

## CONTROL Y MONITOREO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN AEROPORTUARIA: SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA LA PISTA NORTE DEL AEROPUERTO EL DORADO

### CONTROL AND MONITORING OF SYSTEMS OF AIRPORT ILLUMINATION: COMPUTATIONAL SIMULATION FOR THE NORTH RUNWAY OF THE AIRPORT EL DORADO

ALFREDO CHACÓN GARCÍA<sup>1</sup>

SOLANYI BUSTOS RODRÍGUEZ<sup>2</sup>

ÁNGELA MARCELA VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ<sup>3</sup>

#### RESUMEN

El alumbrado es un factor importante para una óptima relación funcional entre objetos, mecanismos, máquinas y personas que utilizan cotidianamente lugares abiertos como entornos de tarea. Particularmente en los aeropuertos, las operaciones y las supervisiones de las luces de sus pistas cuya responsabilidad recae en las unidades administrativas aeronáuticas se deben realizar en forma rigurosa durante el diseño y antes de la puesta en servicio, a fin de configurar, monitorear y controlar su funcionamiento. Este artículo, presenta el análisis, diseño, desarrollo e implementación de un Software, como alternativa automática y eficaz, para visualizar y controlar el sistema de iluminación de la pista norte del aeropuerto El Dorado de Bogotá (Colombia), a través de la simulación de características como la iluminación de aproximación (ALS), la pendiente de aproximación (PAPI); y de las configuraciones de luces de umbral, borde de pista, barra de ala, de rodaje transversales, de rodaje longitudinales y de barras de parada. estudio morfológico por AFM (Atomic Force Microscopy).

#### Palabras clave

Iluminación, aproximación, pendiente, sistemas de luces, umbral, barras, rodaje, regulador, SCADA, software supervisor.

#### Abstract

The lighting system is an important factor for an optimal functional relation between objects, mechanisms, machines and people who daily use places opened like task environments. Particularly at the Airports, the operations and supervisions

1 Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialista en Instrumentación Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Msc. (C) en Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana, integrante del grupo de investigación INTEGRA de la Universidad Distrital. Correo electrónico: alfredochacon@yahoo.com

2 Ingeniera en Control Electrónico e Instrumentación Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: ansolgie@yahoo.es

3 Ingeniera en Control Electrónico e Instrumentación Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: angmavel@yahoo.com

of the lights of their runways - whose responsibility falls on the Aeronautical Administrative Units - must be carried out in a rigorous way during the design and before putting into service with the purpose of setting up, monitoring and controlling their functioning. This article, presents the analysis, design, development and implementation of a Software, as an automatic and effective alternative, to visualize and control the illumination system of the North runway of the airport "El Dorado" of Bogota (Colombia), through the simulation of characteristics like the approach illumination (ALS), the approach slope (PAPD); and of the configurations of threshold lights, runway edge, wing bar, transverse taxiing, longitudinal taxiing and stop bars.

### Key words

Illumination, approach, slope, lights systems, threshold, bars, taxiing, regulator, SCADA, software supervisor.

## 1. INTRODUCCIÓN

La técnica de simulación involucra el modelaje de un proceso o sistema, de manera que el modelo imite la respuesta del sistema real a los eventos que ocurrirán a través del tiempo [12]; igualmente, la simulación puede involucrar un proceso de diseño de un modelo de un sistema real con el objetivo de experimentar con éste, para así entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias de operación de éste [11].

En el caso que nos ocupa, la simulación involucra un proceso de diseño y creación de un modelo computarizado, en el que se imitan las características de operación del sistema real de iluminación de la pista norte del aeropuerto El Dorado, con el propósito de proveer un mejor entendimiento del comportamiento del sistema para unas condiciones dadas [6]. Por ello, se han implementado métodos para estudiar una variedad de modelos de iluminación, y, a través de la evaluación arrojada

por el software poder controlar factores críticos estandarizados internacionalmente, [5] [7] [8].

Las etapas generales de un proceso de simulación, V. [2] son:

- Definición del problema. Se definen los objetivos del estudio para determinar su alcance o propósito.
- Planeación del proyecto. Se asegura la disponibilidad de recursos.
- Definición del sistema. Se determinan las restricciones y límites usados e investigar cómo trabaja el sistema.
- Formulación conceptual del modelo. Se desarrolla un modelo preliminar, ya sea gráficamente o en pseudocódigo para definir los componentes, las variables y las interacciones que constituyen el sistema.
- Diseño preliminar del experimento. Se seleccionan las medidas de desempeño, los factores y los niveles que se van a investigar.
- Preparación de los datos de entrada. Se identifican los factores de entrada y se recolectan los datos necesarios para el modelo.
- Transformación del modelo. Se formular el modelo en un lenguaje de simulación apropiado.
- Verificación y validación. Se confirma que el modelo opera de la manera adecuada y que los resultados son representativos de los resultados del sistema real.
- Diseño experimental final. Se diseña un experimento que va a arrojar la información deseada y se determina cómo se va a ejecutar cada una de las corridas experimentales.

- Experimentación. Se ejecuta la simulación para generar los datos deseados y realizar análisis de sensibilidad.
- Análisis e interpretación. Se realizan inferencias de los datos generados por la simulación.
- Implementación y documentación. Se utilizan los resultados y se documenta el modelo, para que se utilice con fines de representación, control o monitoreo.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Un objetivo importante en el alumbrado de un aeropuerto es cumplir misiones de aviso en condiciones peligrosas para las aeronaves en vuelo, señalando obstáculos o indicando la pendiente correcta de aproximación a una pista, proporcionar al piloto información de su situación en el espacio con respecto a la pista en las fases más críticas del vuelo (despegue y aterrizaje) y finalmente, informar el camino que debe seguir por el laberinto de las calles de rodaje, desde que abandona la pista hasta que llega a su puesto de estacionamiento y viceversa.

Las anteriores necesidades se pueden satisfacer, si se desarrolla un sistema general para operar y supervisar las luces de la pista del aeropuerto. En particular se busca un método que permita monitorear el estado de la iluminación, en general, de la pista norte del aeropuerto El Dorado, además de poder controlar el encendido/apagado y configuración de todos los sistemas de iluminación, visualización del estado de los equipos de campo y su control.

### 2.1 Identificación del sistema y subsistemas

La pista norte del aeropuerto internacional El Dorado, ubicado en Bogotá (Colombia), está a cargo de la dirección de Telecomunicaciones y Sistemas Electromecánicos de la Unidad Aeronáutica Civil

de Colombia (Aerocivil). Esta pista, cuya longitud es de 3.800 x 45m, se clasifica como Categoría I (Sistema de iluminación de aproximación de precisión CAT I), V [7] [8]; cuenta con los siguientes sistemas de iluminación: ALS, luces PAPI, taxeo, letreros, manga veletas, luces de eje y borde de pista, luces de umbral y barra de ala. Por lo tanto, se realizará la programación y simulación con base a los siguientes sistemas:

1. Sistema de Luces de Aproximación (ALS) y Luces de guía para el vuelo en circuito.
2. Sistema visual indicador de pendiente de aproximación.
3. Sistema de luces de identificación de barra de ala, umbral y borde de pista.
4. Sistema de luces de borde calle de rodaje transversales.
5. Sistema de luces de borde calle de rodaje longitudinales.
6. Sistema de barras de parada,

Igualmente, para realizar el control de iluminación en la pista es importante considerar el futuro balizamiento, teniendo presente las normas y especificaciones estipuladas y verificadas por la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) y la Federación Americana de Aviación (FAA), según el Manual de Proyectos de Aeródromos, en el que se declaran las pautas necesarias y reglamentarias a seguir [6].

El sistema de iluminación cuenta entre otros con los siguientes subsistemas:

- Sistema visual indicador de pendiente de aproximación (PAPI).

- Sistema de iluminación de aproximación (ALS).
- Luces de umbral, borde de pista, y barra de ala.
- Luces de borde de calle de rodaje transversales.
- Luces de borde de calle de rodaje longitudinales.
- Sistema de iluminación de las barras de parada.

**2.2 Identificación de las medidas de desempeño: elección del tipo y número de circuitos para utilizar**

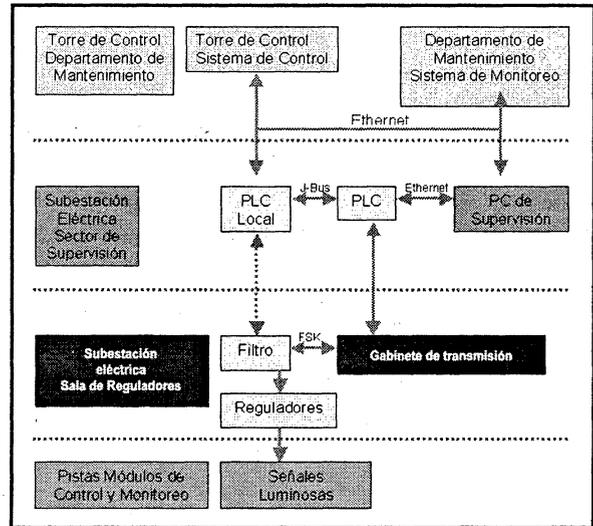
Los tipos de circuitos eléctricos en serie, que se conectan encadenados, son los que se ajustan a los requerimientos, ya que por cada uno de ellos circula la misma corriente. El circuito consiste en un bucle continuo que empieza y termina en la fuente de entrada de energía. Cuando se conecta a la carga una tensión de entrada fija, la corriente del circuito varía con la carga que se conecta; no obstante, los reguladores de corriente constante mantienen invariable ésta con independencia de la carga del circuito. En consecuencia, la corriente que fluye es la misma, independientemente de la longitud del circuito, y se mantiene sin variación en el caso de que falle algunas de las lámparas.

Está corriente constante significa que un cortocircuito sobre la salida de un regulador de corriente constante representa una condición de ausencia de carga. Para evitar que la falla de una lámpara, en un circuito serie sencillo, ocasione la apertura del circuito, se coloca un dispositivo de derivación, como un transformador de aislamiento.

**2.2.1 Sistema de Luces de Aproximación (ALS) y Luces de guía para el vuelo en circuito**

Este tipo de sistema tiene cuatro circuitos intercalados: dos para las barretas o luces fijas y dos para las luces de destellos secuenciales; esto se puede detallar en la figura 1. Cada circuito en

un servicio intercalado se extiende en todo el conjunto del sistema y está dispuesto de forma tal que, aún en el caso de falla de uno o más de los circuitos, sigue quedando una configuración de iluminación simétrica y equilibrada.



**Figura 1.** Intercalado mediante alternancia de las luces de cada barreta con todas las estaciones iguales en cualquier modo de trabajo del circuito.

**3. SISTEMA VISUAL INDICADOR DE PENDIENTE DE APROXIMACIÓN**

Estos sistemas tienen dos circuitos por cada extremo de pista. En este sistema se conecta a un circuito parte de las lámparas de cada unidad luminosa, y el resto de ellas a otro circuito, para mantener la integridad de la configuración aún con menor intensidad. Estos sistemas se desactivan cuando la falla de una unidad luminosa ocasiona una señal equívoca. Como lo muestra la figura 2.

Este tipo de sistema no tiene circuitos intercalados, así que cuando falle una lámpara, se suspende el sistema de la cabecera que esté en funcionamiento, optando, como ayuda otro tipo de iluminación o por radioayuda.

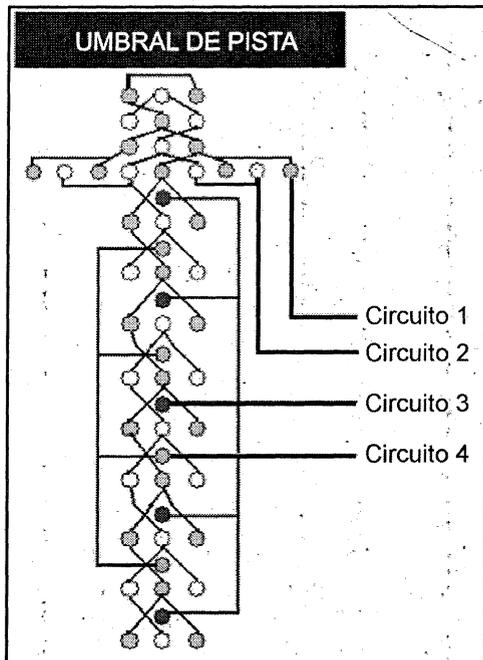


Figura 2. Circuito para el Sistema de Iluminación PAPI.

#### 4. SISTEMA DE LUCES DE IDENTIFICACIÓN DE BARRA DE ALA, UMBRAL Y BORDE DE PISTA

Las luces de umbral de pista quedan en un circuito independiente del sistema de iluminación de aproximación de pista. Pero siempre se tiene en cuenta que existe intercalamiento por si llegara a fallar alguno de los circuitos. Como lo muestra la figura 3.

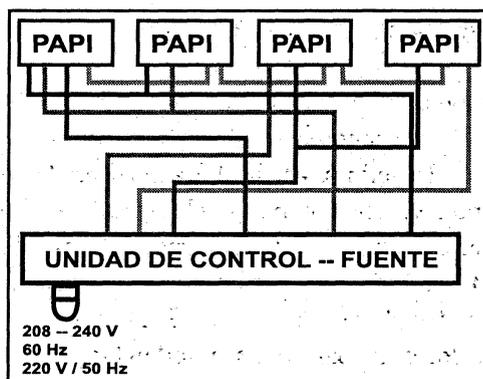


Figura 3. Luces de borde de pista en dos circuitos en serie intercalados.

#### 5. Sistema de luces de borde calle de rodaje transversales y longitudinales

Por economía se puede optar por utilizar este tipo de sistema o el sistema de iluminación de calles de rodaje, aunque en un aeródromo Categoría III, se hace uso de los dos sistemas. El circuito empleado debe permitir la iluminación selectiva de segmentos del sistema, con el objeto de proporcionar orientación de ruta a los pilotos. Esto se consigue si se emplea un regulador individual de corriente constante para cada segmento o si se conectan varios segmentos a un regulador único y utilizando relés selectores, que están en el campo o en el regulador, para cortocircuitar los segmentos que no formen parte de la ruta. El valor de tensión de los relés selectores es superior a la tensión en circuito abierto del regulador.

Para el sistema de borde de calles de rodaje transversales se hace uso de dos reguladores (uno por circuito) y de un selector con tres nodos de conmutación, los cuales funcionan si se activa el respectivo segmento, teniendo en cuenta que se pueden activar al mismo tiempo hasta tres segmentos, mostrando una gran cobertura de iluminación en la pista.

Para el sistema de borde de calles de rodaje longitudinal se hace uso de dos reguladores (uno por circuito), y diferentes a los de borde de calle de rodaje transversal, además, se hace uso de otro selector con tres nodos de conmutación, que funcionan si se activa el respectivo segmento, teniendo en cuenta que se pueden activar al mismo tiempo dos o tres segmentos, mostrando gran cobertura en la iluminación en la pista. Este tipo de circuitos deben ser intercalados para evitar la falla total en los circuitos de iluminación. Ver figura 4.

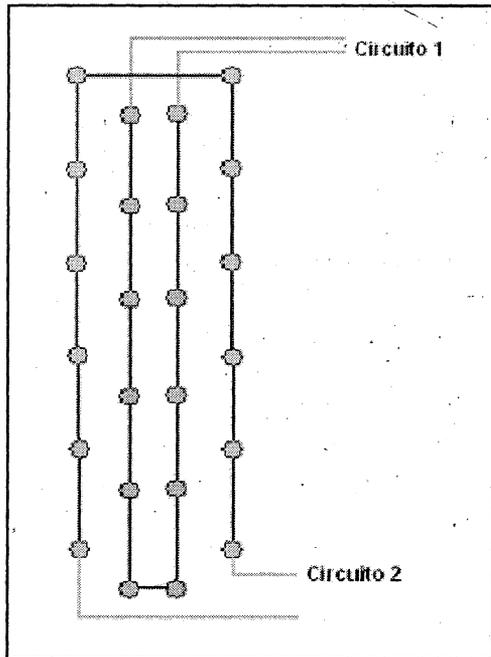


Figura 4. Intercalado en secciones en las que todas las luces son del mismo color.

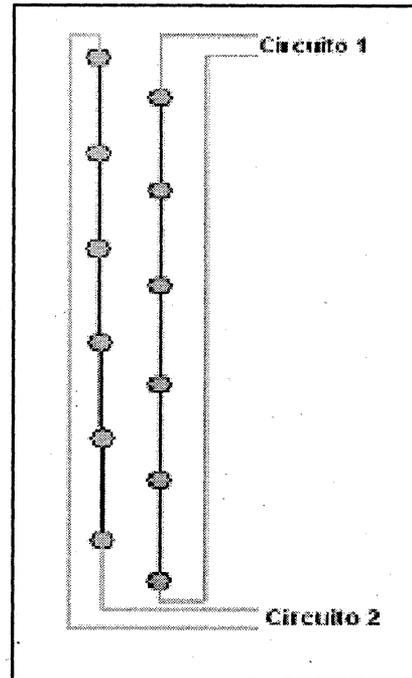


Figura 5. Conexión del selector

## 6. SISTEMA DE BARRAS DE PARADA

Las barras de parada se controlan de una manera especial, ésta posee reguladores, circuitos selectores y temporizadores. Los circuitos eléctricos se diseñan de modo que no fallen al mismo tiempo todas las luces de la barra de parada, las cuales deben estar intercaladas. Estas luces se conectan con dos circuitos independientes para cada barra de parada: en la cabecera y en el final de la pista.

En este caso, se pusieron unas pocas luces de calle de rodaje, para poder ser vista en forma correcta la simulación; dichas luces son controladas por un relé que se activa automáticamente cuando se energiza la bobina del temporizador. Cuando falle el circuito de temporización, también puede continuar su proceso, ya que cuenta con un botón de marcha manual, controlado, siempre desde la torre de control en modo REMOTO.

## 7. SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CORRIENTE

La energía eléctrica de la mayor parte de los circuitos de iluminación de superficie de los aeródromos, la suministran los reguladores de iluminación constante. Una vez elegido que la iluminación de la pista se controla por circuitos en serie, se debe seguir con la elección de la corriente.

## 8. SELECCIÓN DE LA CORRIENTE

Casi todos los circuitos en serie para la iluminación de los aeródromos son de 6.6 ó 20 Amperios a la intensidad máxima nominal. La pérdida de energía en línea para un conductor y longitud de cable fijos y para circuitos de 6.6 Amperios, es aproximadamente, la novena parte de la que se presenta con corrientes de 20 Amperios. Cualquiera de estos dos valores de corriente se pueden transportar por cables de aislamiento a 5000 voltios con conductores de 4 mm de diámetro, sin que se produzca un

excesivo aumento de temperatura. La carga del regulador de los circuitos en serie, debe ser como mínimo, la mitad de su capacidad de régimen.

### 9. REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE

Estos reguladores están proyectados para que produzcan una salida de corriente constante que es independiente de las variaciones de carga del circuito y de la tensión de la fuente de alimentación. Proporcionan dos o más corrientes de salida cuando hay que reducir la intensidad de las luces.

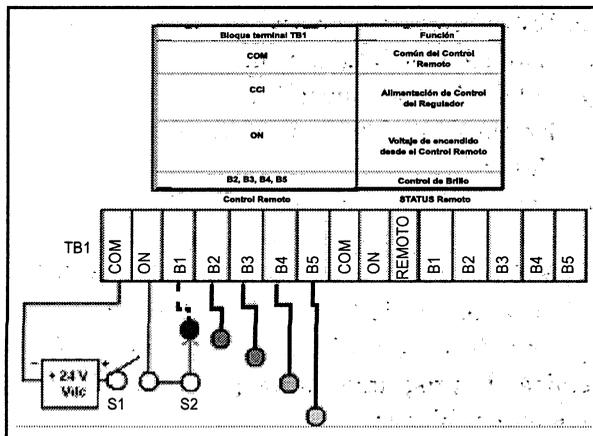


Figura 6. Conexión del control remoto del regulador de corriente constante

#### 9.1 Características operacionales

Los reguladores de corriente constante que alimentan a los circuitos de iluminación de los aeródromos poseen las siguientes características:

- Mantienen una salida de corriente constante dentro de un  $\pm 2\%$  cualquiera que sea la carga, desde la mitad de ésta a la plena carga hasta un 30% de transformadores de aislamiento con secundarios en circuito abierto.

- Indican una derivación a tierra en el circuito sin dejar de permitir que éste trabaje normalmente cuando esa derivación es única.

- Tienen un alto grado de fiabilidad, y en consecuencia, carecen de piezas móviles.

- Incorporan un dispositivo de apertura de circuito que bloquea la tensión del primario en dos segundos y obliga a la reposición del regulador.

- Responden a los cambios de circuito en menos de 15 ciclos.

- Incorporan un dispositivo de seguridad que pone fuera de servicio al regulador o reduce la corriente en caso de que éste sea excesiva.

- Proporciona el número necesario de ajustes de intensidad o un control continuamente variable de ella, según el caso. El regulador se diseña para poder cambiar ese ajuste de intensidad sin tener que desactivar aquél.

- Aíslan eléctricamente el circuito primario de alimentación, del secundario de alimentación.

- Trabajan continuamente a plena carga con temperaturas ambientes entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+55^{\circ}\text{C}$ , humedades relativas del 10 al 100% y altitudes hasta 2.000 m.

#### 9.2 Características de régimen

- Potencia: cargas de salida (secundario) entre 4 y 70 kilovatios.

- Corriente del secundario (Salida): 6.6 Amperios para cargas de 30 KW.

- Frecuencia: de 30 a 60 Hz, ya que es la requerida por la frecuencia de la alimentación primaria.

d. Tensión del primario: de 120 Voltios para 30 kilovatios.

Los niveles de salida de corriente, se ilustran en la Tabla 1.

Brillo del CCR ( 5 Pasos ) Posición del switch de control	Salida de Corriente Nominal RMS ( Amp )	Límites de Corriente de Salida ( Amp )
5	20	19,6 - 20
4	15,8	15,4 - 16,2
3	12,4	12,1 - 12,7
2	10,3	10,0 - 10,6
1	8,5	8,3 - 8,7

Tabla 1 Niveles de salida de corriente.

**10. TRANSFORMACIÓN DEL MODELO:  
DISEÑO DE LA SOLUCIÓN EN LENGUAJE  
DE PROGRAMACIÓN**

Se decidió hacer uso del programa RTP NetSuite, registrado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), C.A.O.I., Valle de Bravo. Versión 5.2.0.12 de agosto de 2004, como lenguaje de programación. Cuenta con un área de trabajo llamada NetArrays.

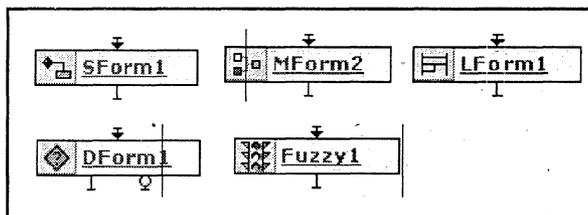


Figura 7. Objetos para realizar la programación en RTP NetArrays.

Allí se pueden identificar los siguientes objetos, que se describen brevemente:

1. SForm: este objeto permite la programación por medio de secuencias. Para inicializar el programa se requiere los siguientes objetos:

- a. Objetos especiales: caja de texto.
- b. Objeto principal del programa.
- c. Inicio de secuencia.
- d. Salida de secuencia.
- e. Parada para examinar la secuencia.
- f. Examinar la secuencia.
- g. Secuencia.
- h. Modulo de formas.
- i. Lenguaje de programación Ladder.
- j. Decisión.
- k. Entrada de bifurcación.
- l. Extensión de bifurcación.
- m. Salida de sincronización.
- n. Extensión de sincronización.
- o. Fuzzy.
- p. Verificación de estado.

2. MForm: este objeto causa la ejecución de los módulos referenciados por el nombre del tag que se especifica en el diagrama de bloques. Para realizar la programación se pueden utilizar los siguientes objetos:

- a. Objetos especiales: caja de texto.
- b. Objetos flotantes: constantes, variables, arreglos de variables, mayor que booleana, menor que booleana, igual booleana, mayor o igual que booleana, menor o igual que booleana, diferente que booleana, comparación booleana, invertido, valor absoluto, promedio, suma, resta, multiplicación, división, máximo, mínimo. límite, radio, entrada, generador de forma de onda, retardo de tiempo, FIFO, filtro, filtro corto/ filtro largo, integral, seno, coseno, tangente, arco tangente, exponente, poder, logaritmo exponencial, logaritmo en base 10, raíz cuadrada, alarma, TPC, PID, RL-PID.

c. Objetos enteros: constantes, variables, arreglos de variables, mayor que booleana, menor

que booleana, igual booleana, mayor o igual que booleana, menor o igual que booleana, diferente que booleana, comparación booleana, invertido, valor absoluto, promedio, suma, resta, multiplicación, división, máximo, mínimo, límite, radio, entrada, generador de forma de onda, retardo de tiempo, FIFO, filtro, tiempo, módulo, Bit variable, acumulado de contador, acumulado de temporizador, and, Nand, Or, Xor y complemento.

d. Objetos booleanos: constante, contacto, contacto normalmente abierto, contacto normalmente cerrado, Set, Reset, Flip-Flop al pulso de inicio, Flip-Flop al pulso final, retención abierta – retención cerrada, pulso, and, Nand, Or, Xor y complemento.

e. Contadores y temporizadores: contador, contador normalmente abierto, contador normalmente cerrado, acumulado de contador, arreglo de acumulado del contador, Reset de acumulado de contador, temporizador, temporizador normalmente abierto, temporizador normalmente cerrado, acumulado de temporizador, arreglo de acumulado del temporizador, Reset de acumulado de temporizador.

f. Conversiones: entero a flotante, entero a booleano, entero a BCD, BCD a-entero, booleano a entero, flotante a entero.

g. Formas de objetos: escape, inicio, entrada de inicio, salida de inicio, lenguaje C++.

h. Tablas de objetos: leer y escribir un elemento en una tabla, localiza en una tabla el primer valor especificado, escribe el valor de entrada de un número según la configuración de la tabla, mueve un número de una tabla, según la configuración realizada a otra tabla, realiza el arreglo de tablas haciendo uso de constantes.

3. LForm: este lenguaje de programación se realiza a través de contactos. Para la programación se hace uso de los siguientes objetos:

- a. Objetos especiales: caja de texto.
- b. Contactos: contacto normalmente abierto, contacto normalmente cerrado.
- c. Bobinas y reset: energización de bobina, energización de bobina al set, energización de bobina al reset, reseteo de contador, reseteo de temporizador.
- d. Disparos: disparo al ascenso, disparo al descenso.
- e. Temporizadores y contadores: contador al incremento, contador al decremento, temporizador al trabajo, temporizador al reposo, temporizador retentivo.

4. DForm: este es un bloque de decisión. Para su programación se hace uso de los siguientes objetos:

- a. Objetos especiales: caja de texto.
- b. Entrada de FForm: cuando el dato de entrada es un módulo de formas.
- c. DForms: cuando se requiere un falso o verdadero para continuar con los caracteres.
- d. MForms: cuando se incluye un módulo de formas.
- e. FForms: cuando se define un módulo de formas.
- f. CForms: cuando se desea programas en lenguaje C++.
- g. SForms: cuando se incluye para la programación secuencias.

5. Fuzzy: este objeto causa la ejecución de un lógico Fuzzy referenciado por el nombre del tag anteriormente especificado. Para su programación se requiere especificar:

- a. Entrada: allí aparece una ventana en la cual se selecciona las entradas de onda.

b. Reglas básicas: se especifica el método (AND – ACTivation - ACCUmulation).

c. Salida: allí aparece una ventana en la cual se selecciona las salidas de onda.

### 10.1 Programación sistema de iluminación de pista general

Para realizar la programación del sistema de iluminación de pista y calles de rodaje, se utilizaron los lenguajes de programación de forma secuencial, módulos de formas y Ladder.

### 10.2 Diseño experimental de la solución tipo SCADA

Se decidió hacer uso del programa RTP NetSuite, registrado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), C.A.O.I., Valle de Bravo. Versión 5:2.0.0 de 2001-2002, para programación del sistema SCADA, cuenta con un área de trabajo llamada RTPView. Y la programación se realiza a través de objetos y de Tags.

Para la programación a través de objetos se cuenta con:

a. Páginas: ésta es el área de trabajo principal de cada vista que se desee realizar. Contiene propiedades que se pueden modificar según criterio del programador; se pueden realizar cambios de nombre de página, velocidad de ejecución, nivel de seguridad, colores de fondo, además se pueden configurar como ventana popup y sus respectivas coordenadas.

b. Edición de textos: allí se pueden configurar propiedades de objetos o de datos, se puede colocar un texto cambiando el color, tamaño, alineación, borde, entre otros. Esta caja de texto posee su tag para realizar la programación propuesta.

c. Pinturas: allí se pueden configurar propiedades de objetos o de datos, el dato puede ser de modo ninguno, lectura, lectura escritura o llamada de RTPView. Las imágenes se pueden seleccionar de las previamente diseñadas y guardadas en el programa RTPView/Pictures, guardadas con extensión "bmp". Las operaciones de programación se realizan a través del tag creado en otro lenguaje de programación (Ladder, MForm, entre otros), y se puede crear botón de pulso, movimiento, llenado y escala, según lo desee el programador.

d. Indicadores: allí se pueden configurar propiedades de objetos o de datos. Las operaciones de programación se realizan a través del tag creado en otro lenguaje de programación (Ladder, MForm, entre otros), y se puede especificar anulaciones, grados de visualización, colores, posición, dimensiones, escalas, valores, entre otros, según lo desee el programador.

e. Generadores de ondas: allí se pueden configurar propiedades de objetos o de datos. Las operaciones de programación se realizan a través del tag creado en otro lenguaje de programación (Ladder, MForm, entre otros), y se puede especificar el respectivo tag con su color, valor mínimo, valor máximo, escala, offset, resolución, tamaño, bordes, colores, entre otros, según lo desee el programador.

### 10.3 Experimentación del diseño del supervisor para el sistema de iluminación de la pista norte del aeropuerto El Dorado

Ésta es la primera página que se presenta una vez se inicie o se ejecute el programa. El controlador debe tener en cuenta que esta es la página principal, ya que allí se encuentra la información total de la pista norte del aeropuerto internacional El Dorado. Únicamente, debe pulsar con el mouse en el botón donde desee hacer la respectiva modificación.

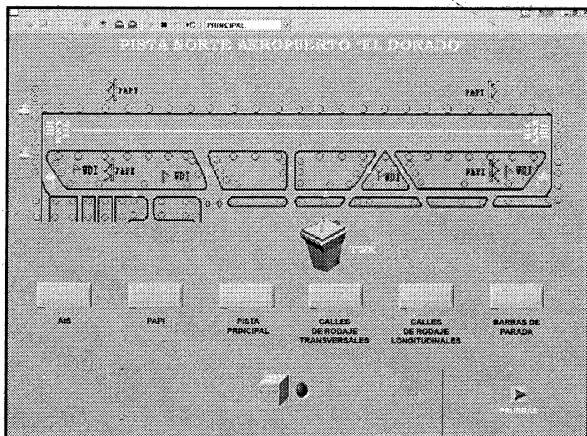


Figura 8. Diseño del Supervisor para el Sistema de Iluminación de la pista norte del aeropuerto El Dorado.

### 10.3.1 Diseño del supervisor para el Sistema de Luces de Aproximación (ALS) y luces de guía para el vuelo en circuito

Si en la página principal selecciona el botón ALS, se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página vista en la figura 9; aquí se puede activar o desactivar el sistema, así como incrementar o decrementar los niveles de brillo, según lo necesite el controlador. Para regresar a la página en la que se puede observar toda la pista, sólo se debe pulsar en el botón "PRINCIPAL".

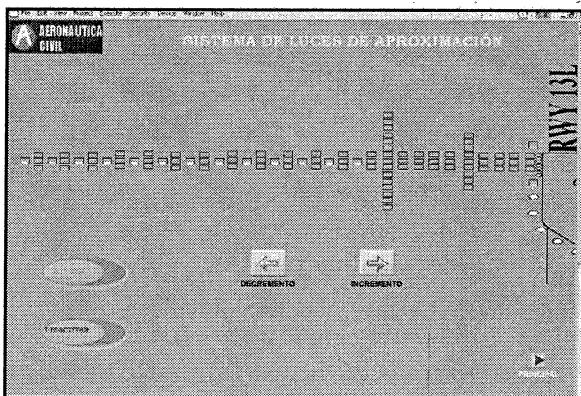


Figura 9. Diseño del supervisor para el Sistema de Luces de Aproximación (ALS) y luces de guía para el vuelo en circuito.

### 10.3.2 Diseño del supervisor para el sistema visual indicador de pendiente de aproximación

Si en la página principal selecciona el botón "PAPI", se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página vista en la figura 10; aquí se puede activar el respectivo Sistema Visual de Indicador de Aproximación en la cabecera o fin de la pista, se puede desactivar el sistema PAPI, en general, así como incrementar o decrementar los niveles de brillo, según lo necesite el controlador. Para regresar a la página en la que se puede observar toda la pista, sólo se debe hacer clic en el botón "PRINCIPAL".

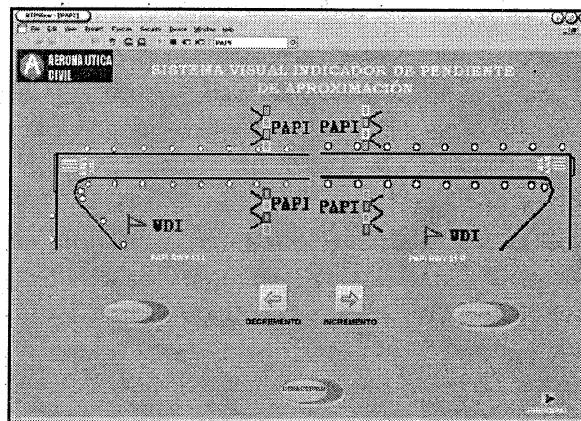
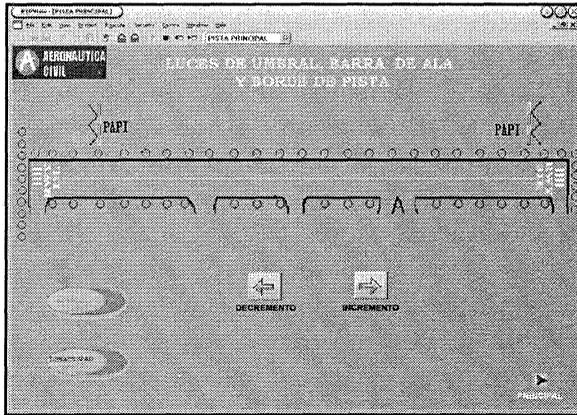


Figura 10. Diseño del supervisor para el sistema visual indicador de pendiente de aproximación.

### 10.3.3 Diseño del supervisor para el sistema de luces de identificación de barra de ala, umbral y borde de pista

Si en la página principal selecciona el botón "PISTA PRINCIPAL", se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página vista en la figura 11, aquí se puede activar o desactivar el sistema, así como incrementar o decrementar los niveles de brillo, según lo necesite el controlador. Para regresar a la página en la que se puede

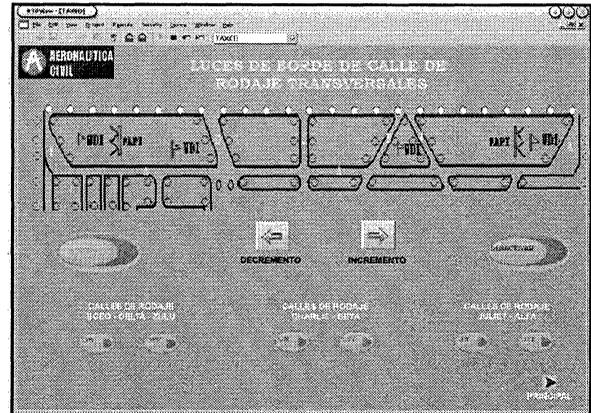
observar toda la pista, sólo se debe pulsar en el botón “PRINCIPAL”.



**Figura 11.** Diseño del supervisor para el sistema de luces de identificación de barra de ala, umbral y borde de pista.

#### 10.3.4 Diseño del supervisor para el sistema de luces de borde calle de rodaje transversales

Si en la página principal selecciona el botón “CALLES DE RODAJE TRANSVERSALES”, se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página vista en la figura 12; aquí se puede activar o desactivar el sistema en general, se selecciona las respectivas calles que se van a maniobrar, así como incrementar o decrementar los niveles de brillo, según lo necesite el controlador. Para regresar a la página en la que se puede observar toda la pista, sólo se debe pulsar en el botón “PRINCIPAL”.



**Figura 12.** Diseño del supervisor para el sistema de luces de borde calle de rodaje transversales.

#### 10.3.5 Diseño del supervisor para el sistema de luces de borde calle de rodaje longitudinales

Si en la página principal selecciona el botón “CALLES DE RODAJE LONGITUDINALES”, se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página de diseño del supervisor para el sistema; aquí se puede activar o desactivar el sistema en general, se selecciona las respectivas calles que se van a maniobrar, así como incrementar o decrementar los niveles de brillo, según lo necesite el controlador. Para regresar a la página en la que se puede observar toda la pista, sólo se debe pulsar en el botón “PRINCIPAL”.

#### 10.3.6 Diseño del supervisor para el sistema de barras de parada

Si en la página principal selecciona el botón “BARRAS DE PARADA”, se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página vista en la figura 13; aquí se puede activar el respectivo Sistema de Barras de Parada en la cabecera o fin de la pista, se puede desactivar el sistema en general, así como incrementar o decrementar los niveles

de brillo, según lo necesite el controlador. Para regresar a la página en la que se puede observar toda la pista, sólo se debe pulsar en el botón “PRINCIPAL”.

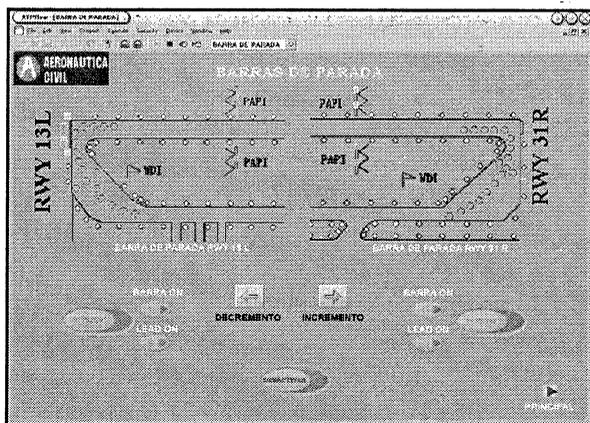


Figura 13. Diseño del supervisor para el sistema de barras de parada.

### 10.3.7 Diseño del Supervisor para las pruebas requeridas a modo de simulación

Si en la página principal selecciona el botón “PRUEBAS”, se mostrará una ventana de confirmación y a continuación la página vista en la figura 14; esta página se realizó como modo de simulación, aquí se puede activar o desactivar los botones que el controlador no puede maniobrar directamente desde la torre de control, se fuerza una o varias entradas en los diversos sistemas de iluminación y se corrobora el diseño teniendo en cuenta la normatividad estipulada por los diferentes entes de la Aeronáutica (OACI, FAA, entre otros). Para regresar a la página en la que se puede observar toda la pista, sólo se debe pulsar en el botón “PRINCIPAL”.

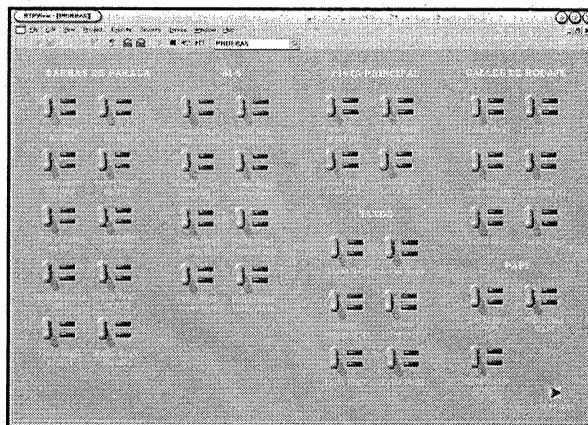


Figura 14. Diseño del supervisor para las pruebas requeridas a modo de simulación.

## 11. SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda para una futura implementación, conseguir la versión completa RTP NETSUITE, ya que como versión demo o estudiantil sus características no son las ideales (esta versión no es completa). Para trabajar a modo de simulación éste era el único programa que se pudo conseguir y se que adaptaba a las necesidades del proyecto. Pero en una aplicación real este programa presenta falencias como, por ejemplo, en el manejo de alarmas y la programación del SCADA no es tan completa.

Se sugiere trabajar un SCADA más comercial y el programa del PLC (lenguaje de programación ladder) que fue diseñado es totalmente compatible con otros programas, es decir, no habría problema en pasarlo de un programa de desarrollo de PLC a otro. Como diseño del SCADA se puede utilizar el mismo lo que variaría sería la programación del SCADA, pero el programa podría ser un poco más completo.

## 12. CONCLUSIONES

- Para realizar un supervisor y monitoreo del sistema de iluminación de cualquier pista en Colombia, es fundamental registrarse por la normalización de los procedimientos, reglamentos equipos e infraestructuras relacionadas con el tráfico aéreo. Estas normas se encuentran estipuladas en el Anexo 14 de Aeródromos que trata de las ayudas visuales luminosas en éstos.
- El software de supervisión, control y monitoreo de la pista norte del Aeropuerto Internacional El Dorado tiene como función principal permitir el manejo de activación, desactivación y variación de los niveles de brillo de las luces que se ubican en la pista y sus respectivas vías de circulación.
- Control de las barras de parada: para esta simulación se hace uso de temporizadores, previamente seleccionados por las condiciones reales de un piloto en la pista.
- Una de las principales ventajas al haber desarrollado el SC&M de la Pista Norte, es que, al haber fallas en cualquier regulador, o cuando éste se encuentre en modo local, la persona que maneje el programa, puede notar el cambio inmediatamente, además, y por mayor seguridad, se interrumpe el proceso, esto para evitar que existan accidentes trágicos, debido a la mala comunicación o a la suposición de alteración de iluminación en la pista.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bugallo, F. y Lozano C. (2002). Alumbrado aeronáutico aeroportuario. Madrid: Plaza del Cardenal Cisneros.
- [2] Carmona, D.A. (1999). Estudio de sistemas flexibles de manufactura con limitaciones de capacidad de almacenamiento y transporte. Tesis de Grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Industrial. Santafé de Bogotá, D.C. Universidad de los Andes.
- [3] Distefano, J. y Stubberud, A. (1993). Retroalimentación y sistemas de control. Madrid. Editorial McGraw-Hill. 2ª Edición.
- [4] Dormido, S. (1995, julio). Control automático: evolución histórica. Curso de Verano de Control de Procesos: de la Teoría a la práctica. Dpto. de Informática y Automática. UNED.
- [5] Flower, L. (2003) Controles y automatismos eléctricos. Bogotá, Colombia. 8a edición.
- [6] Kelton, W. David, Sadowski, Randall P., Sadowski, Deborah A. (1998) Simulation with Arena.
- [7] Organización de Aviación Civil Internacional "OACI". (1983). Manual de proyectos de Aeródromos parte V. sistemas eléctricos. Doc 9157-An/901. Primera Edición.
- [8] (Julio 2004). NORMAS Y MÉTODOS RECOMENDADOS INTERNACIONALES OACI. En Organización de Aviación Civil Internacional "OACI" (Org), Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional Aeródromos Vol. IV Diseño y operaciones de aeródromos (pp. 5-17 a 5-50). España: OACI.
- [9] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (1996). Procedimientos

para los servicios de navegación aérea. Reglamento del aire y Servicios de tránsito aéreo. DOC 4444-RAC/501. Décima tercera edición.

- [10] Pascual, E. (1999). REORDENACIÓN POR TIPO DE PISTA DE VUELO. En Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) (Org), Apartado 5.3 Luces Del Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional Volumen I Diseño y Operaciones de Aeródromos (pp 5-11 a 5-16). España: OACI.
- [11] Pegden C.D., Shannon R.E., Sadowsky R.P. (1990) Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill, New York. 25
- [12] Schriber, T. J. (1987). The Nature and Role of Simulation in the Design of Manufacturing Systems. Simulation in CIM and Artificial Intelligence Techniques (25).