A. Jorge Enrique Celis Montero, Andrés Fernando Restrepo Álvarez, "Herramienta computacional para el estudio de la ferresonancia en transformadores." 2013.
- [4] CISCO, "Building Automation System over IP (BAS/IP) Design and Implementation Guide." 2008.
- [5] Wong, A.C.W.; So, A.T.P., "Building automation in the 21st century," Advances in Power System Control, Operation and Management." 1997.
- [6] Byeong-Yeon Kim; Hyo-Sung Ahn., "Consensus-Based Coordination and Control for Building Automation Systems." 2014.
- [7] El Edificio & Manuel M Monroy, "Clima y comodidad," 2003. [Online]. Available: [http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/2\\_clima/](http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/2_clima/).
- [8] F.; Bernier, F. Schneider Electr. Ind., and S. Ploennigs, J.; Pesch, D.; Leseq, S.; Basten, T.; Boubekeur, M.; Denteneer, D.; Oltmanns, F.; Bonnard, F.; Lehmann, M.; Mai, T.L.; McGibney, A.; Rea, S.; Pacull, F.; Guyon-Gardeux, C.; Ducreux, "Architecture for Self-organizing, Co-operative and Robust Building Automation Systems." 2013.

- [9] Elkin Moreno Rueda. Nomar Alexis Cardenas Pa., "IMPLEMENTACION DE UN BAS (BUILDING AUTOMATION SYSTEM) BASICO PARA EL CONTROL INTEGRADO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO E ILUMINACION MEDIANTE DISPOSITIVOS CON COMUNICACION BACNET." 2012.
- [10] Germán Alfonso Osma Pinto; Gabriel Ordóñez Plata., "PILOTO DE EDIFICACIÓN VERDE COMO LABORATORIO VIVO EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER." 2013.
- [11] VERGARA, Pedro, et, al., "Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia," *Rev.UIS.Ingenierías*,2014,vol13,n.2,p.p 49-57.
- [12] William Martínez Ortiz; Nelson Reinaldo Santamaría Forero, "Diseño De Una Herramienta Computacional En Matlab Para El Análisis Energético De Sistemas Fotovoltaicos." 2014.
- [13] Jonathan Elias Mitchel Moreno; Ángel Leonardo, "Desarrollo De Una Herramienta Computacional Para El Análisis Individual De Sistemas Mecánicos Siguiendo El Enfoque De La Metodología De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad." 2014.
- [14] Rolando Soler Bientz; Fernando Gómez Castro; Lifter Omar Ricalde, "Preliminary Results Of A Computational Tool To Model Low Concentration Pv Modules." 2010.
- [15] JESUS ANTONIO VEGA URIBE; MANUEL JOSE ORTIZ; DIRIGIDO POR GABRIEL ORDONEZ PLATA., "Armónicos: Programa Para Análisis De Sistemas Eléctricos Monofásicos Y Trifásico." 1998.
- [16] Anyon Fabián Cadena Flórez, "Herramienta Computacional Para Apoyar Estudios De Necesidades De Sistemas De Información," 2014.
- [17] Mas\_automatización, "ODS10-IDW Leviton Sensor de Ocupacion Leviton Pared 800w.," 2014. [Online]. Available: <http://www.masautomatizacion.com/tienda/ahorro-de-energia/sensores-de-movimiento/ODS10-IDW>. [Accessed: 03-Feb-2014].

- [18] DrillSpot, "Watt Stopper Photosensor, Daylighting, White," 2014. [Online]. Available: [http://www.drillspot.com/products/466748/Watt\\_Stopper\\_LS-301\\_Photosensor](http://www.drillspot.com/products/466748/Watt_Stopper_LS-301_Photosensor). [Accessed: 03-Feb-2014].
- [19] Platt.com, "Wattstopper LS-102 Closed Loop Photosensor," 2014. .
- [20] Solatube, "sistema de iluminação natural," 2014. [Online]. Available: [http://www.solatube.pt/admin/content/catalogoportugues1\\_pdf1380628849.pdf](http://www.solatube.pt/admin/content/catalogoportugues1_pdf1380628849.pdf). [Accessed: 02-Mar-2014].
- [21] Ion\_tudose\_&\_belisazar, "Reformas de viviendas," 2012. .
- [22] Zelsio\_equipo\_industrial, "Split de cassette," 2014. [Online]. Available: <http://www.refrigeracionzelsio.es/268-split-de-cassette>. [Accessed: 03-Feb-2014].
- [23] Dielpo, "Extractor de baño SILENT-300 CZ," 2014. [Online]. Available: <http://www.dielpo.com/catalog/extractor-silent-p-8557.html>. [Accessed: 03-Feb-2014].

## BIBLIOGRAFIA

El Edificio & Manuel M Monroy, "Clima y comodidad," 2003. [Online]. Available: [http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/2\\_clima/](http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/2_clima/).

F. C. A. Jorge Enrique Celis Montero, Andrés Fernando Restrepo Álvarez, "Herramienta computacional para el estudio de la ferresonancia en transformadores." 2013

Germán Alfonso Osma Pinto; Gabriel Ordóñez Plata., "PILOTO DE EDIFICACIÓN VERDE COMO LABORATORIO VIVO EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER." 2013.

JESUS ANTONIO VEGA URIBE; MANUEL JOSE ORTIZ ; DIRIGIDO POR GABRIEL ORDONEZ PLATA., "Armónicos: Programa Para Análisis De Sistemas Eléctricos Monofásicos Y Trifásico." 1998.

VERGARA, Pedro, et, al., "Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia," *Rev.UIS.Ingenierías*,2014,vol13,n.2,p.p 49-57.

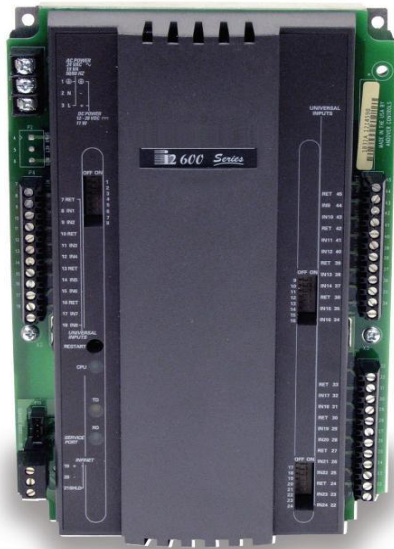
## ANEXOS

### *Anexo A. Datasheet Controladora Andover Continuum Infinet II i2800*

# Andover Continuum™ Infinet II

## i2800 Series Local

The i2800 Series are designed for control of small Air Handling Units, Unit/Roof Top, and other mechanical plant equipment.



## Andover Continuum Infinet II i2800 Series Local Controllers Features



### PRODUCT AT A GLANCE

- Powerful, Flexible Local Controller for the Most Demanding Applications
- Non-Volatile Flash Memory Provides Utmost Reliability – Stores Both Application Program and Operating System
- Local, Extended Storage of Log Data
- View and Modify Information with Optional Smart Sensor Display
- Local, On-Board Service Port.



Choose the i2800 Series controller with the configuration that matches your application:

- The i2800, designed for stand-alone equipment control of Roof Top or Air Handling Units, features eight universal inputs, one Smart Sensor/Room Sensor input, plus eight program-controlled digital outputs.
- The i2804, designed for stand-alone equipment control of Roof Top or Air Handling Units, features eight universal inputs, one Smart Sensor/Room Sensor input, plus four program-controlled digital outputs and four analog outputs for direct control of devices requiring 0-10 volt control signals.

Note: The i2804 is only compatible with Andover Continuum.

Both models feature an additional room sensor input, which supports Andover Continuum Smart Sensor, or any standard room temperature sensor.

The i2800 Series also features Flash memory, increased user memory, and a fast (32-bit) processor for faster scan times, with plenty of memory available for data logging of your critical data.

The i2800 communicates with the entire Andover Continuum Infinet RS-485 field bus (i.e. both Infinet and Infinet II controllers), and is compatible with both the Andover Continuum CyberStation and Infinity SX 8000 front-ends. The i2804 is only compatible with Andover Continuum. Up to 254 Andover Continuum Infinet devices can be networked to any Andover Continuum network controller.

## Andover Continuum Infinet II i2800 Series Local Controllers Features (continued)

### Increased Reliability with Flash Memory

The i2800's non-volatile Flash memory stores your operating system and application programs, so that in the event of a power loss, your application will be restored when power is returned. In addition, the Flash memory allows for easy upgrades of your operating system via software downloads, eliminating the need to swap out proms. The i2800 Series controllers include an on-board battery to safeguard your runtime data — protecting all point data and log data from being lost if power is removed.

### Inputs

The input configuration on the i2800 Series consists of eight full range, 10-bit Universal inputs that accept voltage (0-5VDC), digital (on/off), counter signals (up to 4Hz), temperature signals, or supervised alarm circuits for security applications or broken wire detection. The i2800 Series offers an additional input to support the Andover Continuum Smart Sensor, or any standard room temperature sensor.

### Outputs

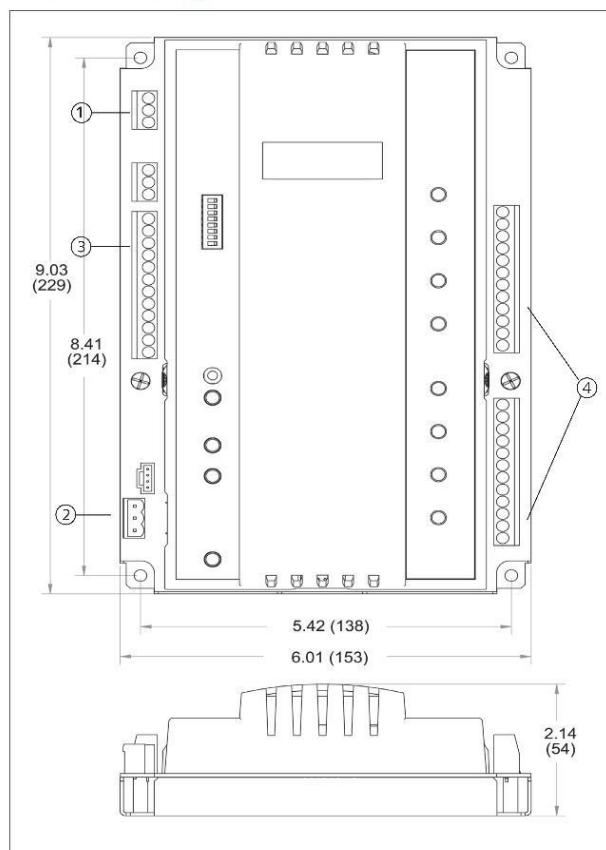
The i2800 contains eight Form C relay outputs, each rated for 24 VAC/VDC, 3 Amp, while the i2804 contains four Form C relay outputs and four analog outputs (0-10V).

### Software Capabilities

The dynamic memory of the i2800 can be allocated for any combination of programs, scheduling, alarming, and data logging using the powerful Andover Continuum Plain English programming language. Our object-oriented Plain English language with intuitive keywords provides an easy method to tailor the controller to meet your exact requirements. Programs are entered into the i2800 using the Andover Continuum CyberStation. Programs are then stored and executed by the i2800 controllers.

Programming multiple i2800 Series controllers is inherently easy with Plain English. A complete copy of one i2800 controller's programs can be loaded directly into other i2800 controllers without changing any point names or programs.

### Dimensional Drawings



## Andover Continuum Infinet II i2800 Series Local Controllers Features (continued)

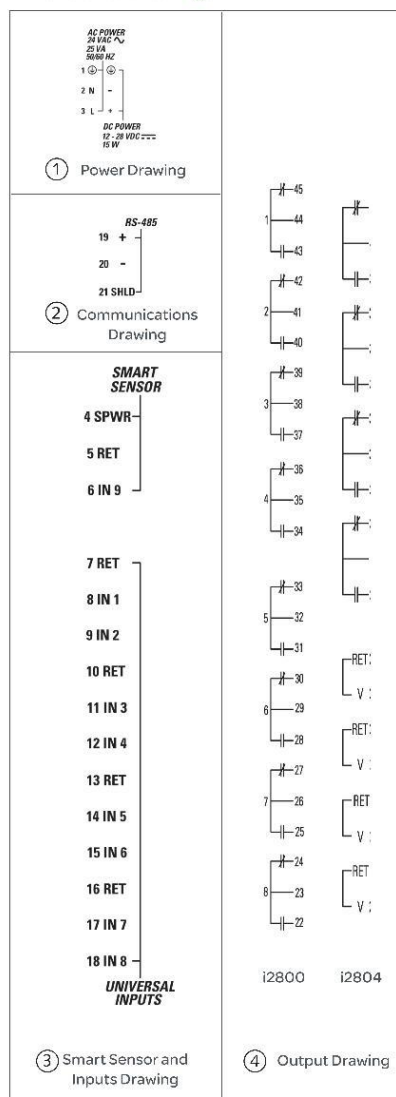
### Smart Sensor Interface

The i2800 provides a built-in connection for Andover Continuum's Smart Sensor. The Smart Sensor provides a 2-character LED display and a 6-button programmable keypad that enables operators and occupants to change setpoints, balance VAV boxes, monitor occupancy status, and turn equipment on and off. An enhanced version of the Smart Sensor is also available with a 4-digit custom LCD that provides the following icons: PM, %, °, Setpoint, Cool, Heat, CFM, Fan, OA, and SP.

### Optional Wireless Andover Continuum Infinet

The i2800 Series Infinet controllers can also communicate using a wireless mesh network. Simply plug Andover Continuum Wireless Adapters into the service ports of these controllers with wireless compatible firmware to create a wireless mesh network that sends and receives Andover Continuum Infinet messages.

### Dimensional Drawings



## Andover Continuum Infinet II i2800 Series Local Controllers Specifications

### i2800 Series Local Controllers

#### Electrical

##### Power

24VAC, 12-24VDC - auto sensing,  
+10% -15%, 50/60 Hz

##### Power Consumption

25 VA

##### Overload Protection

Fused with 3 amp fuse. MOV protected

##### Software Real-Time Clock

Synchronized through Infinet by  
network controller

#### Mechanical

##### Operating Environment

-10°-140°F (-23-60°C),  
10-95% RH (non-condensing)

##### Size

9.03" H x 6.01" W x 2.14" D  
(229 H x 153 W x 54 D) mm

##### Weight

1.34 lbs. (0.61 kg)

##### Enclosure Type

UL Open class, IP 10,  
Flammability rating of UL94-5V

##### Mounting

Panel mount

#### Battery

##### Battery Backup

Replaceable, non-rechargeable,  
lithium battery. Provides 5 years typical ac-  
cumulated power failure backup  
of RAM memory

#### Communications

##### Communications Interface

Through Infinet RS-485 field bus  
to network controller

##### Communications Speed

1200 to 19.2K baud

##### Bus Length

4,000 ft. (1,220m) standard for Infinet,  
I2 Inlink module allows extension to  
longer distances and is required after  
every group of 32 units on the network.

##### Bus Media

Infinet: twisted, shielded pair,  
low capacitance cable

##### RS-485 port for implementing Wireless

**Infinet II connection, including:**  
Standard service port, four-position  
shrouded connector

##### Comm. Error Checking

International Standard CRC 16

##### Compatibility

Andover Continuum CyberStation and Infin-  
ity SX 8000 systems

Note: The i2804 is compatible  
with Andover Continuum (only).

#### Inputs/Outputs

##### Inputs

8 Universal Inputs: Voltage (0-5.115 VDC);  
Temperature -30°F to 230°F  
(-34°C to 110°C), Digital (on/off), Counter  
(up to 4Hz at 50% duty cycle, 125 ms min.  
pulse width), Supervised Alarm (single or  
double resistor). Current input (0 - 20 mA)  
using external 250 ohm resistor.

1 Smart Sensor Temperature Input  
(32°F to 105°F) (0°C to 41°C)

##### Input Voltage Range

0-5.115 volts DC

##### Input Impedance

10K ohm to 5.120V or 5M ohm  
with pull-up resistor disabled

##### Input Resolution

5.0 mV

##### Input Accuracy

±15mV (±0.56°C from -23°C to  
+66°C or ±1°F from -10°F to +150°F)

#### Digital Outputs

8 single pole single throw (SPST)

Form C relays (4 Form C on i2804)

(Any two consecutive Form C outputs can  
be configured as one Form K  
Tri-state)

##### Output Rating

Maximum 3A, 24VAC/VDC.

±1500V transients (Tested  
according to EN61000-4-4)

##### Output Accuracy

0.1 sec. for pulse width modulation

## Andover Continuum Infinet II i2800 Series Local Controllers Specifications (continued)



### i2800 Series Local Controllers

#### Analog Outputs

4 analog outputs (i2804 only)

#### Output Rating

For 0-10V: 5mA maximum,  
2K ohm minimum impedance,  
±1000V transients (Tested according to  
EN61000-4-4)

#### Output Resolution

0.1V for 0-10V

#### Connections

##### Power

3-position fixed screw terminal connector

##### Inputs

12-position fixed screw terminal connector

##### Outputs

i2800: Two 12-position fixed screw  
terminal connectors

i2804: One 12-position fixed screw terminal  
connector and One 8-position fixed screw  
terminal connector

##### Smart Sensor

3-position fixed screw terminal connector

##### Communications

3-position removable screw  
terminal connector

##### Service Port

4-position shrouded connector

#### User LEDs/Switches

##### Status Indicator LEDs

CPU CPU Active  
TD Transmit Data  
RD Receive Data  
Output Output Status (per output)  
(Digital only)

##### Switches

RESET  
Input Pull-up Resistor Switch (per input)

#### General

##### Memory

128K SRAM, 1MB FLASH

##### Processor

Motorola 32-bit Coldfire

#### Agency Listings

UL/CUL 916, FCC CFR 47 Part 15,  
ICES-003, EN55022, AS/NZS 3548,  
Class A, CE

#### Options

UL864, Smoke Control System  
Equipment, UUKL (i2800-S, i2804-S)

#### Models

##### i2800

Infinet II i2800 Local Controller

##### i2800-S

Infinet II i2800 Local Controller with  
Smoke-Control option

##### i2800-WL

Wireless Infinet II i2800 Local Controller

##### i2804

Infinet II i2804 Local Controller

##### i2804-S

Infinet II i2804 Local Controller with  
Smoke-Control option

##### i2804-WL

Wireless Infinet II i2804 Local Controller

All brand names, trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Information contained within this document is subject to change without notice.

On October 1st, 2009, TAC became the Buildings Business of its parent company Schneider Electric. This document reflects the visual identity of Schneider Electric, however there remains references to TAC as a corporate brand in the body copy. As each document is updated, the body copy will be changed to reflect appropriate corporate brand changes.

**Schneider Electric** One High Street, North Andover, MA 01845 USA Telephone: +1 978 975 9600 Fax: +1 978 975 9674 [www.schneider-electric.com/buildings](http://www.schneider-electric.com/buildings)

SDS-i2800-A4.BU.N.EN.11.2007.0.00.CC

November 2007 edw

# Andover Continuum™ Infinet II

## i2920 System Controllers

The Andover Continuum Infinet II i2920 System Controller is designed to meet the needs of your most demanding control and monitoring applications with its versatile input/output mix and its ability to add additional points using xP Expansion Modules.



## Andover Continuum Infinet II i2920 System Controllers Features



### PRODUCT AT A GLANCE

- Compatible with Both Andover Continuum and Infinity Systems
- Powerful, Flexible System Controller for the Most Demanding Applications
- Expandable I/O Meets Additional Point Count Needs
- Non-Volatile Flash Memory Provides Utmost Reliability – Stores Both Application Program and Operating System
- Optional Local Display/Keypad Provides Easy Operator Interface
- Local, Extended Storage of Log Data
- View and Modify Information with Optional Smart Sensor Display
- Local, On-Board Service Port

Designed for control of large Air Handling Units, chillers, boilers, and other mechanical plant equipment, the i2920 features plenty of dynamic memory for application programs as well as for expanded local data logging of critical data.

The i2920 also features a fast 32-bit processor, universal inputs, override switches on all outputs, two-piece removable connectors, and an optional 4-line display with keypad. Similar to other Andover Continuum Infinet II controllers, the i2920 has an additional room sensor input, which supports Andover Continuum Smart Sensor, or any standard room temperature sensor.

The i2920 communicates with the entire Andover Continuum Infinet RS-485 field bus; i.e., both Andover Continuum Infinet and Andover Continuum Infinet II controllers, and is compatible with both the Andover Continuum CyberStation™ and Infinity™ SX 8000 front-ends. Up to 254 Andover Andover Continuum Infinet devices can be networked to any Andover Continuum network controller.

### Increased Reliability with Flash Memory

The i2920's non-volatile Flash memory stores your operating system and application programs, so that in the event of a power loss, your application will be restored when power is returned. In addition, the Flash memory allows for easy upgrades of your operating system via software downloads, eliminating the need to swap out proms. The i2920 controllers include an on-board battery to safeguard your runtime data — protecting all point data and log data from being lost if power is removed.

### Inputs

The input configuration on the i2920 series consists of sixteen full range, 12-bit Universal inputs that accept voltage (0-10VDC), digital (on/off), counter signals (up to 4Hz), temperature signals, or supervised alarm circuits for security applications. The i2920 offers an additional input to support the Andover Continuum Smart Sensor, or any standard room temperature sensor.

# Andover Continuum Infinet II i2920 System Controllers

## Features (continued)

### Outputs

The i2920 contains 16 outputs - eight Form C relay outputs, each rated for 24 VAC/VDC, 3 amp, and eight analog outputs (0-10V, 4-20mA). Both the relay and analog outputs have manual override switches, with software feedback of the switch position.

### I/O Expansion

The i2920 contains an I/O expansion port for the addition of up to two xP Expansion Modules directly on the bottom of the controller. The xP family of modules includes the DI-8, DO-2, DO-4, UI-4, AO-2, and AO-4. In addition, the I/O bus supports the xP Local Display Module, which allows the user to view and change point values. The Local Display Module is also available factory-mounted directly onto the i2920.

### Software Capabilities

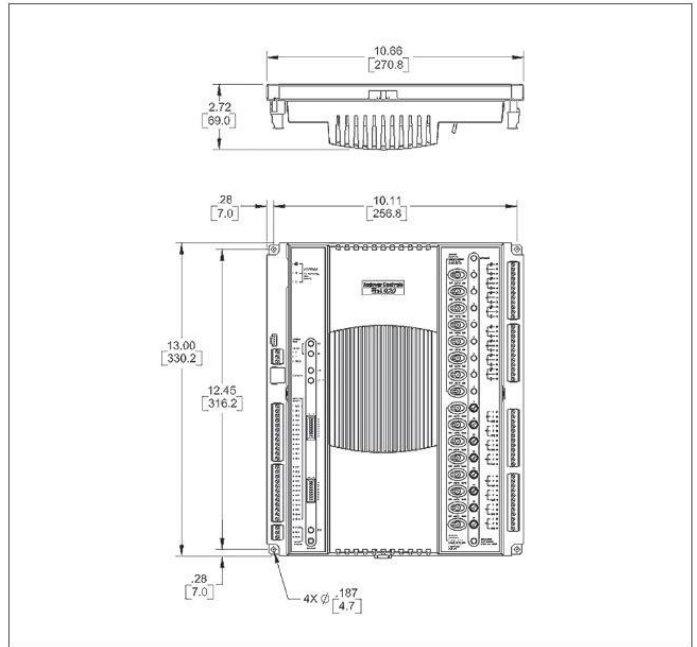
The dynamic memory of the i2920 can be allocated for any combination of programs, scheduling, alarming, and data logging using the powerful Andover Plain English™ programming language. Our object-oriented Plain English language with intuitive keywords provides an easy method to tailor the controller to meet your exact requirements. Programs are entered into the i2920 using the Andover Continuum CyberStation™. Programs are then stored and executed by the i2920 controllers.

Programming multiple i2920 controllers is inherently easy with Plain English. A complete copy of one i2920's programs can be loaded directly into other i2920s without changing any point names or programs.

### Smart Sensor Interface

The i2920 provides a built-in connection for Andover

### Dimensional Drawings

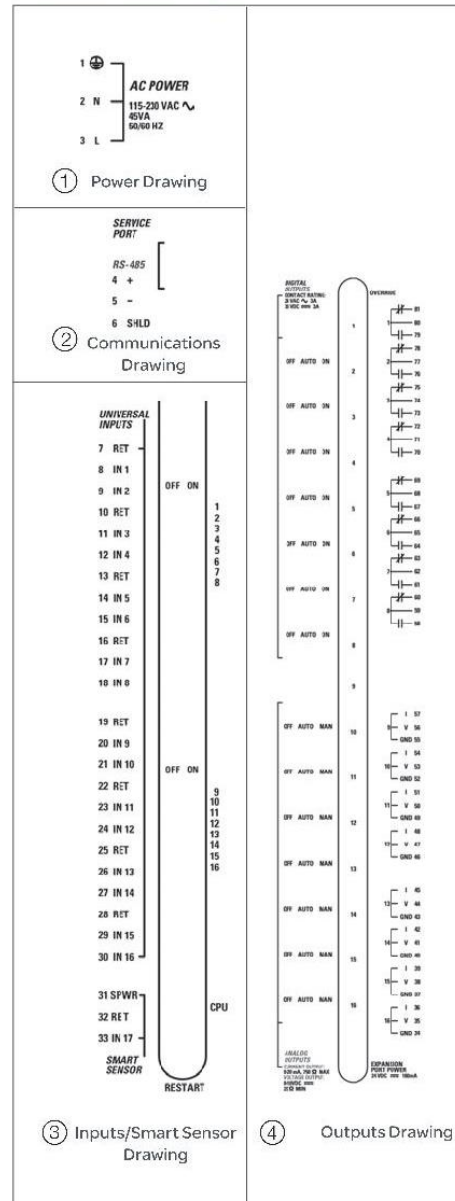


# Andover Continuum Infinet II i2920 System Controllers Features (continued)

## Smart Sensor Interface

The i2920 provides a built-in connection for Andover Continuum Smart Sensor. The Smart Sensor provides a 2-character LED display and a 6-button programmable keypad that enables operators and occupants to change setpoints, balance VAV boxes, monitor occupancy status, and turn equipment on and off. An enhanced version of the Smart Sensor is also available with a 4-digit custom LCD that provides the following icons: PM, %, °, Setpoint, Cool, Heat, CFM, Fan, OA, and SP.a

## Dimensional Drawings



## Andover Continuum Infinet II i2920 System Controllers Specifications

### i2920 System Controller

#### Electrical

##### Power

115/230 VAC, +10% -15%, 50/60 Hz

##### Power Consumption

45 VA

##### Overload Protection

Fused with 3 amp fuse. MOV protected

##### Real-Time Clock

Battery-backed real-time clock

#### Mechanical

##### Operating Environment

32°–120°F (0–49°C),

10–95% RH (non-condensing)

##### Size

13.00" H x 10.66" W x 2.72" D  
(330.2H x 270.8 W x 69.0 D) mm

##### Weight

3.5 lbs. (1.58 kg)

##### Enclosure Type

UI Open class, IP 10.

Flammability rating of UL94-5V

##### Mounting

Panel mount

#### Battery backup

Replaceable, non-rechargeable, lithium battery. Provides 5 years typical accumulated power failure backup of RAM memory

#### Communications

##### Communications Interface

Through Andover Continuum Infinet RS-485 field bus to network controller

##### Communications Speed

1200 to 19.2K baud

##### Bus Length

4,000 ft. (1,220m) standard for Andover Continuum Infinet, I2 Infilink module allows extension to longer distances and is required after every group of 32 units on the network

##### Bus Media

Andover Continuum Infinet: twisted, shielded pair, low capacitance cable

##### Comm. Error Checking

International Standard CRC 16

##### Compatibility

Andover Continuum Cyberstation and Infinity SX 8000 systems

#### Inputs/Outputs

##### Inputs

16 Universal inputs: Voltage (0-10 VDC); Temperature -30°F to 230°F (-34°C to 110°C), Digital (on/off), Counter (up to 4Hz at 50% duty cycle, 125 ms min. pulse width), Supervised Alarm (single or double resistor), Current input (0 - 20 mA) using external 500 ohm resistor  
1 Smart Sensor Temperature Input (32°F to 105°F) (0°C to 41°C)

##### Input Voltage Range

0-10 volts DC

##### Input Impedance

30,1K ohm to 10V or 5M ohm with pull-up resistor disabled

##### Input Protection

24 VAC or 24 VDC temporarily on any single channel, ±1000V transients (Tested according to FN61000-4-4)

##### Input Resolution

2.5 mV

##### Input Accuracy

±7.5mV (±0.25°C from -23°C to +54°C) or (±0.46°F from -10°F to +130°F)

## Andover Continuum Infinet II i2920 System Controllers Specifications (continued)



### i2920 System Controller

#### Digital Outputs

8 single pole single throw (SPST) Form C relays (Any two consecutive Form C outputs can be configured as one Form K Tri-state)

#### Output Rating

Maximum 3A, 24VAC/VDC,  
±1500V transients  
(Tested according to EN61000-4-4)

#### Output Accuracy

0.1 sec. for pulse width modulation

#### Analog Outputs

8 analog outputs

#### Output Rating

0-10V or 0-20mA  
For 0-10V: 5mA maximum source,  
1mA maximum sink  
2K ohm minimum impedance (sourcing only),  
For 0 – 20mA: 750 ohm maximum  
±/-1000V transients (Tested according to  
EN61000-4-4). Fuse-protected.

#### Output Resolution

0.1V for 0-10V, 0.1mA for 0-20mA

#### Output Overrides

Each output is equipped with a manual override switch. Software feedback of the switch position is provided, for display and alarming

#### Expansion Bus

Interfaces to optional xP I/O  
Expansion Modules

#### Connections

##### Power

3-position fixed screw terminal connector

##### Inputs

Removable two-piece terminal strip

##### Outputs

Removable two-piece terminal strip

##### Smart Sensor

Removable two-piece terminal strip

##### Communications

Removable two-piece terminal strip

##### Expansion Port

6-position shrouded connector

##### Service Port

4-position shrouded connector

#### User LEDs/Switches

##### Status Indicator LEDs

CPU CPU Active  
TD Transmit Data  
RD Receive Data  
Output Output Status (per output)

##### EXPANSION

PORT PWR Power Status

OVERRIDE Override Status

##### Switches

RESET

Input Pull-up Resistor Switch (per input)

Individual Output Override Switches

#### General

##### Memory

1MB SRAM, 2MB FLASH

##### Processor

Motorola 32-bit Coldfire

#### Agency Listings

UL/CUL 916, FCC CFR 47 Part 15,  
ICES-003, EN55022, AS/NZS 3548,  
Class A, CE

#### Options

UL864, Smoke Control System  
Equipment, UUKL (i2920-S) i2920-D,  
i2920 with factory mounted display

All brand names, trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Information contained within this document is subject to change without notice.

Schneider Electric One High Street, North Andover, MA 01845 USA Telephone: +1 978 975 9600 Fax: +1 978 975 9674 www.schneider-electric.com/buildings

SDS-i2920-US.BJ.N.FN.11.2011.0.00.CC

November 2011

## Anexo C. Elementos presentes en los sistemas automatizados



Figura C. 1 Sensores de ocupación Leviton OSC5-M0W y OSC10-M0W  
(Fuente: Registro fotográfico [17])



Figura C. 2 Fococelda LS-301 Dimming Photosensor  
(Fuente: Registro fotográfico [18])



Figura C. 3 Fococelda LS-102 Daylight Controller  
(Fuente: Registro fotográfico [19])



Figura C. 4 No hay fuente



Figura C. 5 Tubos solares Solatube 250 DS light tunnel (Fuente: Registro fotográfico [20])



Figura C. 6 Aire acondicionado tipo Split (Fuente: Registro fotográfico [21])



Figura C. 7 Aire acondicionado empotrado en techo (Fuente: Registro fotográfico [22])



Figura C. 8 *Extractor de aire SILENT 300 (Fuente: Registro fotográfico [23])*

## Anexo D. Diagramas de flujo

Diagramas de flujo del código usado en los sistemas automatizados de iluminación y climatización para los diferentes espacios del edificio de ingeniería Eléctrica. Códigos suministrados por MSc. German Alfonso Osma Pinto

- Diagramas de flujo sistema automatizado de iluminación salón 401 zona 1 y 2

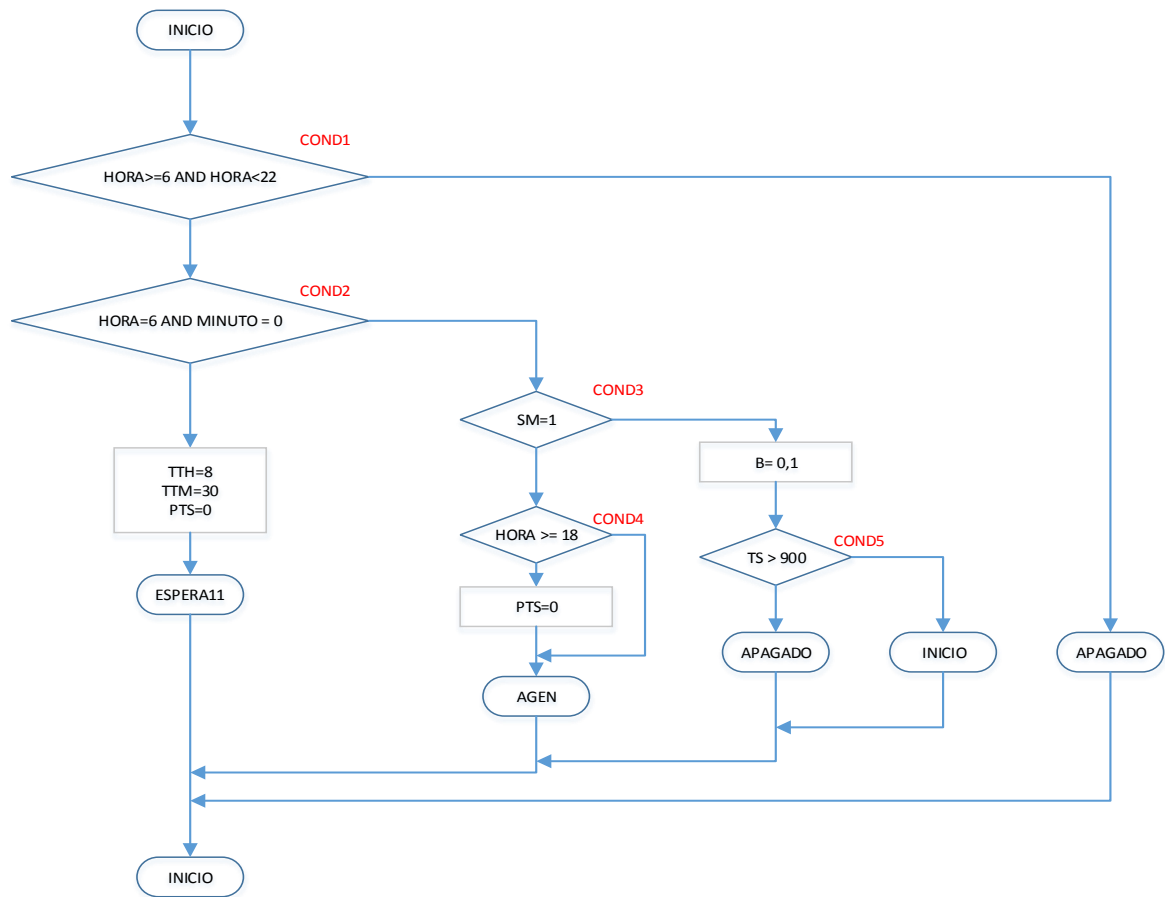


Figura D. 1 Etiqueta INICIO

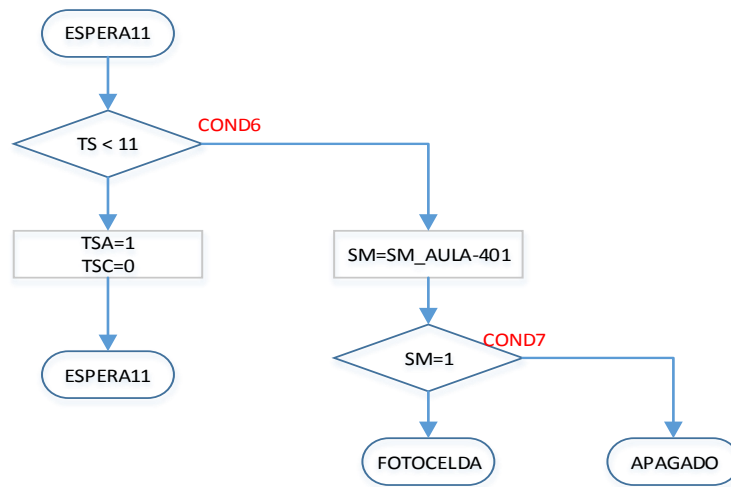


Figura D. 2 Etiqueta ESPERA 11

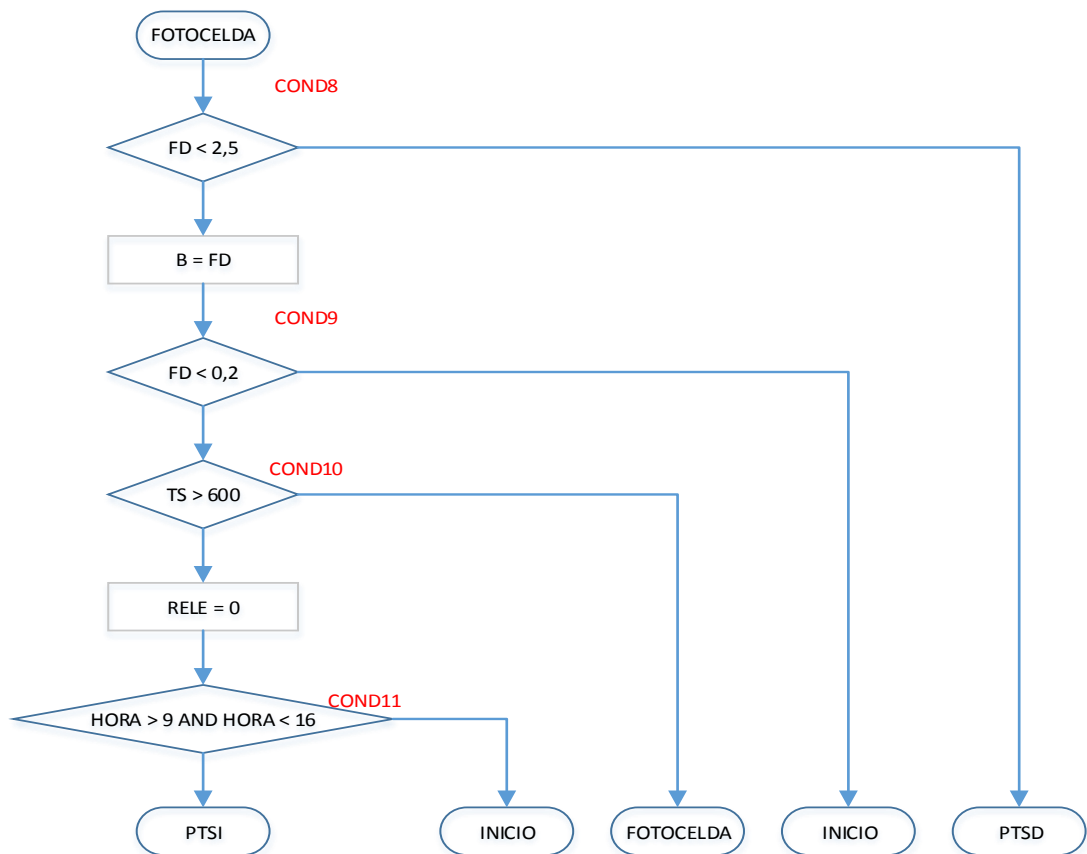


Figura D. 3 Etiqueta FOTOCELDA

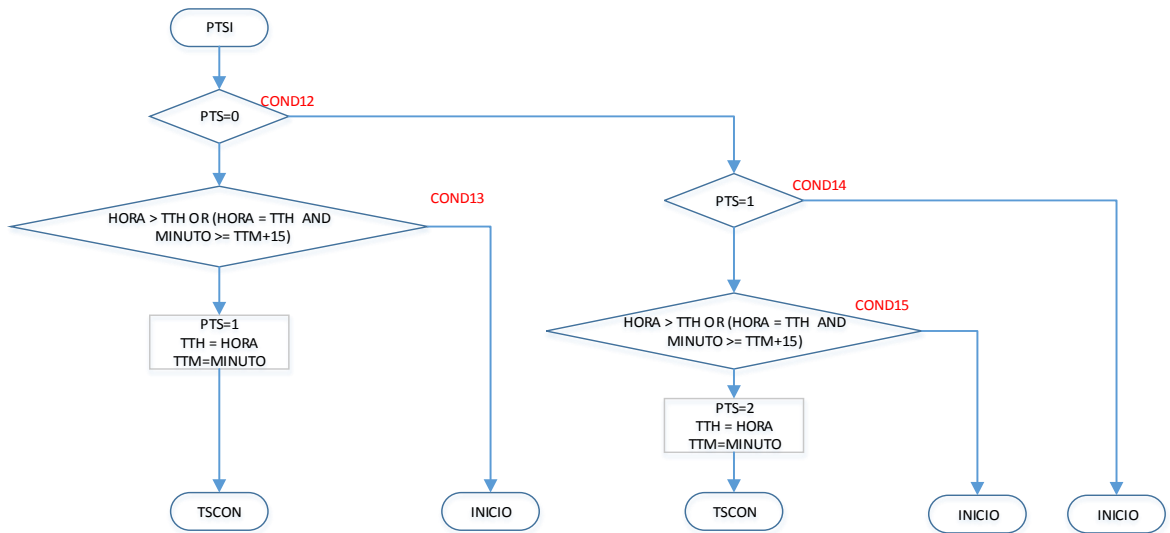


Figura D. 4. Etiqueta PTSI

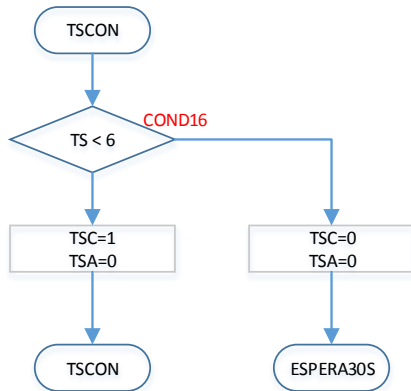


Figura D. 5 Etiqueta TSCON

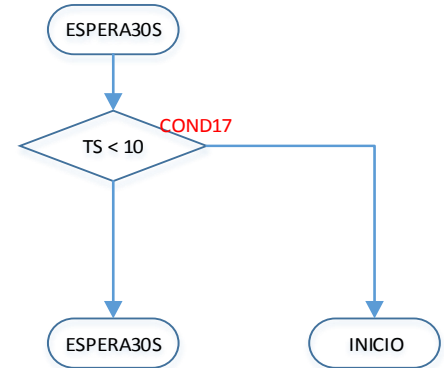


Figura D. 6 Etiqueta ESPERA30S

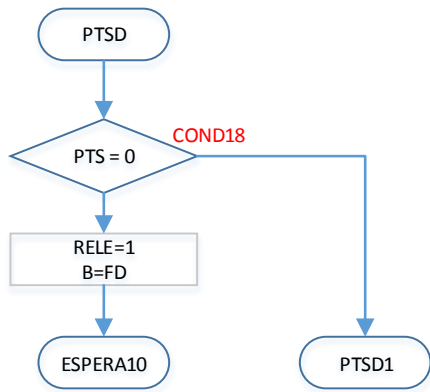


Figura D.7. Etiqueta PTSD

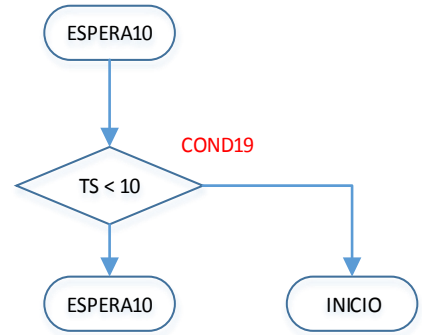


Figura D.8. Etiqueta ESPERA 10

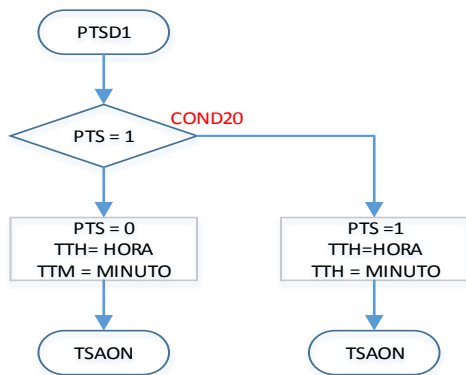


Figura D.9. Etiqueta PTSD1

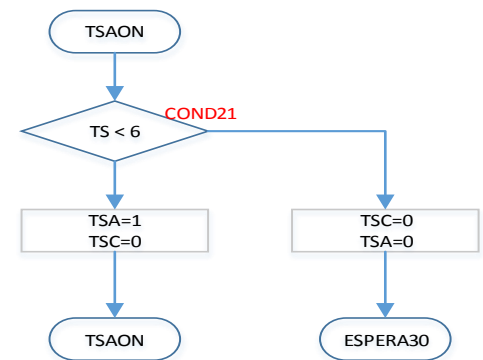


Figura D.10. Etiqueta TSAON

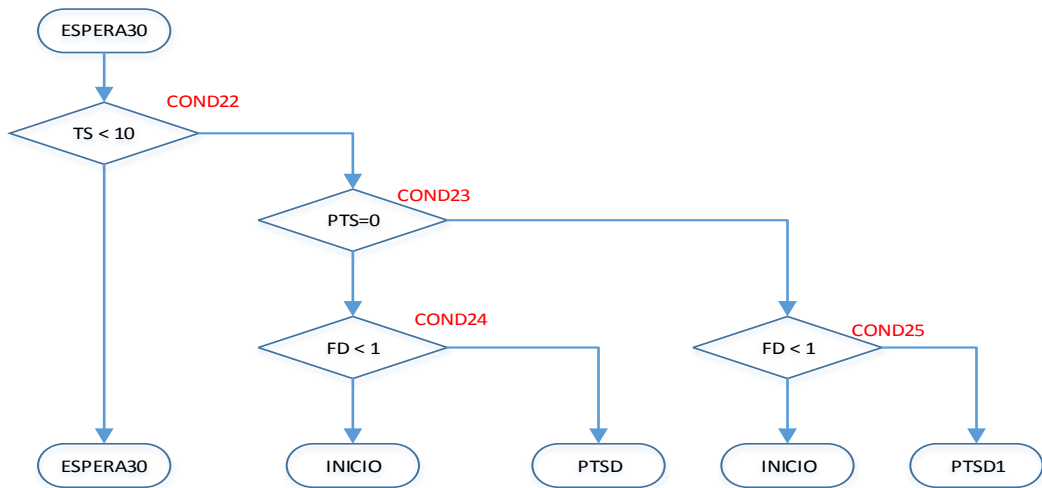


Figura D.11. Etiqueta ESPERA30

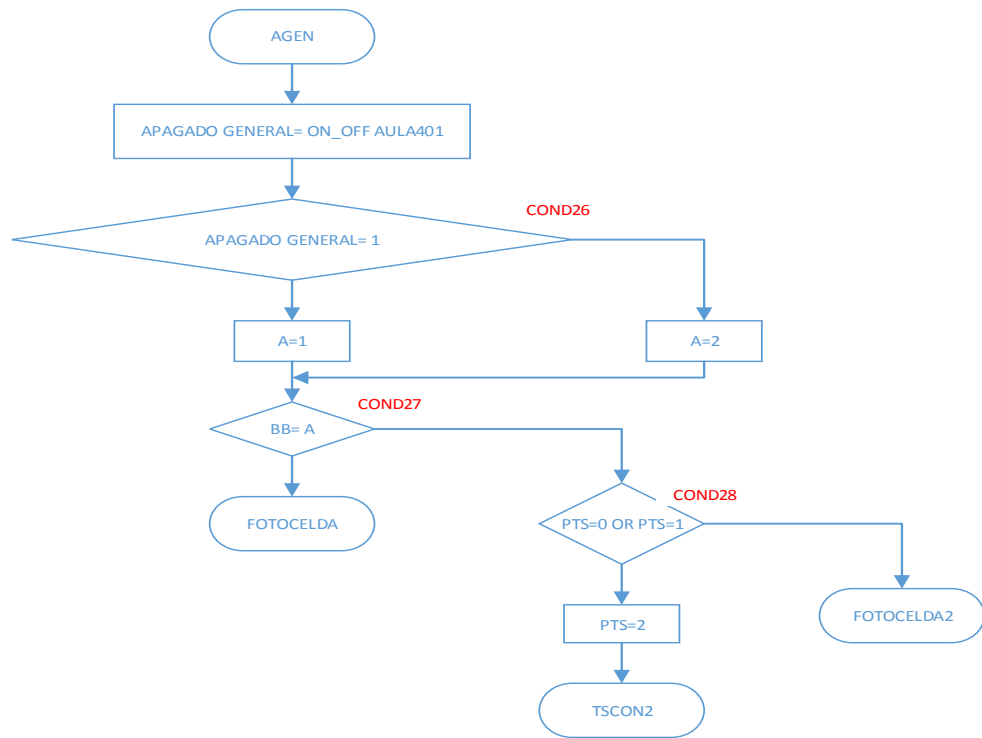


Figura D.12. Etiqueta AGEN

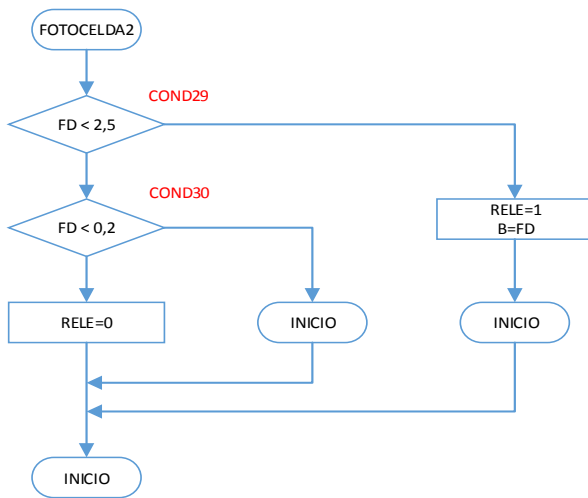


Figura D.13. Etiqueta FOTOCELDA 2

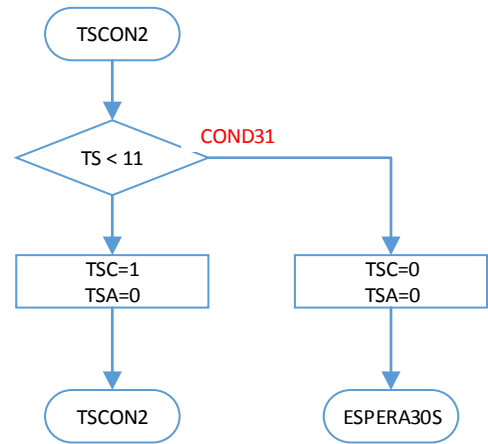


Figura D.14. Etiqueta TSCON2

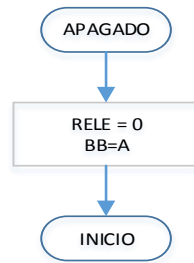


Figura D.15. Etiqueta APAGADO

- Diagramas de flujo sistema automatizado de iluminación salón 402 zona 1 y 2, SAPRE, SECPOS, PYS, SESTAR, CALID y SDIR.

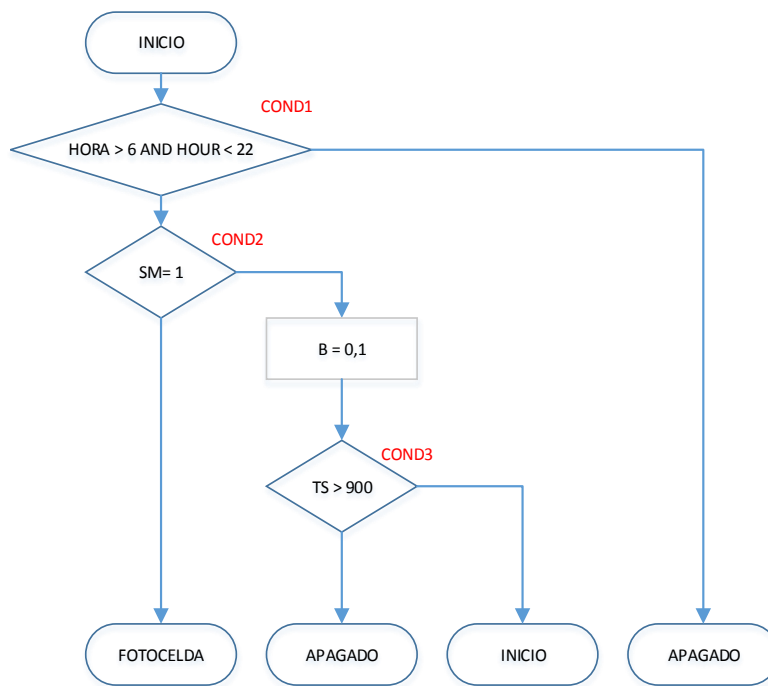


Figura D.16. Etiqueta INICIO

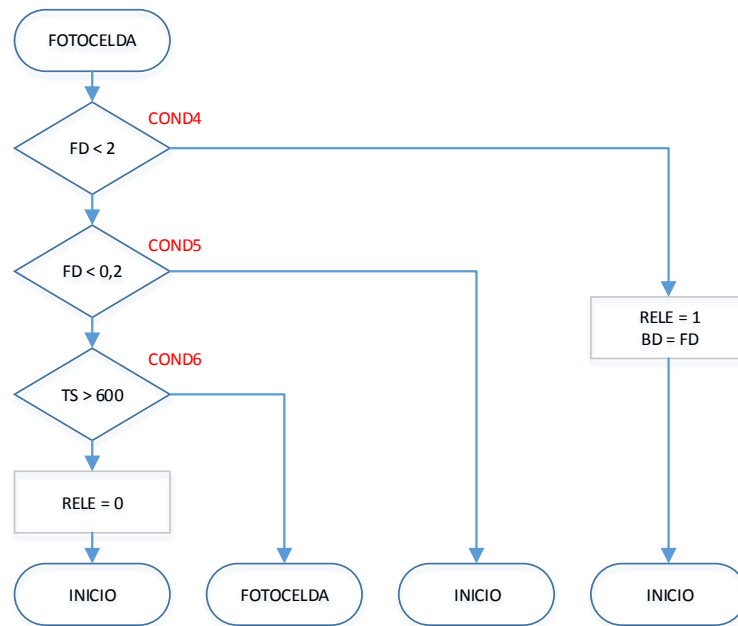


Figura D.17. Etiqueta FOTOCELDA

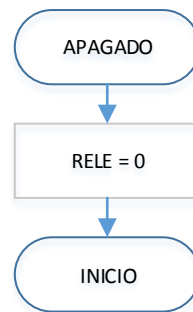


Figura D.18. Etiqueta APAGADO

- Diagramas de flujo sistema automatizado de iluminación en CPOS, CPRE, SREUN, CESP, DE3T, CCTV Y SECADM

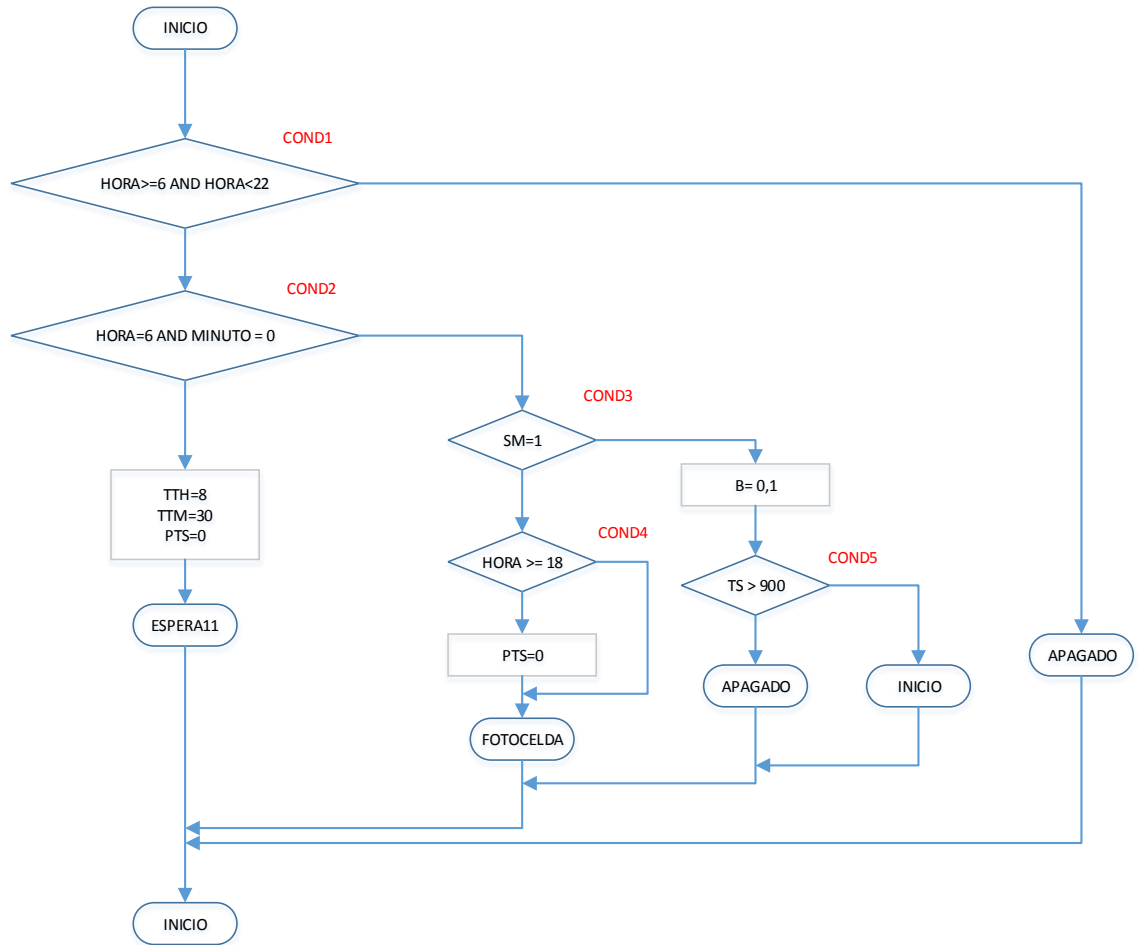


Figura D.19. Etiqueta INICIO

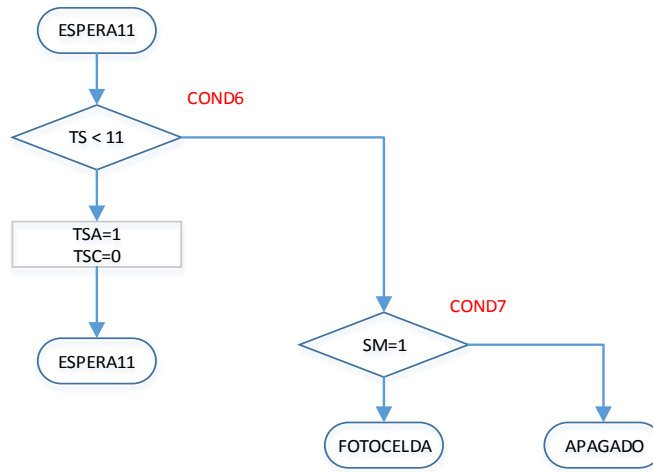


Figura D.20. Etiqueta ESPERA11

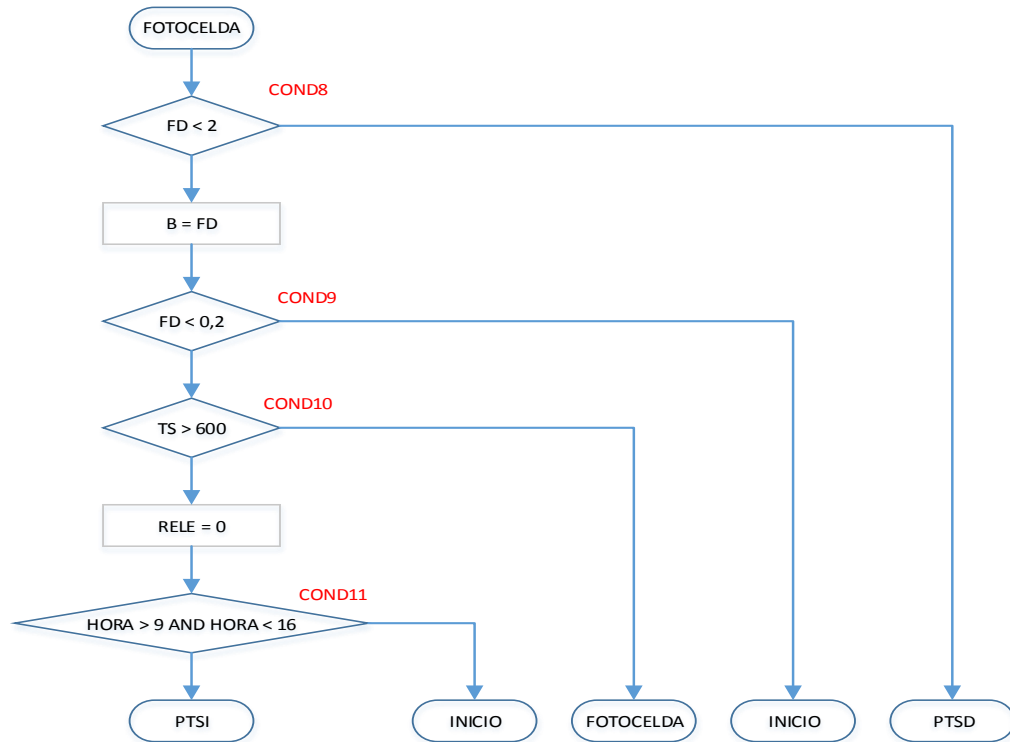


Figura D.21. Etiqueta FOTOCELDA

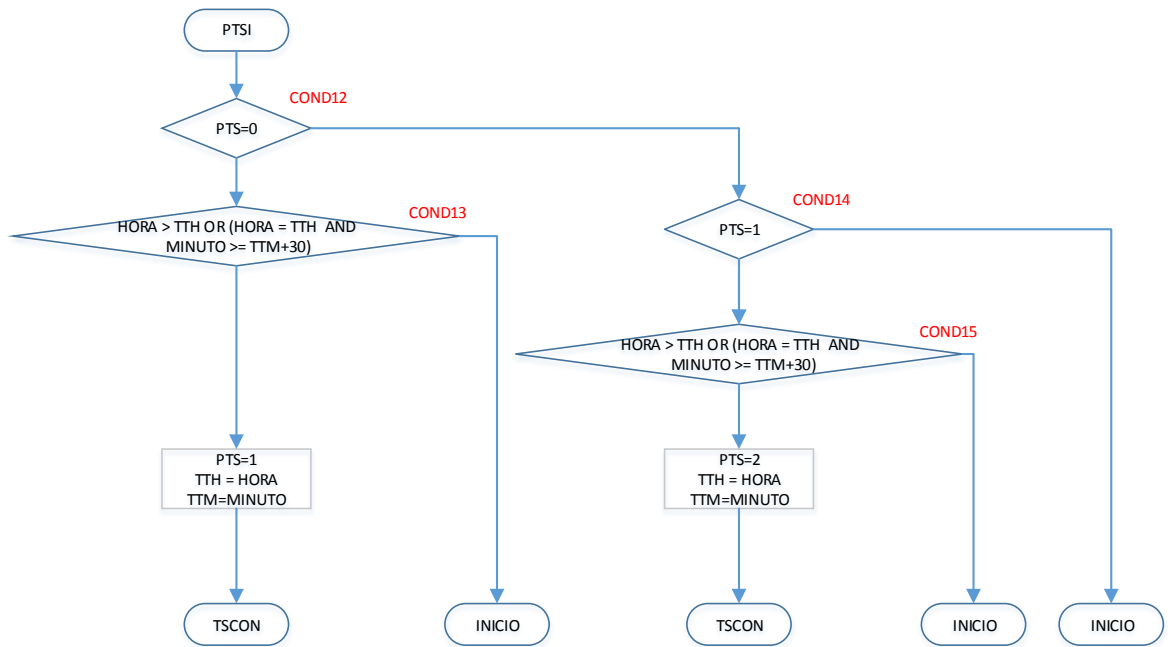


Figura D.22. Etiqueta PTSI

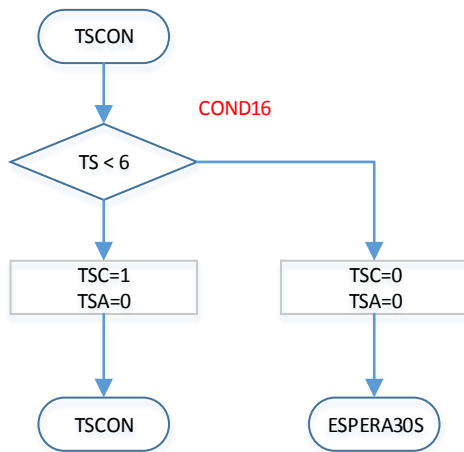


Figura D.23. Etiqueta TSCON

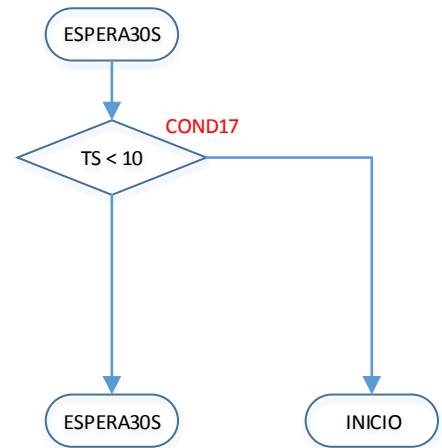


Figura D.24. Etiqueta ESPERA30S

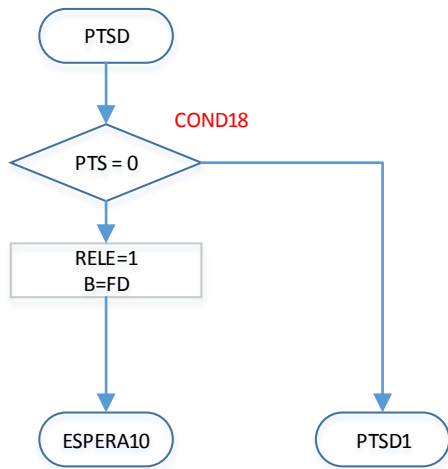


Figura D.25. ETIQUETA PTSD

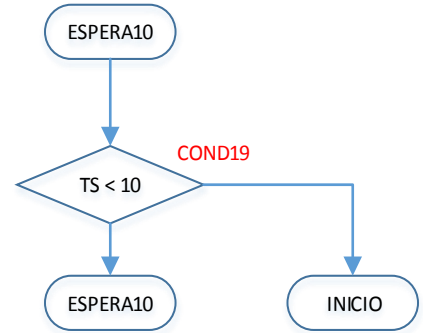


Figura D.26. Etiqueta ESPERA10

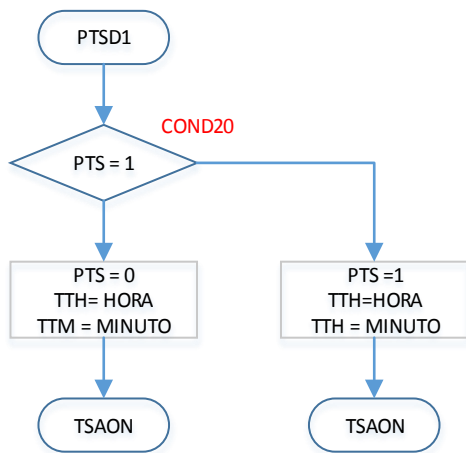


Figura D.27. Etiqueta PTSD1

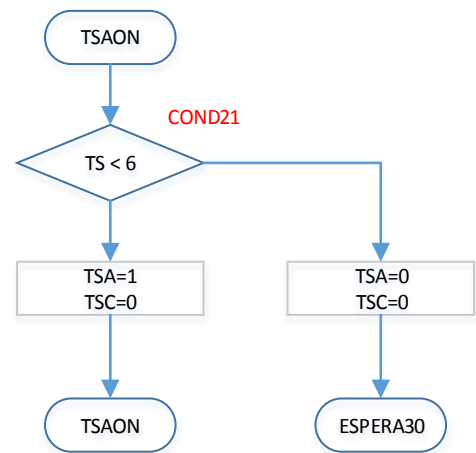


Figura D.28. Etiqueta TSAON

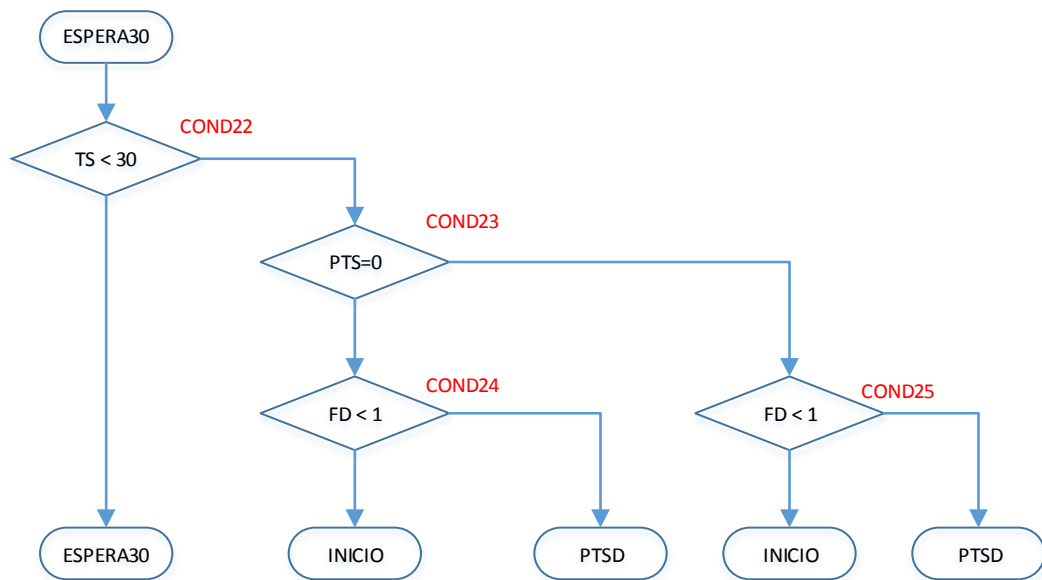


Figura D.29. Etiqueta ESPERA30

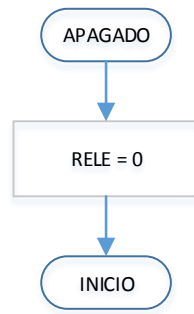


Figura D.30. Etiqueta APAGADO.

- Diagramas de flujo sistema automatizado de climatización salones 401, 404, 405 y 406

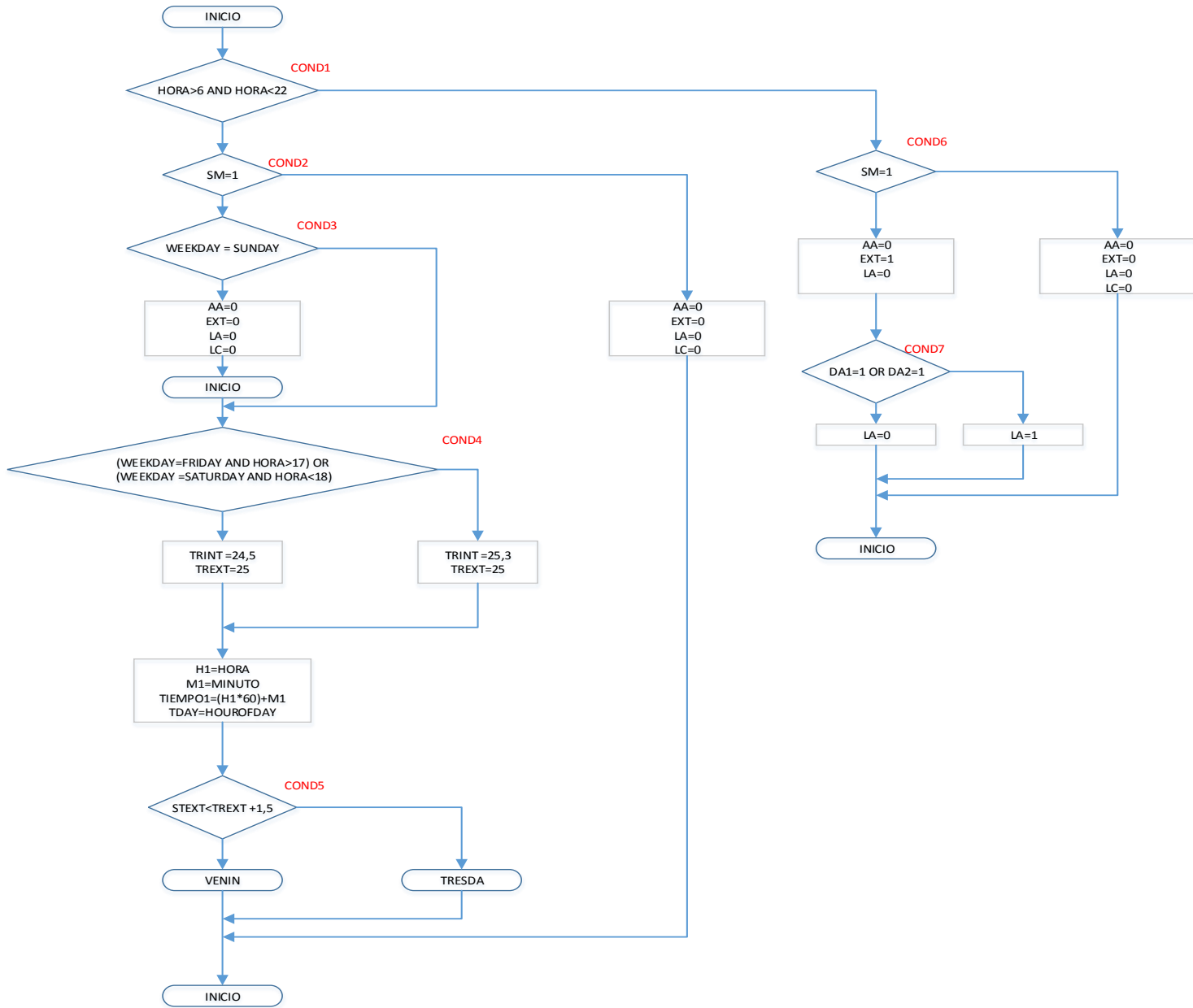


Figura D.31. Etiqueta INICIO

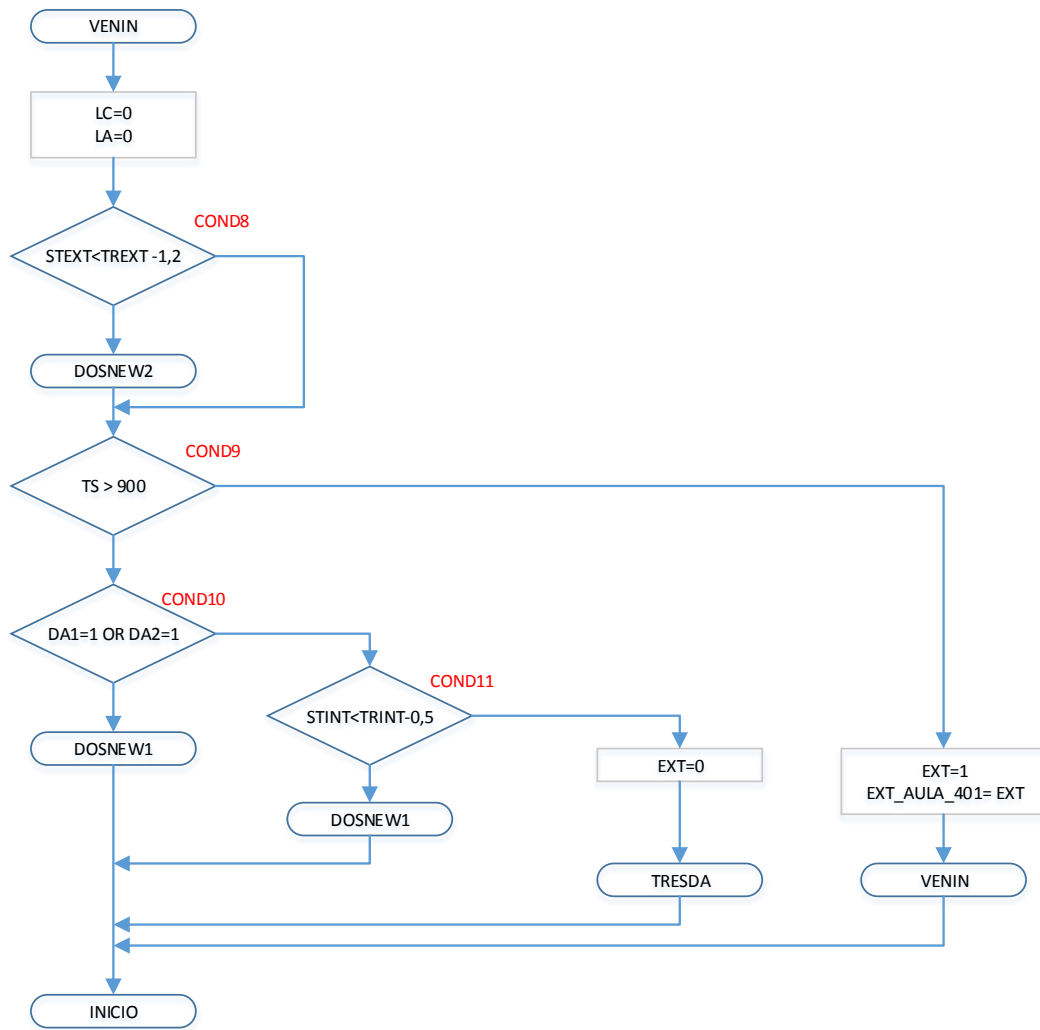


Figura D.32. Etiqueta VENIN

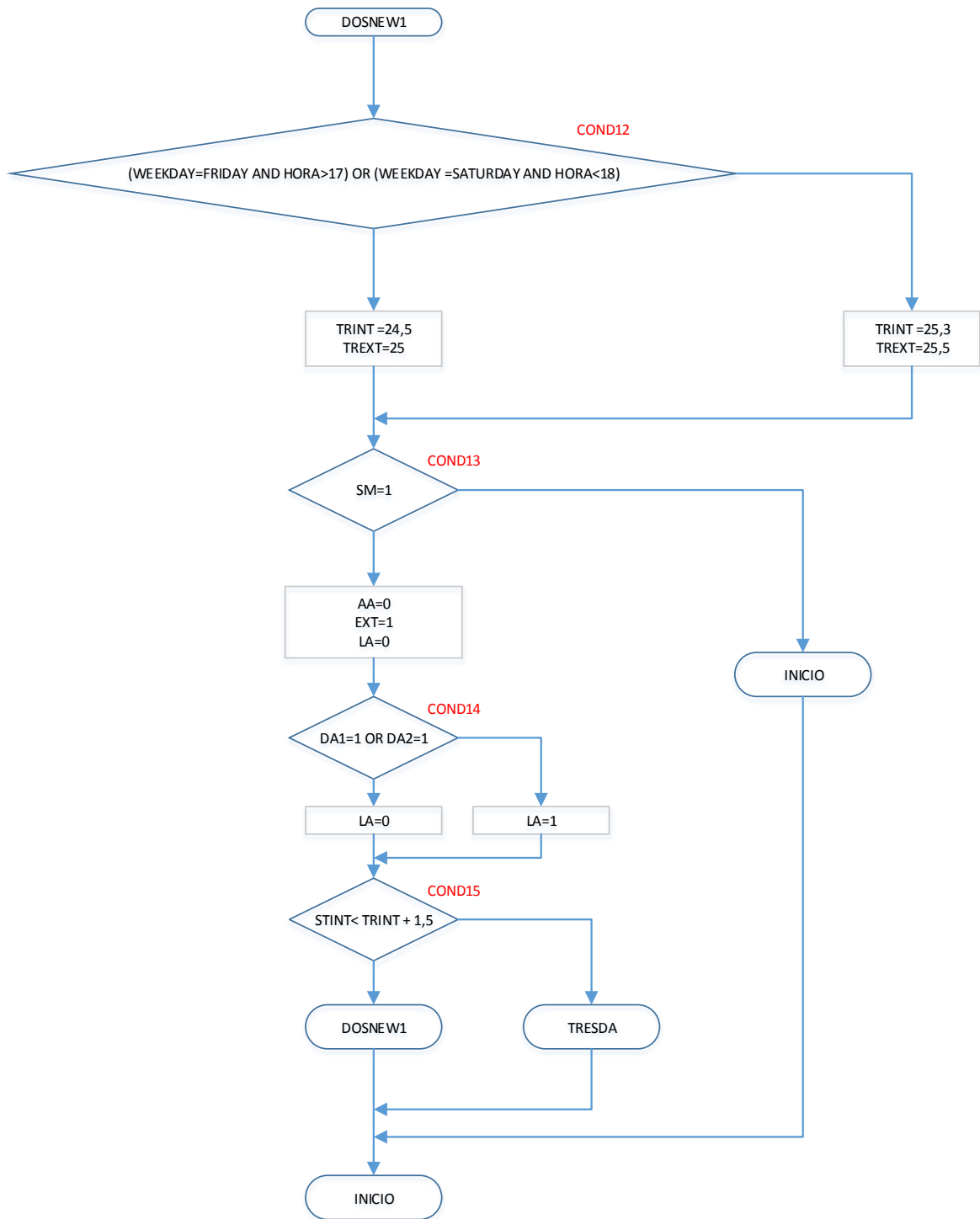


Figura D.33. Etiqueta DOSNEW1

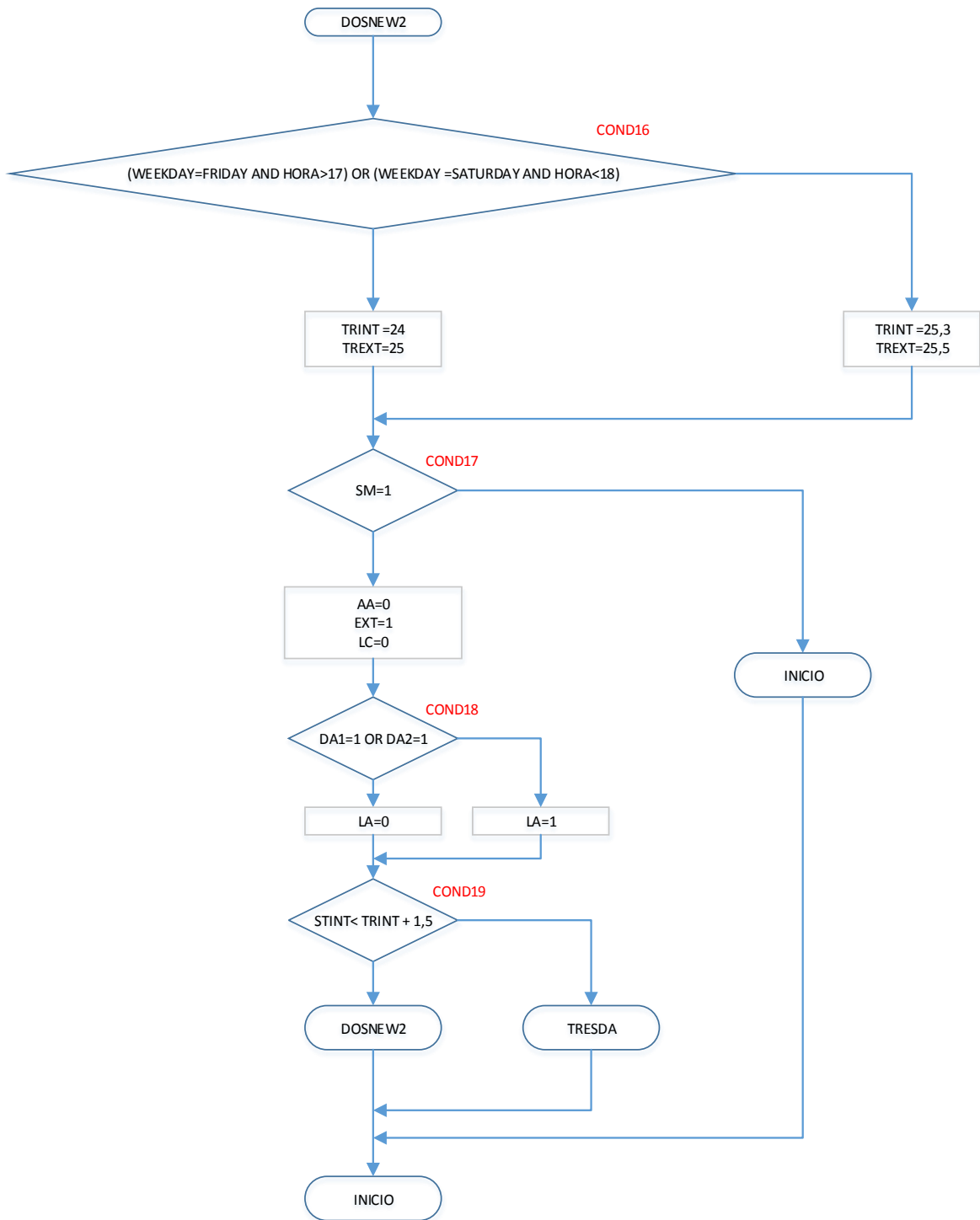


Figura D.34. Etiqueta DOSNEW2

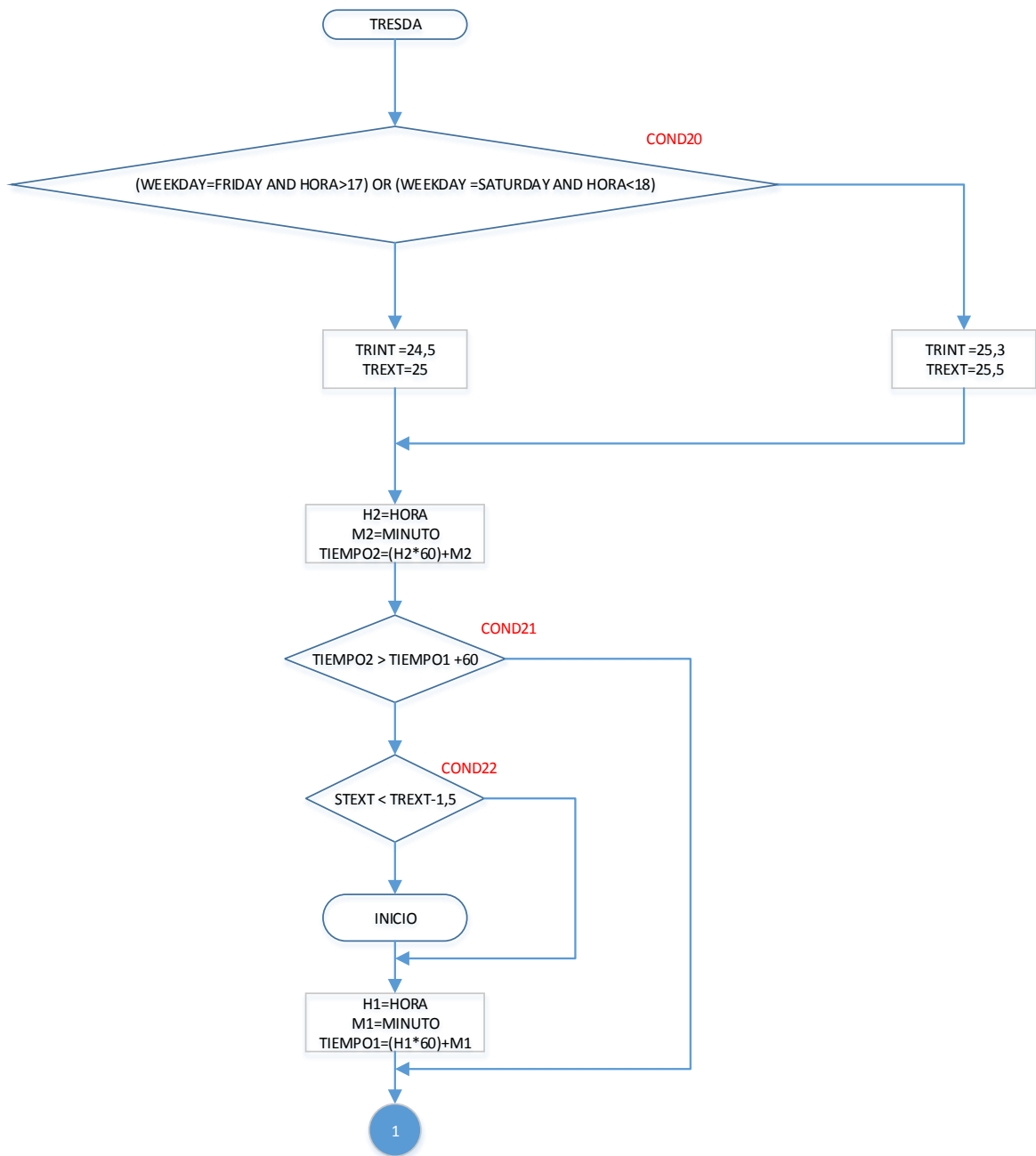


Figura D.35. Etiqueta TRESDA PARTE 1

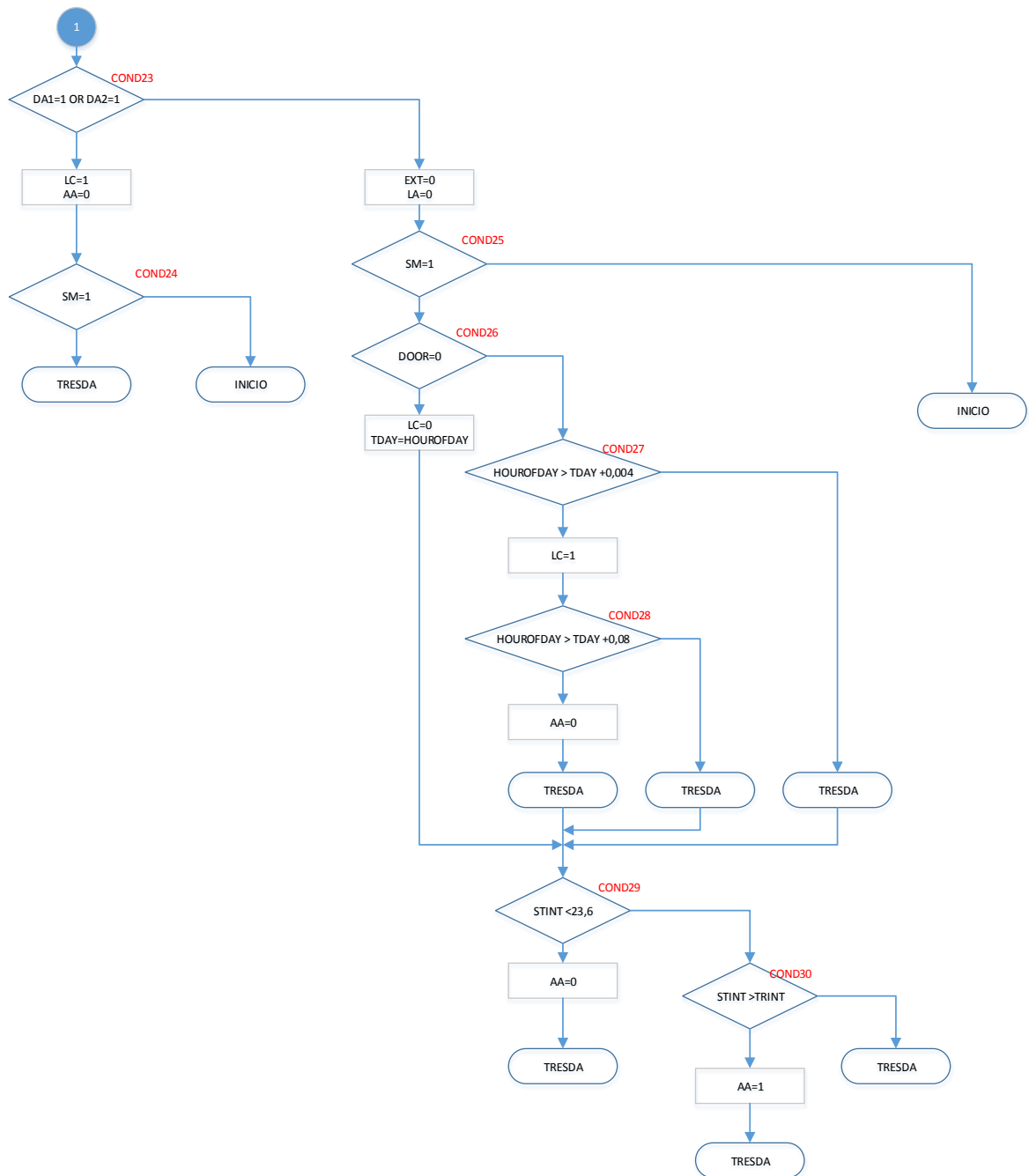


Figura D.36. Etiqueta TRESDA PARTE 2

- Diagramas de flujo sistema automatizado de climatización CCTV, DE3T Y SREUN

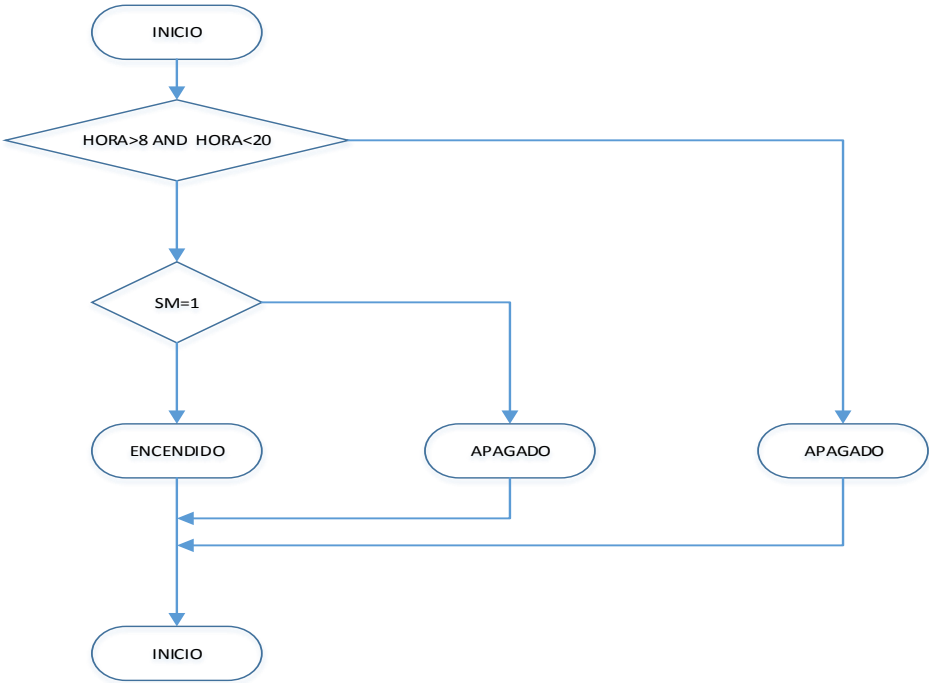


Figura D.37. Etiqueta INICIO

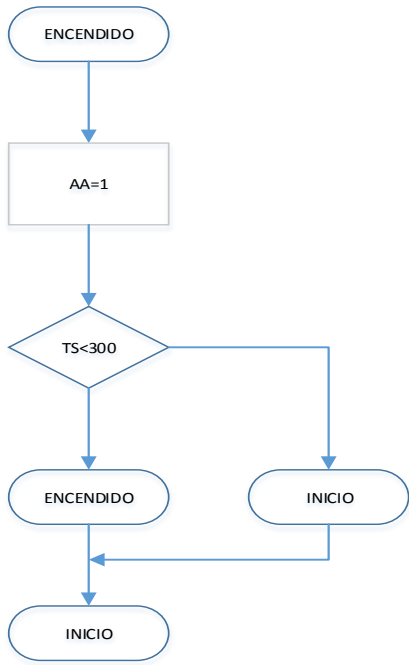


Figura D.38. Etiqueta ENCENDIDO

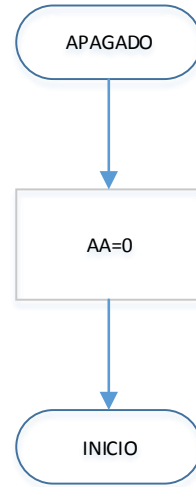


Figura D.39. Etiqueta APAGADO

## **Anexo E. Tablas de verdad**

Para crear las máquinas de estados que representan el funcionamiento de las variables de salida de los subsistemas de iluminación y climatización, primero se realizaron las tablas de verdad donde las variables de entrada son los valores verdadero o falso de las condiciones programadas en la controladora estos se pueden observar en el Anexo D que muestra los diagramas de flujo programados y también tomando como entrada adicional el estado anterior de la variable de salida.

Tabla E. 1 Tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado espacios 4 piso

Combinaciones	CONDICIONES DE ENTRADA																				SAL													
	Ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	AA		
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	1	0
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	1	0	
4	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0	
5	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
6	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
7	X	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
8	X	X	X	X	X	0	1	X	0	X	0	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
9	X	X	1	X	X	1	1	X	0	X	0	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
10	X	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
12	X	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
13	X	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
14	X	X	X	X	X	0	1	X	0	0	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
15	X	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
16	X	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	0		
17	0	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
18	0	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
19	0	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
20	0	X	X	X	0	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
21	0	X	X	0	1	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
22	X	X	X	1	1	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
23	X	X	1	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		

Tabla E.1. Tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado espacios 4 piso (Continuación)

Combinaciones	CONDICIONES DE ENTRADA																				SAL												
	Ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	AA	
24	0	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0	
25	0	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0	
26	0	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
27	0	X	X	X	0	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
28	0	X	X	0	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
29	0	X	X	1	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
30	0	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
31	0	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	0		
32	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	X	X	1	X	0	1	1	0
33	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
35	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
36	X	X	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
37	X	X	X	X	X	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
38	X	X	1	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
39	X	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
41	X	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
42	X	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
43	X	X	X	X	X	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
44	X	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
45	X	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		
46	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0		

Tabla E.1. Tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado espacios 4 piso (Continuación)

Combinaciones	CONDICIONES DE ENTRADA																				SAL											
	Ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	AA
47	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
48	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
49	X	X	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
50	X	X	X	X	X	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
51	X	X	1	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
52	X	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
53	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
54	X	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
55	X	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
56	X	X	X	X	X	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
57	X	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
58	X	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
59	0	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	0	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
60	0	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
61	0	X	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
62	0	X	X	X	0	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
63	0	X	X	0	1	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
64	X	X	X	1	1	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
65	X	X	1	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
66	0	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
67	0	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
68	0	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0
69	0	X	X	X	0	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0

Tabla E.1. Tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado espacios 4 piso (Continuación)

Combinaciones	CONDICIONES DE ENTRADA																				SAL												
	Ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	AA	
70	0	X	X	0	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
71	0	X	X	1	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
72	0	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
73	0	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	0	
74	X	1	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	1	
75	X	1	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	0	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	1	
76	X	1	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1
77	X	1	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
78	X	1	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
79	X	1	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	0	X	1	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
80	X	1	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
81	X	1	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	0	X	1	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
82	X	1	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
83	X	1	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
84	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	1	
85	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	1	X	0	1	1	1	
86	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
87	1	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
88	1	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
89	1	X	X	X	0	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
90	1	X	X	0	1	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
91	1	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
92	1	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	

Tabla E.1. Tabla de verdad para variable de salida aire acondicionado espacios 4 piso (Continuación)

Combinaciones	CONDICIONES DE ENTRADA																				SAL											
	Ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	AA
93	1	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1
94	1	X	X	X	0	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1
95	1	X	X	0	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
96	1	X	X	1	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
97	1	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
98	1	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	1	1	1	
99	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	X	X	1	X	0	1	1	1
100	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	1	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
101	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	1	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
102	1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	0	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1
103	1	X	X	X	X	X	X	X	1	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
104	1	X	X	X	X	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
105	1	X	X	X	0	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
106	1	X	X	0	1	0	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
107	1	0	0	X	X	1	1	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
108	1	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
109	1	X	X	X	X	X	0	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
110	1	X	X	X	0	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
111	1	X	X	0	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
112	1	X	X	1	1	0	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
113	1	X	1	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	
114	1	0	0	X	X	1	1	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	X	X	1	X	0	1	1	1	

Ant: Estado anterior del aire acondicionado. Sal: Salida

Tabla E.2. Tabla de verdad para variable de salida Extractores espacios 4 piso

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL											
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	ext
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	0	0
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	0	1
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	0
5	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0
6	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1
7	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0
8	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	1	x	0	1	1	1
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
12	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
13	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
14	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
15	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
16	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
17	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	

Tabla E.2. Tabla de verdad para variable de salida posición Extractores espacios 4 piso (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL										
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
<b>20</b>	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
<b>21</b>	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
<b>22</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
<b>23</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
<b>24</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
<b>25</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
<b>26</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1

Tabla E.3. Tabla de verdad para variable de salida Lámpara abrir espacios 4 piso

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LA	
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	0	0		
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	0	1		
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	0	0		
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	0	
6	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
7	0	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
8	1	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
9	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
10	0	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0		
11	1	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
12	0	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
13	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	1	x	0	1	1	0
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0		
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0		
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1		
22	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	0	0	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0		
23	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	0	0	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1		

Tabla E.3. Tabla de verdad para variable de salida Lámpara abrir espacios 4 piso (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL											
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LA
24	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	0	0	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
25	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	0	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
26	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	0	0	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
27	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	0	1	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
31	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
32	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
33	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
34	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
35	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
36	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
38	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
39	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
40	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
41	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
42	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
43	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
44	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
45	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
46	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0

Tabla E.4. Tabla de verdad para variable de salida Lámpara cerrar espacios 4 piso

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LC	
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	0
4	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
5	x	x	x	x	0	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
6	x	x	x	x	x	1	1	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
7	x	x	x	x	1	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
8	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
9	0	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
10	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
11	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
12	x	x	x	x	0	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
13	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	0	
14	x	x	x	x	1	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
15	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	
16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
17	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
18	x	x	x	x	0	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
19	x	x	x	x	x	1	1	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
20	x	x	x	x	1	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
21	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1	
22	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
23	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	

Tabla E.4. Tabla de verdad para variable de salida Lámpara cerrar espacios 4 piso (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL										
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
24	x	x	x	x	0	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
25	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
26	x	x	x	x	1	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
27	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
29	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	x	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
30	x	x	x	x	0	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
31	x	x	x	x	x	1	1	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
32	x	x	x	x	1	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
33	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
35	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
36	x	x	x	x	0	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	8	x	0	1	1	0
37	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
38	x	x	x	x	1	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
39	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	0	x	1	x	1	0	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
41	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	x	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
42	x	x	x	x	0	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
43	x	x	x	x	x	1	1	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
44	x	x	x	x	1	0	1	x	0	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
45	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
46	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0

Tabla E.4. Tabla de verdad para variable de salida Lámpara cerrar espacios 4 piso (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL											
	ant	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LC
47	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
48	x	x	x	x	0	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
49	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0
50	x	x	x	x	1	0	1	x	0	0	1	x	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
51	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	0	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	1
52	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	1	x	x	1	1	0	x	x	1	x	0	1	1	0	
53	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
54	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
55	x	x	x	x	0	0	1	x	0	x	0	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
56	x	x	x	x	x	1	1	x	0	x	0	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
57	x	x	x	x	1	0	1	x	0	x	0	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
58	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
59	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
60	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
61	x	x	x	x	0	0	1	x	0	0	1	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
62	x	x	x	x	x	1	1	x	0	0	1	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0
63	x	x	x	x	1	0	1	x	0	0	1	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
64	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	x	0	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	1
65	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	1	x	0	1	1	0

Tabla E.5. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares del salón 401

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL															
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts4p			
1	00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	00		
2	01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	01	
3	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	10	
4	00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	00	
5	01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	01	
6	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	10	
7	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	00	
8	x	x	x	x	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	10	
9	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	0	1	01	
10	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	0	1	00	
11	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	0	1	00	
12	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	0	1	01	
13	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	0	1	10	
14	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	00
15	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	01
16	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	10
17	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	00
18	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	01
19	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	10
20	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	00
21	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	01
22	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	0	1	10

Tabla E.5. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares del salón 401 (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts4p
23	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
24	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
25	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
26	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
27	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
28	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
29	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
30	00	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
31	01	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
32	10	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
33	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
34	00	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	00
35	01	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	01
36	10	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	10
37	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	10
38	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	01	
39	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	00	
40	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	00	
41	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	01	
42	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	10	
43	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
44	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	01	

Tabla E.5. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares del salón 401 (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL													
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts4p	
45	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
46	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
47	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
48	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
49	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00
50	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01
51	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10
52	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
53	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
54	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
55	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
56	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
57	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
58	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
59	00	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	
60	01	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
61	10	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	
62	X	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	
63	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	1	00	
64	x	x	x	x	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	1	10	
65	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	01	
66	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	00	

Tabla E.5. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares del salón 401 (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts4p
67	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	01
68	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	1	1	0	1	00
69	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
70	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
71	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
72	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
73	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	10
74	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
75	x	x	x	x	x	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	01
76	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	1	00
77	x	x	x	x	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	1	10
78	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	01
79	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	00
80	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	01
81	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	1	1	0	1	00
82	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
83	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
84	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
85	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
86	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	10
87	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
88	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	01

Tabla E.5. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares del salón 401 (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts4p
89	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00	
90	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00	
91	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00	
92	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	10	
93	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00	
94	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	01	
95	00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	1	1	00	
96	01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	1	1	01	
97	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	1	1	10	
98	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	x	x	x	1	1	01
99	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	x	x	x	1	1	00
100	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	x	x	x	1	1	00
101	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	0	x	x	x	1	1	00
102	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	0	x	x	x	1	1	00
103	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	0	x	x	x	1	1	00
104	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	1	0	x	x	x	1	1	00	
105	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	1	0	x	x	x	1	1	00	
106	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	1	0	x	x	x	1	1	10	
107	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	1	0	x	x	x	1	1	00	
108	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	0	x	x	x	1	1	01	
109	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	1	1	00	

Tabla E.6. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares espacios 5 piso

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL								
	ant	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts		
1	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	00		
2	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	01		
3	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	10		
4	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	00	
5	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	01	
6	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	10	
7	X	x	x	X	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	01	01	
8	X	x	x	X	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	01	00	
9	X	x	x	X	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	0	1	0	1	01	00	
10	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	00	00	
11	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	01	01	
12	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	0	1	0	1	10	10	
13	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	00	
14	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	01	
15	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	10	
16	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	00	
17	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	01	
18	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	10	
19	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	00	
20	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01	01	
21	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10	10	
22	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00	00

Tabla E.6. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares espacios 5 piso (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL						
	ant	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts
23	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01
24	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10
25	X	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10
26	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00
27	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01
28	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10
29	00	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	00
30	01	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	01
31	10	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	x	x	x	0	1	0	1	10
32	x	x	x	X	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	01
33	x	x	x	X	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	00
34	x	x	x	X	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	1	1	0	1	00
35	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	1	1	0	1	00
36	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
37	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
38	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
39	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
40	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	10
41	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	00
42	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	x	x	x	1	1	0	1	01
43	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	1	00

Tabla E.6. Tabla de verdad para variable de salida posición tubos solares espacios 5 piso (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL						
	ant	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	pts
44	x	x	x	X	x	x	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	01
45	x	x	x	X	x	x	1	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	00
46	x	x	x	X	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	00
47	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	x	1	1	00
48	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	x	1	1	00
49	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	00
50	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	00
51	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	00
52	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	0	1	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	10
53	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	00
54	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	01

Tabla E.7. Tabla de verdad para variable de salida balastro dimerizable del salón 401

Combinaciones	Condiciones de entrada																											SAL				
	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	BD4p
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	10
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	00
3	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	01
4	x	x	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	10
5	x	x	x	1	0	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	10
6	x	x	x	1	0	x	x	0	1	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	10
7	x	x	x	1	0	x	x	0	1	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	01
8	x	x	x	1	0	x	x	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	10
9	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	01
10	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	10
11	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	1	0	1	01	
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	1	10	
13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	10	
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	01	
15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	1	1	01	

Tabla E.8. Tabla de verdad para variable de salida balastros dimerizables espacios 5 piso con tubos solares

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL						
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	BD	
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	10
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	00
3	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	10	
4	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	01	
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	1	0	1	01	
6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	1	1	10	
7	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	10	
8	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	01	
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	x	x	x	x	1	1	01	

Tabla E.9. Tabla de verdad para variable de salida balastros dimerizables espacios 5 piso sin tubos solares

Combinaciones	Condiciones de entrada						SAL
	6	5	4	3	2	1	bd5psts
1	x	x	x	x	x	0	10
2	x	x	x	0	0	1	00
3	x	x	x	1	0	1	00
4	x	x	0	x	1	1	01
5	x	0	1	x	1	1	10
6	0	1	1	x	1	1	10
7	1	1	1	x	1	1	10

Tabla E.10. Tabla de verdad para variable de salida I\_O del salón 401

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	I_O 4p
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0
2	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	0
3	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	1	
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	0	1	0
5	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	1
6	0	x	0	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	0
7	1	x	0	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	1
8	x	x	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	0
9	0	x	x	x	1	0	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	0
10	1	x	x	x	1	0	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	1
11	0	x	x	x	1	0	x	x	0	1	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	0
12	1	x	x	x	1	0	x	x	0	1	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	1
13	x	x	x	x	1	0	x	x	0	1	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	1	1
14	0	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	0
15	1	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	1
16	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	1	
17	0	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	0	1	0	
18	1	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	0	1	1	
19	0	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	x	1	0	1	0	

Tabla E.10. Tabla de verdad para variable de salida I\_O del salón 401 (continuación)

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL												
	ant	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	I_O
20	1	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	x	1	0	1	1
21	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	x	x	x	x	1	0	1	0
22	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	1	0
23	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	0
24	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	1
25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	0
26	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	x	1	1	0
27	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	x	x	x	x	1	1	1
28	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	x	1	1	0
29	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	x	1	1	1
30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	x	x	x	x	1	1	0

Tabla E.11. Tabla de verdad para variable de salida I\_O espacios 5 piso con tubos solares

Combinaciones	Condiciones de entrada																				SAL						
	ant	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	I_O
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0
2	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	0
3	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	0	0	1	1
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	0	0	1	0
5	0	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	0	0
6	1	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	1	1
7	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	0	1	1	1
8	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	x	1	0	1	0	0
9	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	x	1	0	1	1	1
10	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	x	x	x	x	1	0	1	0	0
11	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	x	x	x	x	1	0	1	1	1
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	x	x	x	x	1	0	1	0	0
13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	1	1	0	0
14	0	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	0	0
15	1	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	1	1
16	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	x	x	x	x	1	1	1	1
17	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	1	1	0	0
18	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	x	x	x	x	1	1	1	1
19	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	x	x	x	x	1	1	0	0
20	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	x	x	x	x	1	1	1	1
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	1	x	x	x	x	1	1	0	0

Tabla E.12. Tabla de verdad para variable de salida I\_O espacios del 5 piso sin tubos solares

Combinaciones	Condiciones de entrada							SAL
	ant	6	5	4	3	2	1	I_O 5p sts
1	x	x	x	x	x	x	0	0
2	0	x	x	x	0	0	1	0
3	1	x	x	x	0	0	1	1
4	0	x	x	x	1	0	1	0
5	1	x	x	x	1	0	1	1
6	x	x	x	0	x	1	1	1
7	0	x	0	1	x	1	1	0
8	1	x	0	1	x	1	1	1
9	0	0	1	1	x	1	1	0
10	1	0	1	1	x	1	1	1
11	x	1	1	1	1	1	1	0

**Anexo F. Manual de usuario HCASICA-E3T**

**Manual de Usuario**  
**Herramienta computacional para el análisis de iluminación y**  
**la climatización automatizada de espacios específicos de la**  
**escuela ingeniería eléctrica**

Elaborado por:

Andres Eduardo Suarez Suarez

Julián René Benitez Cordero

Leidy Carolina Acevedo Celis

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2015

## INFORMACIÓN GENERAL

### Especificaciones técnicas

Para el uso de la herramienta computacional es necesario contar con los siguientes requerimientos:

- *Adobe Reader* instalado en el equipo.
- Una memoria *RAM* mínima de 3000 MB.
- *Microsoft Excel 2013*.
  - Mantener formato de comas para valores decimales (Ver figura), para comprobar que se encuentre activado se debe realizar el siguiente procedimiento:
    - Archivo
    - Opciones
    - Avanzadas

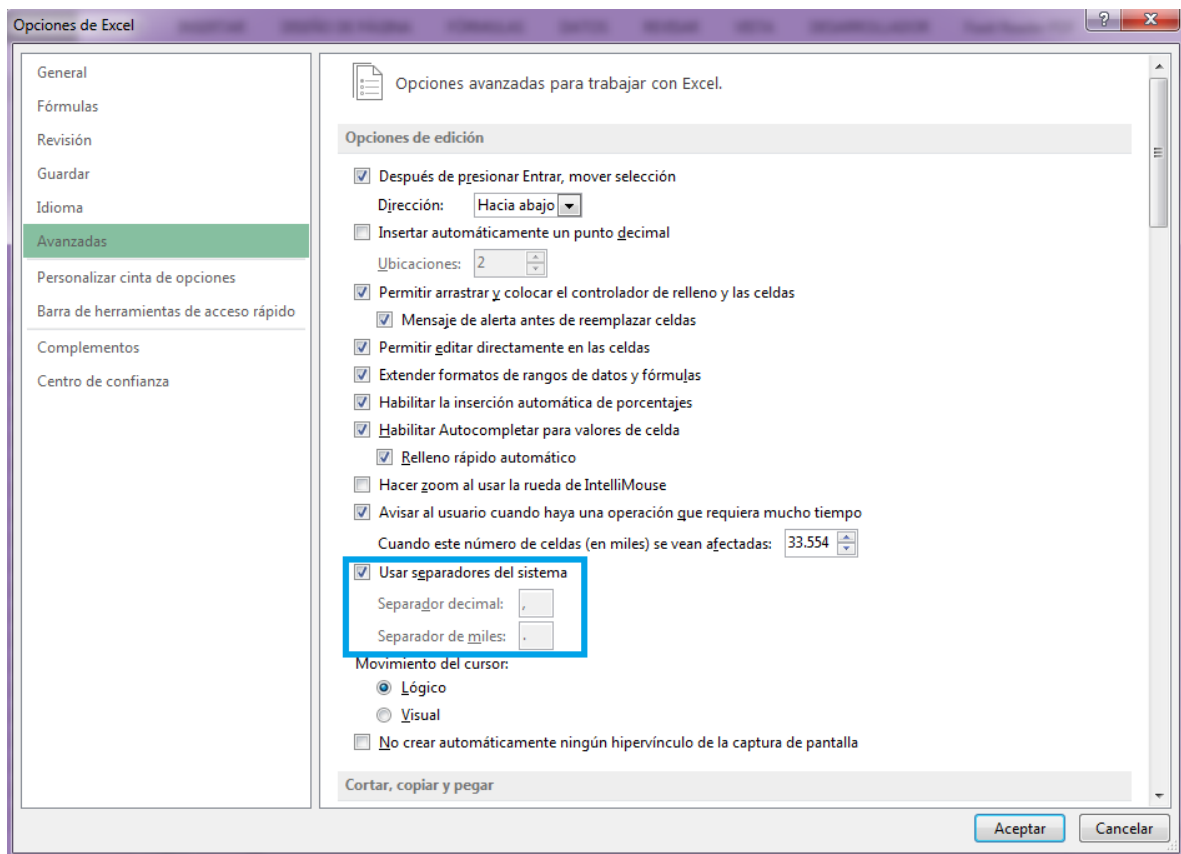


Figura F. 1 Opciones de Excel mantener formato de comas para valores decimales

- Tener activas las referencias (Ver figura F.2), para visualizarlas hay que seguir los siguientes pasos:
  - Desarrollador
  - Visual Basic
  - Herramientas
  - Referencias.

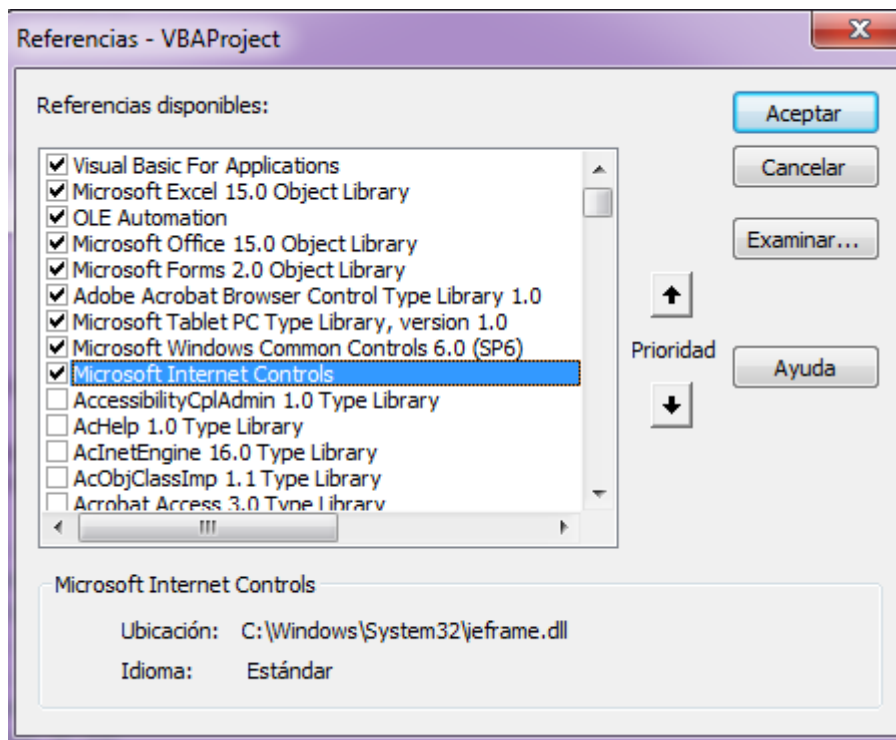


Figura F. 2 Referencias activas en el desarrollador de Visual Basic

## INICIO DE LA HERRAMIENTA



Figura F. 3 Habilitar macros (Fuente: Autores)

Al iniciar EXCEL dara un aviso de ADVERTENCIA DE SEGURIDAD para habilitar el uso de macros (Ver figura 2). Para continuar se debe oprimir el botón Habilitar contenido que procede a abrir la herramienta.

Al habilitar el uso de macros se muestra en pantalla tres diferentes opciones en la herramienta (Ver figura 2):

- **Continuar:** Permite ver los diferentes procesos que presenta la herramienta y que se describirán a lo largo del tutorial.
- **Tutorial:** Abre el manual de usuario.
- **Salir:** Cierra la herramienta por completo.

## Ventanas De Análisis

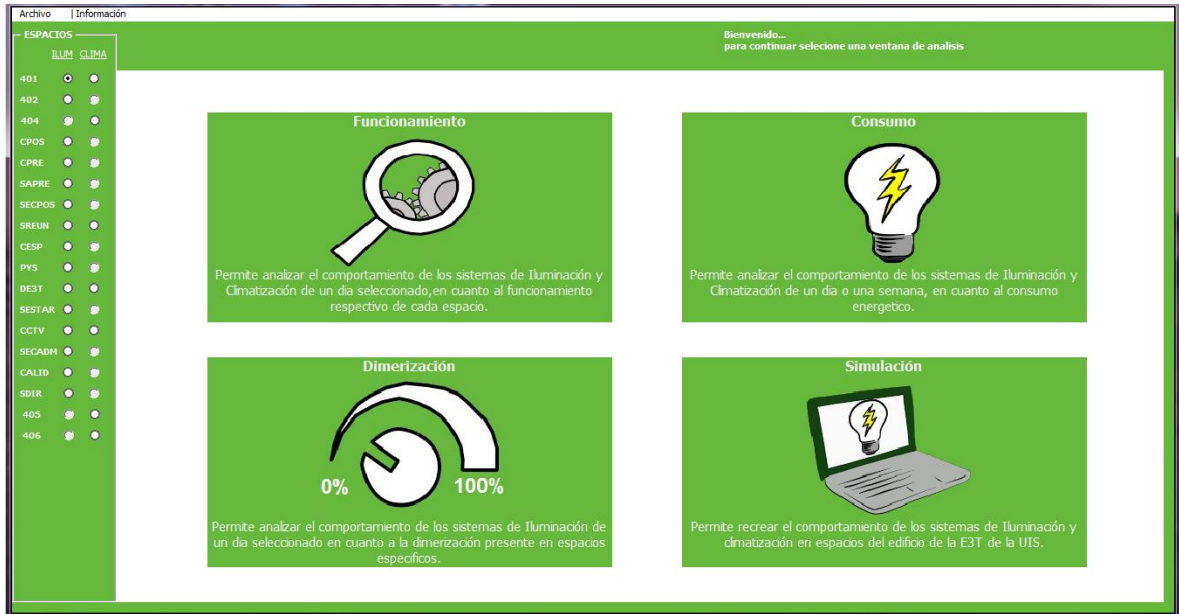


Figura F. 4 Menú principal de procesos (Fuente: Autores)



Figura F. 5 Ventana de análisis de funcionamiento (Fuente: Autores)



Figura F. 6 Ventana de análisis de consumo (Fuente: Autores)



Figura F. 7 Ventana de análisis de dimerización



Figura F. 8 Ventana de análisis de simulación

Al continuar con el inicio de la herramienta se verá la interfaz de menú principal (Ver figura 3) donde se puede seleccionar las diferentes ventanas de análisis:

- **Funcionamiento:** En este se puede evidenciar el comportamiento de iluminación y climatización del espacio especificado por el usuario de acuerdo a los datos obtenidos en la plataforma *Andover continuum Infinet II* (Ver figura 4).
- **Consumo:** En este se puede visualizar el consumo energético de iluminación y climatización de los datos nombrados anteriormente para un día y para una semana según la selección que se prefiera (Ver figura 5).
- **Dimerización:** En este se puede visualizar el comportamiento de los balastos dimerizables con respecto al nivel de iluminación natural y el consumo que presenta el ambiente seleccionado por el usuario (Ver figura 6).
- **Simulación:** En ella el usuario interactúa con la interfaz de tal forma que puede establecer las características de comportamiento para determinado espacio (Ver figura 7).



Figura F. 9 Ventanas de análisis

Las ventanas de análisis pueden ser seleccionadas ya sea desde la ventana de inicio o en la parte superior de la ventana activada al hacer click sobre el icono correspondiente (Ver figura 8).

El uso de estas ventanas se explicara más adelante en este manual.

### Espacios



Figura F. 10 Espacios de selección (Fuente: Autores)

La interfaz permite la selección del espacio que se va a utilizar en las ventanas de análisis, estos son los espacios de los cuales se pueden obtener datos por la monitorización de la plataforma *Andover continuum Infinet II*.

En esta zona de la interfaz el usuario puede seleccionar entre los datos de iluminación y los de climatización del día seleccionado (Ver figura F.10).

**401** → Salón 401

**402** → Salón 402

**404** → Salón 404

**CPOS** → Coordinación de posgrados

**CPRE** → Coordinación de pregrado

**SAPRE** → Sala de atención a pregrado

**SECPOS** → Secretaria de posgrados

**SREUN** → Sala de reuniones

**CESP** → Coordinación de especialización

**PYS** → Proyectos y servicios

**DE3T** → Dirección E3T

**SESTAR** → Sala de estar profesores

**CCTV** → Circuito cerrado de televisión

**SECADM** → Secretaria administrativa

**CALID** → Coordinación de calidad

**SDIR** → Sala Espera Dirección E3T

**405** → Salón 405

**406** → Salón 406

Los espacios nombrados anteriormente se seleccionan para obtener resultados en cada una de las ventanas de análisis que puede mostrar la herramienta (funcionamiento, consumo, dimerización y simulación).

### Botón de ayuda



Figura F. 11 Botón de ayuda

En este botón el usuario puede visualizar un mensaje que indica el procedimiento a seguir para obtener información sobre cada elemento de la herramienta al darle doble *click* sobre los títulos y gráficos que se muestran en ella, obteniendo parte del tutorial que corresponda según la selección.

### Botón de información o documentación



Figura F. 12 Botón de información

En este botón el usuario puede obtener información sobre cada uno de los espacios de análisis con que cuenta la herramienta, dentro de ella puede obtener un conocimiento que le facilitará la comprensión de los datos que se están mostrando en la ventana correspondiente.

## FUNCIONAMIENTO

En este se puede evidenciar el comportamiento de iluminación y climatización del espacio seleccionado por el usuario en la zona espacios de un día específico, basado en datos obtenidos en la plataforma *Andover continuum Infinet II* o de los generados por el simulador presente en esta herramienta (Ver figura 4).

La interfaz de la ventana de análisis de funcionamiento está distribuida en diferentes marcos y gráficas, en estos se pueden observar características específicas del espacio analizado o datos respecto al día y espacio seleccionado.

### Cuadro de elementos Iluminación

ELEMENTOS ILUMINACIÓN		
<input type="checkbox"/> Dimerización balastos	<input type="checkbox"/> Fotocelda dimerizable	<input type="checkbox"/> Posición tubos solares
<input checked="" type="checkbox"/> Dimerización balastos Zona 1	<input checked="" type="checkbox"/> Fotocelda dimerizable Zona 1	<input checked="" type="checkbox"/> Posición tubos solares Zona 1
<input checked="" type="checkbox"/> Dimerización balastos Zona 2	<input checked="" type="checkbox"/> Fotocelda dimerizable Zona 2	<input checked="" type="checkbox"/> Posición tubos solares Zona 2
<input type="checkbox"/> Dona de corriente Iluminación		

Figura F. 13 Cuadro de elementos de iluminación

Muestra según el espacio seleccionado los elementos de iluminación que actúan en el sistema automatizado. Al dar click en las casillas de los elementos que están activados estos muestran u ocultan la serie mostrada en las gráficas Iluminación.

## Cuadro de elementos Climatización

ELEMENTOS CLIMATIZACIÓN		
<input checked="" type="checkbox"/> Luz de Apertura	<input checked="" type="checkbox"/> Detector de Apertura 1	<input type="checkbox"/> Detector de Apertura 4
<input checked="" type="checkbox"/> Luz de Cerrado	<input checked="" type="checkbox"/> Detector de Apertura 2	<input type="checkbox"/> Detector de Apertura 5
<input checked="" type="checkbox"/> Temperatura	<input type="checkbox"/> Detector de Apertura 3	<input type="checkbox"/> Detector de Apertura 6
<input checked="" type="checkbox"/> Extractores	<input checked="" type="checkbox"/> Aire Acondicionado	<input checked="" type="checkbox"/> Puerta

Figura F. 14 Cuadro de elementos climatización

Muestra según el espacio seleccionado los elementos de climatización que actúan en el sistema automatizado. Al dar click en las casillas de los elementos que están activados estos muestran u ocultan la serie mostrada en las gráficas climatización.

## Cuadro de Día de trabajo

Día de trabajo
-8-1-14.xlsx
-8-1-14.xlsx
-8-2-14.xlsx
-8-3-14.xlsx
-8-4-14.xlsx
-8-5-14.xlsx
-SIM-23-04.xlsx

Figura F. 15 Cuadro día de trabajo

En este se puede seleccionar el día de trabajo que se quiere analizar, estos días están guardados en la raíz de la herramienta, solo se reconocen los días que tienen guardados su parte de iluminación, climatización y radiación solar.

## Cuadro de Franja hora

Franja hora
0-24
0-24
0-12
12-24

Figura F. 16 Cuadro de franja de hora

En este se puede seleccionar la franja de hora en las que se pueden observar las gráficas Iluminación-Climatización y radiación – temperatura exterior, son tres franjas: 24 horas (0-24), mañana (0-12) y tarde (12-24).

### Cuadro zonas

Zona 1  
 Zona 2  
 Zona 1y2

Figura F. 17 Cuadro zonas

En este cuadro se pueden seleccionar entre las dos zonas de los salones 401, 402 ó ver la suma de las dos zonas, la selección de las zonas muestra los datos correspondientes a éstas.

### Cuadro Datos Iluminación

Datos de Iluminación del espacio seleccionado por día				Datos de Iluminación de los espacios (día)		
	unidad luminaria	total luminarias		Total luminarias		
Potencia [ W ]	4x17 = 68	12x4x17= 816	Nº Luminarias	12	Potencia [ W ]	224x4x17 = 15232
Consumo diario [kWh ]	0,383	2,294	Conmutaciones	14	Consumo diario [kWh ]	7,072

Figura F. 18 cuadro datos de iluminación

Este cuadro muestra en detalle en la columna luminaria y espacio el consumo energético y la potencia que demanda al día el espacio seleccionado. Adicionalmente la columna Día exhibe la suma del consumo energético de todos los espacios, mostrando una relación en la cual se puede apreciar cuanto aporta cada espacio al consumo general diario. Además se muestra el número de luminarias y la cantidad de conmutaciones que hubo en el día para ese espacio.

Una conmutación se toma como un encendido y un apagado de una luminaria, Estos se tienen en cuenta ya que la vida útil de las lámparas se ven afectadas por los mismos.

## Cuadro Datos climatización



Figura F. 19 Cuadro datos de climatización

Para la información de estos datos ver capítulo de consumo.

## Gráfica Radiación o Temperatura exterior y sensor de movimiento

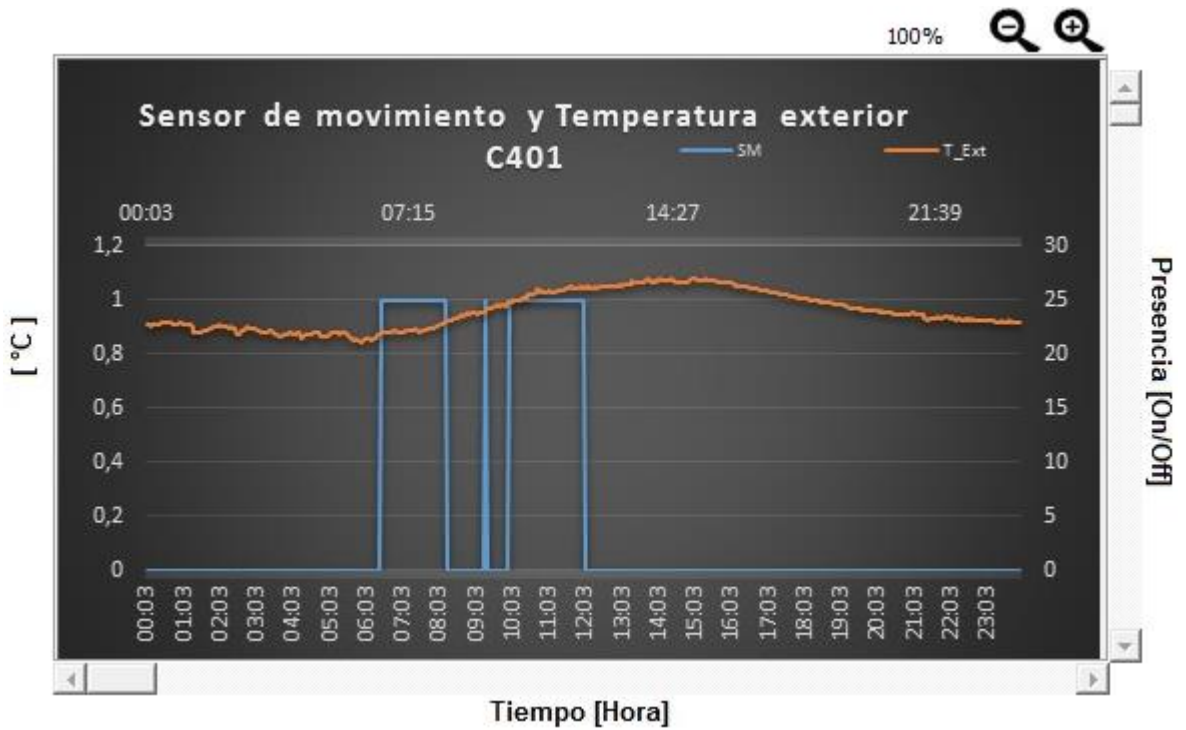


Figura F. 20 Gráfica Radiación o Temperatura exterior y sensor de movimiento

Esta gráfica se presenta al costado izquierdo de la ventana de análisis de funcionamiento, según si se tiene seleccionado un espacio de iluminación o climatización se muestra la radiación solar en la azotea o la temperatura exterior respectivamente estos datos medidas por la estación meteorológica. También se muestra como fue el comportamiento de la presencia que hubo en el espacio para el día seleccionado.

Al realizar zoom en los iconos encima de las gráficas se habilitan las barras laterales para desplazarse por la gráfica aumentada.

### Gráfica funcionamiento Iluminación o climatización

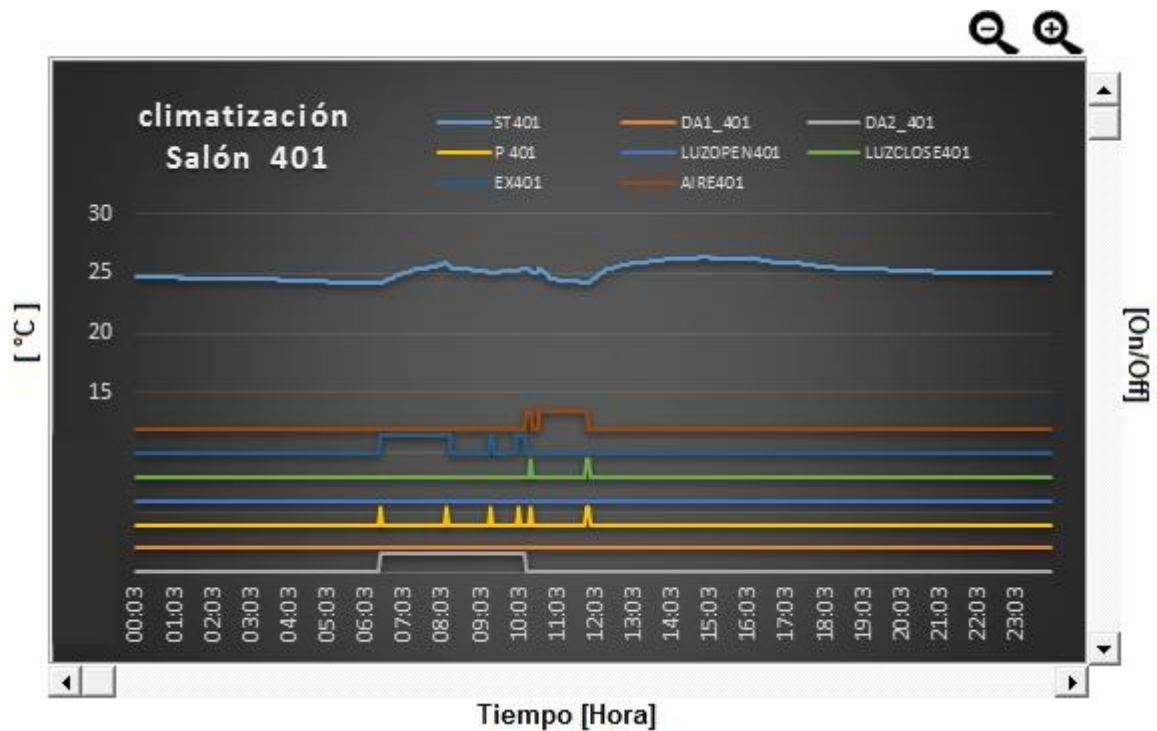


Figura F. 21 Gráfica funcionamiento Iluminación o climatización

Esta gráfica se presenta al costado derecho de la ventana de análisis de funcionamiento, muestra el comportamiento en el día de los elementos presentes en el espacio según el sistema automatizado elegido.

Al realizar zoom en los iconos encima de las gráficas se habilitan las barras laterales para desplazarse por la gráfica aumentada.

## CONSUMO

En esta ventana de análisis se aborda lo relacionado al consumo energético por espacios, representando la potencia [kW] utilizada por lámparas y el espacio en general, y la energía [kWh] que se consume por la cantidad total de lámparas y espacio general.

### Cuadros de consumo

Una vez seleccionado la opción de ventana de análisis de Consumo (Ver figura F.6), seleccionando la opción de Iluminación para cualquier espacio dado, vamos a encontrar en el menú presentado la siguiente ventana:

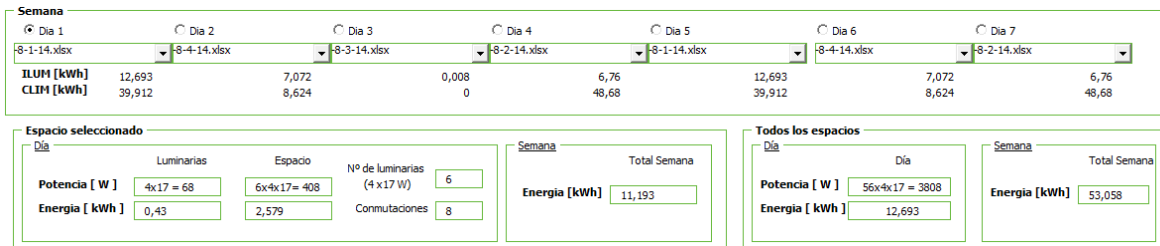


Figura F. 22 ventana de análisis de consumo, selección de día y datos de iluminación

Acá es posible observar el consumo por **Espacio seleccionado** mostrando en detalle el consumo por Lámpara y Espacio del día seleccionado (1,2,..7). Aparte esta la pestaña de Semana, donde se presenta el consumo energético semanal total de los días cargados por espacio.

Para la ventana de **Todos los espacios** se presenta la pestaña Día, que indica el consumo diario total de los espacios dados para el análisis, de igual manera en la pestaña Semana, solo que sería el consumo total semanal de los espacios en general.

Inmediatamente se seleccione la opción de Climatización por espacio en la ventana de análisis de consumo se presentara la siguiente ventana

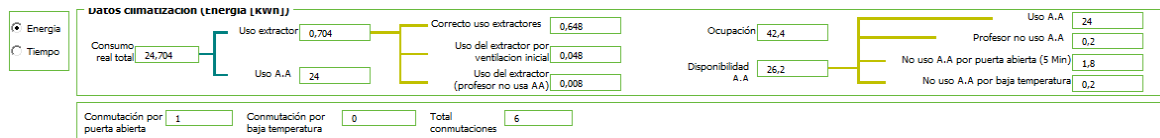


Figura F. 23 ventana de análisis de consumo datos de climatización en energía

En esta ventana se presenta la opción de selección por Energía y Tiempo, para el caso de la imagen anterior está dada en consumo energético. Acá se presenta unos datos en los que se tiene en cuenta el consumo energético, representando cada uno de ellos lo siguiente:

- **Ocupación:** Consumo y tiempo de uso que habría si el sistema energiza los aires acondicionados inmediatamente haya presencia.
- **Uso del A.A:** Indica el consumo y cantidad de tiempo en el que los aires acondicionados por espacio seleccionado se energizaron.
- **Disponibilidad del A.A:** Es el consumo que se daría si el aire acondicionado está disponible condiciones uso sin importar que la temperatura sea demasiado baja (Su funcionamiento sería automatizado pero sin tener en cuenta condiciones de temperatura).
- **Uso del extractor:** Indica el consumo y cantidad de tiempo en el que el sistema de ventilación forzada (Extractores) por espacio seleccionado se energizó.
- **No uso A.A:** Muestra el consumo y cantidad de tiempo cuando el usuario no cierra la puerta y el sistema cumplía condiciones para energizar los aires, indicando a los usuarios cerrar puerta y/o ventanas para activar los aires acondicionados. Se implementa ventilación natural y forzada.
- **Uso de extractores por ventilación inicial:** Acá se usa el extractor sin haber presencia, es decir que el sistema de ventilación forzada queda activado instantes de tiempo que deje de haber presencia y el aire se encuentre apagado, esto es implementado para evitar que los extractores estén encendiendo y apagando, conservando un tiempo de espera en caso de que vuelva alguien a entrar de nuevo en un lapso corto de tiempo. Este consumo energético y de tiempo se hace para mostrar el consumo adicional para mantener esa condición.

- **No uso AA por puerta abierta:** Se muestra el consumo tiempo después de 5 minutos una vez abierta la puerta, ya que el sistema está programado para que si los aires acondicionados están energizados y la puerta se abre, duren energizados por un periodo de 5 minutos, después de este periodo se apagan. Acá es posible ver el ahorro y la incidencia en el sistema por parte de la automatización.
- **Correcto uso de extractores:** Se presenta la relación de consumo correcto, siendo el instante de uso de extractores sin emplear ventilación inicial y sin que se enciendan los extractores mientras el usuario no use el Aire Acondicionado.
- **No uso aire acondicionado por baja temperatura:** Esta opción demuestra la ventaja de los aires al mantener una temperatura programada que brinde confort a los usuarios bajo condiciones estables como son: Puerta cerrada, presencia y aire energizado. Para este caso se exhibe el consumo que habría en caso que no tuvieran esta programación los aires y por el contrario dichos se mantuvieran energizados generando mayor consumo sin brindar el confort térmico.
- **Uso del aire cuando la puerta está abierta:** Indica la cantidad de tiempo en fracción de hora que se usó el aire acondicionado mientras la puerta estuvo abierta.
- **Consumo real total:** Es el consumo generado en su totalidad por uso del sistema de climatización por espacio seleccionado, teniendo en cuenta el uso de extractores en la ventilación forzada y de aires acondicionados para ventilación artificial.
- **Potencial:** Es la energía total consumida en el espacio por los aires acondicionados.
- **Uso correcto:** Es la suma de energía consumida según la condición de disponibilidad del aire acondicionado y correcto uso de los extractores.
- **Conmutación por baja temperatura:** La conmutación por baja temperatura indica la cantidad de veces que el sistema de aires acondicionados se encuentra funcionando y se apaga de manera esporádica por alcanzar el valor mínimo de temperatura, sin embargo solo sucede en pequeñas fracciones

de tiempo debido a que no alcanzan el punto de estabilidad, haciendo que los aires vuelvan a encender casi de inmediato.

- **Conmutación por puerta abierta:** La conmutación por puerta abierta, implica que el sistema haga cambios eventuales de encendido a apagado en los aires acondicionados. Teniendo como índice el instante en que la puerta se encuentre abierta y los sistemas se apaguen y vuelvan a encender.
- **Total conmutaciones:** Es la cantidad total de conmutaciones del sistema de aires acondicionados, donde se presenta la cantidad de veces que el sistema fluctuó entre encendido y apagado repentinamente, volviendo a su condición de encendido.

Cuando se selecciona Tiempo, la ventana que saldrá será la siguiente:

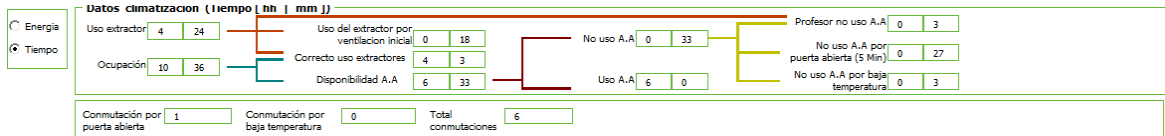


Figura F. 24 ventana de análisis de consumo datos de climatización en tiempo

Ahí se muestra el funcionamiento que tendría en minutos y segundos, planteándose para un análisis más detallado y comparativo en proporción a los datos de consumo.

Respecto las gráficas de consumo mostradas en la ventana de análisis de consumo, se presentan así:

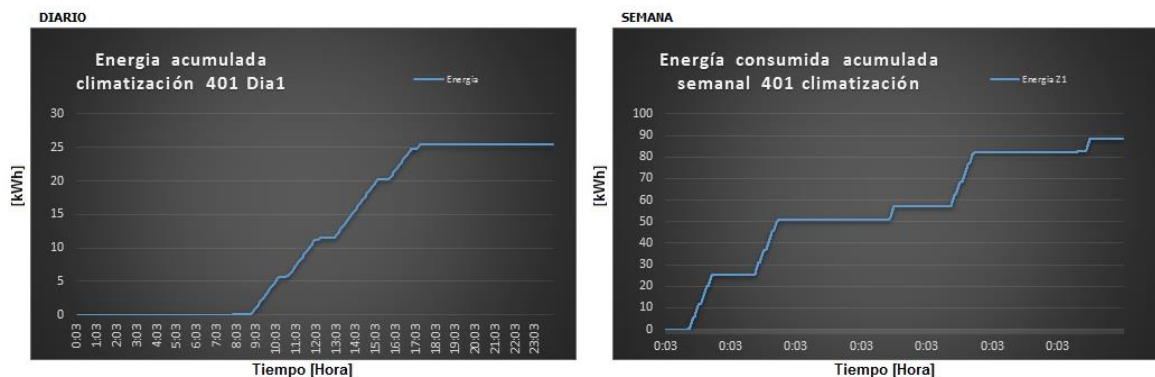


Figura F. 25 Graficas de consumo en la ventana de análisis de consumo

La gráfica de la izquierda muestra la energía consumida acumulada por espacio al día o de todos los espacios si se tiene seleccionado la opción "total 4 y 5 piso". De esta forma es posible ver el consumo a lo largo del tiempo.

La gráfica de la derecha muestra la energía consumida acumulada por espacio en la semana o de todos los espacios si se tiene seleccionado la opción "total 4 y 5 piso". De esta forma es posible ver el consumo a lo largo del tiempo.

Para la gráfica de semana se debe tener en cuenta que los intervalos de tiempo (0:03 – 0:03) presentados, significan día transcurrido, es decir: de izquierda a derecha aumentan los días (1,2,..7).

## DIMERIZACIÓN

### Día seleccionado

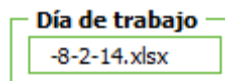


Figura F. 26 Cuadro día de trabajo

En la casilla el usuario puede observar el día seleccionado en la ventana de funcionamiento ya que la información en esta ventana de análisis está ligada directamente al comportamiento del funcionamiento en los espacios (Ver Figura F.25).

Selección de zonas

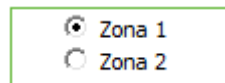


Figura F. 27 Selección de zonas dimerización

Este elemento se encuentra habilitado solo para los espacios 401 y 402 que cuentan con más de una zona. Al realizar la selección de una de las opciones el usuario podrá visualizar los datos de consumo de energía y el comportamiento de las gráficas correspondientes (Ver figura F.26).

### Datos de consumo de energía

<b>CONSUMO DE ENERGIA</b>	Día de trabajo (kWh)	Presencia (kWh)	URE (kwh)
	5,6	3,192	1,474

Figura F. 28 Cuadro de consumo de energía dimerización

En la ventana el usuario puede ver el consumo de energía debido al uso racional de la energía a la presencia y al tiempo de trabajo en el aula (ver Figura F.27), describiendo de la siguiente forma el valor visualizado:

- **Día de trabajo:** Muestra la energía consumida debido a la cantidad de horas de trabajo por espacio (con las lámparas sin dimerizar).
- **Presencia:** Muestra la energía consumida debido a la presencia que hubo por espacio (con las lámparas sin dimerizar).
- **Ure:** Muestra la energía consumida debido al uso racional de la energía por espacio (lámparas dimerizadas, tubos solares, entre otros).

### Datos de ahorro

Para URE y presencia	
Ahorro [kWh]	Ahorro [%]
0,991	88,482

Figura F. 29 cuadro datos de ahorro

En la ventana de ahorro **URE y presencia** (ver Figura F.28) muestra el ahorro que se obtuvo en el espacio si el subsistema automatizado de iluminación aplica un

uso racional de la energía (dimerización de los balastos e iluminación natural del espacio) y no solo la presencia (con lámparas *on-off*).

### Gráfica de dimerización y control *On/Off* vs tiempo (horas)



Figura F. 30 Gráfica de dimerización y control *On/Off* vs tiempo (horas)

En la figura el usuario puede observar dos tipos de gráficas, una donde se muestra el comportamiento del sensor de presencia (6 a.m - 6 p.m) y la otra permite ver la diferencia de consumo que existe si se utilizarán lámparas sin dimerizar (serie azul *ONOFF*) con respecto a las que presentan dimerización (serie naranja).

### Gráfica de porcentaje de tiempo vs porcentaje de dimerización



Figura F. 31 Gráfica de porcentaje de tiempo vs porcentaje de dimerización

En esta gráfica el usuario puede visualizar el porcentaje de tiempo en que el balastro dimerizable se encontró en un intervalo de porcentaje de dimerización durante el rango de horas establecido, siempre y cuando la lámpara se encuentre encendida en el espacio seleccionado por el usuario, en este caso corresponde de 6 a.m a 6 p.m (donde 12 horas serían el 100%) (Ver figura F.30).

Gráfica de porcentaje de iluminación natural vs tiempo (horas)



Figura F. 32 Gráfica de porcentaje de iluminación natural vs tiempo (horas)

Muestra el aporte (porcentaje) de iluminación natural a la iluminación total del espacio, siendo 100% la iluminación total de aula. Es importante resaltar que si no se cumplen las condiciones para que las lámparas se enciendan la iluminación total del aula dependerá de la iluminación natural con que cuente el espacio (Ver figura F.31).

Gráfica de porcentaje de iluminación artificial vs tiempo (horas)



Figura F. 33 Gráfica de porcentaje de iluminación artificial vs tiempo (horas)

En la figura se pueden observar dos series de barras, una donde se muestra el aporte (porcentaje) de iluminación artificial a la iluminación total del espacio, siendo 100% la iluminación total de aula y la otra serie (color naranja) que permite observar el porcentaje de ocupación que hubo durante cada hora del día (Ver figura F.32).

Es importante resaltar que si no se cumplen las condiciones para que las lámparas se enciendan la iluminación total del aula dependerá de la iluminación natural con que cuente el espacio, por tanto el aporte de iluminación artificial que se muestra

en la gráfica (serie color azul) sería el posible aporte si no existe presencia a lo largo de esa hora del día.

## SIMULACIÓN

En esta ventana de análisis se busca que el usuario de la herramienta comprenda el funcionamiento de los sistemas automatizados de iluminación y climatización presentes en el edificio de ingeniería eléctrica de la universidad industrial de Santander.

El usuario puede controlar diferentes variables de entrada que permiten a los sistemas automatizados la toma de decisiones en busca del confort de los presentes en el espacio y el ahorro energético. Estas variables se encuentran en los diferentes cuadros de la ventana.

Por medio de las gráficas se observa el comportamiento de las variables de salida de los sistemas.

### Cuadro sensor de movimiento



Figura F. 34 Cuadro sensor de movimiento

En este cuadro el usuario puede recrear el comportamiento del sensor de presencia en el aula seleccionada, usando cada botón en el control de una hora del día, indicando en negro que hubo presencia y en blanco que no hubo (ver figura F.33).

Al hacer click sobre el botón este cambia de color.

### Cuadro tipo de día



Figura F. 35 Cuadro tipo de día

Cuando se hace click en este cuadro (ver figura F.34) se despliega una nueva ventana (ver Figura F.35) donde se puede seleccionar el comportamiento de la radiación solar en la azotea del edificio E3T. Se selecciona el valor de radiación deseado para cada hora por medio de las barras desplazables, éstas tienen límites máximos y mínimos que varían respecto al mes seleccionado.

A la derecha de la ventana se observa la gráfica de radiación solar en la azotea. En ocasiones al cambiar los valores de radiación la gráfica no se actualiza, para evitar ese problema por favor hacer click en el botón “Actualizar gráfica” que se muestra debajo de ésta.

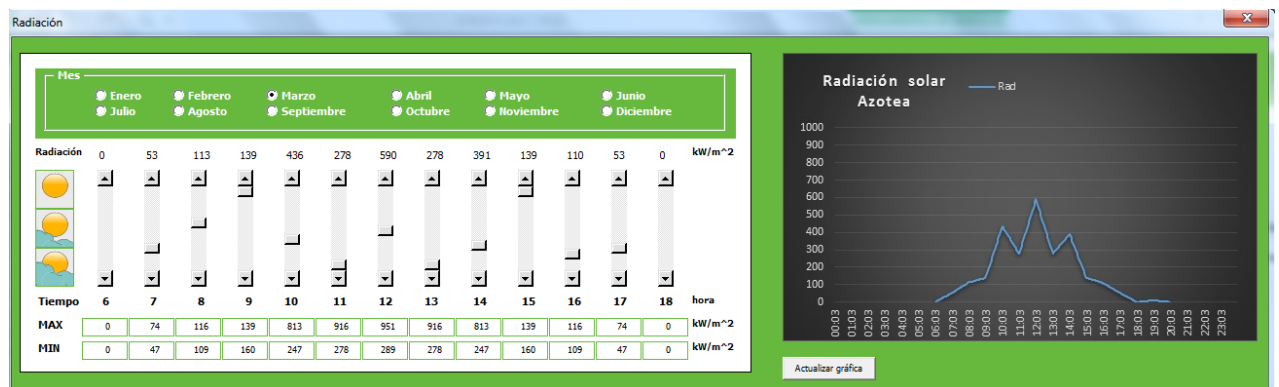


Figura F. 36 Selección de radiación solar en la azotea E3T

### Cuadro Mes y Día



Figura F. 37 cuadro Mes y Día

El cuadro mes muestra el mes que fue seleccionado en el cuadro tipo de día.

En el cuadro mes se puede seleccionar el día de la semana de lunes a sábado. El día seleccionado representa un cambio en la programación para el subsistema automatizado de climatización.

### Cuadro espacios (simulación)

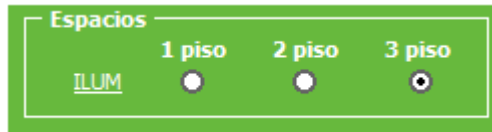


Figura F. 38 cuadro espacios (simulación)

Para el caso de la ventana de análisis de simulación también se puede seleccionar un espacio del primer, segundo y tercer piso. Esto permite simular el funcionamiento del subsistema automatizado de iluminación de estos espacios, estos espacios no son monitoreados por la controladora *Andover Continuum Infinet II* que monitorea y guarda el registro de actividades para los demás espacios trabajados en esta herramienta.

### Gráficas Iluminación y temperatura exterior



Figura F. 39 Gráfica iluminación

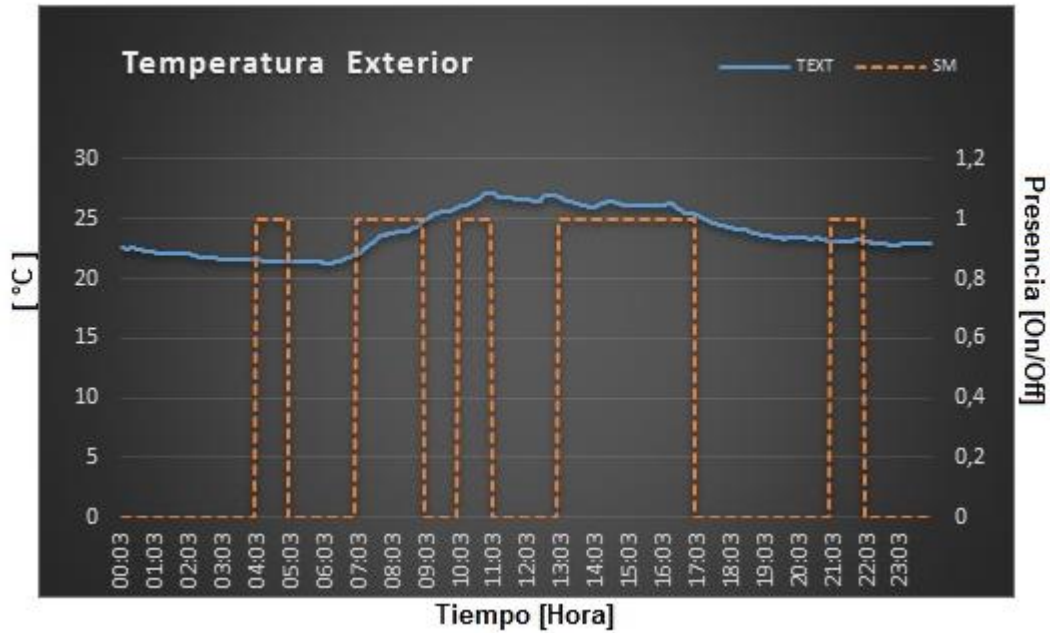


Figura F. 40 Gráfica Temperatura exterior

Esta gráfica se ubica al costado izquierdo de la ventana de análisis de simulación, según si el espacio seleccionado en el cuadro espacios está en iluminación o climatización se muestra la gráfica iluminación o temperatura exterior respectivamente.

La gráfica de iluminación (figura F.38) muestra la iluminación que hay en el punto de menor incidencia solar en espacio, el valor mínimo de lux programado para el espacio donde halle confort el usuario y la presencia en el espacio.

La gráfica de temperatura exterior (figura F.39) muestra la representación de la temperatura medida en la azotea por la estación meteorológica, cambia con el mes seleccionado en el cuadro "Tipo de día".

## Gráficas funcionamiento y consumo

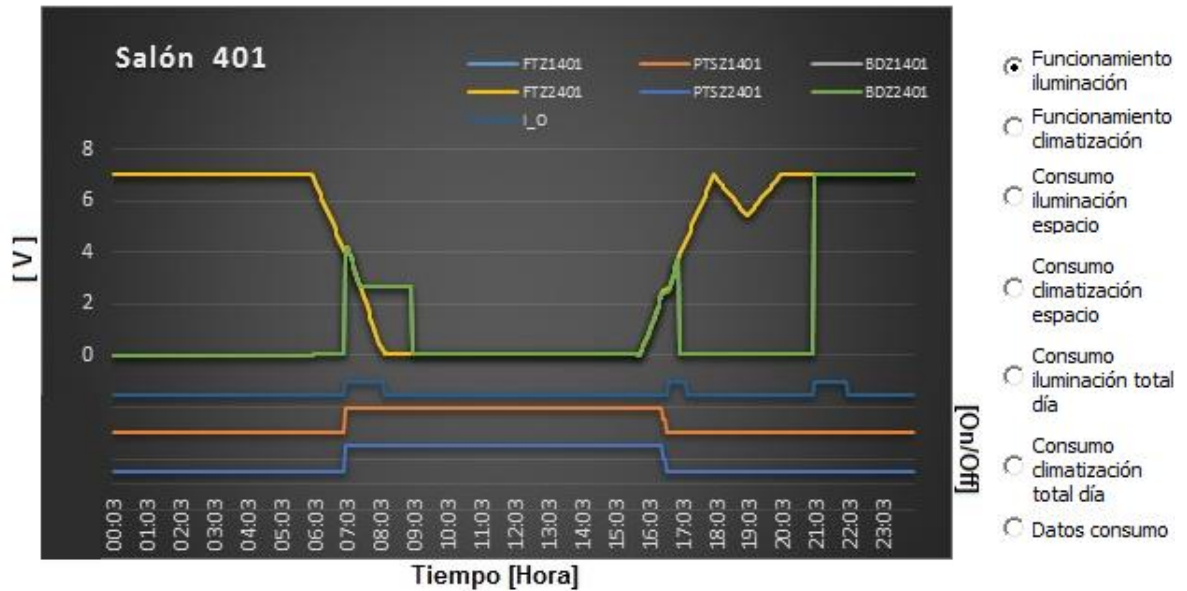


Figura F. 41 Gráficas funcionamiento y consumo

Estas gráficas ubicadas al costado derecho de la ventana de análisis de simulación (figura...), según el botón de selección activado (derecha de la gráfica) muestra el funcionamiento de iluminación o climatización, consumo de iluminación o climatización por espacio y consumo total de iluminación o climatización al día.

- **Funcionamiento de iluminación:** muestra el comportamiento simulado del subsistema automatizado de iluminación del espacio seleccionado.
- **Funcionamiento de climatización:** muestra el comportamiento simulado del subsistema automatizado de climatización del espacio seleccionado.
- **Consumo de iluminación espacio:** muestra el consumo acumulado simulado del subsistema automatizado de iluminación del espacio seleccionado.
- **Consumo de climatización espacio:** muestra el consumo acumulado simulado del subsistema automatizado de climatización del espacio seleccionado.

- **Consumo de iluminación total día:** muestra el consumo acumulado simulado del subsistema automatizado de iluminación de todos los espacios trabajados en esta herramienta.
- **Consumo de climatización espacio:** muestra el consumo acumulado simulado del subsistema automatizado de climatización de todos los espacios trabajados en esta herramienta.

### Cuadro de iluminación

**Iluminación**

Porcentaje de Rad. interna	5,4	▲
Nivel de Dimerización Máximo	6,5	
Nivel de Iluminación Mínimo	300	
Porcentaje de Rad. Ts	0,003	▼

Figura F. 42 cuadro datos de iluminación

Este cuadro (ver figura F.41) muestra datos específicos para el espacio seleccionado ya sea un espacio con tubos solares o sin ellos. Los datos son los siguientes:

- **Porcentaje de radiación interna:** es el porcentaje que tiene el punto de menor incidencia solar respecto a sus ventanas.
- **Nivel de dimerización máximo:** es el nivel máximo al que los balastos dimerizables deben estar para encontrar el confort lumínico del espacio.
- **Nivel de iluminación mínimo:** es el valor mínimo de luxes a los que el sistema responde antes de encender las lámparas.
- **Porcentaje de Rad. Ts:** es el porcentaje de luxes aportado por los tubos solares al punto de menor incidencia cuando se encuentran en estado 100% abiertos con respecto a la azotea.

## Especiales

Para los espacios del primer, segundo y tercer piso se habilita otro cuadro de iluminación (figura F.42) donde pueden activar o desactivar el escenario de proyección. Con este escenario activo se apagan aproximadamente el 65% de las lámparas del espacio.

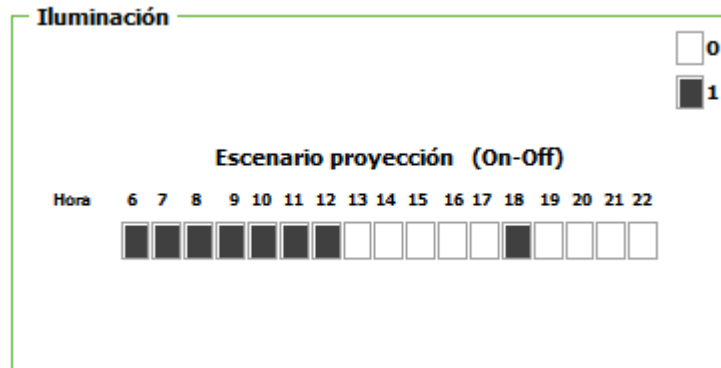


Figura F. 43 cuadro anexo de iluminación

El salón 402 tiene tubos solares que son activados manualmente, para simular el comportamiento de estos hacer click en la barra desplazable del cuadro de iluminación cuando esta activo este espacio, se activara una ventana (figura F.43) que muestra el porcentaje de apertura de los tubos solares .

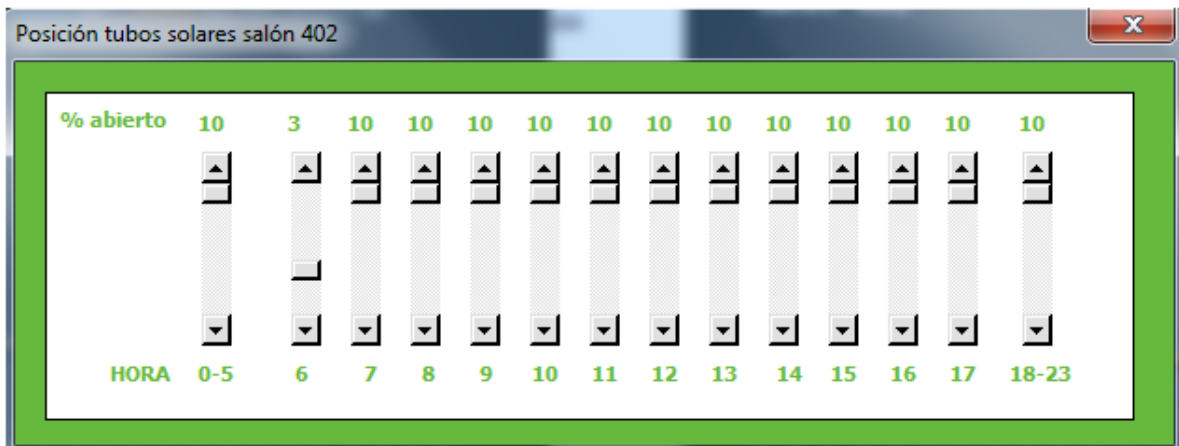


Figura F. 44 posición tubos solares salón 402

## Cuadro climatización

**Climatización**

Legend:  0,  1

HORA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
PUERTA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DA1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DA2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura F. 45 Cuadro climatización

El cuadro climatización permite manipular variables de entrada para el subsistema de automatización como puerta, detectores de apertura o encendidos del aire acondicionado según el espacio seleccionado. Cada botón representa 1 hora, el botón en estado blanco representa el estado cerrado para puertas y ventanas, apagado para el aire acondicionado. El botón en estado negro representa el estado abierto para puertas y ventanas o encendido para el aire acondicionado.

## Cuadro proyecto

**Proyecto**


Crear archivos día simulado 

Figura F. 46 cuadro proyecto

En este cuadro se tiene el botón “Crear archivos día simulado” que crea los archivos del día simulado y los guarda en la carpeta raíz de la herramienta, estos archivos se pueden analizar en las demás ventanas de análisis.

## Convertidor

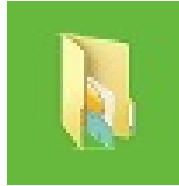


Figura F. 47 convertidor

Al hacer *click* en el icono convertidor (ver Figura F.46) abre una nueva ventana (Ver figura F.47) la cual permite ingresar nuevos días de trabajo para analizar, esta ventana consta de tres botones (Iluminación, climatización y radiación). Oprimiendo cada botón despliega una ventana de búsqueda. Los archivos que deben ingresar son los archivos .csv registros históricos que entrega la controladora *An-dover Continuum Infinet II*.

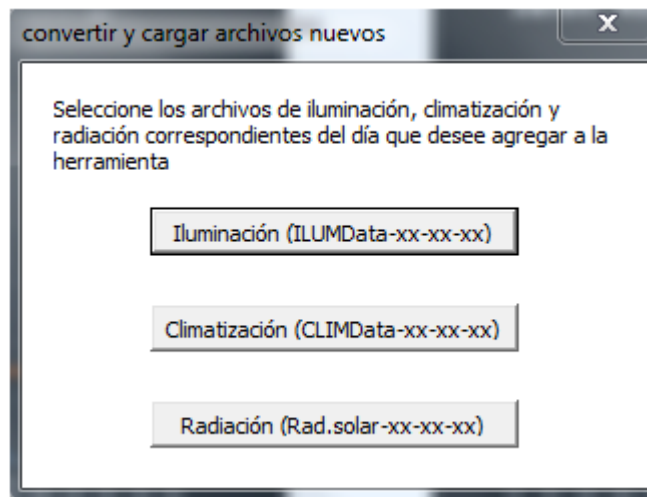




Figura F. 48 Convertidor y cargador de archivos nuevos

## Anexo G. Talleres realizados a miembros de la comunidad E3T

 <p>Universidad Industrial de Santander</p> <p>CONSTRUIMOS FUTURO</p>	<p><b>Taller complementario sobre el manejo de la Herramienta computacional para el análisis de la iluminación y la climatización automatizada de espacios específicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica</b></p>	
<p><b>Destinatarios:</b> Miembros de la E3T</p>		<p><b>Código:</b></p>
<p><b>Nombre:</b></p>		<p><b>Fecha:</b></p>

### 1. Cálculo de consumo a partir de la ventana funcionamiento.

La ventana funcionamiento permite al usuario interactuar con la interfaz para observar el consumo diario del sistema de iluminación, el valor máximo de radiación solar a partir de una curva tipo. Posibilita seleccionar el espacio que se desea analizar, elegir entre análisis de iluminación o climatización y cantidad de conmutaciones para cada espacio analizado

Por favor, diligencie la Tabla 1 con las siguientes indicaciones:





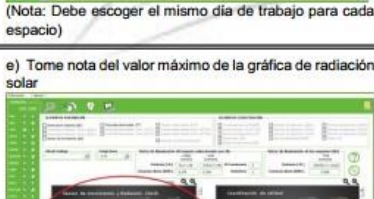

<p>a) Haga click en la ventana de funcionamiento que se muestra a continuación.</p> 	<p>b) Aparece la siguiente ventana. Ahora seleccione un día de trabajo.</p> 
<p>c) Seleccione un espacio de la columna (ILUM)</p>  <p>(Nota: Debe escoger el mismo día de trabajo para cada espacio)</p>	<p>d) Tome nota del consumo diario que aparece en la casilla señalada</p> 
<p>e) Tome nota del valor máximo de la gráfica de radiación solar</p>  <p>(Nota: Los valores de radiacion están al lado derecho)</p>	<p>f) Finalmente encuentre el consumo diario por espacio y número de conmutaciones.</p> 

Figura G. 1 Taller hoja 1

Realice los pasos b a f para cada uno de los espacios mostrados en la Tabla 1.

Día de trabajo: -8-1-14.xlsx		Consumo diario:	
Valor máximo de radiación solar:			
Espacio	Consumo diario total luminarias	Conmutaciones	
CPOS			
SAPRE			
SECADM			


Tabla 1

**2. Cálculo de consumo semanal a partir de la ventana consumo.**


La ventana consumo permite al usuario interactuar con la interfaz para observar el consumo diario y semanal del sistema de iluminación. Posibilita seleccionar los espacios listados y elegir entre analizar sistemas de iluminación o climatización.

Por favor, diligencie la Tabla 2 con las siguientes indicaciones:


a) Haga click en el icono de consumo que se muestra a continuación.




b) Ahora seleccione el espacio 401 en la columna ILUM




c) Seleccione para cada día, la fecha que aparece en la tabla 2. Ejemplo para día 1: 8-1-14.xls



d) Haga click en día 1 y tome nota del consumo diario como se muestra a continuación. Haga lo mismo para cada día.



e) Tome nota del consumo semanal que aparece en la casilla seleccionada



Fecha						
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
-8-1-14.xlsx	-8-2-14.xlsx	-8-3-14.xlsx	-8-4-14.xlsx	-8-5-14.xlsx	-8-1-14.xlsx	-8-2-14.xlsx
Consumo Día						
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
<b>Consumo semanal:</b>						


Tabla 2

**3. Cálculo de consumo semanal a partir de la ventana consumo.**


La ventana consumo permite al usuario interactuar con la interfaz para observar el consumo diario por espacio de los sistemas de iluminación y de climatización. También exhibe ciertas características como la cantidad de luminarias y conmutaciones.

Por favor, diligencie la Tabla 3 con las siguientes indicaciones:


a) Repita la indicación a) del ítem 2 y seleccione un espacio de la columna ILUM



b) Sin modificar los días 1 y 5 establecidos en la tabla 2, seleccione uno a uno los espacios de la tabla 3.



c) Tome nota del consumo por espacio, la cantidad de luminarias y conmutaciones, para cada espacio seleccionado, tal como se muestra en las casillas señaladas



Día 1				Día 5			
Espacio	Consumo	Cant. Lum	Conmutaciones	Espacio	Consumo	Cant. Lum	Conmutaciones
402_Z1				402_Z2			
SECPOS				PYS			
SDIR				SECADM			


Tabla 3

**4. Cálculo de consumo semanal a partir de la ventana consumo.**


En este ítem se podrá interactuar con la interfaz, para identificar los espacios que se les puede calcular el consumo energético del sistema automatizado de climatización y de esta forma observar la información que muestra esta ventana sobre el espacio 401, así como ciertas variables que inciden al momento de la automatización de dicho sistema.

Por favor, diligencie la Tabla 4 con las siguientes indicaciones:


a) Repita la indicación a) del ítem 2, identifique y tome nota de los espacios con sistema de climatización. Seguido de esto seleccione el espacio a analizar.



b) Sin modificar los días establecidos en la tabla 2, seleccione el día 2 y el día 6.



c) Anote los datos solicitados en la tabla 4 que se encuentran en la casilla seleccionada



<b>Espacios con sistema automatizado de climatización:</b>		
<b>Descripción espacio 401</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 6</b>
Consumo energético potencial por Ocupación (kWh)		
Consumo por uso del A.A (kWh)		
Consumo real total (kWh)		
Consumo por Uso correcto extractores (kWh)		
Consumo por Disponibilidad del A.A (kWh)		
Tiempo que se Usó extractores (hh:mm)		

**Tabla 4**


Figura G.4 Taller hoja 4

**5. Análisis de dimerización**


Este ítem permitirá al usuario adquirir información sobre los sistemas de dimerización aplicados al sistema de automatización del Edificio de Ingeniería Eléctrica según lo expuesto en la ventana de perfil de dimerización.

Por favor, diligencie la Tabla 6 con las siguientes indicaciones:


a) Haga click en la ventana Perfil dimerización que se muestra a continuación.



b) Tome nota de la fecha del día de trabajo



c) Complete la información de la tabla 6 con la información del recuadro seleccionado.



<b>Día de trabajo:</b>			
<b>Espacio</b>	<b>Consumo de energía [kWh]</b>		<b>Ahorro[kWh] Presencia y URE</b>
	<b>Presencia</b>	<b>URE</b>	
401 zona1			
401 zona2			
DE3T			
SDIR			

**Tabla 6**

**6. Análisis de dimerización**

Este ítem permitirá al usuario adquirir información sobre los sistemas de dimerización aplicados al sistema de automatización del Edificio de Ingeniería Eléctrica según lo expuesto en la ventana de perfil de dimerización. Conteste falso (F) o verdadero (V) a las 4 afirmaciones que a continuación se listan.







- I. El consumo en los espacios dados es menor cuando se utiliza solo sistema controlado por presencia, a cuando se utiliza el sistema de control integrado por presencia y URE. ( )
- II. Los sistemas monitoreados utilizan balastos dimerizables que regulan la intensidad luminica de las lámparas a partir de unas condiciones de radiación, permitiendo un ahorro energético. ( )
- III. El uso racional de la energía (URE) obtenido en el Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de los sistemas de automatización es considerable y permite un menor consumo. ( )
- IV. Las fotoceldas inciden en el índice de dimerización cuando hay presencia. ( )

Figura G. 5 Taller hoja 5

Los ítems 7 y 8, permitirán al usuario interactuar con la interfaz por medio de la manipulación de variables presentes en esta, para adquirir información sobre el funcionamiento de los sistemas automatizados del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de la ventana de simulación.

### 7. Análisis mediante simulación

Por favor, diligencie la Tabla 7 con las siguientes indicaciones.

<p>a) Haga click en el icono de simulación y elija el espacio 401.</p> 	<p>b) Ahora seleccione que haya presencia poniendo en 1 los botones del sensor de movimiento, en una franja horaria de 6:00 a 14:00</p> 
<p>c) Modifique las condiciones de día y tipo de día, haciendo click en cada uno de ellos.</p> 	<p>d) Ahora seleccione el comportamiento de DA1, DA2 y PUERTA, teniendo en cuenta que en 1 se encuentra abierto, y que la franja horaria sea de 6:00 a 14:00.</p> 
<p>e) Tome nota en la tabla 7 del consumo de iluminación y climatización por día y espacio</p> 	<p>f) Guarde el archivo simulado dando click en el icono seleccionado y asígnele un nombre a su gusto</p> 

<b>Consumo Iluminación total día</b>	<b>Consumo climatización total día</b>
<b>Consumo Iluminación espacio</b>	<b>Consumo climatización espacio</b>

Tabla 7

**8. Análisis mediante simulación**

Por favor responda las siguientes preguntas como Verdadero (V) o Falso (F) estando relacionadas con la ventana de análisis de simulación.



- I. Si en el salón 401 esta encendido el aire acondicionado y se abre la puerta, a los 30 segundos después de haberse abierto, la lámpara de cerrar puertas y ventanas se encuentra encendida. ( )
- II. Si en el salón 404 esta encendido el aire acondicionado, después de 5 minutos de abierta la puerta, el aire acondicionado se apaga. ( )
- III. Si están encendidas las luminarias y deja de haber presencia en el salón 401, después de 15 minutos estas se apagan. ( )
- IV. El porcentaje de radiación interna del segundo piso es de 3% ( )

**9. Análisis de funcionamiento**

Por favor llene la siguiente tabla con una X para diferenciar los espacios que tienen tubos solares con los que no poseen estos.

Tener en cuenta que los espacios listados en la interfaz que tienen tubos solares, se pueden identificar por un apostrofe que acompaña el nombre del espacio; por ejemplo 401'.

Espacios	Tubos solares	
	con	sin
Salón 401		
Coordinación de pregrado (CPRE)		
Secretaría de posgrados (SECPOS)		
Sala de reuniones (SREUN)		
Circuito cerrado de televisión (CCTV)		
Secretaría administrativa (SECADM)		
Coordinación de calidad (CALID)		
Sala de espera dirección E3T (SESTAR)		
Salón 405		

Observaciones y recomendaciones:

---

---

---

---

---

---

---

---

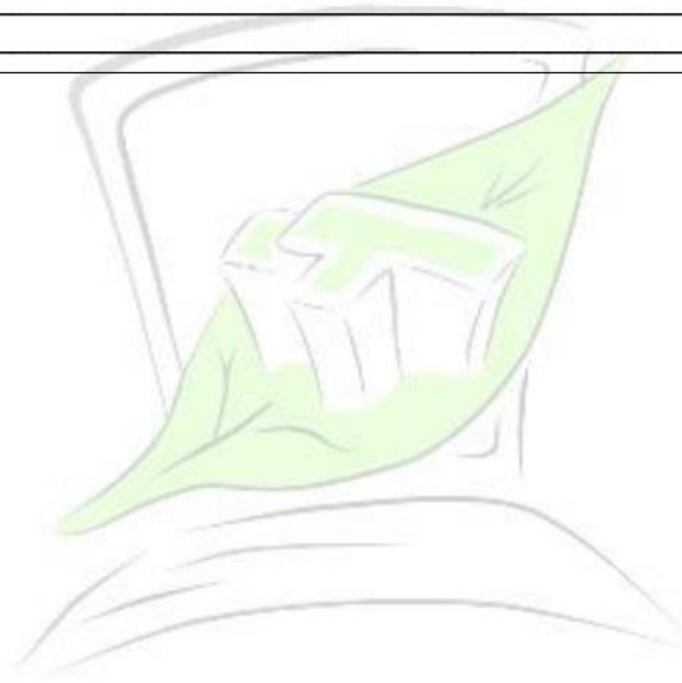




Figura G. 8 Taller hoja 8

## Anexo H. Encuesta realizada a miembros de la comunidad E3T

 		
<b>Validación de la Herramienta computacional para el análisis de la iluminación y la climatización automatizada de espacios específicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica</b>		
<b>Versión:</b> 1.0	<b>Año:</b> 2015	<b>Idioma:</b> Español
<b>Autores:</b> Julián René Benítez Cordero - Leidy Carolina Acevedo Celis - Andrés Eduardo Suárez Suárez		
<b>Destinatarios:</b> Miembros de la E3T		
<b>Nombre:</b> <i>Leidy Suárez</i>		

Marque con una X en la casilla según sea su apreciación. Si no sabe responder o no entiende la pregunta seleccione por favor NS/NR.		NS/NR	Bajo	Buena	Muy Buena
N°	Pregunta	—	33%	66%	100%
1	¿La interfaz de la herramienta es clara y atractiva?				X
2	¿Le fue fácil manipular los controles de la herramienta?				X
3	¿Logró comprender la operación de los sistemas automatizados de iluminación y climatización?			X	
4	¿Entendió el funcionamiento de dimerización?		X		
5	¿Comprendió el ahorro energético logrado a partir de la automatización de los sistemas de iluminación y climatización?			X	
6	¿Le resultó práctica la herramienta para simular el comportamiento de los sistemas de iluminación y climatización?			X	
7	¿Fue sencillo entender las gráficas presentadas en la interfaz?			X	
8	¿La información presentada en la herramienta fue útil y sencilla de entender?			X	
9	¿La información sobre los temas de iluminación y climatización híbrida para poder abordar la herramienta, fue suficiente?				X

Observaciones y recomendaciones:

---



---



---



---



---



---



---



---

Figura H. 1 Encuesta realizada a usuarios

## **Anexo I. HCASICA-E3T**

La herramienta computacional se encuentra en la carpeta Anexos del CD de este proyecto.