

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MODULAR PARA EL CONTROL DE ILUMINACIÓN, TEMPERATURA E INUNDACIÓN, EN UN AMBIENTE DE OFICINAS

Profesor Guía: Ing. Simón Morales
Tutor Industrial: Ing. Enrique Delgado

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Andrés M., Betancourt M.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2008

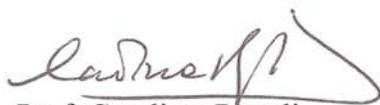
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 7 de Noviembre de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Andrés Manuel Betancourt Mendoza, titulado:

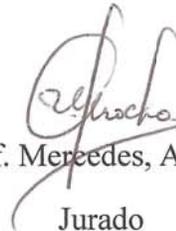
**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MODULAR
PARA EL CONTROL DE ILUMINACIÓN, TEMPERATURA E
INUNDACIÓN, EN UN AMBIENTE DE OFICINAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, Computación y Control, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Carolina, Regoli

Jurado



Prof. Mercedes, Arocha

Jurado



Prof. Simón, Morales

Profesor Guía.



DEDICATORIA

Dios,

Gracias por darme fuerza durante los momentos difíciles, y calma en las situaciones adversas de mis estudios.

A mis Padres Gladys M. Mendoza de B. y Andrés R. Betancourt Almeida, mis triunfos son sus logros.

A mi hermana Dislyan, por su constante estímulo y apoyo durante mi formación.

A mi ahijado Adrián Jesús y su hermana Lucia Paola, que este trabajo les sirva de ejemplo para culminar lo que se propongan en sus vidas.

A mis abuelos, Luisa, Jesús, Carmen, Andrés.

A mis padrinos Manuel Rodríguez y Rita, por su apoyo incondicional.

A mis tíos, en especial Chabalo, Luis Félix Cheché, Luisa, J. Rodríguez, Zaida, Junior, Ana, Fermín.

A mis primos, especialmente a Luisa...

En Fin a todos aquellos que se sientan identificados con mis logros, mi triunfo les pertenece.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A mis Padres Gladys Mendoza de B., y Andrés R. Betancourt, pilares y guías en mi vida, que con su formación me permitieron llegar a donde me he propuesto.

A mi Hermana Dislyan, por estar a mi lado cuando la necesité.

A mi Abuela Luisa , quien siempre ha estado en los momentos importantes de mi vida.

A mis Tíos Junior y Ana, a sus hijos Adrian y Lucía, por su apoyo y cariño incondicional desde España, además de hacer lo posible por enviarme la bibliografía requerida.

Gracias a la Dra. Zulay Rodríguez, quien me apoyó y asesoró durante la elaboración del presente Trabajo de Grado.

A mis compañeros y amigos con los que compartí momentos inolvidables de mi vida universitaria.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela y a los profesores que contribuyeron en mi formación académica, y muy especialmente al Prof. Simón Morales por su tiempo y dedicación como Profesor Guía, así como al personal administrativo y obrero.

Al Ing. Enrique Delgado Director de Intrave C.A. quien me proporcionó la oportunidad de desarrollar el presente Trabajo de Grado, mientras realizaba proyectos, que sirvieron para adquirir nuevos conocimientos, y afianzar los adquiridos en la U.C.V proporcionándome experiencia laboral importante en el inicio de mi carrera profesional. Gracias a la familia Delgado Gutiérrez, Penélope, Ricardo, Jorge y Nancy. Así como mis compañeros de trabajo quienes me brindaron su apoyo Flor, Milagros y por último Rigel quien me ayudó en la

canalización y elaboración de los tableros necesarios para la culminación del presente Trabajo de Grado.

Andrés M., Betancourt Mendoza

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MODULAR
PARA EL CONTROL DE ILUMINACIÓN, TEMPERATURA E
INUNDACIÓN, EN UN AMBIENTE DE OFICINAS**

Tutor o Profesor Guía: Simón Morales. Tutor Industrial: Ing. Enrique Delgado. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Mención Electrónica, Computación y Control. Institución: INTRAVE C.A. 2008. Trabajo de Grado. 76 h.+ anexos.

Palabras Claves: Sistema de Monitorización y Control; Iluminación de oficina; Temperatura de oficina; Inundaciones; Fugas de Agua; Alarma Contra Intrusiones; Simulador de presencia; Modbus; TCP/IP; Controlador Lógico Programable; Domótica; Inmótica; HMI, Generador Congruencial Lineal.

Resumen. Se plantea el diseño e implementación del sistema de monitorización y control de la iluminación, temperatura, inundaciones y/o fugas de agua, y alarmas contra intrusiones en un ambiente de oficinas. Asimismo, se implementó un sistema aleatorio de simulación de presencia, basado en un generador congruencial lineal, de manera que las zonas seleccionadas por el usuario y el tiempo de activación sean aleatorios; sistema que permite proporcionar un nivel de seguridad preventivo a la compañía. El área de estudio lo conforman 150 m², distribuidos en las tres (3) plantas de la sede principal de Intrave C.A. Caracas. Para la implementación del sistema se requirió la instalación de dos (2) controladores lógicos programables conectados a través de modbus sobre TCP/IP, sensores de presencia infrarrojo pasivos, temperatura, caudal y relés electromecánicos para efectuar las acciones de control, seleccionados e instalados bajo las recomendaciones propuestas en el diseño; permitiendo la implementación del sistema diseñado y la verificación de su correcto funcionamiento.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	xvi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS	4
ALCANCES.....	5
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Evolución de los Sistemas de Control.....	6
2.2. Automatización de las Edificaciones	10
2.2.1. Red Domótica de Control.....	11
2.2.2. Arquitectura de las Redes Domóticas	12
2.2.3. Variables de Control Domótico.....	14

2.2.3.1. Iluminación.....	15
2.2.3.2. Calidad de Ambiente	16
2.2.3.3. Control de Acceso	20
2.2.3.4. Central o Control de Alarmas	21
2.2.3.5. Simulador de Presencia	22
2.3. Antecedentes en Sistemas de Control Domóticos e Inmóticos.....	27
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	30
3.1. Diseño de la metodología.....	30
3.1.1. Metodología para el Diseño del Sistema de Control.....	30
3.1.2. Metodología para la Implementación del Sistema de Control	31
CAPÍTULO IV	
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	32
4.1. Especificaciones del Sistema	32
4.2. Diseño del Sistema de Automatización y Control	33
4.2.1. Estudio y Evaluación de la Edificación.....	33
4.2.1.1. Evaluación y Documentación de las Áreas de la Compañía.....	33
4.2.2. Sistemas de Control.....	40
4.2.2.1. Sistema de Iluminación	40
4.2.2.2. Sistema de Aire Acondicionado	40
4.2.2.3. Sistema de Aguas Blancas.....	40
4.2.3. Metodología para la Selección de los Sensores, Actuadores y Controladores.....	41
4.2.3.1. Sensores.....	41

4.2.3.2. Actuadores	42
4.2.3.3. Controladores	42
4.3. Concepto del Sistema Diseñado.....	44
4.3.1. Sistema de Iluminación	45
4.3.1.1. Control Automático de Iluminación en Áreas Internas	45
4.3.1.2. Control Automático de Iluminación en Áreas Externas o Perimetrales	46
4.3.2. Sistema de Control de Temperatura	48
4.3.2.1. Control On/Off de Temperatura	48
4.3.2.2. Control del Encendido de las Unidades.....	49
4.3.3. Sistema de Detección de Fugas de Agua.....	49
4.3.3.1. Medición del Consumo de Agua	49
4.3.3.2. Detección Local de Fugas de Agua	49
4.3.4. Sistemas de Alarma.....	50
4.3.4.1. Alarma Contra Intrusiones.....	50
4.3.4.2. Simulador de Presencia	50
4.3.4.3. Alarmas por Inundaciones y/o Fugas de Agua.....	50
 CAPÍTULO V	
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	51
• Planta Baja	51
• Planta Alta	52
5.1. Controlador o Sistema de Control.....	53
5.1.1. Comunicación.....	54

5.1.2. Evaluación del Número de Sensores, Actuadores y Controladores (“Hardware”).....	55
5.2. Implementación del Sistema de Control de Iluminación	57
5.2.1. Modo Manual del Sistema de Iluminación	57
5.2.2. Modo Automático del Sistema de Iluminación.....	58
5.2.2.1. Pruebas del Sensor de Presencia.....	59
5.2.3. “Hardware” Instalado para el Control de Iluminación.....	61
5.3. Implementación del Sistema de Control de Temperatura.....	61
5.3.1. “Hardware” Instalado para el Sistema de Monitorización de Temperatura y Control de Carga.	62
5.4. Implementación del Sistema de Alarmas de Fugas de Agua y/o Inundaciones	63
5.4.1. “Hardware” instalado para la Detección de Fugas y/o Inundaciones	63
5.5. Sistema de Detección de Intrusiones	64
5.6. Modo de Simulador de Presencia	64
5.6.1. Selección de Zonas del Simulador de Presencia	64
5.6.2. Sistema Aleatorio de Control de Activación de Zonas	66
5.6.3. Período Aleatorio de Duración de la Zona Activada	66
5.6.4. Activación Aleatoria de la Iluminación de las Zonas Seleccionadas.....	67
5.6.5. Pruebas del Generador Congruencial Lineal.....	67
5.6.5.1. Programa de Prueba para Generar Números Aleatorios Bajo el Método Congruencial Lineal.....	68
5.6.5.2. Metodología para la Selección de a y c, Adecuadas para la Aplicación.	68

CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS	77
[ANEXO No. 1]	78
[Autómatas Programables].....	78
[ANEXO No. 2]	92
[Protocolos de Control Domótico].....	92
[ANEXO No. 3]	107
[Ambiente de Programación].....	107
[ANEXO No. 4]	112
[Manuales de los controladores, Módulos de Entradas/Salidas, y Sensor de Presencia]	112
[ANEXO No. 5]	165
[Manual del Sistema de Monitorización y Control de la sede principal de la compañía Intrave C.A.]	165

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitectura Centralizada.....	13
Figura 2: Arquitectura Descentralizada.	13
Figura 3: Arquitectura Distribuida.	14
Figura 4: Red de Control Domótica.....	15
Figura 5: Diagrama de Bloques de un LFSR de 4 bits.....	25
Figura 6: Diagrama de Estado del Registro (secuencia de números generados).....	26
Figura 7: Planta Baja de la Sede Principal de Intrave C.A.	34
Figura 8: Planta Alta de la Sede Principal de Intrave C.A.....	38
Figura 9: Control de Iluminación en las Áreas Internas	46
Figura 10: Control de Iluminación Perimetral	47
Figura 11: Tablero de Control de la Planta Baja.....	56
Figura 12: Tablero de Control de la Planta Alta.	56
Figura 13: Interfaz en el HMI del Modo Manual de Iluminación, Planta Baja.....	58
Figura 14: Interfaz en el HMI del Modo Manual de Iluminación, Planta Alta.	58
Figura 15: Interfaz Gráfica del Sistema de Monitorización de Temperatura, Planta Baja.....	62
Figura 16: Interfaz Gráfica del Sistema de Monitorización de Temperatura, Planta Alta.	62
Figura 17: Selección de Zonas del Simulador de Presencia, Planta Baja.	65
Figura 18: Selección de Zonas del Simulador de Presencia, Planta Alta.....	65
Figura 19: Histograma de una Secuencia de Números Aleatorios Generados con el Método Congruencial Lineal, $a=21$, $c=1$, $m=100$, $X_0=5$	70

Figura 20: Diagrama de Bloque de la Arquitectura de un Autómata Programable.....	80
Figura 21: Forma de Operación de un Autómata Programable (PLC).	83
Figura 22: Secuencia de Programa de un Autómata Programable (PLC).....	84
Figura 23: Organización de la Memoria del Autómata (PLC).....	85
Figura 24: Diagrama de Escalera para el Arranque y Parado de un Motor.	86
Figura 25: 6.a Función AND, 6.b Función OR, 6.c Función NOT, 6.d Aplicación de un Diagrama Funcional de Bloque ((I3.7&I3.2&NOT(Q4.2))→Q4.11)	87
Figura 26: Graficet de un Generador de Señal Cuadrada en la Salida Cero (0)	90
Figura 27: Representación de los Tiempos de los Pulsos del Protocolo X-10,.....	95
Figura 28: Visilogic, Modo de Programación en Diagrama de Escalera.	108
Figura 29 Visilogic, Bajo el Modo de Programación del HMI.....	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros del método Congruencial.....	27
Tabla 2: Entradas y Salidas de la implementación de la Fase I del sistema de control, Planta baja.....	52
Tabla 3: Entradas y Salidas de la implementación de la Fase I del Sistema de Control, Planta Alta.	53
Tabla 4: Resultados de la prueba del sensor de presencia V-Motion S084	60
Tabla 5: Elementos de programación de un GRAFCET.....	88
Tabla 6: Listado de instrucciones correspondiente a la Figura 6.d.....	91

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADC:	Analogic to Digital Converter (Convertidor Analógico Digital)
API:	Autómata Programable Industrial.
BACnet:	Building Automation and Controls network (red de automatización y control de edificaciones).
CEBus:	Consumer Electronic Bus (Bus de Artículos electrónicos).
CPU:	Control Processing Unit (Unidad de Control de procesamiento).
CSMA/CA:	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (Método de acceso múltiple por detección de portadora con anulación de colisiones).
CSMA/CD:	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (Método de acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisiones).
DAC:	Digital to Analogic Converter (Convertidor digital analógico).
EEPROM:	Electrically-erasable programmable ROM Type (Memoria Programable Eléctricamente de tipo ROM).
EHS:	European Home System (Estándar Europeo para equipos del hogar.
EIB:	European Instalation Bus (Protocolo Europeo del bus de instalación)
FBD:	Function Block Diagrams (Diagrama de Bloques de funciones).
GRAFCET:	Graphe Fonctionnel de Commande Étapes/Transitions (Gráfica de Control de Etapas de Transiciones).
IL:	Instruction List (Lista de Instrucciones).
IP:	Internet Protocol (Protocolo de Internet).
LAD:	Ladder Diagrams (Digrama de Escalera).

LAN:	Local Area Network (red de área local).
MODICON:	Modular Digital Controller (Controlador Digital Modular).
MS/TP:	Master-Slave/Token-passing (red maestro esclavo con paso de testigo).
OSI:	Open Systems Interconnection.
P2P:	Peer To Peer (conexión igual a igual).
PC:	Personal Computer (computador personal).
PIR:	Passive Infra Red (sensor infrarrojo pasivo).
PLC:	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).
RAM:	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).
RF:	Radio Frecuencia.
ROM:	Read Only Memory (Memoria de Solo Lectura).
RTD:	Resistance Temperature Detector (Termo resistor).
SCADA:	Supervisory Control And Data Acquisition (sistema de supervisión, control y adquisición de data).
SCP:	Simple Control Protocol (Protocolo Simple de Control)
SFC:	Sequential Function Charts (Gráfica de control de Etapas).
SSR:	Solid State Relay (Relé de Estado sólido).
ST:	Structured Text (Programación en texto estructurado).
TCP:	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión).
UDP:	Universal Datagram Protocol (Protocolo de Datagrama de Usuario).
UPnP:	Universal Plug and Play (Conectar y usar universal).
UTP:	Unshielded Twisted Pair (par trenzado sin blindaje).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La creciente aplicación de sistemas de automatización para mejorar el confort, la seguridad, administración y optimización de servicios en las edificaciones, son temas de interés para especialistas en el área de control, pues el campo de aplicación es destinado a viviendas, edificios de oficinas, instituciones educativas, laboratorios, hospitales, entre otros; y son la diversidad de ambientes a controlar, la creciente demanda de ambientes automatizados, los factores que han motivado la investigación y desarrollo del presente Trabajo de Grado titulado:

Diseño e Implementación de un Sistema Modular para el Control de Iluminación, Temperatura e Inundación, en un Ambiente de Oficinas

En el presente trabajo se expone el diseño e implementación de un sistema de control de temperatura, iluminación y fugas de agua, en un entorno empresarial u oficina de la compañía Intrave C.A. ubicada en Caracas, Distrito Capital. Venezuela; implementado con una red de Controladores Lógicos Programables.

La investigación se resume en cinco (5) capítulos, a través de los cuales se presenta de forma ordenada desde el desarrollo teórico hasta la implementación de un diseño propuesto para la automatización de las variables de iluminación, temperatura, y generación de alarmas por fugas de agua e intrusiones.

En el Capítulo I se plantea el problema, así como el objetivo general, y los objetivos específicos. Seguidamente, en el Capítulo II, se presenta una recopilación teórica, comenzando con una breve investigación histórica de la evolución de los sistemas de control. A continuación se introduce el término Domótica/Inmótica, así como las características más relevantes de un sistema de automatización de una

edificación, las variables Domóticas de interés para este Trabajo de Grado, y por último los antecedentes Nacionales, e Internacionales relacionadas con el mismo.

La metodología empleada para la presentación del Diseño e implementación, se expone en el Capítulo III.

El Capítulo IV presenta la investigación, y desarrollo teórico cuyo resultado es el Concepto de un sistema de control para las variables de Iluminación, temperatura, y generación de alarmas por fugas de agua e intrusiones.

Posterior a la presentación del diseño del sistema de control, el Capítulo V resume La Fase I de la Implementación del Sistema de Control planteado, así como también las pruebas realizadas y sus resultados, previo a la implementación del diseño.

Por último se presentan las Conclusiones y Recomendaciones del Trabajo de Grado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El avance de la ciencia y la tecnología ha incidido en el desarrollo de la computación, que de alguna manera se encuentra al alcance de las personas, por lo que involucra a la sociedad, y en consecuencia la ingeniería no escapa de esta evolución. De lo anterior se desprende que el perfeccionamiento técnico y las nuevas tecnologías se pueden aplicar a las edificaciones, lo que da origen al concepto de Automatización de edificaciones.

Las edificaciones inteligentes deben reunir ciertas características que las distinguen como tales: flexibilidad, seguridad, confort y ecológico.

De lo antes expuesto se desprende la importancia del problema planteado en la presente investigación: “Diseño e Implementación de un Sistema Modular para el Control de Iluminación, Temperatura e Inundación en un Ambiente de Oficinas”, que pretende proporcionar el diseño y posterior implementación de un sistema de monitorización y/o control de las principales variables Domóticas, así como sistema demostrativo en la sede de la compañía Intrave C.A. para la automatización de edificaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema modular de control de iluminación, temperatura, y fugas de agua con un Controlador Lógico Programable, para un ambiente de oficinas de la Compañía Intrave C.A., en Caracas, Venezuela.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los sensores, y actuadores relacionados con los sistemas Domóticos/Inmóticos para el control de iluminación, temperatura e inundaciones, limitando la cantidad y tipo al presupuesto de la compañía Intrave C.A, asignados para el proyecto.
- Seleccionar el Controlador Lógico Programable a emplear para la aplicación.
- Determinar la disposición física de los sensores, actuadores y del sistema de control para su consiguiente instalación.
- Diseñar programas de pruebas para verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los sensores y actuadores seleccionados.
- Implementar el sistema de control diseñado para un ambiente de oficinas y comprobar su correcto funcionamiento.

- Desarrollar un manual de descripción y funcionamiento del sistema.
- Estudiar la interconexión del sistema de control de temperatura e iluminación, con el sistema de control de acceso y el sistema contra incendios de la compañía a través de una conexión Ethernet.
- Realizar pruebas de interconexión del sistema de control implementado, con el sistema de control de acceso y el sistema contra incendios de la compañía.

ALCANCES

Los objetivos planteados en el presente Trabajo de Grado, se cumplieron atendiendo las limitaciones económicas de la Compañía Intrave C.A. para la adquisición de los equipos; tal como fue señalado en el anteproyecto. En tal sentido, el mismo se desarrolló como un trabajo de investigación y desarrollo para el diseño de un sistema de control y su posterior implementación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Evolución de los Sistemas de Control

Los avances industriales del hombre son aplicaciones tecnológicas de los descubrimientos de la ciencia. Este vínculo o relación, permite que ambos vayan a la par, es decir los avances en la ciencia son usados para crear o mejorar procesos, así como también las necesidades de mejoras en algunos procesos son de interés para la investigación científica. Históricamente, se distinguen tres etapas o períodos que evidencian la evolución industrial. [1]

Desde la segunda mitad del siglo XVIII (1750 D.C.) y principios del siglo XIX (1840 D.C.), se inicia y desarrolla el período histórico llamado **Revolución Industrial**, iniciado en el Reino Unido y luego se propaga por el resto de Europa. Éste período podría marcar o diferenciar dos etapas en la historia industrial, pues durante éste se desarrollaron e implementaron maquinarias para sustituir en gran medida la producción manual, por la industrial o manufacturada. En este período los grandes avances se dieron en el área de la comunicación (desarrollo de trenes y barcos de vapor y el teléfono, entre otros). [1]- [2]

A finales del Siglo XIX (1880 D.C.) y hasta principios del siglo XX (1914 D.C.), se marca el segundo período histórico de las revoluciones en la industria. Históricamente, éste fue un período de desarrollo de teorías económicas; aunque se presentó un gran avance tecnológico, “el descubrimiento” de la electricidad, permitiendo la creación de una fuente de iluminación eléctrica. Otro avance importante fue el desarrollo de la industria química, el cual permitió la obtención de combustibles (gas y gasolina, entre otros) a partir del petróleo, lo cual generó el

desarrollo del motor a combustión interna. Durante este período se inicia el uso del lenguaje matemático para estudiar y describir sistemas de control, dando inicios a la teoría clásica de control. [1]

El desarrollo de nuevas teorías matemáticas y sus aplicaciones a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, permitieron asentar los fundamentos básicos para desarrollar las teorías de Control Automático durante el siglo XX. [1]

A mediados del siglo XXI se inicia la tercera revolución industrial, hasta nuestros días. En este período se comienza el desarrollo eléctrico, y electrónico, cuyas aplicaciones y uso en el área industrial, se orientan hacia la automatización y el control de los procesos industriales. Durante este periodo se da una transición en la teoría de control, con los avances matemáticos en el área, se desarrolla lo que se conoce como la **teoría de control clásica**, la cual unificó los avances, teorías, y estudios desarrollados en el área de control, entre los cuales se pueden destacar: “Regeneration Theory” Nyquist, “Relation Between Attenuation and Phase in Feedback Amplifier Desing” por H. W. Bode, “Optimum Setting for Automatic Controller” por Ziegler y Nichols, “The analysis and desing of servomechanics” por H. Harris, entre otros. [1] - [2]

La segunda guerra mundial desencadenó un período de avances tecnológicos destacándose la construcción del transistor (sustituto del triodo), producto de una creciente rama de la física y fundamentalmente una especialidad de la ingeniería que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo de corriente eléctrica (La electrónica). [2]

En la actualidad, la Electrónica desarrolla varias aplicaciones. Los principales usos de los circuitos electrónicos son el control, el procesado, la distribución de información, la conversión y la distribución de la energía eléctrica. Según lo expuesto, se puede decir que la electrónica abarca en general las siguientes áreas de aplicación: [2]

- Telecomunicaciones.
- Electrónica de potencia.

- Electrónica de control.

El desarrollo de la electrónica de control permitió aplicar los conceptos y teorías dentro del control moderno, en el desarrollo de sistemas electrónicos de control del tipo encendido/apagado, Proporcional (P), Proporcional Derivativo (PD), Proporcional Integrativo (PI), Proporcional Integrativo y Derivativo (PID). Estos fueron los primeros pasos de la electrónica dentro del creciente mundo del control. Las necesidades de controlar sistemas más complejos se incrementaban, requiriendo sistemas más rápidos, eficientes y con capacidad de cálculo. [2]

Las industrias automatizadas, contaban con sistemas de lógica cableada, la cual empleaba compuertas lógicas discretas (TTL, CMOS, entre otras.), para accionar relés, válvulas, contactores u otro elemento de potencia, permitiendo así crear un sistema robusto y automatizado, para realizar tareas u operaciones cíclicas dentro de las industrias. Su principal desventaja era su alto costo de mantenimiento, además de su poca flexibilidad a la hora de actualizar o incorporar una nueva función, lo cual requería realizar un nuevo diseño completo. [2]

La necesidad de abaratar costos en la automatización de procesos, grandes empresas invirtieron para desarrollar un sistema que permitiera suplantar los sistemas lógicos cableados. La principal compañía fue General Motors quien ofertó un concurso con la finalidad de obtener una propuesta para el remplazo electrónico de los sistemas cableados. [2]

La propuesta ganadora vino de Bedford Associates de Boston, Massachusetts. El primer Controlador Lógico Programable o por sus siglas en Ingles **PLC** (Program Logic Controller), fue designado 084, debido a que fue el proyecto ochenta y cuatro de Bedford Associates. Bedford Associates creó una nueva compañía dedicada al desarrollo, manufactura, venta y servicio para este nuevo producto: Modicon ("Modular Digital Controller" o Controlador Digital Modular). Una de las personas que trabajó en ese proyecto fue Dick Morley, el que es considerado como "padre" del PLC. [2]

En 1970 se desarrolló el primer microprocesador comercial Intel 4004, permitiendo tener un dispositivo capaz de interpretar, procesar y ejecutar instrucciones. Su capacidad de manejar señales de entrada, ejecutar operaciones aritméticas y lógicas, para posteriormente accionar las salidas y controlar otros dispositivos. Este evento inició la carrera de producción de microprocesadores, y posteriores micro-controladores, lo cual permitió un gran avance en el procesamiento y cálculo de señales. [2]

Hacia la primera mitad de los años setenta comienzan a incorporar la tecnología de los microprocesadores en los **autómatas programables**, aumentando de este modo sus prestaciones: [2]

- Realización de operaciones aritméticas.
- Comunicación con los ordenadores.
- Incremento de la capacidad de memoria.
- Mejoras en los lenguajes de programación.
- Posibilidad de entradas y salidas analógicas.
- Posibilidad de utilizar redes de comunicaciones.

La década de los ochenta (80) se caracteriza por la incorporación del microcontrolador, permitiendo: [2]

- Incremento de la rapidez de respuesta.
- Reducción de las dimensiones.
- Mejora de la robustez en el funcionamiento.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos.
- Lenguajes de programación más potentes: contactos, bloques funcionales, GRAFCET (Gráfica de Control de Etapa de Transición).

En la actualidad existe una diversidad de autómatas programables, cuyas capacidades y características varían según la marca y precios. Por su generalidad, y formas de aplicación se han convertido en los controladores por excelencia en aplicaciones de control (a) Automotriz: Cadenas de montaje, soldadura, cabinas de pintura, tornos, fresadoras, etc. (b) Metalurgia: Control de hornos, laminados,

fundición, forja, grúas, etc. (c) Plantas químicas, petroquímicas y farmacéuticas: dosificación, mezcla, baños electrolíticos, refinado, oleoductos, control de procesos de esterilización, etc. (d) Alimentación: Envasado, empaquetado, embotellado, almacenaje, llenado de botellas y enroscado, etc. (e) Producción de energía: Centrales eléctricas, turbinas, transporte de combustible, energía solar, etc. (f) Tráfico: Regulación y control de tráfico, ferrocarriles, etc. Y por último y aplicación de interés para el trabajo propuesto (g) Domótica e Inmótica: Iluminación, Control de temperatura, sistemas de seguridad, control de acceso, entre otros. [2]

La sección de anexos, anexo No.1, contiene una recopilación de información relevante de los autómatas programables: (a) Arquitectura; (b) Modo de operación; (c) Modos de programación.

2.2. Automatización de las Edificaciones

El término “Building Automation”, en inglés, hace referencia a las redes de dispositivos diseñados para supervisar y controlar los sistemas mecánicos y eléctricos de la edificación. [2]

La aplicación de sistemas de control orientados a los hogares, es conocido como “home automation”, en inglés, términos que provienen de la palabra “Domotique” en francés, resultado de la unión de la raíz latina “Domus” (casa) y “Robotique” (robótica). Mientras que, el término inmótica es empleado a sistemas de automatización en edificios de oficinas, hospitales, industriales, entre otros. Debido a que los dispositivos de control domótico son empleados por igual en hogares y edificaciones, el término Domótica se ha estandarizado para ambas aplicaciones. [3]

Las primeras aplicaciones prácticas de la domótica se iniciaron en 1978 con poco éxito, debido a fallos y a la falta de fiabilidad, también a la visión del público que las consideraba aplicaciones elitistas. [3]

“La enciclopedia Larousse definía en 1988 el término Domótica como concepto de vivienda que integra todos los automatismos en materia de seguridad, gestión de la energía, comunicaciones, etc.”. [3]

En su concepción más amplia, se considera que es aquel sistema informático que proporciona un conjunto de servicios dentro de los campos de la electrónica, la automatización, las telecomunicaciones y la información, asegurando una optimización en el consumo de energía y proporcionando al usuario la seguridad, el confort y el intercambio de información en el ámbito del hogar o edificios. [3]

Conceptualmente un sistema de control industrial no difiere mucho de un sistema de automatización de una vivienda. Ambos sistemas están conformados básicamente por un sensor, un sistema de control, y un actuador. Es por esta razón que muchas aplicaciones domóticas “heredan” en gran medida técnicas de control industrial como los tipos de control (on/off, Proporcional, proporcional derivativo, proporcional integrativo, y proporcional integrativo y derivativo), la arquitectura del sistema (incluyendo controladores, sensores y actuadores). [3]

2.2.1. Red Domótica de Control

La red de control de dispositivos domóticos o red domótica se utiliza para aplicaciones de automatización y control en el edificio inteligente, y es totalmente independiente de la **red de datos** y la **red multimedia**, de forma que, esta red queda limitada al manejo de sensores y actuadores que permiten la automatización del edificio. Las redes domóticas no tiene fuertes requerimientos de ancho de banda para su funcionamiento, ya que estos dispositivos únicamente intercambian comandos y, además, no de forma continua. En muchos casos, esta red también integra los **electrodomésticos inteligentes**. [3]- [4]

Las redes de datos y multimedia son, generalmente, sistemas distribuidos, mientras que, la red de control suele ser centralizada. Es decir, para comunicarse unos dispositivos con otros, es necesario un sistema de control centralizado. Esto es así para reducir la complejidad y tamaño de los sensores y actuadores, siendo necesario por lo tanto, un dispositivo que concentre la mayor parte de la inteligencia del sistema y que permita que el usuario interactúe a través de él con toda la instalación. Esta arquitectura centralizada, reduce la robustez del sistema, ya que si se produce la caída

o desconexión del “cerebro electrónico” central, el resto de los dispositivos del sistema dejarían de funcionar. [3]- [4]

El sistema de control central se comunica con los sensores y actuadores distribuidos por todo el edificio, utilizando un mismo lenguaje de comandos o **protocolo**. La especificación del protocolo también suele incluir los posibles medios físicos que hay que utilizar: par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, red eléctrica, infrarrojos, radiofrecuencia, etc. Los medios físicos más frecuentes son el par trenzado, la red eléctrica de baja tensión y la radiofrecuencia; el resto se usa allí donde alguna de sus prestaciones es imprescindible debido a los requisitos de la instalación. Es importante que un **protocolo** pueda soportar varios medios físicos, con el fin de proporcionar la capacidad de ajustarse a la topología concreta del edificio aprovechando las ventajas e inconvenientes que ofrece cada uno de ellos. [3]- [4]

2.2.2. Arquitectura de las Redes Domóticas

Existen tres (3) distribuciones básicas en sistemas de control extendido a las redes domóticas: (a) Control Centralizado; (b) Control descentralizado; (c) Control Distribuido. [3]- [4]

La **arquitectura Centralizada** es la primera generación en sistemas Domóticos. Los elementos a controlar y supervisar (sensores, luces, válvulas, etc.) se encuentran cableadas hasta el sistema de control de la vivienda (PC, autómata, o similar). Son sistemas que resultan económicamente atractivos, pero requieren de una gran cantidad de cableado, y la expansión del sistema resulta costosa. Su principal desventaja es la vulnerabilidad del sistema frente a las fallas del sistema de control. En la Figura 1 se aprecia un diagrama ejemplificando la disposición del sistema. [3]- [4]

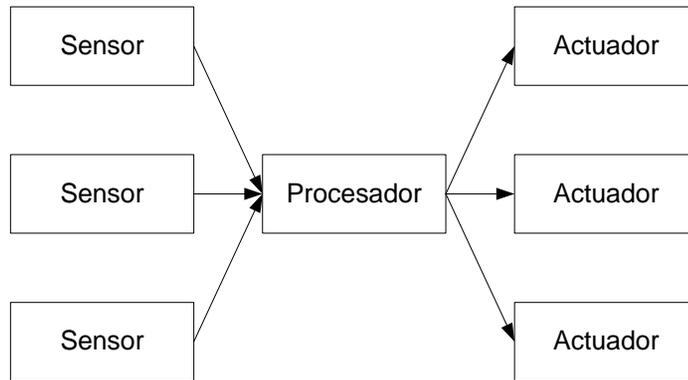


Figura 1: Arquitectura Centralizada.

La **arquitectura descentralizada** no precisa de un sistema de control central para su funcionamiento, pues los componentes se comunican directamente entre sí a través de un bus (representado en la Figura 2). [3]- [4]

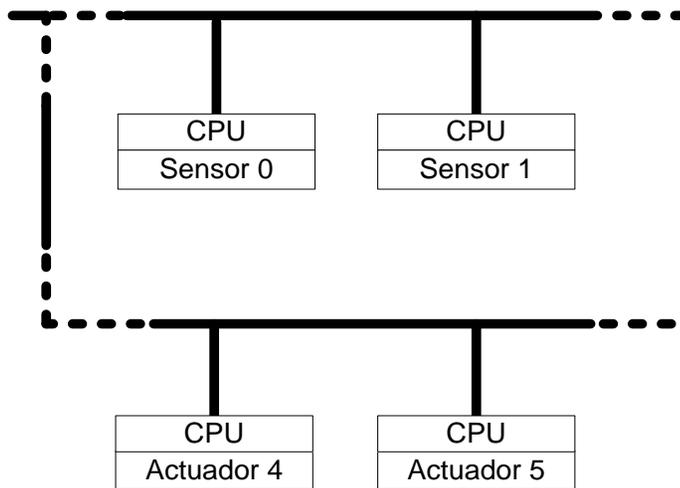


Figura 2: Arquitectura Descentralizada.

Los sistemas de control que presentan una **arquitectura Distribuida son** sistemas robustos, y sus costos son elevados. La Figura 3 presenta un diagrama genérico de conexión para una topología distribuida, en la que se visualiza que no existe un único “cerebro electrónico”, por el contrario se tienen localizados por la red dedicados a un sensor y/o actuador. [3]- [4]

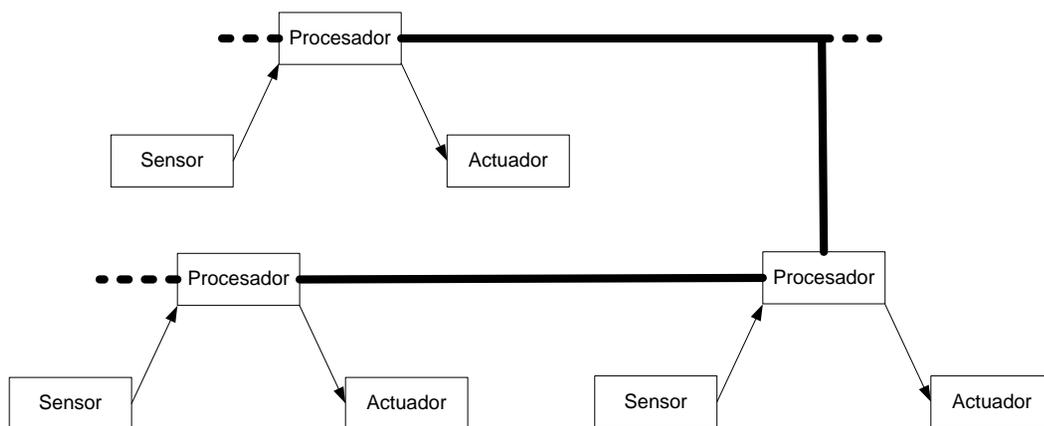


Figura 3: Arquitectura Distribuida.

La arquitectura descentralizada y de control distribuido en sistemas Domóticos emplea para el intercambio de información buses y protocolos de comunicación creados especialmente para esta área de control. En la actualidad se emplean las tres distribuciones antes mencionadas, no obstante, son compañías grandes y pioneras en la automatización (Siemens, Honeywell, entre otras), las que desarrollan equipos para redes descentralizadas y de control distribuido. [2] -[3]- [4]

En la actualidad existe un amplio número de buses y protocolos. En el anexo No. 2, se incluyen las características y funcionamiento básico de los protocolos de control domótico empleados en la actualidad para la automatización de edificaciones.

2.2.3. Variables de Control Domótico

Como se aprecia en las Figuras 1,2, 3, y especificado en la Figura 4, un sistema de control domótico en su concepción general, está constituido por un controlador o unidad de control y por un par Actuador/Sensor de la variable a controlar. A diferencia de un sistema de automatización industrial, se hace necesario emplear una Interfaz Humano Máquina (HMI, por su siglas en inglés), orientado a facilitar la operación y configuración del sistema por un usuario común, y es frecuente emplear algún tipo de comunicación inalámbrica para realizar un control remoto, por ejemplo: de forma local RF, o a grandes distancias vía GSM. [2] -[3] -[4]

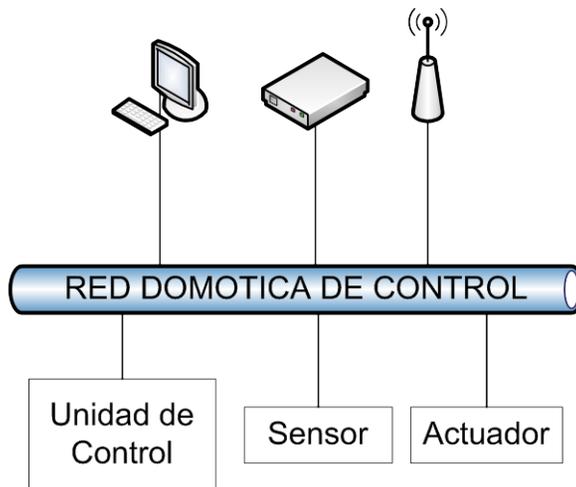


Figura 4: Red de Control Domótica.

La **unidad de control** puede estar concentrada en un solo dispositivo, o distribuida entre los diversos dispositivos del sistema. La unidad de control puede ser general (implementada con un autómata programable) o especializada en cada área de control (iluminación, temperatura, alarma contra incendio, control de acceso, entre otras) en cuyo caso es frecuentemente empleado un sistema de integración para los sistemas independientes. [2] -[3] -[4]

A continuación se especificarán algunas de las variables domóticas frecuentemente controladas.

2.2.3.1. Iluminación

El control de la iluminación de un área depende de factores tales como: [2]- [3]- [4]- [5]-[6]

- **La actividad que se está realizando**, por ejemplo en un salón de clases puede ser deseable aprovechar toda la potencia de la iluminación al emplearse para dictar cursos, mientras en la misma estancia sólo se desea 25% de la capacidad de la misma iluminación al ver una presentación con un proyector, y cuando no hay nadie la necesidad de luz es cero.

- **El individuo que realiza la actividad**, distintas personas pueden necesitar distintas cantidades de luz, dependiendo de factores como la edad, entre otros.
- **La hora**, ya que un pasillo en una vivienda sólo requiere 30% de la capacidad de la luz durante las horas nocturnas, en comparación de lo que se necesita durante el día.

De lo antes expuesto se desprenden los siguientes modos de control: 2]-[3]-[4]- [5]-[6]

- Programación horaria.
- Detección de presencia.
- Nivel de iluminación del ambiente, por ejemplo luz del exterior que llega a través de las ventanas evitando su encendido innecesario si entra luz suficiente desde el exterior.
- Escenarios, activados por el usuario o activado automáticamente por un sistema que tiene predefinidos distintos parámetros de iluminación, por ejemplo, Modo Televisión, Modo Cena, Modo Noche, Modo Salir de Casa, etc.
- Regulación manual con interfaces como interruptores, mandos a distancia o interfaces web, sms, etc.

2.2.3.2. Calidad de Ambiente

La calidad de ambiente incluye la medición y control de sistemas:

- Control de Temperatura.
- Control de Humedad.
- Control y monitorización de gases nocivos.

Estos puntos se describen a continuación.

- **Temperatura**

El control de temperatura es uno de los sistemas de control domótico de mayor relevancia. Esto es debido a que están sometidos constantemente a la supervisión humana, ya que éste cuenta con mecanismos de “medición” (cualitativos y biológicos). [4]-[3]-[6]

En los sistemas de control de clima nos centraremos en el control de enfriamiento debido a que el clima en el lugar de estudio es de tipo tropical húmedo. [4]-[3]- [6]

Se distinguen dos tipos de sistemas de enfriamiento: (a) Descentralizado; (b) Centralizado. Si bien ambos trabajan bajo el mismo concepto de leyes termodinámicas, su diferencia radica en la distribución de sus componentes y su poder de enfriamiento. [6]

Los **sistemas de enfriamiento descentralizados** están constituidos básicamente por un intercambiador de calor o “chiller”, y un soplador (“blower” también conocido como “Splitter”). Su funcionamiento es básico, un sensor de temperatura y un actuador on/off (mecánico o eléctrico) determina mediante un valor establecido por el usuario la temperatura deseada. [6]

La acción de control sobre estos dispositivos se reduce a permitir la activación en horarios determinados, e inclusive un lazo redundante de temperatura que active o desactive el dispositivo. Esto último podría permitir en edificaciones con varios sistemas de este tipo poseer un único panel de control sin necesidad de modificar localmente el control de temperatura. Además puede vincularse a un sistema de detección de personas para activar su funcionamiento, e inclusive mediante un módulo de comunicación GSM se podría (dentro de las limitaciones del controlador) activar o desactivar algún área deseada mediante un mensaje de texto por el teléfono móvil. [4]-[3]-[6]

Sistemas de enfriamiento centralizado: Comúnmente conocido como HVAC (por sus siglas en inglés, Heat Ventilating, and Air Conditioning), los sistemas

HVAC son en gran medida más complejos que los descentralizados, debido a que requiere de una infraestructura diseñada para: la ubicación de los ductos de circulación de aire con capacidad para su mantenimiento y reemplazo, ubicación de la unidad central de manejo del aire, ubicación de la unidad de compresión del gas (frecuentemente freón). Algunos sistemas HVAC incluyen el control de humedad del aire. [6]

A continuación se describen los sistemas que conforman los HVAC:

Ventilación: Está constituido por los ductos de ventilación, y una unidad central de manejo de aire (esta incluye los “chillers” para el intercambio de calor, y para el control de humedad). Puede ser forzada mediante la circulación mecánica del aire o natural, mediante un sistema de succión por diferencia de presiones (previsto en el diseño de las tuberías de aire de la edificación) y/o la combinación de ambas técnicas. La medición del aire se hace mediante presiones o directamente del caudal en los ductos, y se controla mediante un variador de frecuencias en la unidad de manejo de aire, y/o empleando escotillas con apertura regulable eléctricamente. Es importante destacar que el control de apertura y cierre de las escotillas de aire puede ser controlado para regular la temperatura y presión de alguna habitación mediante el control del flujo de aire. [6]

El sistema de intercambio de calor está vinculado al Aire Acondicionado. Este sistema enfría según las necesidades del ambiente controlado. El sistema posee uno o varios compresores, evaporadores y condensadores, diseñado para aprovechar la capacidad de absorción calórica del gas durante su expansión. El conjunto condensador y compresor, permiten comprimir (físicamente el gas) para generar en la tubería dos áreas de presión, permitiendo la expansión del gas en el evaporador (absorbiendo calor). Si bien el proceso mecánico es complejo y objeto de estudios para algunas especialidades de la Física e Ingeniería, su control se reduce al encendido y apagado de la unidad, pero en sistemas más eficientes se emplean mecanismos para permitir la compresión o no del gas (mediante un “Clutch”). El sistema de sensores de temperatura para el evaporador y en las áreas bajo control de

temperatura, permiten monitorizar y generar la señal para que el controlador accione el compresor y/o controle las aperturas de los difusores de aire. La tecnología del sensor de temperatura es variada, los más frecuentes RTD y/o termopares. [6]

- **Humedad**

El sistema de **control de humedad** emplea sensores de tipo resistivo y/o capacitivo para determinar la humedad relativa en el sistema de aire. [6]

El control se hace deshumidificando por: [6]

1. Calor, empleando una rueda de Sílica, se hace circular el aire del ambiente a controlar a través la cara interna de la rueda, y por la otra cara se hace circular aire caliente, permitiendo evaporar el agua absorbida por el Silice.
2. Enfriamiento, se hace circular el aire húmedo por un intercambiador de calor para ocasionar que el agua se condense en el evaporador.

En cualquiera de los dos métodos empleados, el control de la humedad se efectúa variando el caudal de aire que circula por el deshumidificador mediante el accionamiento de un “damper switch” en el ducto de aire. [6]

El proceso inverso (humidificación) consiste en mezclar el aire del ambiente con agua, Empleando para esto tres (3) técnicas citadas a continuación: [6]

1. Calor, vapor de agua inyectado al aire.
2. Mecánica, se hace circular el aire a través de una rueda húmeda en movimiento.
3. Ultrasonido, se hace vibrar una membrana de metal húmeda de manera que se desprendan partículas de agua al aire.

- **Sistema de monitorización y control de gases nocivos**

Una variable de control que cobra relevancia es la concentración de oxígeno en el ambiente, debido a que concentraciones elevadas de monóxido y dióxido de

carbono (CO y CO₂) afectan el nivel de reacción y concentración mental de los individuos.

Por ello, es importante que el sistema de ventilación mezcle el aire interno y externo, para mantener el ambiente apto para las personas, variable que puede ser medida mediante sensores de gases nocivos, tales como, CO₂, O₃, CO, entre otros. [6]

2.2.3.3. Control de Acceso

Limitación del flujo de personal a las áreas de su competencia, es decir, limitar el ingreso o acceso de personas ajenas al área (bien sea personal no autorizado, o personal ajeno a la edificación). [4]-[3]-[6]

A nivel de seguridad existen los conocidos controles de acceso, que emplean un tipo de llave electrónica (por ejemplo transmisión por RF de un código de seguridad) que permiten desde administrar niveles de acceso de seguridad, hasta simplemente abrir la puerta de una vivienda. [4]-[3]-[6]

Otro sensor de acceso es del tipo Biométrico, el cual realiza la lectura de las huellas digitales del usuario, permitiendo realizar un control personalizado e invulnerable a duplicados. [4]-[3]-[6]

Este tipo de control se observa en empresas de grandes dimensiones, permitiendo controlar el flujo del personal en las áreas, así como también en algunos casos emplear esta tecnología en los comedores de las empresas. Siendo empleados no sólo como limitadores de áreas sino como herramientas para la administración de recursos y horarios de las compañías. [4]-[3]-[6]

2.2.3.4. Central o Control de Alarmas

- **Alarma de Intrusiones**

Existe una gran variedad y tecnologías de sensores destinados a la seguridad de la vivienda o edificación, de los cuales citaremos a continuación, los más importantes. [4]-[3]-[6]

- Los sensores de movimiento son comúnmente empleados para detectar invasión volumétrica de personas en un área restringida. Con tecnologías infrarrojas (PIR), ultrasónicas (a través del efecto Doppler) e inclusive una combinación de ambos. [4]-[3]-[6]
- Sensores magnéticos de detección de puertas y ventanas abiertas, con detectores de vibración para las mismas. [4]-[3]-[6]
- Sistema de cámaras de seguridad con detección de movimiento, así como sistemas complejos de detección facial (autoenfoco con reconocimiento facial), tecnología similar a la empleada en los peajes (con autoenfoco y reconocimiento de la placa del vehículo) y sistemas de tránsito en países desarrollados). [4]-[3]-[6]

Existen sistemas con modos de **simulación de presencia**, capaces de generar secuencias, para presentar la sensación de habitabilidad dentro de la edificación, activando y desactivado equipos. [4]-[3]-[6]

La simulación de presencia se explicará con más detalle en la sección 2.2.3.5.

- **Alarma Contra Incendio**

La mayoría de las edificaciones residenciales o comerciales, contienen dispositivos altamente inflamables, los cuales facilitan en gran medida la rápida propagación del fuego. Los sistemas contra incendios, están constituidos por una central o unidad de control, una serie de sensores y actuadores (elementos

audiovisuales de alarmas y dispensadores de agua contra incendios) distribuidos por el área supervisada. [4]-[3]-[6]

Los sensores frecuentemente empleados, son:

- Sensores de temperatura (ópticos y térmicos).
- Sensores o detectores de humo (ópticos).
- Detección de la densidad del humo (ópticos).
- Detección por longitud de onda de gases calientes (CO₂).
- Interruptores de emergencia.

• **Alarma Contra Inundaciones y/o Fugas de Agua**

El término Inundación está asociado directamente a desastres naturales, mas en una edificación pueden ocurrir fallas mecánicas en las tuberías internas de la edificación, por fallas de instalación o por desgaste de las piezas. [4]-[3]- [6]

Los **sensores de inundaciones** son generalmente de tipo resistivo, constituido por uno o varios electrodos y un relé magnético o electrónico, que es excitado cuando el agua moja dichos electrodos. El circuito es diseñado para detectar líquidos con conductancia de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (el agua común posee una resistencia de 20 $\text{K}\Omega/\text{cm}$ a 25 °C). [4]-[3]-[6]

Si bien es posible detectar un exceso de agua, sólo se tiene control de aquella originada por defectos mecánicos de la edificación.

Frente a este tipo de detecciones sólo podemos realizar dos controles posibles: (a) accionamiento de una alarma, (b) cierre de una electroválvula previamente instalada en la tubería general de agua. [4]-[3]-[6]

2.2.3.5. Simulador de Presencia

En la sección de **Alarma de intrusiones**, se mencionó un tema de mucho interés, empleado para prevenir la intrusión de ladrones en las edificaciones. El **simulador de presencia** es un sistema que emula la existencia de una o varias

personas dentro de una edificación. A continuación se presentan dos de los métodos frecuentemente empleados.

- **Secuencia de Eventos Programados por el Usuario**

Bajo este modo de funcionamiento el sistema de control de iluminación activa y desactiva la iluminación de ciertas áreas. Se pueden encontrar dos variedades (a) Secuencia pre-programada por el fabricante, y (b) Secuencia configurable por el usuario. [2]-[3]-[6]

- **Secuencia aleatoria de eventos**

Este modo y quizás el más interesante, consiste en activar y desactivar de manera “aleatoria” las áreas bajo el sistema de control. [2]-[3]-[6]

Un número aleatorio es un resultado de una función de distribución, para nuestro caso una función de distribución uniformemente distribuida, es decir todos los números dentro del intervalo poseen la misma probabilidad de seleccionarse. [2]-[3]-[6]

“Un número **pseudo-aleatorio** es un número generado en un proceso que parece producir números al azar, pero no lo hace realmente. Las secuencias de números **pseudo-aleatorios** no muestran ningún patrón o regularidad aparente desde un punto de vista estadístico, a pesar de haber sido generadas por un algoritmo completamente determinista, en el que las mismas condiciones iniciales producen siempre el mismo resultado”. [2]-[3]-[6]

La generación de números aleatorios se realiza mediante la utilización de tres (3) métodos: (a) Tablas de números aleatorios, (b) Dispositivos especiales (hardware random number generators), (c) Algoritmos de generación de números aleatorios. [2]-[3]-[6]

Centraremos la investigación a los dispositivos especiales y a los algoritmos de generación de números aleatorios, pues son métodos ideales para ser aplicados en

dispositivos electrónicos con capacidades de programación y manipulación aritmética lógica de datos y variables. Además; estos métodos han desplazado casi totalmente la utilización de tablas de números aleatorios.

Los dispositivos especiales son circuitos electrónicos o mecanismos de las computadoras (por ejemplo el reloj) empleados para generar números puramente aleatorios. Su funcionamiento se basa en interrumpir un proceso aleatorio uniformemente distribuido. Su ventaja es que genera números aleatorios puros pero tiene la desventaja de que no permite generar la misma secuencia de números aleatorios. [2]- [6]

Por otra parte tenemos los algoritmos de generación de números aleatorios. Estos métodos generan secuencias de números que imitan las características de una variable aleatoria. Entre sus ventajas podemos citar la capacidad de repetir las muestras, y son generados por una función matemática. Su desventaja es que son de períodos finitos, es decir las secuencias generadas poseen un ciclo de recurrencia. [2]-[6]

A continuación se presentan algunos de los algoritmos de generación de números aleatorios frecuentemente empleados.

- **Blum Blum Shub**

Este método de generación de números aleatorios fue propuesto en 1986 por Lenore Blum, Manuel Blum and Michael Shub. La ecuación (1) presenta la relación para obtener el siguiente elemento de la secuencia. Requiere de una semilla para iniciar la secuencia. [2] -[6]

$$X_n = (X_{n-1})^2 \bmod M \quad (1)$$

Donde $M = p \cdot q$ es el producto de dos números primos.

- **“Linear Feedback Shift Register” (LFSR)**

Es un sistema de “shift register” cuya entrada es una función lineal de su estado anterior. Éste es un método que puede ser implementado por hardware o por software. Las funciones lineales empleadas son el XOR y XNOR para generar la

entrada. Las salidas (o bits tomados del registro) para la realimentación, reciben el nombre de **taps**. El número máximo de elementos de la secuencia viene dado por $2^n - 1$, donde n es el número de bits del registro. Este sistema, genera una secuencia de números que tienen la propiedad de ser, base numérica binaria, código Gray y proporcionar una secuencia de números aleatorios de período $2^n - 1$ (la Figura 6 presenta un diagrama de estado para un LFSR, de 4 bits). [2]- [6]

Si bien se poseen n bits posibles para tomar como entradas y realimentar el sistema, la selección de éstos deben tener ciertas características. Un LFSR puede ser representado por un polinomio característico, cuyos coeficientes ($a_n = 1$) no nulos corresponden con el **tap** empleado para la realimentación, y el grado del polinomio corresponde con el tamaño del registro empleado, por ejemplo, el polinomio $X^4 + X^3 + 1$, corresponde con la Figura 5. [2]- [6]

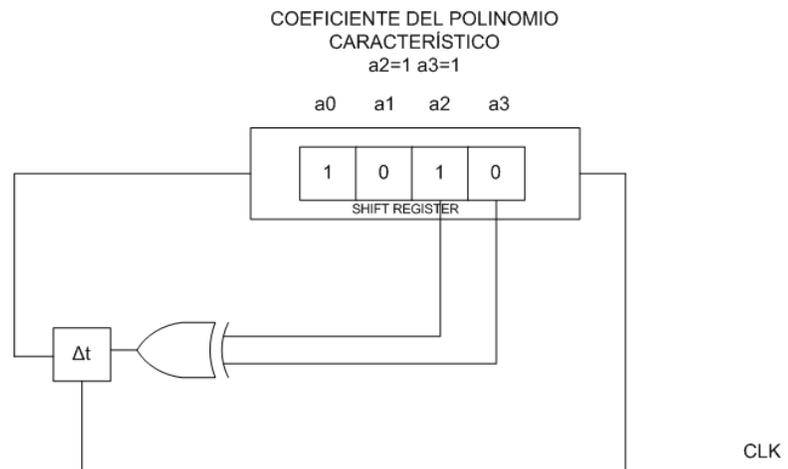


Figura 5: Diagrama de Bloques de un LFSR de 4 bits.

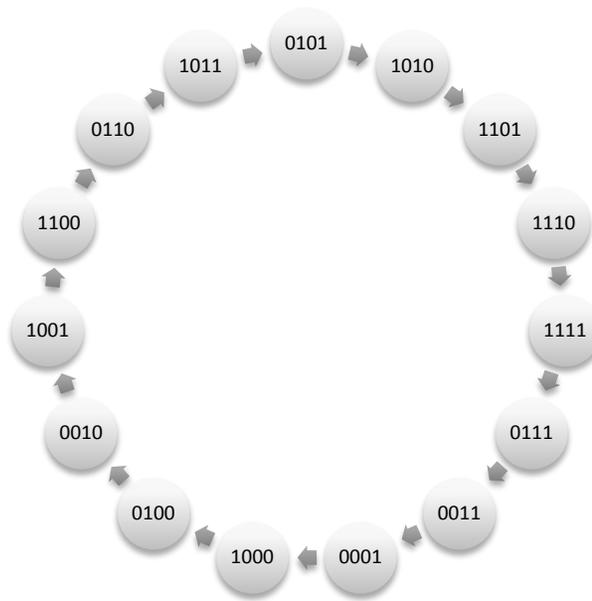


Figura 6: Diagrama de Estado del Registro (secuencia de números generados)

- **Método Congruencial Lineal**

Éste es uno de los métodos más empleados de los generadores de números aleatorios. Está basado en la ecuación (2). [2]- [6]

$$\mathbf{X}_{n+1} = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{X}_n + \mathbf{c}) \bmod \mathbf{m} \quad (2)$$

Donde **m** es el módulo, **a** es el multiplicador, **c** es el incremento, y **X₀** es la semilla o valor inicial y la selección de estos parámetros debe ajustarse como se indica a continuación. [2]- [6]

- i. $0 < m$
- ii. $0 \leq a < m$
- iii. $0 < c < m$
- iv. $0 \leq X_0 < m$
- v. c y m son relativamente primos o coprimos.
- vi. a-1 es divisible por todos los factores primos de m
- vii. a-1 es múltiplo de 4 si m es múltiplo de 4

La Tabla 1 presenta algunos parámetros y aplicaciones que emplean el Método Congruencial para generar números aleatorios.

Tabla 1: Parámetros del Método Congruencial.

FUENTE	m	a	c
Numerical Recipes	2^{32}	1664525	1013904223
Borland C/C++	2^{32}	22695477	1
GNU Compiler Collection	2^{32}	69069	5
ANSI C: Watcom, Digital Mars, CodeWarrior, IBM VisualAge C/C++	2^{32}	1103515245	12345
Microsoft Visual/Quick C/C++	2^{32}	214013	2531011
Apple CarbonLib	$2^{32} - 1$	16807	0

2.3. Antecedentes en Sistemas de Control Domóticos e Inmóticos

Los antecedentes, nacionales e internacionales encontrados están relacionados con el proyecto del trabajo a desarrollar.

Entre los antecedentes se encuentra la evaluación técnico-financiera para el desarrollo de un proyecto de edificios cableados (edificios inteligentes) para la Empresa New Global Telecom de Venezuela. A partir de un análisis de la demanda potencial de clientes en los principales de edificios de Caracas, se realizó una selección de edificios que tuviesen al menos tres empresas con alguna relación con el extranjero, para ofrecerles Servicios Integrales de Telecomunicaciones (voz, datos y videos sobre una misma plataforma). Para ésto diseñaron una propuesta de costo-beneficio, basados en “Benchmarking” nacionales e internacionales y una proyección del comportamiento de la demanda y de los precios a base de datos históricos y a experiencia personal. Además se estudiaron las operaciones técnicas variables para la implementación del proyecto, y se determinaron el costo asociado a cada alternativa tecnológica con los datos recopilados, preparados y proyectados, se diseñó un modelo financiero en Excel, que permitió realizar los análisis de rentabilidad del proyecto, así como su sensibilidad ante variación o errores en la estimación de las principales variables como demanda, costo, precios e inversión. En base a esto, se comparó la Rentabilidad/Riesgo de dos posibles alternativas del proyecto, a partir del estudio de

las opciones probables, optimistas y pesimistas de cada una. Finalmente se realizó una recomendación relativa a la puesta en marcha de una de esas opciones de proyectos evaluados. [7]

El proyecto constituyó el primero en ofrecer la búsqueda de una aplicación gráfica para el monitoreo de los dispositivos instalados y programados para la automatización. El trabajo se constituyó más experimental que teórico ya que había muy poca información en el área de automatización de casa y edificios inteligentes. La aplicación se pudo lograr sólo por pisos sin poder lograr el monitoreo ni controlar el edificio completo. [8]

Diseño e implementación de un sistema domótico modular sobre TCP/IP para edificios de oficina o entornos empresariales. Este trabajo tiene la finalidad de reactivar los sistemas de control de iluminación y aire acondicionado de la torre sur del C.C. El Recreo, estos sistemas no han sido operados pues existe una incompatibilidad entre los sistemas de monitorización y control de los equipos, en algunos casos existe la posibilidad física de interconexión, pero debido a incompatibilidad entre el protocolo de comunicación de los equipos instalados no se han podido interconectar. Para el logro de los objetivos planteados fue desarrollada una aplicación gráfica, que permitió realizar operaciones remotas de monitorización y control de los dispositivos bajo el protocolo Modbus a través de una interfaz a TCP/IP a través de un computador personal. [9]

El proyecto de tesis muestra una simulación, desarrollada en la ciudad de Puebla México, de algunos dispositivos que tiene una casa inteligente y la finalidad es conocer la funcionalidad de la tecnología Jini en el ámbito de la Domótica así como su análisis en el aspecto de sistemas distribuidos. La simulación de dispositivos de una casa capaces de tomar decisiones por sí mismos de acuerdo a las evaluaciones de su ambiente. La tecnología Jini se implementará en todos los dispositivos a simular, especialmente en el manejo de una cámara de video para Internet, mejor conocida como webcam. [10]

Para el diseño de Edificios Inteligentes se requiere precisar un equipo multidisciplinario integrado por profesionales de diversas ramas, desde Arquitectos, Ingenieros, hasta Economistas, los cuales tienen la meta de concebir edificaciones desde el proyecto, dirigido a satisfacer las necesidades de sus ocupantes, que apoyan las nuevas formas de vivir e integre las nuevas tecnologías. El enfoque está dirigido al conocimiento de Edificios Inteligentes desde el punto de vista de sus componentes, instalaciones, monitoreo y control de los procesos, eficiencia energética, gestión de mantenimiento, gestión de redes, protocolos de comunicación, áreas de automatización entre otras, es decir, la integración de la electrónica, la electricidad y la informática. Todo lo anterior debe comenzar desde el momento en el cual se presenta el proyecto de estructura y arquitectura de las edificaciones inteligentes. [11]

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño de la metodología

El desarrollo de este proyecto se divide en dos etapas secuencialmente lógicas, (a) Diseño (b) Implementación de un sistema modular para el control de iluminación, temperatura e inundación para un ambiente de oficinas.

3.1.1. Metodología para el Diseño del Sistema de Control

El diseño es la primera etapa del proyecto. Constituido en cinco (5) fases de investigación y documentación, y por último una etapa correspondiente al diseño del sistema, las cuales son descritas a continuación.

- I. Recopilación de información métrica, sistemas de Iluminación, temperatura y zonas con riesgos de inundación, de la sede principal de Intrave C.A. ubicada en la Av. Orinoco esquina con calle Tacagua antigua quinta Begoña. Urbanización Bello Monte Norte, Caracas, Venezuela.
- II. Documentación de los Controladores Lógicos Programables disponibles a ser empleados en el área de Domótica/Inmótica, su funcionamiento, características y programación.
- III. Investigación de los sensores y actuadores de diversas tecnologías para la monitorización y control de temperatura, iluminación e inundaciones y/o fugas de agua.

- IV. Estudios de métodos y estrategias para la selección de la cantidad y tecnologías de los sensores, actuadores y Controladores Lógicos Programables, a ser empleados para la aplicación.
- V. Planteamiento de un concepto del sistema de control, basado en los requerimientos, y sujeto a implementarse por etapas. El objeto de plantear el sistema de forma general, es proporcionar una base a futuros trabajos de grado dentro del área de Domótica/Inmótica.

3.1.2. Metodología para la Implementación del Sistema de Control

La metodología planteada para la etapa de implementación se describe a continuación en cuatro (4) fases.

- I. Programación del Controlador Lógico Programable seleccionado para la aplicación. Esta fase incluye la realización de pruebas con los sensores seleccionados, así como la elaboración de un programa de control para los sistemas de iluminación, temperatura e inundaciones.
- II. Instalación de los sensores, actuadores y controladores, en las áreas previstas., incluyendo la instalación de la red de control y cableado de alimentación de los equipos.
- III. Pruebas de conexión y medición de los dispositivos instalados. Con la realización de algunos programas de pruebas para los sensores, de ser necesario.
- IV. Instalación del programa diseñado para el control de iluminación, temperatura, e inundaciones. Esta etapa incluye la verificación del programa así como un ciclo de depuración del mismo.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1. Especificaciones del Sistema

La automatización e integración de los sistemas de iluminación y temperatura, así como la incorporación alarmas por inundaciones y/o fugas de agua de la edificación, permiten crear un sistema de supervisión y control con la capacidad de ajustar los parámetros del sistema, supervisar o monitorizar las variables de interés desde la unidad de control o vía remota.

El diseño del sistema de control para la automatización de las variables iluminación, temperatura e inundaciones en la Compañía Intrave C.A. tiene como segundo objetivo, funcionar como un sistema de demostración de automatización de edificaciones.

De lo antes expuesto se desprenden los siguientes requerimientos del sistema:

- **Modo de operación**, automático y manual seleccionable por el usuario, con la finalidad de activar o desactivar el encendido o apagado de algún sistema.
- **Control de iluminación**, encendido y apagado de las luces, por horario y/o por eventos (detección de personas).
- **Control de temperatura**, activación y desactivación del sistema de enfriamiento, por horarios.
- **Alarma de inundaciones o fugas de agua**, activada por exceso de agua consumida fuera del horario de trabajo.
- **Interfaz humano máquina (HMI)**, agradable y fácil de emplear para el usuario.

4.2. Diseño del Sistema de Automatización y Control

El desarrollo conceptual del sistema de control se efectuó en cuatro (4) etapas, las cuales se desarrollan a continuación.

4.2.1. Estudio y Evaluación de la Edificación

El punto de partida para el diseño del sistema de control, lo constituyó el estudio de las áreas a controlar, a fin de obtener las características físicas de la infraestructura y los sistemas instalados, tales como, (a) dimensiones de las áreas o ambientes, (b) variables a controlar en las áreas o ambientes seleccionados, (c) inspección y evaluación de sistemas eléctricos, (d) sistemas de aires acondicionados, y (e) sistema principal de surtido de aguas blancas.

4.2.1.1. Evaluación y Documentación de las Áreas de la Compañía

La sede principal de Intrave C.A. ubicada en la Av. Orinoco esquina con calle Tacagua antigua quinta Begoña. Urbanización Bello Monte Norte, Caracas, Venezuela, cuenta con tres (3) pisos y áreas externas, en los cuales se encuentran distribuidas las áreas o ambientes objeto de la evaluación. Entre estas áreas se pueden citar: oficinas, sala de cursos, kitchenette, laboratorio de desarrollo, entre otras.

A continuación se describen las áreas internas y externas de la edificación:

- **Planta Baja**

La planta baja de la edificación está constituida por (a) Área de Recepción; (b) “Show Room” (c) Salón de Cursos; (d) Área de Laboratorio o de Desarrollo; (e) Depósito; (f) Corredor o Pasillo; (g) Baños; (h) Área de Sistemas; (i) Áreas externas. La Figura 7, representa un plano (no métrico) de la planta baja de la edificación (sin incluir el área de estacionamiento).

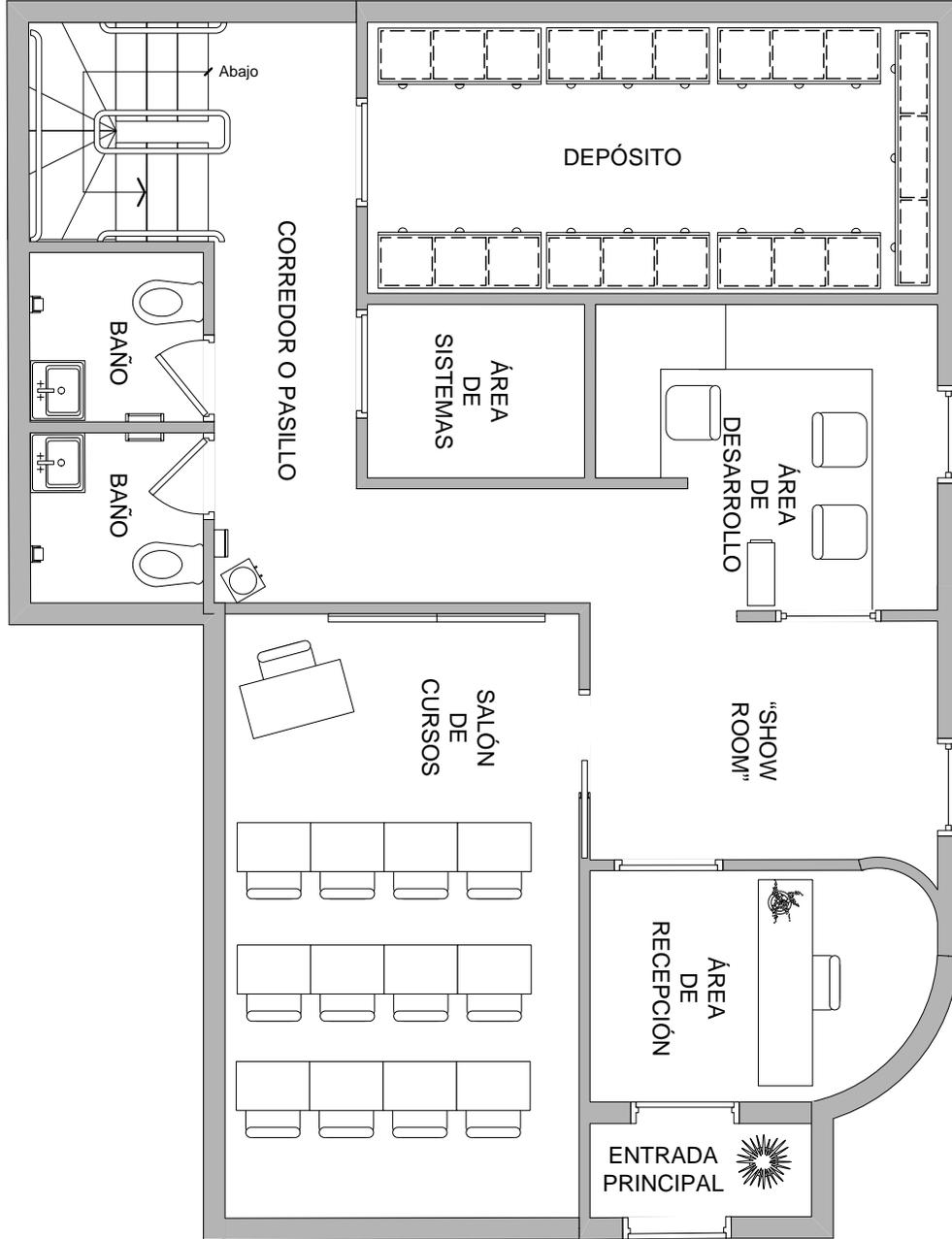


Figura 7: Planta Baja de la Sede Principal de Intrave C.A.

- **Área de recepción (AR)**

Un área de recepción de $(2,2 \times 2,0) \text{ m}^2$, posee el control de encendido y apagado de tres (3) luminarias, dos de las cuales son luces internas, una blanca y una negra, esta última con fines decorativos, mientras la tercera es una luz externa, cuya finalidad es iluminar la puerta de vidrio externa (con papel reflexivo), y su función es aumentar la iluminación externa en horas nocturnas a modo de impedir la visibilidad hacia el interior.

- **“Show Room” (SR)**

El “Show Room”, de aproximadamente $(3,04 \times 2,4) \text{ m}^2$ sólo posee el control de iluminación de esta área.

- **Salón de Cursos (SC)**

El sistema de iluminación del salón de cursos controla dos (2) sectores, uno para la parte de atrás del salón y el otro controla las luces del frente del salón. El área total del salón es de $(4,90 \times 3,05) \text{ m}^2$.

Además éste cuenta con un sistema de aire acondicionado independiente, cuyo **Split** se encuentra en el área, y su respectiva unidad de aire acondicionado se encuentra instalada en el exterior del edificio.

- **Área de Desarrollo (AD)**

El área de desarrollo, es el área destinada a la programación y revisión de equipos. Cuenta con un total de $(2,90 \times 2,86) \text{ m}^2$. El área cuenta con un sistema de iluminación y control independiente de otras zonas. Además esta área cuenta con su sistema de aire acondicionado independiente, único para esta zona.

- **Depósito (D)**

El depósito es un área rectangular de (2,50 x 5,20) m², el cual cuenta con un sistema de iluminación con control independiente para esa zona.

- **Corredor o Pasillo (CPB)**

El corredor o pasillo de la Planta Baja de la edificación está constituido por dos secciones rectangulares perpendiculares, de áreas (3,26 x 1,05) m² y (5,35 x 1,05) m².

- **Área de Baños (AB)**

La planta baja posee dos baños (damas y caballeros) destinados para el público en general y los empleados del área de desarrollo. Esta área posee instalado un RLC Mitsubishi de la serie Alpha, modelo AL-10MR-A, empleado para detectar la activación/desactivación de las luces (interruptores) y activar el extractor de los baños mediante un temporizador con retardo en conexión/desconexión (habilitado por la activación de los interruptores de las luces de los baños).

- **Entrada principal (EP)**

La entrada principal, es un área de (0,86 x 2,03) m² del tipo esclusa, cuyas puertas son abiertas desde el interior de la edificación. Además cuenta con un sistema cerrado de televisión con una cámara, a fin de identificar a la persona que desee ingresar. Sólo posee un punto de luz controlado desde el área de recepción (considerado interno pues se localiza en la esclusa).

- **Área de Sistemas (AS)**

El área de sistemas, posee su propio sistema de iluminación y aire acondicionado independiente. Esta área está destinada a equipos de administración de la red interna (LAN). Tiene un área total de (1,60 x 2,00) m².

- **Áreas Perimetrales (E)**

El área de estacionamiento, rodea un lado de la edificación. Éste posee instalado lámparas perimetrales, a fin de iluminar el área durante las horas nocturnas, este sistema de iluminación se controla desde el interior de la edificación, a través de un contactor. Este sistema está actualmente fuera de servicio.

- **Primer Nivel**

El primer nivel sólo posee una oficina de dimensiones (3,00 x 1,25) m², destinada para el área administrativa. Cuenta con su sistema de iluminación independiente, y una unidad de aire acondicionado independiente con su Split en la oficina, y su respectiva unidad de intercambio de calor fuera de la edificación.

- **Planta Alta**

El tercer nivel es un área mixta, la cual incluye, áreas de tipo (a) oficina; (b) pasillos, (c) baños; y por ultimo (d) kitchenette.

La Figura 8, representa un plano representativo (sin escala) de la planta alta de la edificación.

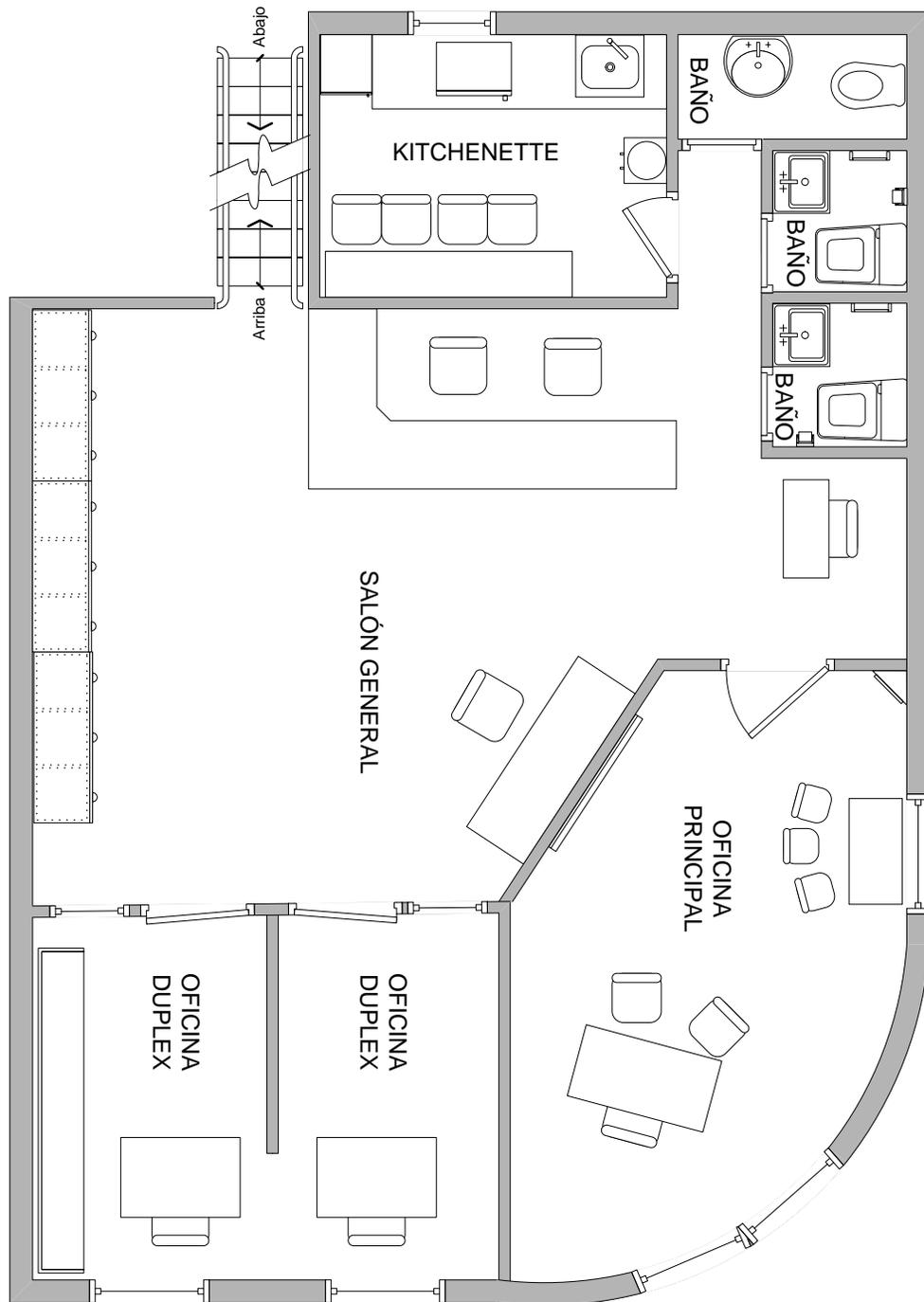


Figura 8: Planta Alta de la Sede Principal de Intrave C.A.

- **Oficinas (OP/OD)**

En el tercer nivel se localizan tres (3) áreas de oficina, dos de las cuales están unidas, en una sola (la cual se denominó “oficina dúplex”), mientras que la otra, es la “oficina principal”. Ambas áreas de oficinas poseen su sistema de control de iluminación, y control de temperatura (mediante aires acondicionados locales) independientes entre ellas (excepto las oficinas dúplex). Las oficinas dúplex está constituida por dos áreas iguales a $(2,00 \times 3,20) \text{ m}^2$, mientras que el área de la oficina principal posee un área de $(4,5 \times 3,5) \text{ m}^2$.

- **Corredor o Salón General (CPA)**

La zona de pasillos de la planta alta es el área más amplia de la edificación con un total de $(5,00 \times 5,25) \text{ m}^2$, en ésta se encuentran los equipos de impresión y fotocopiado. Esta área cuenta con un sistema de iluminación independiente, y controlado desde el sitio. Además, en este interruptor de control se activan las luces de un área de oficinas (oficina dúplex). Así como un equipo de aire acondicionado independiente.

- **Baños (AB)**

La planta alta cuenta con tres baños, con su sistema de iluminación independiente. A diferencia de los baños de la planta baja, éstos no poseen ningún sistema de extracción de aire forzado.

- **Kitchenette (K)**

El área de comedor posee su sistema de iluminación independiente, el cual activa las luces del área así como un extractor de aire, a fin de mantener el ambiente libre de olores durante las horas de almuerzo. El área de comedor es de $(2,46 \times 3,00) \text{ m}^2$.

4.2.2. Sistemas de Control

Las variables del sistema de control son Iluminación, Temperatura y Fugas de Agua y/o Inundaciones. A continuación se describen los sistemas a controlar y monitorizar del edificio de la sede principal de Intrave C.A., Bello Monte (Caracas).

4.2.2.1. Sistema de Iluminación

Desde el punto de vista eléctrico y de control, los sistemas de iluminación de la edificación son iguales e independientes en cada área previamente descrita en la sección 4.2.1.1. Estos sistemas están constituidos por un elemento de control (interruptor) y el elemento final de control es el bulbo o bombilla eléctrica, sin importar su tecnología.

La edificación posee un total de dieciocho (18) zonas o ambientes de iluminación diferentes, de las cuales dos son externas (luz perimetral, y la luz de entrada).

4.2.2.2. Sistema de Aire Acondicionado

En la sección 4.2.1.1, se indican las áreas que cuentan con un sistema de aire acondicionado, así como también el tipo de unidad que posee.

Los sistema de control de clima de las áreas de la edificación, son independientes. En la edificación se encuentran instalados un total de siete (7) unidades de aire acondicionado, dos (2) son de una unidad integral, y las restantes poseen un “**Split**”, y su respectiva unidad externa de intercambio de calor (compresor, condensador, etc.).

4.2.2.3. Sistema de Aguas Blancas

El sistema de aguas blancas del edificio alimenta dos tanques que surten del vital líquido a la edificación. Uno se usa para surtir la parte superior de la edificación, y el otro para la parte baja.

4.2.3. Metodología para la Selección de los Sensores, Actuadores y Controladores

En esta sección se describen los puntos más importantes asumidos para la selección de los sensores, actuadores y controladores. La selección depende de varios factores, entre los que se pueden citar, requerimientos del sistema y características, número de las áreas a automatizar, características de las variables a controlar y/o monitorizar y por último el factor estético.

Las variables a controlar y/o monitorizar son iluminación, temperatura y fugas de agua, para esto se procederá a describir las características más importantes asumidas para la selección del número de sensores y actuadores.

El diseño del sistema de control se realiza de forma general, a fin de no particularizar una tecnología o fabricante.

La descripción presentada a continuación se enfocó hacia una topología centralizada, no obstante, la metodología puede ser aplicada a un sistema distribuido (guardando ciertas distancias), y empleado como referencia para un sistema descentralizado.

4.2.3.1. Sensores

Para seleccionar el tipo de sensor, se procedió de la siguiente manera:

- i. Determinar la variable física a medir (de forma directa o indirecta).
- ii. Identificar las tecnologías de medición y las características, de los sensores disponibles en la actualidad para la variable a medir (método de medición, rango, “span”, error, sensibilidad, entre otras).
- iii. Determinar la disposición física del dispositivo (ubicación) en el área final de instalación, así como su conexión y características eléctricas (señal digital, analógica, niveles de tensión/corriente, entre otras).

Éste es un punto de relevancia, por cuanto se deben contrastar las características eléctricas con las características de instalación física del

equipo, y seleccionar aquel cuyas características de medición sean las adecuadas.

El sensor seleccionado, además de cumplir las especificaciones deseadas debe ser adecuado para su conexión al controlador seleccionado, así como cumplir ciertos requerimientos en su instalación (frecuentemente estéticos, para el área de domótica), a fin de satisfacer los requerimientos iniciales del diseño.

- iv. Realizar de ser necesario, ensayos y/o pruebas para determinar algunas características no especificadas por el fabricante.

Dependiendo de la tecnología y la variable a controlar y/o monitorizar, existen casos en los que se requiere un número mayor de sensores para medir la misma variable en la misma zona. De lo antes expuesto se desprende que, el número de sensores a instalar es al menos igual al número de ambientes y variables a monitorizar y/o controlar.

4.2.3.2. Actuadores

Una vez identificada la variable a controlar de forma directa o indirecta, los actuadores son elegidos básicamente por sus dos aspectos principales:

- i. Acciones de control:

Se debe determinar el tipo de acción de control deseada. Acción de control On/Off (o digital) o Proporcional.

- ii. Señales de control:

Determinar las características de accionamiento de los actuadores disponibles en el mercado, entre los cuales se pueden citar:

Digitales, analógicos, neumáticos, hidráulicos, entre otros.

4.2.3.3. Controladores

El controlador a seleccionar debe cumplir los requerimientos de la aplicación (procesamiento de cálculo, manejo de entradas/salidas digitales y analógicas, según

se requieran en la aplicación, tipo modular). Es recomendable que el controlador sea expandible, a fin de tener la capacidad de realizar futuras expansiones en el sistema, sin un cambio drástico en los controladores.

El diseño del sistema se orientó a los equipos programables (relés programables y Controladores Lógicos Programables); específicamente los PLC, debido a sus prestaciones y capacidades en comunicación, cálculo, procesamiento de información y manipulación de datos, y la posibilidad de expansiones.

Para la selección del PLC a emplear se procedió a determinar las características más importantes para la aplicación:

- **Comunicación:** El equipo seleccionado, debe poseer la capacidad de conexión con otros equipos a través de Ethernet, RS-232, RS-485, CANbus, ModBus, entre otros protocolos y/o medios físicos de conexión, proporcionando al sistema instalado la posibilidad de ser integrado a un sistema supervisorio o SCADA y/o la capacidad de interconexión con otros equipos.
- **Entradas y Salidas del equipo:** El número total de entradas del sistema instalado debe ser menor al número de entradas y salidas que el equipo seleccionado pueda direccionar, permitiendo futuras expansiones al sistema. Es importante que el hardware seleccionado sea modular, de esta forma el sistema pueda expandirse (al límite del equipo) agregando otros módulos.
- **Recursos del Controlador y herramientas de programación:** Dentro de este aspecto se incluyen todos aquellos relacionados a las capacidades de cálculo, temporizadores y/o contadores, manejo de data entre otros. Este es uno de los aspectos más relevantes en la selección del equipo, pues es importante que el sistema posea las herramientas de programación necesarias para realizar manipulaciones algebraicas de la información relacionada con los temporizadores, variables medidas a través de entradas analógicas, entre otras.

- Interfaz Humano Máquina (HMI): La incorporación de una pantalla y/o teclado que permita al usuario, manipular datos y/o seleccionar modos del equipo a un nivel sencillo de interpretación, es una herramienta muy valiosa en los sistemas de monitorización y control de alguna edificación.

El número de controladores depende de las necesidades del diseño, en muchos casos se hace necesaria la creación de una red de control para conectar varios controladores, debido a las distancias entre las áreas a controlar.

4.3. Concepto del Sistema Diseñado

En la sección anterior (4.2), se especificaron de forma general los elementos que integran el sistema a implementar, así como el total de áreas en las que se encuentra dividida la edificación a automatizar.

En primer lugar fueron definidas las áreas no incluidas en el proyecto de automatización, las cuales son los baños de la planta alta y los baños de la planta baja (posee un sistema de control de activación de luces y extracción de aire, implementado con un Relé Inteligente, Mitsubishi).

A continuación, se presenta divididas por sistema a controlar y/o monitorizar las características del sistema de control a implementar.

4.3.1. Sistema de Iluminación

Cada subsistema que conforma el sistema de iluminación de la edificación, excepto el sistema de Iluminación Perimetral, posee el control de encendido **en modo manual y automático**, seleccionable desde el HMI del sistema.

Bajo el **modo manual** del sistema, puede ser activado o desactivado el sistema de iluminación en cada una de las áreas automatizadas. Mientras que bajo el modo automático, las luces son habilitadas según el horario preestablecido por el usuario, y las mismas se activan cuando es detectada la presencia de una persona en el área.

4.3.1.1. Control Automático de Iluminación en Áreas Internas

La finalidad de realizar la detección de personal, consiste en proporcionar una señal (dentro del horario de trabajo establecido por el usuario) que permita la activación o desactivación del sistema de iluminación.

Los sensores de presencia del tipo Infrarrojo poseen una salida cuyas características varían según el modelo, esta salida se activa durante un período de tiempo τ , es decir como un monoestable (Anexo No. 4 , incluye la hoja de datos del sensor PIR seleccionado, el cual puede servir de ejemplo).

Implementando la salida del PIR como disparador del sistema de iluminación y su desconexión un tiempo **T** posterior a la detección (tiempo de retardo en desconexión, el cual puede ser variable de acuerdo a la zona), implementado en el controlador. La Figura 9 presenta un diagrama de flujo correspondiente al sistema de control de iluminación en las áreas internas.

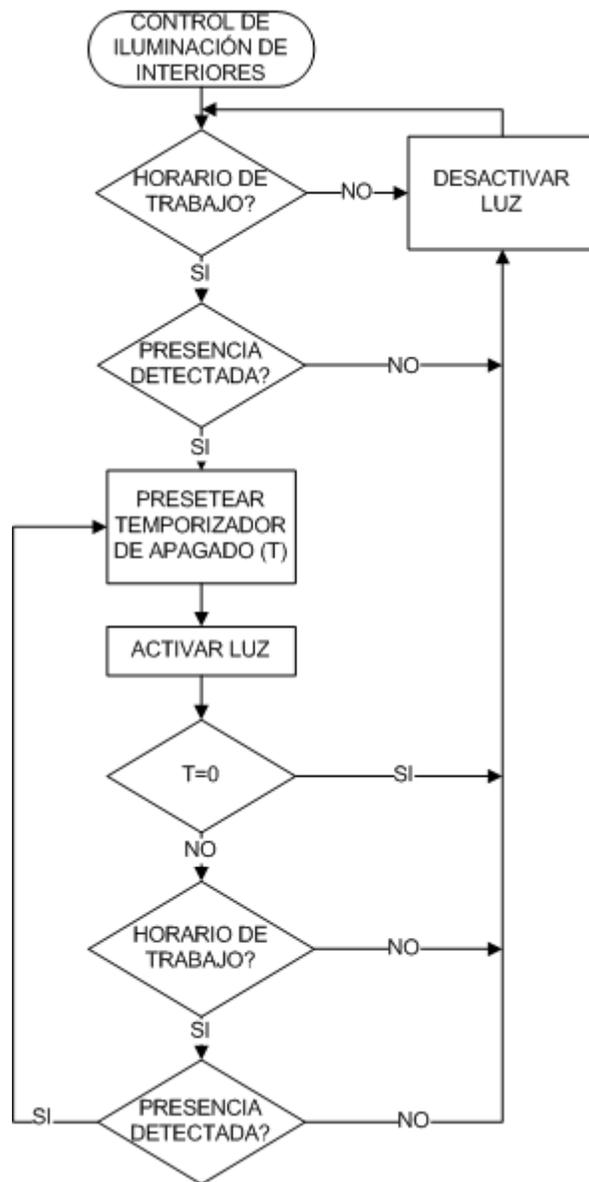


Figura 9: Control de Iluminación en las Áreas Internas

4.3.1.2. Control Automático de Iluminación en Áreas Externas o Perimetrales

El sistema de iluminación perimetral, es empleado para iluminar el área externa mientras que el personal se dirige a sus vehículos. Por lo tanto, el sistema de control de las luces perimetrales consiste en programar la activación del sistema desde el HMI y su posterior desconexión, un tiempo (T) preestablecido por el usuario.

A continuación en la Figura 10, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al control de luces perimetrales.

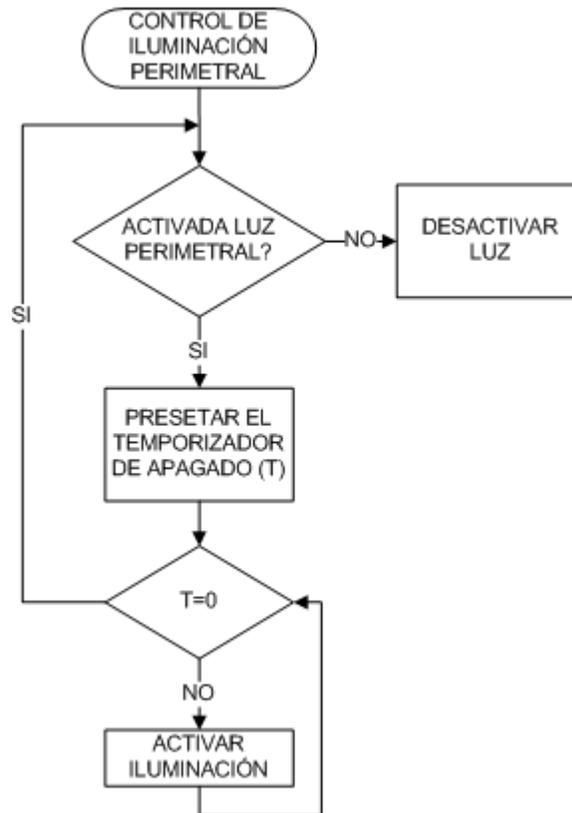


Figura 10: Control de Iluminación Perimetral

4.3.1.3. Sensores y actuadores del sistema de iluminación

Para lograr la activación y desactivación de cada área de iluminación, es necesaria la instalación de un relé cuya señal de control es generada por el controlador.

La instalación del actuador debe permitir al usuario del área deshabilitar de forma manual la iluminación. Esta condición impone dos posibles formas de conexión para el relé:

- a. En paralelo al interruptor de la zona, conectado físicamente en el contacto normalmente abierto del relé. Permite (con el interruptor

abierto) controlar la zona, y la posibilidad de activar o desactivar la zona desde el interruptor, al desactivar el sistema de control.

- b. En serie el contacto normalmente cerrado del relé con el interruptor de pared instalado en el área. Permite que el usuario pueda deshabilitar la iluminación, si así lo considera.

La diferencia entre ambos métodos radica que en el primer método los interruptores están abiertos, y en caso de falla el usuario puede activar la zona que desee. A diferencia del segundo método planteado, en el cual al momento de alguna falla, el interruptor al estar cerrado, dejaría activada las luces y por tanto el usuario deberá apagar todas las luces que no requieran estar activadas.

En todos los sistemas de iluminación se seleccionó como actuador, relés mecánicos debido a que la frecuencia de activación del sistema de iluminación es baja, además, no se requiere en ningún área del sistema la regulación de intensidad de iluminación, descartando así la selección de relés de estado sólido (SSR).

4.3.2. Sistema de Control de Temperatura

Los sistemas de control de temperatura instalados en la edificación no admiten o no poseen ningún puerto que permita su control. Por tanto se plantean sólo dos acciones de control posibles a realizar con un Controlador, (a) Control de temperatura On/Off; y (b) Control o habilitación de encendido de las unidades.

4.3.2.1. Control On/Off de Temperatura

Para realizar el control de temperatura de uno de los ambientes seleccionados, se requiere instalar un relé que interrumpa la alimentación del compresor y un sensor de temperatura (por ejemplo, PT-100 o Termopar) que pueda ser instalado en el controlador seleccionado. De forma que el sistema de control accione el relé de acuerdo a la temperatura medida por el sensor de temperatura instalado.

En este tipo de control se debe incluir una histéresis en la temperatura a fin de evitar los accionamientos continuos en el periodo de tiempo de la transición de la temperatura por la inercia térmica del sistema, así como un tiempo de diez (10) minutos para reactivar la unidad, según el manual del equipo.

4.3.2.2. Control del Encendido de las Unidades

El sistema de control diseñado, habilita el tiempo de operación del dispositivo. Para esto se requiere la instalación de un relé que limite la alimentación de la unidad de aire acondicionado. Mientras la unidad esté habilitada, se puede operar el equipo de forma convencional y se posee el control de de deshabilitar la unidad desde el HMI del sistema.

4.3.3. Sistema de Detección de Fugas de Agua

El sistema de detección para fugas de agua y/o inundaciones planteado, se describe a continuación.

4.3.3.1. Medición del Consumo de Agua

Empleando en la tubería un sensor de flujo de agua con el fin de medir y detectar el consumo de agua en la compañía. Se supervisa el consumo de agua, permitiendo así registrar fuera de horario de trabajo alguna irregularidad del sistema, y generar las alarmas por fugas de agua.

4.3.3.2. Detección Local de Fugas de Agua

La detección de inundaciones o fugas de agua localizadas, es empleada para detectar y generar alarmas en el instante en que el agua entra en contacto con un sensor o detector. Existen dos configuraciones de sensores resistivos (encontrados durante la investigación), de un solo electrodo (puntual) y de varios electrodos (longitudinal). Ambos tipos deben conectarse a un transmisor el cual genera la señal de tipo on/off requerida para el controlador.

4.3.4. Sistemas de Alarma

Dentro del sistema de alarmas se incluyen (a) Alarma de Intrusiones; (b) Simulador de Presencia, y (c) Alarmas por Inundaciones y/o Fugas de Agua.

Ningún modo de alarma debe ser mutuamente excluyente, es decir, la habilitación de alguna alarma, no debe causar la deshabilitación de otra.

A continuación se describen los modos de alarmas disponibles en el sistema.

4.3.4.1. Alarma Contra Intrusiones

La selección de sensores de presencia Infrarrojo permite incorporar al sistema de control, un sistema de detección de personas dentro de la edificación y en las áreas en las que se encuentran instalados los sensores PIR. Por medio de la activación manual del usuario (desde el HMI), se puede activar el modo de alarma contra intrusiones. Una vez activado el sistema y detectada la presencia de alguna persona, el sistema de control activa un modo de indicación (activa de forma intermitente la iluminación, así como un indicador visual en el HMI del sistema).

4.3.4.2. Simulador de Presencia

El modo de simulación de presencia, consiste en realizar la activación de al menos un área (en horas nocturnas) por un tiempo determinado, y posterior a su desactivación, realizar la activación de otra zona. El sistema inicia y/o detiene el modo de simulación de presencia de forma manual por el usuario desde el HMI del sistema.

4.3.4.3. Alarmas por Inundaciones y/o Fugas de Agua

La implementación del sistema descrito en la sección 4.3.3, permite identificar las situaciones de inundaciones y/o defectos en el sistema de aguas blancas de la edificación, permitiendo así generar una alarma en el HMI del sistema de control, identificando el área y/o el tipo de detección.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El proyecto de automatización y control de las variables de iluminación y temperatura, así como el sistema de alarmas diseñado en la sección 4.3 para la edificación de la compañía Intrave C.A, sede de Caracas, y objeto de estudio del presente Trabajo de Grado, representa una inversión económica para la compañía. Por lo antes expuesto, la implementación y finalidad del capítulo, representa una primera etapa o fase del sistema completo de automatización de la edificación.

La primera fase del proyecto de automatización de la sede en Caracas de la compañía Intrave C.A, está orientada hacia la monitorización y control de iluminación y temperatura, más que a las alarmas de inundaciones y/o fugas de agua, es decir, el presupuesto previsto, se empleó en mayor ponderación para el sistema de iluminación y temperatura, que en la detección de inundación y/o fugas de agua.

Las áreas que integran la fase I, se exponen a continuación.

- **Planta Baja**

La Tabla 2, presenta de forma resumida las áreas de interés, y el tipo y número de entradas y salidas requeridas para la planta baja de la edificación.

Tabla 2: Entradas y Salidas de la Implementación de la Fase I del Sistema de Control, Planta Baja.

ÁREA	SALIDAS/ACTUADORES		ENTRADAS/SENSORES		
	ACUADOR	DIGITALES	SENSOR	DIGITALES	ANALÓGICAS
ENTRADA	LUZ INTERNA	1	PIR	1	0
	LUZ EXTERNA	1		0	0
	LUZ AZUL	0		0	0
“SHOW ROOM”	LUZ DE TECHO	1	PIR	1	0
DIP	LUZ DE TECHO	1	TEMPERATURA	0	1
	A/C	1	PIR	1	0
SALÓN DE CURSOS	LUZ DE TECHO	1	PIR	1	0
	LUZ TRASERA	1	TEMPERATURA	0	1
	A/C	1			
DEPÓSITO	LUZ DE TECHO	1	PIR	1	0
				0	0
ENTRADAS/SALIDAS		9		5	2

- **Planta Alta**

La Tabla 3 presenta el número y tipo de sensores requeridos para la automatización de las variables propuestas, en el presente Trabajo de Grado.

Tabla 3: Entradas y Salidas de la Implementación de la Fase I del Sistema de Control, Planta Alta.

ÁREA	SALIDAS		ENTRADAS		
	ACTUADOR	CANT	SENSOR	DIGITALES	ANALÓGICAS
KITCHENETTE	LUZ DE TECHO	1	PIR	1	0
	EXTRACTOR DE AIRE	0		0	0
OFC. DUPLEX	A/C	1	TEMPERATURA	0	1
	LUZ DE TECHO	1	PIR	2	0
OFC. PRINCIPAL	A/C	1		0	0
	LUZ DE TECHO	1	PIR	1	0
SALA	A/C	1	PIR	1	0
			TEMPERATURA	0	1
	LUZ DE TECHO	1	PIR	0	0
	LUZ DE TECHO	1		0	0
PERIMETRO	LUZ PERIMETRAL	1		0	0
INUNDACIÓN / FUGA		0	SENSOR DE FLUJO	1	
ENTRADAS/SALIDAS		9		5	3

La metodología planteada en la sección 3.1.2 para la implementación, será ampliada en las secciones siguientes.

En primer lugar se especificarán los equipos de control seleccionados, y posteriormente se desarrollan los puntos de interés del sistema de control implementado, tales como iluminación, temperatura, sistemas de alarmas para fugas de agua y de intrusión.

5.1. Controlador o Sistema de Control

La unidad de control fue seleccionada cumpliendo las recomendaciones planteadas en la sección 4.2.3.3.

Debido a que las áreas automatizadas para la fase I se encuentran distribuidas entre los pisos 3 y PB, se hace necesario emplear un bus de comunicación, que permita conectar los equipos instalados en ambas plantas.

Por lo antes expuesto y por los equipos a disposición de la compañía, se emplearon dos (2) controladores, uno para cada planta, cuya comunicación será desarrollada en la sección 5.1.1.

Los controladores seleccionados son, un “**Vision V130**” para la planta alta, el cual posee una pantalla gráfica monocromática y teclado alfanumérico; y un “**Vision V570**” para la planta baja, el cual posee una pantalla a color sensible al tacto (HMI). Ambos equipos son conocidos como OPLC, de la compañía Unitronics. En la sección Anexa No. 4, se disponen las hojas de especificaciones técnicas de ambos equipos.

En las secciones a continuación, cuando se haga referencia al HMI, éste corresponderá al del equipo “Vision V570”, de lo contrario será especificado.

5.1.1. Comunicación

La implementación de un bus de comunicación permite la interconexión entre la unidad de control central y una segunda unidad de control, evitando la necesidad de cablear desde el tercer nivel hasta la PB cada sensor y actuador del sistema, así como también, sirviendo como demostración de una red de control.

Para realizar la comunicación de los controladores, se instaló en cada uno de los equipos una tarjeta de comunicación Ethernet, con la finalidad de emplear como bus de comunicación la LAN de la compañía, reduciendo el impacto en remodelación y cableado para crear un bus de comunicaciones, como CANbus.

Para la comunicación fue empleado el protocolo Modbus sobre TCP/IP, en una topología Centralizada del tipo Maestro-Esclavo, sirviendo como esclavo el “Vision V130”, y como maestro el VisionV570.

5.1.2. Evaluación del Número de Sensores, Actuadores y Controladores (“Hardware”)

Las tablas 2 y 3, presentan las áreas y el tipo de señal de control requerido para cada unidad de control dispuesta para cada planta.

La planta alta requiere un total de nueve (9) salidas digitales de tipo On/Off, cinco (5) Entradas Digitales de tipo On/Off y dos (2) entradas de tipo analógica. El Anexo No. 4 incluye las especificaciones técnicas del “Visión V130” modelo V130-33-RA22, en las que puede apreciarse la necesidad de una (1) salida digital para cumplir con los requerimientos de la Fase I del sistema de control. Por lo tanto se empleó un módulo de expansión de salidas. El módulo seleccionado para la aplicación, es el IO-RO8, el cual posee 8 salidas digitales..

La planta baja del sistema requiere nueve (9) salidas digitales del tipo On/Off, cinco (5) entradas digitales de tipo On/Off, y dos (2) entradas analógicas.

Por razones estéticas, de infraestructura y demostrativas, se decidió instalar en una pared visible el OPLC VisionV570, y se emplearon módulos de expansión de entradas y salidas, los cuales se citan a continuación:

- Un (1) IO-RO16
- Un (1) IO-DI16.
- Un (1) IO-PT4

Para la ubicación de los actuadores, módulos de entradas y salidas, fuentes de poder, protecciones eléctricas del sistema de control, y el OPLC de la planta alta, fueron elaborados dos (2) tableros de control (Figuras 11 y 12), empleando para esto dos (2) tableros de la compañía Himel modelos PLM-54, cuyo cableado e instalación de los dispositivos fue realizado como actividad adicional y necesaria para la implementación por el autor.



Figura 11: Tablero de Control de la Planta Baja.



Figura 12: Tablero de Control de la Planta Alta.

5.2. Implementación del Sistema de Control de Iluminación

Para la primera fase fueron automatizadas un total de once (11) áreas y/o ambientes, las cuales se encuentran identificadas en las tablas 2 y 3. Principalmente se distinguen los siguientes tres (3) tipos de ambientes de iluminación, (a) Áreas Internas; (b) Luz Perimetral; (c) Luz externa de entrada.

El sistema de control de iluminación para las áreas internas, posee dos modos de operación, un modo manual y un modo automático; mientras que el sistema de luz perimetral sólo posee modo manual, y el sistema de iluminación de entrada presenta únicamente control automático.

5.2.1. Modo Manual del Sistema de Iluminación

El modo manual de iluminación, permite activar/desactivar cada sistema o área automatizada desde el HMI del sistema de control. Para activar el modo manual, es necesario ingresar una clave, que puede ser modificada por el usuario. Esto proporciona al sistema un grado de seguridad ante posibles manipulaciones de la activación de la iluminación en cada área.

El Modo Manual (ver las figuras 13 y 14), presenta una interfaz gráfica diseñada en el HMI que representa los planos de cada planta automatizada en la edificación. Cada área indicada con círculos amarillos es sensible al tacto, permitiendo activar y desactivar cada zona cuando es presionada.

La luz perimetral, a diferencia de las zonas internas de la edificación, posee un tiempo de desconexión (tiempo Off delay) seleccionable por el usuario, es decir, cuando se activa la luz perimetral, ésta permanecerá encendida durante el tiempo configurado por el usuario.

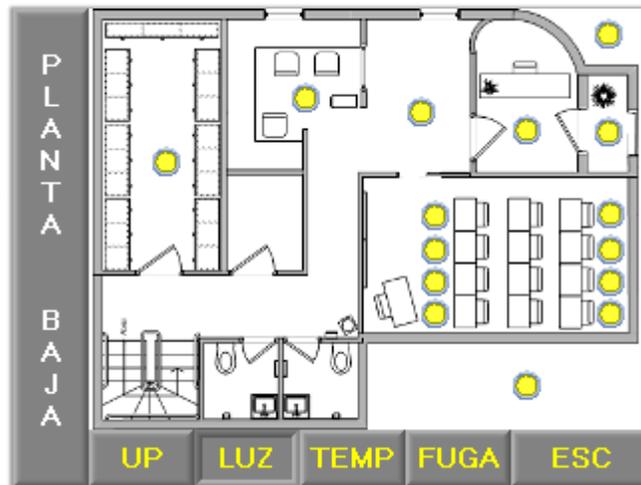


Figura 13: Interfaz en el HMI del Modo Manual de Iluminación, Planta Baja.

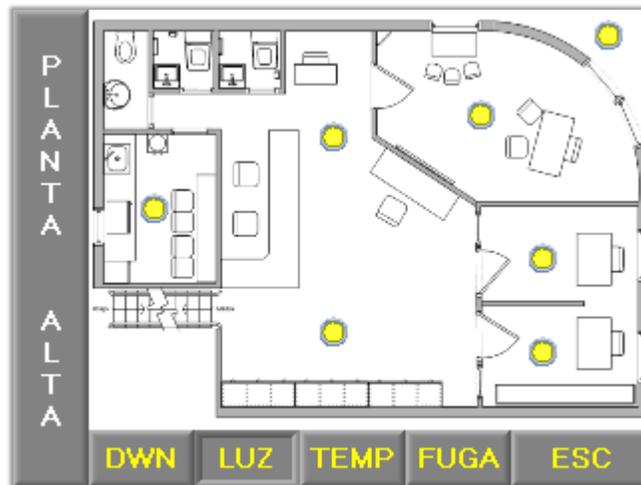


Figura 14: Interfaz en el HMI del Modo Manual de Iluminación, Planta Alta.

5.2.2. Modo Automático del Sistema de Iluminación

El modo Automático del sistema de iluminación permanece activo a menos que esté activado algún modo de alarma (posteriormente especificado) o cuando se ingresa en el modo manual del sistema de iluminación.

El modo Automático activa la iluminación cuando se ingresa al área automatizada, dentro del horario seleccionado por el usuario. Cada zona automatizada

presenta un modo de configuración, al cual se ingresa presionando sobre la zona en el HMI del sistema.

La configuración del encendido de cada zona automatizada, permite seleccionar los días de la semana y dos (2) bloques de horarios seleccionables, es decir, el sistema puede habilitar la activación (si es detectada la presencia de personal) para la combinación de días de la semana deseados (lunes, martes, miércoles, etc.) durante los dos (2) bloques de horarios independientes (una hora de activación y desactivación, independientes entre bloque).

La luz de entrada de la edificación está automatizada por horarios, es decir, se activa y desactiva por horarios de trabajo con el mismo modo de configuración que poseen todas las zonas de iluminación automatizadas.

5.2.2.1. Pruebas del Sensor de Presencia

Para detectar la presencia de personal, se seleccionó un mismo modelo de sensor de presencia para todas las áreas a fin de facilitar la adquisición e instalación de los mismos. Esto fue posible debido a que el sensor de presencia seleccionado supera por cerca de 40% la longitud máxima que debe detectar en el área más amplia de la edificación (el pasillo o salón general ubicado en la planta alta).

Fue necesario realizar pruebas al sensor de presencia seleccionado, a fin de determinar la capacidad de detección de la señal que genera el sensor por los controladores seleccionados.

El lugar seleccionado para las pruebas fue el área más amplia de la edificación, el pasillo o salón general, ubicada en la planta alta de la edificación. El modelo de sensor es el serie Vi-Motion S084, de la compañía Visonic Ltd, conectado a un Controlador Jazz modelo JZ10-11-R10. Para realizar las pruebas, se seleccionó un controlador cuyas características de entradas y salidas son similares al equipo que se utilizó en la implementación.

El programa implementado para esta prueba, contabiliza en intervalos de una (1) hora, el número de detecciones realizadas por el sensor de presencia, y el tiempo máximo de detección, es decir el intervalo máximo de presencia detectado.

El procedimiento efectuado se describe a continuación.

- i. Se realizó el programa para contar el número de detecciones e intervalo máximo de detecciones en intervalos de una (1) hora.
- ii. Instalación del sensor en el salón general de la planta alta de la sede en Caracas de la compañía Intrave C.A.
- iii. Registro del número de accionamientos del sensor, y el tiempo máximo de activación del mismo, en intervalos de una (1) hora, durante un período de siete (7) horas.

Tabla 4: Resultados de la Prueba del Sensor de Presencia V-Motion S084

	HORA	Número de detecciones	Tiempo máximo de activación (s)
MAÑANA	08:10	151	398,4
	09:10		
	09:10	52	407,95
	10:10		
	10:00	78	430,7
	11:10		
	11:10	62	442,3
12:10			
TARDE	12:10	34	350,3
	01:10		
	01:10	95	490,6
	02:10		
	02:10	30	490,6
	03:10		

Los resultados presentados en la Tabla 4, permitieron determinar o validar:

- La selección del sensor, y la metodología diseñada para la activación automática del sistema de iluminación.
- Comprobar la detección por parte del controlador de la señal emitida por el sensor de presencia.
- Caracterizar la señal del sensor de presencia como una señal de tipo on/off, con tiempo en desconexión.

5.2.3. “Hardware” Instalado para el Control de Iluminación

Cada área de iluminación controlada, posee un actuador electromecánico de tipo On/Off o Relé de 5 A de capacidad, seleccionado para manejar el área de iluminación de mayor carga, en la edificación. Todos los relés instalados son de la misma capacidad para facilitar la compra directa con el proveedor.

Las zonas con control automático de iluminación excepto la entrada, tienen instalado un sensor de presencia ubicado de forma que el tránsito o movimiento normal del personal en el área no sea frontal, debido a que este tipo de sensor presenta deficiencias si el movimiento se hace en dirección al sensor, este defecto se evidenció durante la prueba realizada al sensor.

Para el manejo de los actuadores, fue requerida la instalación de dos (2) módulos de salidas (uno para cada OPLC) y un módulo de entradas digitales para el V570. Estos módulos fueron instalados en los tableros de cada planta respectiva.

5.3. Implementación del Sistema de Control de Temperatura

El sistema de control implementado en las unidades de aire acondicionado de la compañía Intrave C.A. fue el propuesto en la sección 4.3.2.2, el cual permite habilitar y deshabilitar las unidades de aire acondicionado sin modificar su estructura, de forma de salvaguardar el patrimonio de la compañía. Se instalaron sensores de temperatura en las áreas de interés, a fin de realizar la monitorización de las unidades de aire acondicionado.

Las figuras 15 y 16 presentan la interfaz gráfica diseñada en el HMI, correspondiente al sistema de monitorización de temperatura.

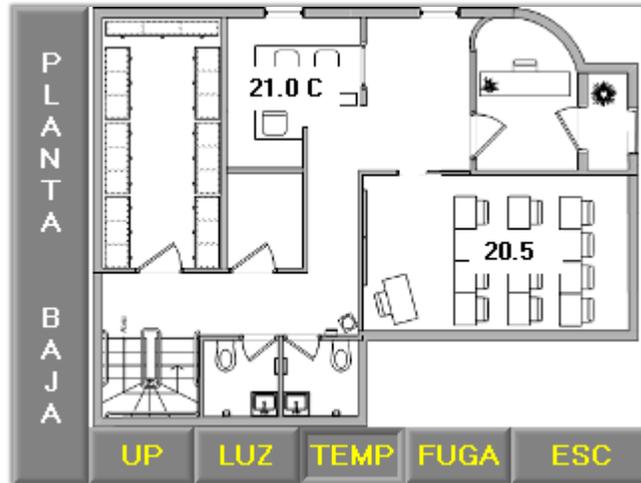


Figura 15: Interfaz Gráfica del Sistema de Monitorización de Temperatura, Planta Baja

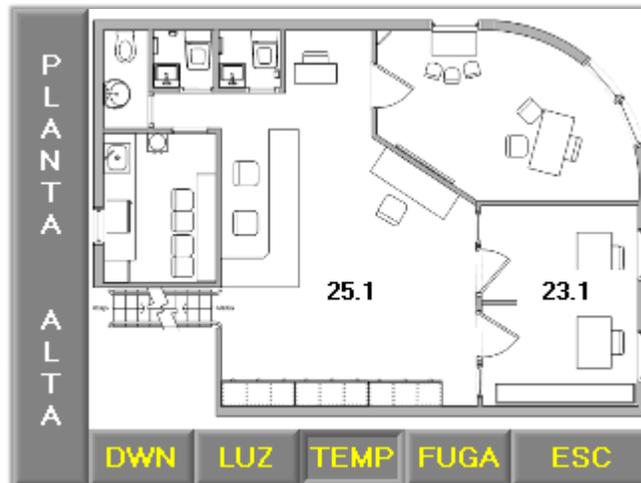


Figura 16: Interfaz Gráfica del Sistema de Monitorización de Temperatura, Planta Alta.

5.3.1. “Hardware” Instalado para el Sistema de Monitorización de Temperatura y Control de Carga.

Las tablas 2 y 3 indican las zonas para instalar los sensores empleados para la monitorización de la temperatura. La tecnología seleccionada fue RTD, del tipo PT100, debido a que este tipo de sensor, no requiere la instalación de un cable

especial a diferencia de un Termo Par. Para la instalación del cableado de los sensores hasta cada unidad de control, se empleó cable de instrumentación de tres hilos, a fin de reducir el ruido e interferencias en la señal.

Cada uno de los aires acondicionados controlados (habilitados) por el sistema de control, posee instalado un relé de 15 A, siendo 10 A la máxima corriente indicada por los fabricantes.

5.4. Implementación del Sistema de Alarmas de Fugas de Agua y/o Inundaciones

La fase I del proyecto incluye la instalación de un sistema de alarmas por inundaciones, empleando el método planteado en la sección 4.3.3.1.

El sistema genera una alarma, si el consumo se eleva por encima de una cantidad de caudal establecida por el usuario. Así como también la alarma es activada por un consumo fuera del horario establecido por el usuario, a fin de detectar un consumo de agua, sin usuarios en la edificación.

5.4.1. “Hardware” instalado para la Detección de Fugas y/o Inundaciones

Para la implementación de este sistema, se instaló un sensor de flujo en la tubería de aguas blancas. El sensor empleado es un sensor de turbina de bajo flujo de medición.

El controlador contabiliza con una entrada de alta velocidad el número de pulsos durante un período de tiempo establecido, y empleando los factores de conversión proporcionados por el fabricante del sensor (ver sección anexa No. 4), se establece la relación entre el número de pulsos por decilitro (dl), que medidos en un intervalo de tiempo, permitió obtener el caudal consumido.

5.5. Sistema de Detección de Intrusiones

La instalación de un sensor de presencia en un área permite implementar un sistema de alarma volumétrico, es decir, detectar la intrusión de personas en el interior de la edificación.

Mientras esté activada la alarma, se emplea la señal generada por los sensores de presencia PIR como disparador.

El sistema de detección de intrusiones puede ser habilitado o deshabilitado por el usuario. La activación de la alarma por intrusión, posee un tiempo de retardo en la activación de la alarma, para permitir que el usuario ingrese a la oficina y desactive la alarma sin que ésta se accione.

5.6. Modo de Simulador de Presencia

El simulador de presencia es un programa implementado en el controlador, el cual activa de forma “aleatoria” una zona de la oficina, durante un período de tiempo también “aleatorio”. Al finalizar el tiempo de activación de la zona, se activa otra zona con las mismas características “aleatorias”.

El usuario posee la capacidad de seleccionar (dentro de las zonas implementadas en la fase I) las áreas que el sistema incluirá en la simulación de presencia. A continuación se exponen los aspectos más relevantes del simulador de presencia implementado, así como la metodología y resultado de la prueba realizada en el Vision V570 para la generación de números pseudoaleatorios.

5.6.1. Selección de Zonas del Simulador de Presencia

Fueron creados los planos de las plantas de la edificación (como interfaz en el HMI), correspondientes a la fase I de la implementación. Los planos son sensibles al tacto en las áreas seleccionables para la simulación, permitiendo así al usuario, la libertad de seleccionar las áreas que desea incluir.

Cada una de las zonas seleccionadas es almacenada en una tabla en el orden de selección, asignando en cada fila el área seleccionada.

Las Figuras 17 y 18, presentan las imágenes correspondientes al HMI, para la selección de las zonas.

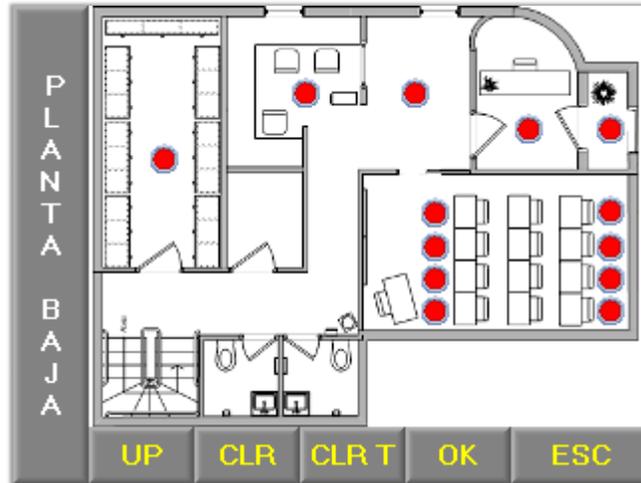


Figura 17: Selección de Zonas del Simulador de Presencia, Planta Baja.

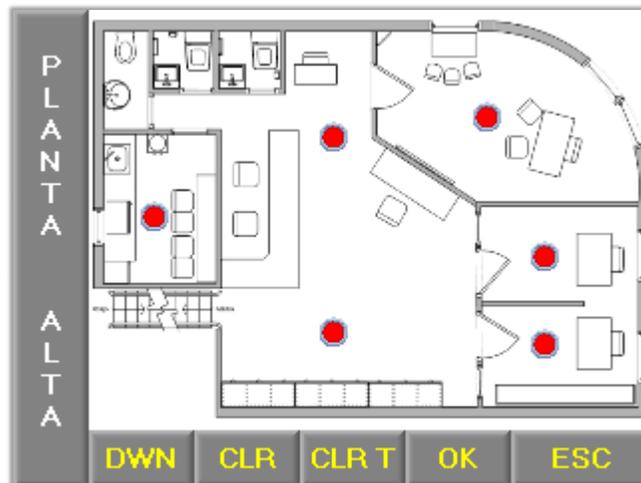


Figura 18: Selección de Zonas del Simulador de Presencia, Planta Alta.

5.6.2. Sistema Aleatorio de Control de Activación de Zonas

Una vez seleccionadas las zonas y activado el simulador de presencia, el sistema ingresa al **Modo de Simulación de Presencia**. La generación de números aleatorios está basada en un **Generador Congruencial Lineal**. Éste permite generar por métodos iterativos secuencias de números aleatorios (de longitud el período del Generador Congruencial y aleatorios entre sí) con una semilla inicial, para su posterior almacenamiento en una tabla, la cual es actualizada cada vez que se requiera.

Los parámetros del método Congruencial de números aleatorios empleado, genera un total de cien (100) números aleatorios en el intervalo [0,99] en cada ejecución. Esta tabla de cien (100) números generados con la misma semilla se divide en dos tablas con cincuenta (50) números aleatorios cada una. Los primeros cincuenta (50) números aleatorios se emplean para seleccionar la **zona a activar**, mientras que los restantes cincuenta (50) números son empleados para obtener el multiplicador de la base de **tiempo de duración de la zona activada**.

Es importante destacar que, se implementaron dos (2) simuladores de presencia independientes, uno para la planta alta, y otro para la planta baja, con las mismas características y capacidades. De Forma que la ejecución del simulador de presencia en ambas plantas sean independientes.

5.6.3. Período Aleatorio de Duración de la Zona Activada

Una vez, generada la tabla de tiempo de duración de zona activada, es verificado cada número de la tabla, si éste es menor que diez (10) se multiplica por diez (10) el número aleatorio generado, de lo contrario permanece igual. En consecuencia los números dentro de la tabla de duración de zona activada están en el rango [10,99]. Se estableció como base de tiempo sesenta segundos (60 s), por lo tanto, el tiempo de duración de una zona activada está en el rango [10,99] minutos.

5.6.4. Activación Aleatoria de la Iluminación de las Zonas Seleccionadas

La tabla de zonas a activar contiene números en el intervalo [0,99], por lo tanto el simulador de presencia posee la capacidad de manejar un máximo de 100 zonas, incluyendo la posibilidad de que todas las zonas se encuentren apagadas.

Para proporcionar a cada zona seleccionada la misma probabilidad de activarse, el método empleado se describe a continuación:

- i. El número total de las **N** zonas activadas es contabilizado.
- ii. Se emplea el número aleatorio **n** para determinar la zona a activar, mediante la ecuación (3).

$$Z = \left[\frac{n(N+1)}{100} \right] \quad (3)$$

- iii. Se activa la fila de la **tabla de zonas seleccionadas**, donde **Z** corresponde al puntero de la zona a activar de la tabla de zonas seleccionadas.

Una vez ejecutada la zona número cincuenta (50), se actualizan las tablas de zona a activar, y de tiempo de duración de zona activada. Para ello se toma como semilla del generador de números aleatorios, un número del sistema del controlador el cual no depende del ciclo de Scan del equipo.

5.6.5. Pruebas del Generador Congruencial Lineal

Previo a la incorporación del sistema aleatorio para activar la iluminación de las zonas, fueron realizadas varias pruebas con la finalidad de obtener los parámetros adecuados del Generador Congruencial lineal, y además de someter al controlador a los cálculos requeridos para la generación de los números aleatorios.

5.6.5.1. Programa de Prueba para Generar Números Aleatorios Bajo el Método Congruencial Lineal

El período o longitud de la secuencia es menor o igual al módulo m , y se desea generar 100 números aleatorios, entonces se asignó $m=100$, y se ajustaron los parámetros para obtener el período máximo.

Basado en la premisa v del Método Congruencial Lineal, y con $m=100$, entonces c es un elemento del conjunto C .

$$C = \left\{ \begin{array}{l} 1,3,7,9,11,13,17,19,21,23, \\ 27,29,31,33,37,39,41,43,47,49 \\ 51,53,57,59,61,63,67,69,71,73 \\ 77,79,81,83,87,89,91,93,97,99 \end{array} \right\}$$

Basado en la premisa vi del Método Congruencial Lineal, a puede ser reducido al conjunto A .

$$A = \{11,21,31,41,51,61,71,81,91\}$$

Efectuando el producto cartesiano ($A \times C$) de ambos conjuntos, se obtiene un conjunto solución de 360 elementos, es decir, existen 360 pares de combinaciones posibles de a y c para generar la ecuación a emplear en la generación de la secuencia de números aleatorios.

5.6.5.2. Metodología para la Selección de a y c , Adecuadas para la Aplicación.

Para la selección del par (a,c) se diseñó un programa en un OPLC Vision 570 con las siguientes características:

- Capacidad de modificar los parámetros multiplicador a , semilla o valor inicial X_0 , Módulo m e Incremento c .
- Capacidad de generar hasta $n=30000$ iteraciones (modificables en cada ejecución).

- Almacenar los datos generados producto de las iteraciones, para ser descargados y analizados.

Fueron generadas y almacenadas 30000 muestras en cada prueba. La información obtenida se analizó en una hoja de cálculo (Excel), para obtener un histograma de cada secuencia, lo cual permitió determinar una “función de probabilidades de variable discreta” (no normalizada). Y seleccionar aquella que se ajustó mejor a una distribución uniforme.

Fueron realizadas varias pruebas entre las posibles soluciones, hasta conseguir una que generó una distribución uniforme, similar a la presentada en la Figura 19, correspondiente a la prueba de $a = 21$, $c = 1$, $m = 100$ y $X_0 = 5$. Se realizaron dieciséis (16) pruebas con diferentes valores de X_0 , las cuales dieron como resultado una distribución uniforme, en los números generados, de allí que se pudo comprobar la correcta selección de los parámetros **a**, **c**, **m**.

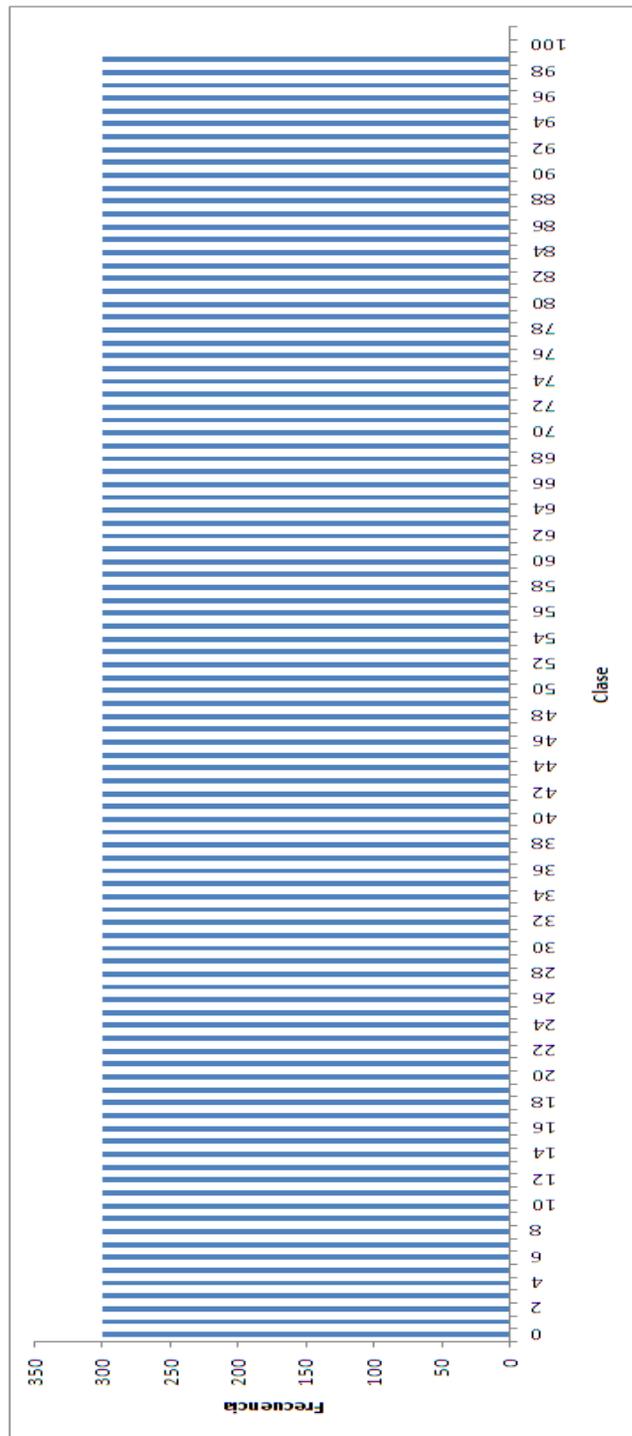


Figura 19: Histograma de una Secuencia de Números Aleatorios Generados con el Método Congruencial Lineal, $a=21$, $c=1$, $m=100$, $X_0=5$.

CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el estudio, tanto en su fase de revisión bibliográfica como en la instalación de los equipos, fue posible dar respuesta a los objetivos específicos planteados en el presente Trabajo de Grado. En tal sentido se presentan las siguientes conclusiones:

En cuanto a la disponibilidad de los sensores en el mercado, para el control de las variables de iluminación, temperatura y fuga de aguas, se hizo posible determinar la tecnología y cantidad de sensores y actuadores necesarios dentro de las limitaciones económicas de la compañía Intrave C.A., y el tiempo de duración de la pasantía, a fin de implementar la Fase I del proyecto de Control y Monitorización de Variables Domóticas, en la edificación de la sede en Caracas de Intrave C.A.

Durante el desarrollo de la investigación e implementación, se determinaron parámetros importantes para la selección de un Controlador Programable a emplear dentro del área de Domótica/Inmótica, entre los cuales se destacan la comunicación, capacidades de cálculo y manejo de información, capacidad de expansión, Interfaz Humano Máquina, entre otros.

El sistema presentado es destinado a ser empleado por personal con conocimientos en el área de programación, así como también de personal sin conocimiento alguno en el área, con el entrenamiento respectivo. Esto le añade importancia a la incorporación de un HMI en el sistema, permitiendo al programador proporcionar un manejo más sencillo al usuario final para la manipulación en la configuración del sistema.

En lo que respecta al sistema planteado, los Controladores seleccionados poseen su propio HMI integrado. La compañía Unitronics, ofrece varios paquetes descargables desde su página Web, entre los cuales se encuentra el software “Remote

Access”, el cual permite la manipulación remota desde una computadora personal con conexión Ethernet dentro de la red del equipo. Estas características de supervisión y control de forma remota, proporcionan la facilidad de poder activar/desactivar los sistemas de iluminación, y temperatura instalados.

La selección de un Controlador Lógico Programable, con capacidad de expansión del número de entradas y salidas, y sus características, proporciona la flexibilidad a nivel de software y hardware para ampliar o modificar el sistema implementado.

Una vez seleccionada la tecnología, el número de sensores y actuadores, entra un parámetro adicional, la instalación. Éste es un aspecto influyente ya que debe impactar a menor escala posible la parte visual de la edificación. Por ello se tomó en cuenta en el momento de seleccionar la ubicación y tipo de tecnología a usar.

El paso siguiente a la implementación de cualquier sistema de control, es la verificación del mismo. Ésta se debe iniciar con los sensores y actuadores de forma aislada, a fin de detectar alguna falla. Asimismo, caracterizar los dispositivos, tal es el caso de los sensores de presencia empleados.

RECOMENDACIONES

La automatización de edificaciones, bien sea llamada Domótica, Inmótica o “Home Automation” (en inglés), es un área que proporciona un extenso campo de investigación, y cuyos resultados benefician desde la comodidad de vida del ser humano, hasta el ahorro energético en el control de cargas. Esto debe ser aprovechado por nuestras instituciones educativas, como es el caso de la Universidad Central de Venezuela, para fomentar el desarrollo de trabajos de investigación y estudios en esta área a lo largo de la formación académica de los Ingenieros Electricistas.

Por lo antes expuesto, el Estado en conjunto con las Universidades del País debe incentivar la Domótica e Inmótica, ya que la misma contribuiría al ahorro y confort de los habitantes de una vivienda y/o edificación.

Para lograr el Control de temperatura, sin modificar el hardware de los equipos, se propone la creación de un módulo que permita la conversión de comandos seriales (enviados desde el OPLC) en los comandos vía Infrarrojo correspondiente a los códigos de los controles remotos de los Aires acondicionados. Esto es posible debido a que los controladores de la serie Vision poseen dos puertos de comunicación serial (RS232/RS485), así como las librerías requeridas para programar un protocolo serial (propietario), a través de la función “Protocol” en la sección de bloques funcionales del equipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Denic Murillo y Carlos Hernández. Historia del control automático, (monografía). Costa Rica, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 2003.
- [2] Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre [en línea] <<http://es.wikipedia.org>> [Consulta: 2008].
- [3] Creus Solé, Antonio. Domótica para instaladores. Editorial: CEYSA, (Libro).-- España. 2005. p.p. 73-120.
- [4] Huidobro M., José M. y Millán T., Ramón J. Domótica: Edificios Inteligentes. Editorial: Limusa, (Libro).--México. 2006 p.p. 181-204.
- [5] Ets-etech Inc. [en línea] <http://www.home-theater-designers.com> [Consulta: 2008]
- [6] Wikipedia, Wikipedia the free encyclopedia [en línea] <<http://en.wikipedia.org>> [Consulta: 2008].
- [7] Osorio V., Guillermo E. Estudio de Factibilidad de desarrollo de un Proyecto de Edificios Inteligentes. (Tesis). Universidad Simón Bolívar. (2001)
- [8] Caruso N., Yrem C. Sistema Gráfico de Monitoreo en Tiempo Real Aplicado a Edificios Inteligentes. (Tesis). Universidad Simón Bolívar. (2000)
- [9] Freitas C., Alfredo R. Diseño e implementación de un Sistema Domótico modular sobre TCP/IP para edificios de oficina o entornos empresariales. (Tesis).Universidad Central de Venezuela. (2005)
- [10] Sánchez A., David. Diseño de una Casa Inteligente Basado en la Tecnología Jini. (Tesis). Universidad de las Américas Puebla. México (2004)
- [11] Urdaneta B., Ángel E. Diseño de Edificios Inteligentes. (Tesis). Universidad Simón Bolívar. (2001)

- [12] Hackworth, John y Hackworth Jr., Frederick. Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications. (Libro electrónico)--p.p 1-49.
- [13] Parr, E.A. Programmable Controller an Engineer's Guide. Editorial: newness, (Libro)--Oxfordshire, Inglaterra. 2003. p.p 1-55.
- [14] X10, X10 Support [en línea] < <http://www.x10.com> > [Consulta: 2008].
- [15] Wikipedia, Wikipedia *L'encyclopédie libre* [en línea] <<http://fr.wikipedia.org>> [Consulta: 2008].

BIBLIOGRAFÍA

Creus Solé, Antonio. Domótica para instaladores, España: Editorial CEYSA, 2005.

Huidobro M., José M. y Millán T., Ramón J. Domótica: Edificios Inteligentes México, Editorial Limusa, 2006.

Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre [en línea] <<http://es.wikipedia.org>> [Consulta: 2008].

Unitronics, PLCs, Automated Parking & Logistic Solution [en línea] <<http://www.unitronics.com>> [Consulta 2008].

ANEXOS