

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIONES COMPLEMENTARIAS DE
AUTOMATIZACIÓN PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**MARÍA ALEJANDRA CAMARGO VILA
NIXON YESID CARDONA ÁLVAREZ
ÁLVARO JHAIR RODRÍGUEZ ARIAS**



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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIONES COMPLEMENTARIAS DE
AUTOMATIZACIÓN PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**MARÍA ALEJANDRA CAMARGO VILA
NIXON YESID CARDONA ÁLVAREZ
ÁLVARO JHAIR RODRÍGUEZ ARIAS**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

Director

**JOHANN FARITH PETIT SUAREZ
Ingeniero Electricista, Ph.D**

Codirector

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Ingeniero Electricista, MS.c**



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

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme recorrer este camino y regalarme sabiduría para afrontar cada una de uno de los obstáculos presentados.

A mis padres Carlos H. Camargo Quintero y Luz Elena Vila Montaña y a mi hermano Carlos A. Camargo Vila, por ser el motor principal de mi vida y apoyarme siempre y en todo momento sin condición alguna.

A cada uno de mis amigos que hicieron parte de una u otra forma en todo este proceso y siempre me acompañaron en cada momento, brindándome su amistad incondicional.

A mis compañeros de trabajo de grado por su entrega, compromiso y dedicación.

Muchas gracias a todos.

María Alejandra Camargo Vila

A Dios, por darme la fortaleza necesaria para superar cada uno de los obstáculos que se me presentaron a lo largo de mi formación como profesional.

A mi madre María Lucy Álvarez Álvarez y a mi hermana Angie Cardona Álvarez, que fueron las inspiradoras de todo lo que soy en este momento; y que por medio de sus consejos, su ejemplo y disciplina me motivaron a ser una mejor persona cada día.

A todos aquellos familiares y amigos que me acompañaron en las buenas y en las malas, sin esperar nada a cambio y durante todo momento.

A mis compañeros de grado, que tuvieron la fortaleza y convicción necesarias para afrontar y superar cada uno de los problemas que tuvimos durante el desarrollo de este trabajo.

Por último, a todos los educadores que dejaron una huella en mi vida, gracias por la formación recibida, ya que es la mejor herencia que se le puede dejar a una persona.

Gracias a los que creyeron en mí, a los amigos que me regalaron momentos de descanso, a los que de alguna forma me hicieron reaccionar, gracias por enseñarme que la base del éxito es el trabajo y la constancia.

A todos. Muchas gracias.

Nixon Yesid Cardona Álvarez

A Dios por sus bendiciones.

A mi madre por su apoyo incondicional y por ser mi mayor motivación.

A mis familiares por sus consejos.

A Diana Granados por incentivar me a dar lo mejor de mí.

Al Dr. Johann Petit por su dirección.

Al MSc. German Osma por su acompañamiento.

A mis compañeros de trabajo de grado por su entrega y dedicación.

A la Universidad Industrial de Santander por la formación integral brindada.

A mis amigos y personas que colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

Álvaro Jhair Rodríguez Arias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1 OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.1.1 Objetivos específicos.	25
2 MARCO TEÓRICO	26
2.1 AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS	26
2.2 RADIACIÓN SOLAR	26
2.3 EL SONIDO	27
2.4 INTENSIDAD SONORA Y LOS DECÍBELES	28
2.5 SENSORES Y DETECTORES EN LA AUTOMATIZACIÓN	29
3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS TELONES ELÉCTRICOS DEL ÁREA DE ATENCIÓN A PREGRADO DEL QUINTO PISO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	30
3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	30

3.1.1	Diseño del detector de radiación solar.....	31
3.1.2	Controlador del sistema	39
3.1.3	Circuito de salida.....	43
3.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	45
3.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN..	48
3.3.1	Resultados	48
3.3.2	Análisis.....	50
4	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN LA SALA DE ESTUDIO GRUPAL DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.....	52
4.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO ...	52
4.1.1	Diseño del sistema de entrada al Arduino.....	53
4.1.2	Determinación del umbral para la activación de la salida del sistema de detección de ruido.....	69
4.1.3	Diseño del sistema y lógica interna de control	72
4.1.3	Diseño del sistema de salida	74
4.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO	76
4.2.1	Instalación del sistema detector de ruido	76
4.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO	81

4.3.1	Resultados	81
4.3.2	Análisis.....	82
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
	BIBLIOGRAFÍA.....	90
	ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de comparación de tres tipos de fotodiodo.	31
Tabla 2. Comparación entre tres diferentes amplificadores de instrumentación.	34
Tabla 3. Estimación del nivel de radiación solar en horas de la tarde.	38
Tabla 4. Definición de los umbrales de decisión de la radiación solar.	39
Tabla 5. Valores de parámetros obtenidos en el diseño del sensor a la entrada del PLC.	39
Tabla 6. Resistencia y corrientes por cada cable del sensor amplificado.	45
Tabla 7. Mediciones de tensión y radiación solar que afectan al sensor del control de los telones, ya implementado.	48
Tabla 8. Estados lógicos del sensor obtenidos a partir de los valores analógicos de tensión a la entrada del PLC.	49
Tabla 9. Tiempo de activación en segundos de los motores de bajada de los telones.	49
Tabla 10. Costos parciales y totales del sistema de telones automáticos.	51
Tabla 11. Comparación de algunas características de micrófonos estudiados.	56
Tabla 12. Comparación entre diferentes tipos de amplificadores operacionales ...	59
Tabla 13. Valores obtenidos del diseño de la primera etapa de amplificación.	71
Tabla 14. Valores obtenidos del diseño de la primera etapa de amplificación.	72

Tabla 15. Especificaciones de los parlantes.	75
Tabla 16. Resistencia y corrientes por cada cable de cada sensor amplificado. ...	77
Tabla 17. Costos parciales y totales del sistema de detección de ruido.	83
Tabla 18. Distancia del sensor a la fuente de sonido, porcentaje de ceros leídos.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Índices de radiación UV de afectación en las personas.....	27
Figura 2. Tipos de sonido y su medida en decibelios	29
Figura 3. Esquema base del sistema de automatización de telones del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	30
Figura 4. Símbolo del fotodiodo	31
Figura 5. Circuito de conexión del sensor de luz solar.....	32
Figura 6. Circuito sensor de luz solar para caracterización.	32
Figura 7. Relación entre la radiación incidente en el fotodiodo la tensión de salida del circuito.....	33
Figura 8. Circuito amplificador de tensión mediante un AD620.	35
Figura 9. Tensión de salida del circuito amplificador en función de su tensión de entrada.....	36
Figura 10. Sensor de luz solar con la etapa de amplificación.	36
Figura 11. Relación entre radiación y salida del sensor de luz solar amplificado. .	37
Figura 12. PLC LOGO! 24RC y sus partes externas	40
Figura 13. Diagrama de estados del control automático de los telones eléctricos.	41
Figura 14. Esquema de un relé de 24V y 8 pines	44
Figura 15. Esquema de conexión de entradas y salidas del PLC.....	46

Figura 16. Caja principal donde está el PLC, las fuentes de alimentación del sensor y los relés de activación de los telones.	46
Figura 17. Sensor de radiación solar	47
Figura 18. Selector de tres posiciones.....	47
Figura 19. Distancias de los telones a lo largo de los días de prueba.	50
Figura 20. Esquema base del sistema de detección de sonido en la sala de estudios grupal del CIEE.....	52
Figura 21. Esquema del circuito interno del sensor análogo de sonido	53
Figura 22. Conexión del sensor de sonido para medición de tensión a la salida...54	
Figura 23. Relación entre los decibeles incidentes en el micrófono y la tensión de salida del sensor.....	54
Figura 24. Señal de salida del micrófono dinámico, en azul, y del micrófono Lavalier, en verde.....	55
Figura 25. Micrófono parabólico.....	57
Figura 26. Señal obtenida del micrófono parabólico.....	58
Figura 27. Circuito amplificador de tensión mediante un AD620.	60
Figura 28. Tensión de salida del circuito amplificador en función de su tensión de entrada.....	60
Figura 29. Ganancia del circuito amplificador respecto a la frecuencia.	61
Figura 30. Sensor de sonido con la etapa de preamplificación.....	61
Figura 31. Relación entre los decibeles del sonido y la salida del sensor preamplificado.....	62
Figura 32. Señal discreta obtenida del sensor 1 de sonido.	63

Figura 33. Señal discreta obtenida del sensor 2 de sonido.	63
Figura 34. Señal discreta obtenida del sensor 3 de sonido.	63
Figura 35. Plano de las divisiones hechas en la Sala de Trabajo Grupal del CIEE para las mediciones de ruido	64
Figura 36. Decíbeles medidos en cada zona de la sala a lo largo del primer día de pruebas.	65
Figura 37. Decíbeles por zona en el día 2 de pruebas.	65
Figura 38. Decíbeles medidos en las 9 zonas en el día 1.....	66
Figura 39. Decíbeles medidos en las 9 zonas en el día 2.....	66
Figura 40. Zonas descartadas para la ubicación de los sensores.	67
Figura 41. Ubicación final de sensores de sonido en la sala de Trabajo Grupal....	68
Figura 42. Decíbeles promedio en Sala de Trabajo Grupal en función de los datos obtenidos del controlador del sistema en el primer día de prueba	70
Figura 43. Decíbeles promedio en la Sala de Trabajo Grupal en función de los datos obtenidos del controlador del sistema en el segundo día de prueba. ...	70
Figura 44. Diagrama de estados del programa desarrollado en la plataforma del controlador.	73
Figura 45. Plano de conexión de dispositivos del sistema de detección de ruido en el CIEE.....	76
46. Esquema de conexiones del sistema.....	78
Figura 47. Instalación de la caja del controlador del sistema, selector y fuentes de alimentación.....	78
Figura 48. Primer sensor de sonido y micrófono parabólico	79

Figura 49. Segundo sensor y micrófono parabólico	79
Figura 50. Tercer sensor y micrófono parabólico	80
Figura 51. Parlantes y lámparas ubicados cerca al controlador.....	80
Figura 52. Parlantes ubicados en la pared paralela a la entrada a la Sala de Trabajo Grupal	81
Figura 53. Detección de niveles de ruido	82
Figura 54. Información de parámetros y memoria utilizada en la elaboración del programa.....	85
Figura 55. Reloj semanal que activa el programa en el PLC	91
Figura 56. Contacto de lectura de entrada analógica y discriminador analógico ...	91
Figura 57. Ventana de parametrización de rango de medida analógica y de umbral de activación/desactivación	92
Figura 58. Esquema de contactos de activación de lectura de la tensión a la salida del sensor por parte del PLC	92
Figura 59. Diagrama de contactos para el conteo de horas sucesivas de desactivación de la salida del sistema	93
Figura 60. Esquema de activación y reseteo del contador de 2 flancos	94
Figura 61. Contador de 3 flancos y sus parámetros	95
Figura 62. Contador de 4 flancos y sus parámetros.	95
Figura 63. Contador de 5 flancos y parámetros	96
Figura 64. Contador de 6 flancos y sus parámetros	96
Figura 65. Contador de 7 flancos y sus parámetros	97
Figura 66. Contactos asociados al reinicio de los contadores de flancos	97

Figura 67. Esquema de contactos asociados al contador de 2 flancos y la salida del PLC	98
Figura 68. Esquema de contactos asociados al contador de 3 flancos y la salida del PLC.....	98
Figura 69. Esquema de contactos asociados a la activación de la salida Q1 del PLC durante 36 segundos.	99
Figura 70. Activación de la salida Q1 del PLC.....	100
Figura 71. Reloj semanal para la lógica de subida de los telones.	100
Figura 72. Esquema de contactos para subir los telones.	101
Figura 73. Declaración de tipo de variables y condiciones iniciales.....	102
Figura 74. Declaración del espacio de programación.....	102
Figura 75. Condicionales para toma de decisiones.	103
Figura 76. Estado Selección	104
Figura 77. Comandos para la reproducción de las canciones.	104
Figura 78. Parar de reproducir la canción.....	105

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL DE LOS TELONES ELÉCTRICOS DE LA SALA DE ESPERA DE COORDINACIÓN DE PREGRADO	91
ANEXO B. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE RUIDO EN LA SALA DE ESTUDIOS GRUPAL DEL CIEE	102

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIONES COMPLEMENTARIAS DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA*

AUTORES:

MARÍA ALEJANDRA CAMARGO VILA
NIXON YESID CARDONA ÁLVAREZ
ÁLVARO JHAIR RODRÍGUEZ ARIAS**

PALABRAS CLAVE: automatización, radiación solar, telones eléctricos, ruido audible, nivel de sonido y sensores.

DESCRIPCIÓN:

Con el fin de seguir la línea de renovación del Edificio de Ingeniería Eléctrica, se desarrollan dos aplicaciones de procesos automáticos que contribuyen a mejorar el desarrollo de actividades en dos lugares específicos. Para el Edificio de la E3T es muy importante innovar tecnológicamente en la domótica y la eficiencia energética, para contribuir con el medio ambiente usando eficientemente la energía eléctrica.

Se diseña un sistema de control automático para los cuatro telones eléctricos previamente ubicados en la sala de espera y Coordinación de Pregrado con base en la magnitud de radiación solar y un controlador lógico programable. Su implementación permite que las personas que se encuentren en esa zona estén protegidas de la radiación solar y la transmitancia de calor incidente en horas de la tarde cuando no hay personal administrativo en el lugar que opere el control manual que manipula los telones eléctricos.

Por otro lado, para un mejor desempeño en las actividades que se realizan en el Centro de Estudio de Ingenierías Eléctrica y Electrónica (CIEE), se diseña e implementa un sistema de detección de ruido basado en tres sensores de sonido ubicados estratégicamente en la sala, con el fin de fomentar la autorregulación en las personas allí presentes, ya que el lugar presenta contaminación sonora constantemente en el día.

Se elaboran los manuales de cada uno de los sistemas, que indican de manera detallada la configuración, manipulación y el correcto mantenimiento de los dispositivos que conforman cada sistema.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Johann Farith Petit. Codirector German Alfonso Osma Pinto

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF COMPLEMENTARY APPLICATIONS OF AUTOMATION FOR THE ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING*

AUTHORS:

MARÍA ALEJANDRA CAMARGO VILA
NIXON YESID CARDONA ÁLVAREZ
ÁLVARO JHAIR RODRÍGUEZ ARIAS**

KEY WORDS: Automation of processes, solar radiation, electric curtains, audible noise, sound level and sensors.

DESCRIPTION:

In order to follow the line of energy renovation of the Building's Electrical, two applications were developed for automated processes that contribute to optimize the execution of the activities that are carried out in two specific areas of the building. For E3T's building it is very important to innovate technologically in domotic and energy efficiency, to contribute to the environment efficiently using electricity.

An automatic control system is designed for four electric curtains previously located in the waiting room and Coordination Undergraduate based on the magnitude of solar radiation and a programmable logic controller. Its implementation allows people who are in that area are protected from solar radiation and the heat transmittance incident in the afternoon when in this place don't stay administrative personal that to operate the manual control that manipulates electrical curtains.

For a better performance in the activities carried out at the Center for the Study of Electrical and Electronic Engineering (CIEE), was designed and implemented a system based on three sensors of sound located strategically in the room. The control system can regulate levels of unwanted sound, in order to encourage self-regulation on the people there, since the place has consistently noise pollution in the day.

Finally the manuals were developed for each of the deployments, where it is indicated in detail the configuration, handling and the proper maintenance of the devices that make up each system.

* Degree Work

** Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Ele School of Electrical, Electronic and of Telecommunications Engineerings. Director Johann Farith Petit. Codirector German Alfonso Osma Pinto

INTRODUCCIÓN

El Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, en el marco del continuo mejoramiento de las diferentes áreas y sectores, incluye la automatización de procesos como una herramienta para brindar a la comunidad condiciones que garanticen un apropiado desempeño de cada una de las actividades, tanto académicas como administrativas, que se desarrollan en el edificio.

En la sala de espera y en la oficina de Coordinación de Pregrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se presenta una constante afluencia de personal estudiantil, docente y administrativo. Los rayos solares llegan directamente a estos lugares durante las horas de la tarde, generando un ambiente no propicio para desarrollar las actividades que se llevan a cabo y que pueden incluso afectar la salud de los presentes.

Por un lado, en las ventanas ubicadas frente al área de atención a pregrado, se encuentran cuatro telones eléctricos que son utilizados para salvaguardar a las personas de los rayos solares. Estos telones son controlados manualmente desde el interior de la oficina y cuentan con una manipulación restringida, lo que implica que estos no podrán ser activados cuando no haya personal autorizado para manejar el control. Por esta razón, es necesaria la implementación de un sistema automático que limite el paso de los rayos solares al área mencionada.

Para cumplir con el requerimiento antes mencionado, se desarrolló un sistema de control automático que permite el movimiento de una determinada longitud de los telones eléctricos en función de la magnitud de radiación solar y de la hora del día.

Por otro lado, en la sala de estudios grupal que pertenece al CIEE se reúnen estudiantes diariamente con el fin de desarrollar actividades relacionadas con la academia. Debido a la afluencia de personas y a las diversas tareas que allí se realizan, se presenta constantemente contaminación sonora que no propicia un buen ambiente de estudio.

En respuesta a esta problemática, se realizó el diseño y la implementación de un sistema automático que, mediante avisos acústicos y visuales, indique que los niveles de ruido dentro de la sala no son los adecuados. De esta manera se

pretende fomentar la autorregulación en las personas y así generar un espacio de estudio apropiado.

Es así como, a través de estas dos implementaciones, se pretende contribuir con el proceso de mejoramiento continuo del Edificio de la E3T e incentivar a toda la comunidad a la investigación y al desarrollo de este tipo de proyectos.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar aplicaciones complementarias asociadas a automatización para el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

1.1.1 Objetivos específicos.

- Diseñar e implementar un sistema automático de control que detecta los niveles de ruido y ayuda a su autorregulación, para el Centro de Estudios de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.
- Diseñar e implementar un sistema de control automático para el uso de telones eléctricos ubicados en la sala de espera de atención a estudiantes de pregrado de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS

La construcción de edificios enfocados a la automatización de las variables que interactúan en los espacios, se ha convertido en uno de los objetivos de la ingeniería de los últimos años [1]. Los denominados *Edificios Inteligentes* buscan mejorar las condiciones de trabajo, la eficiencia del consumo energético, la seguridad de las instalaciones y las telecomunicaciones [2].

Inicialmente se lograron controlar procesos relacionados con la climatización adecuada de los espacios y el uso racional de la energía, buscando la optimización en su desarrollo. Luego se avanzó en el control de procesos relacionados con la presión, el grado de humedad, los servicios de comunicación, la seguridad, entre otros [3].

Actualmente, gracias a los avances conjuntos de la electrónica y la informática, se han construido edificios que cuentan con sistemas de control y comunicaciones de manera centralizada que incluye todos los procesos de automatización instalados, buscando proporcionar bienestar, confort y seguridad a todas aquellas personas que hacen uso de estos espacios con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles [4], [5].

2.2 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar se define como el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, que se comporta como un cuerpo negro que irradia energía bajo la ley de Planck a una temperatura de 6000K [6]. La radiación solar se emite desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, pero no toda esta radiación alcanza la superficie terrestre debido a que la luz ultravioleta tiene una longitud de onda más corta, la cual es absorbida generalmente por la capa de ozono. La irradiancia es la magnitud que se mide de la radiación solar cuya unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2) [7].

Existen varios tipos de radiación solar, uno de ellos es la radiación solar directa, que es la que proviene directamente del sol; y la radiación difusa, que se presenta

cuando los rayos solares chocan con los gases que se encuentran en las capas atmosféricas generando ondas en todas las direcciones [7].

La radiación UV es parte de la radiación solar, la cual es causante de enfermedades oculares y en la piel debido a la exposición prolongada de las personas a la irradiación solar [8]. El nivel de afectación de los rayos UV en las personas está establecido en índices numéricos de 1 a 16, donde el índice 1 corresponde a una afectación mínima en la piel de las personas producidas por los rayos UV, y el índice 16 es la máxima afectación [8]. La Figura 1 muestra los índices de radiación UV que afectan a las personas.

Figura 1. Índices de radiación UV de afectación en las personas [8].



Cada índice equivale a $100W/m^2$, lo cual significa que a partir de $300W/m^2$, las personas deben protegerse de los rayos solares [8].

2.3 EL SONIDO

El sonido es un fenómeno que se produce debido a la vibración de un cuerpo, este fenómeno genera una presión en el medio que lo rodea y se transmite a través de diferentes tipos de materiales (no se propagan en el vacío) hasta llegar a algún tipo de receptor que, por medio de un mecanismo, interpreta y decodifica esas vibraciones [9].

La propagación del sonido se da por medio de materiales sólidos, líquidos o gaseosos y se da en forma de ondas mecánicas, lo que quiere decir que se transporta energía sin necesidad de transportar masa. Como las vibraciones y el sonido se propagan en la misma dirección se dice que se trata de un tipo de onda longitudinal [9].

Para el análisis del sonido es necesario tener en cuenta los fenómenos de eco y reverberación. Estos fenómenos se producen por la reflexión del sonido y se diferencian por el tiempo de persistencia acústica, por ejemplo, si se produce un sonido seco (el sonido que se emite al pronunciar una palabra) y este regresa en más de 0.067s se le llama eco, de lo contrario se le llama reverberación [9], [10]. Cuando se presenta este último fenómeno, el cerebro humano es incapaz de diferenciar dos sonidos diferentes e interpreta un solo sonido de manera prolongada, mientras que cuando sucede el eco, el cerebro interpreta fácilmente dos sonidos que llegan al oído en tiempos diferentes [10].

2.4 INTENSIDAD SONORA Y LOS DECÍBELES

La intensidad del sonido es la potencia acústica que se transfiere por una onda sonora, disminuye a razón del inverso del cuadrado de la distancia y se mide en decibeles [11]. Esta unidad se expresa como la relación logarítmica entre la magnitud de interés y la de referencia, equivale a la décima parte de un belio y se utiliza por ser más cómodo en la práctica.

La escala está comprendida entre los 0dB, correspondiente al sonido apenas perceptible por el oído humano; y los 180dB, equivalente al ruido de un cohete al lanzarse de una plataforma [12]. A continuación se presenta en la Figura 2 los valores en decibeles de los sonidos más comunes.

Figura 2. Tipos de sonido y su medida en decibeles [12].



Una exposición constante a más de 85dB es peligroso para las personas y puede causar daños en su aparato auditivo, por ello el límite aceptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 65dB [12].

2.5 SENSORES Y DETECTORES EN LA AUTOMATIZACIÓN

El control automático abarca diferentes conceptos, lo que hace necesario conocer su estructura básica para llevar a cabo un proceso en específico. Una parte fundamental es el sensor, elemento que sirve para convertir una magnitud física en una magnitud eléctrica y permite que un sistema de control interactúe con los fenómenos físicos que intervengan en el proceso [13], [14].

Por su configuración y elaboración, los sensores absorben poca energía del fenómeno físico que mide, lo que impide su uso directo en el proceso de control ya que las señales obtenidas tienen baja magnitud. Por esta razón, las señales eléctricas deben ser apropiadamente amplificadas y/o acondicionadas antes de ingresar al dispositivo que las va a procesar [15].

3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS TELONES ELÉCTRICOS DEL ÁREA DE ATENCIÓN A PREGRADO DEL QUINTO PISO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

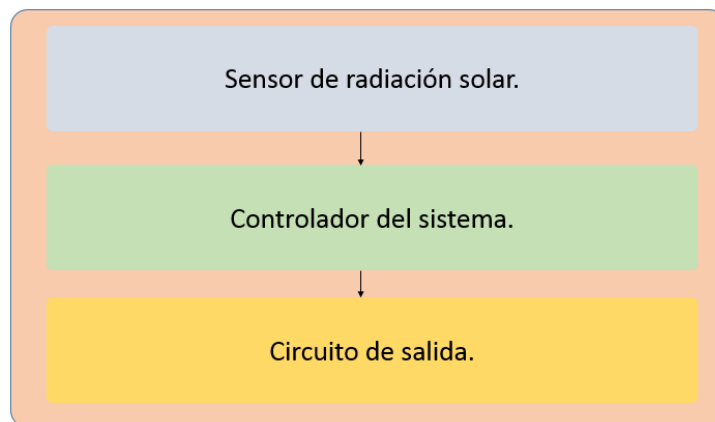
En este capítulo se presenta el diseño, implementación y resultados del sistema de automatización para los telones eléctricos que se encuentran en la sala de espera de Coordinación de Pregrado.

Por medio de un sistema de automatización, compuesto por un sensor de radiación solar y un PLC, se controla el paso de corriente que alimenta cada uno de los cuatro motores que activan los telones, permitiendo regular la intensidad de luz solar y transmitancia de calor que ingresa al interior del área mencionada.

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

La Figura 3 muestra el esquema para el diseño del sistema total de automatización, el cual se divide en tres partes; sensor de radiación solar, control central y circuito de salida.

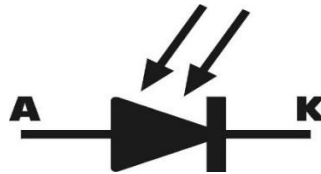
Figura 3. Esquema base del sistema de automatización de telones del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



3.1.1 Diseño del detector de radiación solar. En esta sección se presenta detalladamente el diseño, etapa de amplificación y resultados de un sensor de radiación solar para el sistema de control automático de telones eléctricos.

3.1.1.1 Sensor de radiación solar. El fotodiodo es un semiconductor que transforma los rayos luminosos incidentes en señales eléctricas por medio de su ventana de recepción [16]. El fotodiodo PIN de silicio es sensible a la luz solar, se polariza inversamente y la longitud de onda que puede captar está en un rango de 190nm a 1100nm [16]. En la Figura 4 se presenta el símbolo del fotodiodo PIN.

Figura 4. Símbolo del fotodiodo [17].



Cuando los rayos solares inciden sobre el diodo con suficiente energía, excitan a los electrones en la zona de agotamiento de la unión PN, produciendo un movimiento de cargas que generan una *fotocorriente* [18]. Para elegir el dispositivo indicado se hace una comparación entre tres tipos de fotodiodo de silicio.

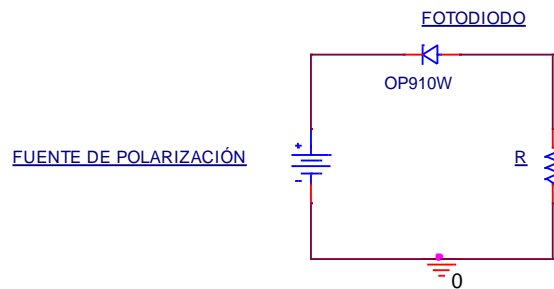
En la Tabla 1 se comparan tres fotodiodos con características similares, para poder escoger el adecuado para el sistema automático de telones.

Tabla 1. Parámetros de comparación de tres tipos de fotodiodo.

Fotodiodo	Corriente en oscuridad (nA)	Corriente a plena luz (A)	Rango de temperatura (°C)	Tensión de inversa (V)	Precio (US \$)
BPW21	2	2	-40 a 80	10	8,85
OP910W	2,4	2,5	-65 a 125	60	5,5
BPX65	1	2	-40 a 80	50	4,73

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 1, como el amplio rango de temperatura de operación, tensión de polarización inversa y corrientes a plena luz y oscuridad, se escoge el fotodiodo OP910W. Este dispositivo se caracteriza por su alta fiabilidad, bajo ruido y un ancho de banda amplio, el tiempo de conmutación del sensor es rápido y su salida es directamente proporcional a la irradiancia [19]. En la Figura 5 se presenta el circuito para el funcionamiento del fotodiodo.

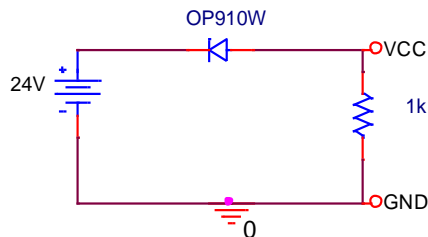
Figura 5. Circuito de conexión del sensor de luz solar.



La respuesta del fotodiodo se toma indirectamente por medio de la tensión que se mide en la resistencia R .

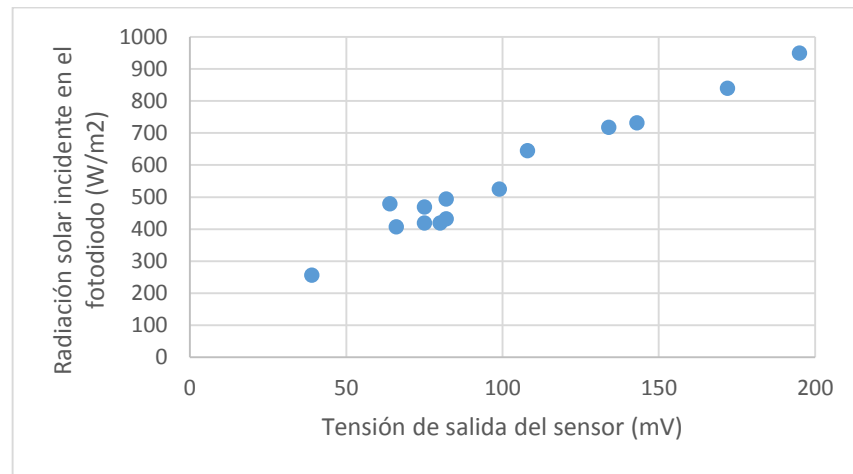
3.1.1.2 Caracterización del sensor. Para la caracterización del sensor se implementa el circuito mostrado en la Figura 6 con 24V de corriente continua y se mide la tensión en la resistencia de $1k\Omega$, que se escoge para regular la corriente del circuito.

Figura 6. Circuito sensor de luz solar para caracterización.



Para determinar el comportamiento de la radiación solar respecto al tensión de salida del circuito de funcionamiento del sensor, se mide cada 15 minutos mediante un multímetro la tensión en los terminales de la resistencia de salida del circuito mostrado en la Figura 6, a su vez se mide la radiación solar incidente en el fotodiodo mediante un medidor de luz solar. El proceso se realiza tomando las medidas a través de un vidrio de 3mm de grosor para tener en cuenta los efectos de difracción y refracción de la luz, ya que el sensor debe ubicarse en una caja protectora. Esta medición se hace entre 2:00 pm y 5:00 pm, debido a que en este tiempo los rayos solares inciden directamente sobre la sala de espera.

Figura 7. Relación entre la radiación incidente en el fotodiodo la tensión de salida del circuito.



En la Figura 7 se puede observar que entre la tensión de salida del sensor y la radiación solar, existe una relación directamente proporcional. Además, se estima que el máximo tensión de salida del sensor es de 200mV a una radiación de 1000W/m².

3.1.1.3 Amplificación de tensión del sensor. La tensión de salida del sensor está comprendida entre 0V y 200mV, pero la entrada analógica del PLC requiere tensiones comprendidas entre 0V y 10V para un funcionamiento óptimo; lo que implica un problema de acoplamiento entre estos dos sub-sistemas. Por tal motivo se diseña una etapa de amplificación de tensión que conserve la forma de la señal que entrega el sensor.

El amplificador de instrumentación que se escoge para el sensor de radiación solar debe cumplir varios requerimientos, debe tener la capacidad de amplificar tensiones de baja magnitud aunque haya ruido presente, debe manejar un muy bajo nivel de *offset* y debe soportar las condiciones climáticas que están presentes en el lugar.

En la Tabla 2 se presentan varios tipos de amplificadores de instrumentación con sus características para determinar el apropiado para el diseño.

Tabla 2. Comparación entre tres diferentes amplificadores de instrumentación.

Dispositivo	Rango de Temperatura (°C)	Ganancia (V/V)	Tensión de offset (V/V)	Ancho de banda [kHz] (G=100)	Corriente de polarización (nA)	Precio (US \$)
INA121P	-55 a 125	1-10000	200	50	0,004	6,63
INA128P	-40 a 125	1-10000	50	200	5	8,74
AD620AN	-40 a 85	1-10000	50	120	1	4,09

El amplificador AD620AN tiene una tensión de offset y corriente de polarización que mejor cumplen con los requerimientos del sensor, además de ser el más económico entre los dispositivos comparados. Por estas razones se escoge este dispositivo para la etapa de amplificación.

La ganancia del amplificador depende del valor de la resistencia externa (R_G) que se instala entre los pines 1 y 8. Para determinar el valor de la resistencia de ganancia del amplificador, se debe tener en cuenta el rango de tensión de salida del sensor y el rango de tensión de entrada al PLC. La ecuación de la ganancia de tensión es:

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G} \quad (2.1)$$

Ya teniendo los datos suficientes, se procede al cálculo del valor de la resistencia R_G .

$$V_0 = G * V_{in} \quad (2.2)$$

$$G = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (2.3)$$

Se usan los valores máximos de la salida del sensor (V_{in}) y la entrada al PLC (V_o) para poder utilizar la ganancia adecuada para el sistema.

$$G = \frac{10V}{200mV} = 50 \frac{V}{V} \quad (2.4)$$

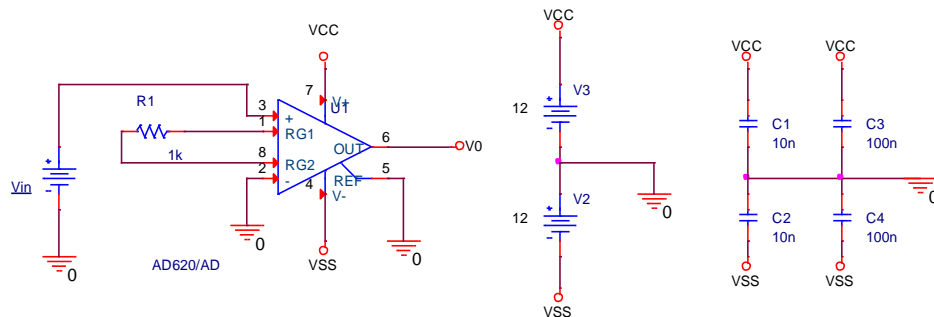
De la ecuación 2.1 se tiene que:

$$50 = 1 + \frac{49400}{R_G} \quad (2.5)$$

$$R_G = 1,008k\Omega \quad (2.6)$$

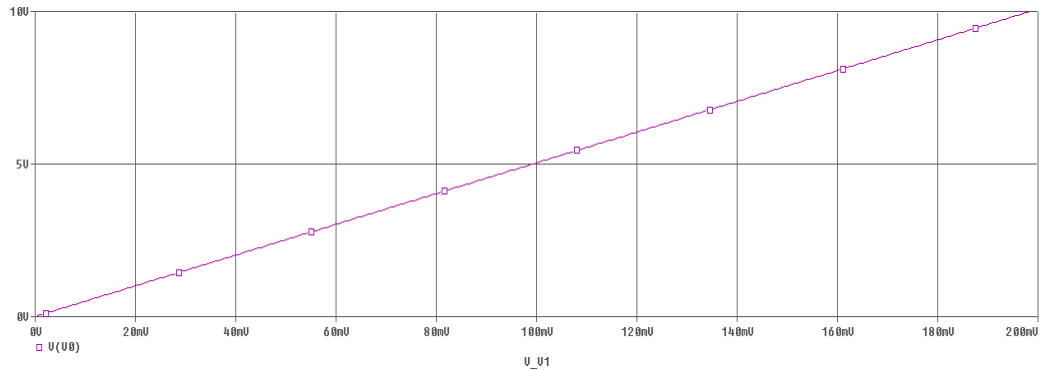
3.1.1.4 Simulación de la etapa de amplificación. Se presenta la simulación del circuito para verificar que el amplificador de instrumentación tiene la ganancia de tensión adecuada antes de implementar el circuito. La Figura 8 muestra el circuito amplificador de la señal del sensor detector de luz solar. La tensión de alimentación es de $\pm 12V$.

Figura 8. Circuito amplificador de tensión mediante un AD620.



Para verificar su comportamiento, se muestra en la Figura 9 la señal de tensión de salida del amplificador respecto a la tensión de entrada entre 0V y 200mV mediante simulación.

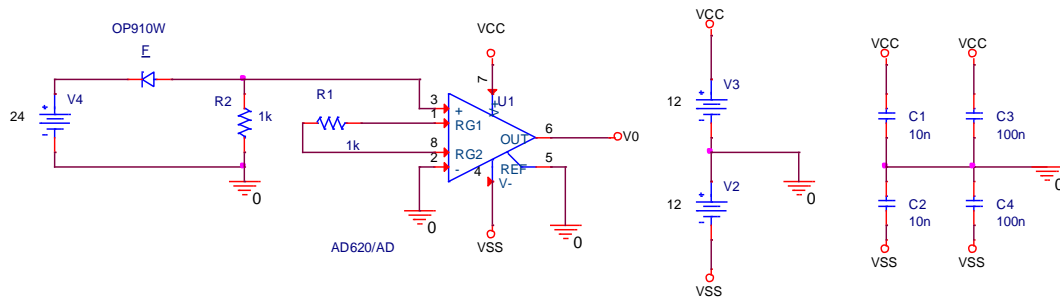
Figura 9. Tensión de salida del circuito amplificador en función de su tensión de entrada.



La tensión de salida tiene un comportamiento lineal ante el rango de tensión de entrada. El máximo tensión de salida es de 10V cuando la entrada es de 200mV.

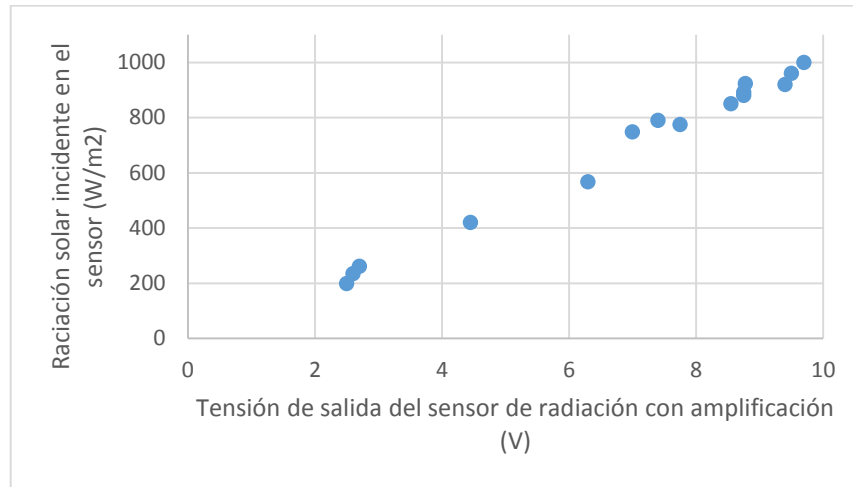
3.1.1.5 Circuito del sensor de radiación solar. Teniendo el circuito del sensor acoplado a la etapa de amplificación, se verifica su correcto funcionamiento, para ello se implementa el circuito mostrado en la Figura 10.

Figura 10. Sensor de luz solar con la etapa de amplificación.



Para ello se miden cada 15 minutos la tensión en la salida del sensor de radiación solar con la etapa de amplificación, a la vez que se mide la radiación solar incidente en el fotodiodo para determinar la relación radiación-tensión del sensor. Los resultados de estas mediciones se muestran en la Figura 11.

Figura 11. Relación entre la radiación y la salida del sensor de luz solar amplificado.



De esta manera se verifica que tensión de entrada al PLC se encuentra entre 0V y 10V.

3.1.1.6 Umbral de decisión del sistema de control. Para determinar el umbral a partir del cual el PLC ejecuta las instrucciones programadas, se basó en la información de la Figura 1 donde, a partir de 300W/m^2 , los rayos UV son nocivos para las personas. Para comprobarlo, se realiza una toma de mediciones de la radiación solar que incide en la sala de espera de atención a Pregrado en horas de la tarde. Usando un medidor de luz solar, se toman datos cada 15 minutos de la radiación solar que ingresa en la sala de espera de atención a Pregrado, a la vez que se registran los valores de tensión del sensor de radiación solar. Estos datos se encuentran en la Tabla 3, donde se aprecia que el nivel de intensidad de los rayos solares es clasificado cualitativamente en cinco categorías, con el fin de exponer que tanto afecta o incomoda a las personas que estén presentes en el lugar.

Tabla 3. Estimación del nivel de radiación solar en horas de la tarde.

Tensión sensor (V)	Radiación solar (W/m ²)	Nivel de intensidad de Radiación solar
1,89	190	Muy Bajo
2	202	Muy Bajo
2,22	230	Muy Bajo
2,6	257	Bajo
2,87	286	Bajo
2,96	298	Bajo
3	302	Ligeramente alto
3,06	313	Ligeramente alto
3,47	355	Alto
4,01	408	Alto
4,1	420	Alto
4,17	420	Alto
4,29	433	Alto
4,65	470	Alto
4,74	480	Alto
4,89	495	Alto
5,76	526	Muy alto
8,45	645	Muy alto
9,72	708	Muy alto

Con los resultados mostrados en la Tabla 3 y con base en la Figura 1, se determina que a partir de 300 W/m² la intensidad de la radiación solar se torna molesta para las personas allí presentes, a diferencia del rango de 0 a 299W/m², donde la radiación solar es aceptable y no incomoda a las personas. En la Tabla 4 se resumen los valores de los umbrales que se usarán en el controlador.

Tabla 4. Definición de los umbrales de decisión de la radiación solar.

Tensión del sensor (V)	Radiación solar (W/m ²)	Umbral	Porcentaje de umbral (%)
0-2,99	0-299	Low	0-29,9
3-10	300-1000	High	30-100

3.1.1.7 Resultados del diseño del sensor. Para resumir los valores importantes que se tuvieron en cuenta en el diseño del sistema de entrada se presenta, en la Tabla 5, todos los parámetros obtenidos.

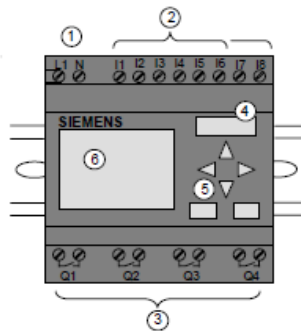
Tabla 5. Valores de parámetros obtenidos en el diseño del sensor a la entrada del PLC.

Parámetro	Valores	Unidades
Tensión de polarización fotodiodo	24	V
Tensión de polarización del amplificador	±12	V
Resistencia de ganancia del amplificador	1	kΩ
Resistencia del sensor	1	kΩ
Rango de salida de la etapa de amplificación	0-10	V
Umbral de radiación que corresponde al estado Low (0)	0-299	W/m ²
Umbral de radiación que corresponde al estado High (1)	300-1000	W/m ²

3.1.2 Controlador del sistema. Con el objetivo de profundizar en el área de la automatización de procesos, se usó un PLC para el control del sistema, dispositivo utilizado en la industria para ejecutar procesos automáticos.

3.1.2.1 Controlador lógico programable. El PLC LOGO! 24 RC mostrado en la Figura 12 ofrece características especiales para el diseño del control automático de los telones eléctricos, tiene 4 entradas analógicas en un rango de 0 a 10V, se alimenta con 24V y tiene 4 salidas a relé. Cuenta con varias funciones como contadores, generadores de pulsos, relojes, temporizadores, entre otros [20]. Además de las anteriores características, se escoge este dispositivo porque la E3T lo tenía disponible para usar.

Figura 12. PLC LOGO! 24RC y sus partes externas [20].



De la Figura 12, se tiene:

1. Alimentación de continua del PLC.
2. Entradas del PLC, cabe resaltar que I7 e I8 pueden usarse como entradas analógicas o digitales.
3. Salidas del PLC.
4. Puerto de recepción de datos desde el computador.
5. Panel de manejo del PLC.
6. Display de visualización LCD [20].

3.1.2.2 Funcionamiento del programa. El control del sistema inicia con la activación de la señal enviada del sensor de luz solar, la cual es procesada internamente por el PLC que contiene los umbrales establecidos en la Tabla 3, determina bajar los telones (cuando el estado lógico del sensor sea *high*) o mantenerlos detenidos (cuando el estado lógico del sensor sea *low*); y a las 5:30 pm el controlador envía la orden de subir a los telones hasta su posición inicial.

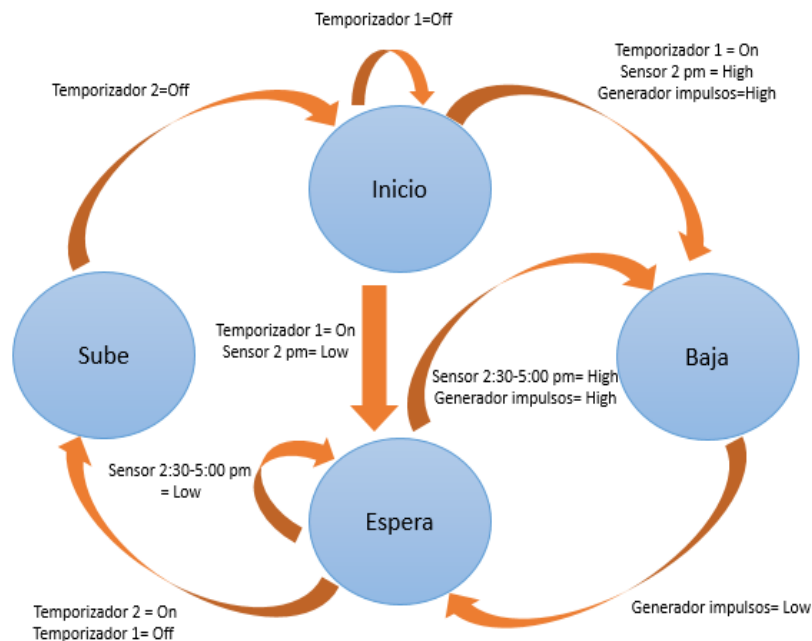
Las horas en que los altos niveles de radiación solar ingresan a la de zona de Coordinación y la sala de espera de Pregrado están comprendidas entre las 2 pm y las 5:00 pm, por esta razón el programa está activo durante este intervalo de tiempo.

El PLC toma lecturas de la radiación solar cada media hora y, dependiendo del estado lógico en que se encuentre la variable, baja o mantiene detenidos los telones.

Para determinar los diferentes tiempos en los que descienden y suben los telones, se hizo pruebas en horas de la tarde para determinar los momentos en los cuales los rayos solares ingresaban a la sala de espera. Varias personas se situaron en diferentes partes de la sala de espera y por medio del control manual y a diferentes horas de la tarde entre 2:00 pm y 5:00 pm, descendían los telones eléctricos hasta proteger a las personas a la parte de la cintura, asegurando que no importara si estuvieran sentados o de pie.

3.1.2.3 Lógica secuencial del control. Utilizando las variables externas, como el valor umbral del sensor; y las herramientas internas del PLC, como los contadores y temporizadores, se determina la lógica del sistema que se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Diagrama de estados del control automático de los telones eléctricos.



Inicio. Este estado representa la posición inicial antes de la activación del sistema que permite el movimiento de los telones. El sistema de control está activado por un reloj que puede configurar su activación en horas y días de la semana (temporizador

1), que comienza a ejecutarse de lunes a viernes entre 2 pm y 5:00 pm. Los sábados y domingos no se activa el control de telones ya que no hay personas en el lugar. Una vez comienza a funcionar el programa, se activa un generador de impulsos periódicos donde el estado alto dura 7 segundos y el estado bajo dura 30 minutos. Por medio de esta herramienta se habilita y deshabilita el uso del sensor de radiación solar en el sistema.

Baja. El sistema llega a este estado cada vez que el sensor de radiación solar lee *high* en sus terminales al mismo tiempo que es habilitado mediante el generador de impulsos, es decir, esto puede ocurrir en el intervalo de tiempo de 2:00 pm a 5:00 pm. Si la lectura obtenida por el sensor es *low* o el generador de impulsos se encuentra deshabilitado, el sistema pasará al estado *Espera*.

Debido a que el nivel de radiación solar es variable a lo largo del día, es necesario contemplar todas las eventualidades que pueden darse cuando la luz solar ingresa a la sala de espera de atención a Pregrado.

Para que el sistema cumpla con su trabajo de manera adecuada, es necesario que cuando se presente un nivel de luz solar alto, tenga en cuenta los períodos inmediatamente anteriores, si se leyó o no radiación solar; y así determinar el tiempo de activación de los telones para que puedan descender, ya que el ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie terrestre cambia a lo largo del día por la rotación de la Tierra.

El programa toma en cuenta los períodos consecutivos en que la lectura de radiación solar, por parte del sensor, es *low*. Asegurando que los telones bajan la distancia y en el momento necesario, es decir, acumula tiempo de bajada para activarlo cuando haya un nivel de radiación solar alto, utilizando la luz solar que ingresa al área de sala de espera de atención a Pregrado.

El tiempo en que el sistema permanece en este estado es determinado por las lecturas del sensor que se hayan tomado anteriormente, como se explica a continuación:

- Si el reloj semanal habilita el sistema y la lectura del sensor es *high*, se activa la salida para que los telones descendan durante 8 segundos.
- Si en el período anterior y en el actual el sensor obtuvo una lectura *high*, los telones descenden durante 8 segundos.
- En el caso de que la lectura del sensor fue *low* en el período inmediatamente anterior a la lectura actual, y esta última haya sido *high*,

entonces el sistema permanece en este estado por 20 segundos para que los telones puedan descender.

- Si en dos periodos consecutivos, el sensor obtuvo una lectura *low* y en la siguiente una lectura *high*, el sistema se mantiene en este estado por 28 segundos.
- Como última condición se tiene que si durante tres o más periodos consecutivos, el sensor realizó una lectura *low* y la lectura siguiente es *high*, el sistema permanecerá en este estado durante 36 segundos.

Sube. El sistema ingresa a este estado sólo cuando se activa un segundo reloj semanal (temporizador 2) a las 5:30 pm de lunes a viernes. La segunda salida del PLC se activa para que suban los telones durante 70 segundos, volviendo a su posición inicial. Dado el caso en que los telones no hayan bajado durante toda una tarde, esta salida es igualmente habilitada, aunque los telones se encuentren detenidos. El sistema vuelve al estado *inicio* a las 5:32 pm, momento en que se desactiva el temporizador 2.

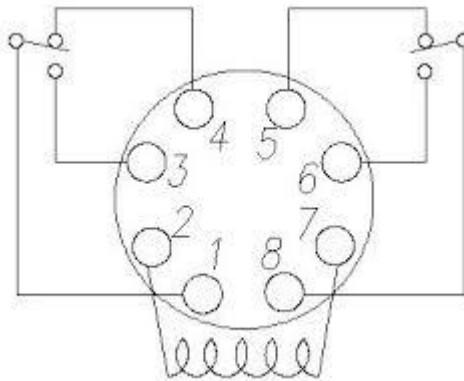
Espera. El sistema entra a este estado cuando la lectura del sensor de radiación solar es *low*. El estado *Espera* dura 30 minutos hasta el siguiente período de activación del generador. Los sensores se deshabilitan al igual que las salidas del PLC. Cabe resaltar que una vez que el sistema sale del estado *Baja*, inmediatamente pasa al estado *Espera*.

3.1.3 Circuito de salida. Las salidas del PLC están conectadas a un circuito On/Off para la habilitación del movimiento de los motores según la programación interna del dispositivo. Internamente tiene 4 salidas a relé, de las cuales se utilizarán dos: Q1, que permite el descenso de los telones eléctricos y Q2, para que los telones suban.

El control automático de los telones se puede elegir mediante un selector de tres posiciones, que permite escoger entre el control manual, el control automático o la desactivación de los controles.

3.1.3.1 Relés de control. Las salidas Q1 y Q2 del PLC están conectadas a dos relés de control. Estos relés son magnéticos, soportan hasta 10A y 250V de corriente alterna. En esta implementación funcionan como interruptores que son controlados por una señal de tensión de 24V de corriente continua. Los terminales de los contactos de cada relé se conectan a los motores de los telones, que a su vez están alimentados por una tensión de 120V proveniente de la red eléctrica suministrada por la ESSA. La Figura 14 muestra el esquema de un relé de 8 pines.

Figura 14. Esquema de un relé de 24V y 8 pines [21].



En los pines 2 y 7 está la bobina de control, es decir, son los pines donde se conectan las salidas Q1 y Q2 respectivamente. Los contactos escogidos son normalmente abiertos para que cuando se cierran, permitan que la corriente que pasa por los pines 6 y 8, llegue a los motores de los telones.

3.1.3.2 Telones eléctricos. Los 4 telones funcionan mediante motores de paso, la corriente de alimentación en cada uno es de 300mA a un tensión de 120V de corriente alterna. La alimentación externa de cada motor consta de 4 cables, una fase para que los telones bajen, otra fase para que suban, un neutro y una tierra. El desplazamiento de los telones respecto al tiempo se describe mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Desplazamiento de telones} = 3,25 * t \quad (2.7)$$

Donde t es el tiempo medido en segundos.

3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

El sensor de radiación solar se instaló en la parte superior de la ventana ubicada al frente a la sala de espera de Coordinación de Pregrado. El sensor se ubicó en una caja con tapa de vidrio de 3mm de grosor, mientras que el amplificador de la señal obtenida del sensor se ubicó en el techo a 5cm de la ventana.

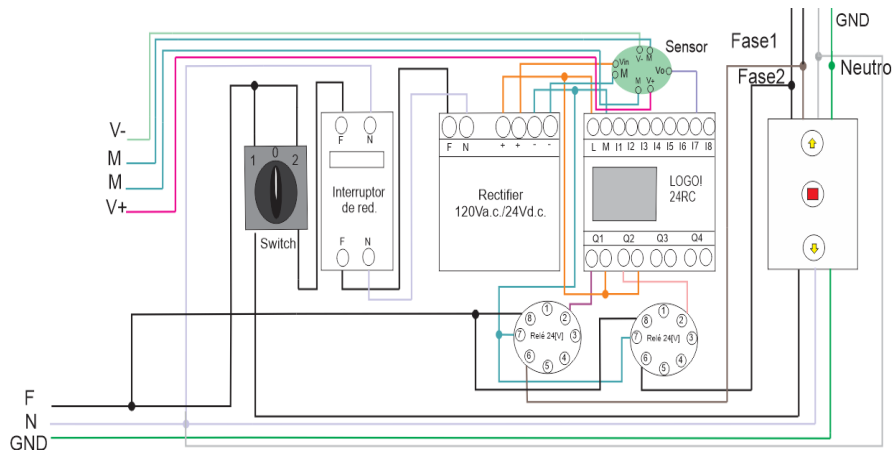
El cable que transmite la señal eléctrica de la salida del amplificador al PLC, el cable de la masa (M) del circuito y el cable que envía la tensión de alimentación del sensor desde el PLC (L+), los cables de alimentación dual de tensión (V+ y V-) y el cable que lleva la señal del sensor amplificado (V_{in}), son del mismo calibre: AWG #22. Soporta hasta 920mA y tiene una resistencia de 0,05293Ω/m. Todos estos conductores unen el sensor con el PLC. La longitud de los mismos es de 9m. La Tabla 6 presenta los resultados de las mediciones de resistencia de los cables y de las corrientes máximas por cada conductor.

Tabla 6. Resistencia y corrientes por cada cable del sensor amplificado.

Cable	Resistencia del cable (Ω)	Corriente máx. (mA)
V+	0,47637	2,14
V-	0,47637	-2,14
M	0,47637	2,1
V _{in}	0,47637	0,1
V _{out}	0,47637	0,9

El control del sistema está instalado dentro de la oficina de Secretaría de Coordinación de Pregrado, el PLC y los relés están ubicados en una caja protectora de acrílico de manera que las personas ajenas a la manipulación y/o mantenimiento no puedan acceder a él. También se encuentra el selector de control de tres posiciones que permite escoger con cual sistema se desea controlar los telones. El esquema de conexiones se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Esquema de conexión de entradas y salidas del PLC.



El cable *Fase1* lleva la señal para que los telones bajen, *Fase2* lleva la señal para que los telones suban, *Neutro* es el mismo neutro de la red y *GND* es el cable que va a tierra. La Figura 16 muestra la instalación del controlador, los relés y las fuentes de tensión del sistema de automatización de telones.

Figura 16. Caja principal donde está el PLC, las fuentes de alimentación del sensor y los relés de activación de los telones.



En la Figura 17 se presenta la caja protectora y el sensor de radiación solar.

Figura 17. Sensor de radiación solar



La Figura 18 muestra el seleccionador de los sistemas que controlan los telones eléctricos.

Figura 18. Selector de tres posiciones



3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

En esta sección se presentan los resultados del sistema automático de los telones eléctricos, además de un análisis de todo el diseño e implementación.

3.3.1 Resultados. Los resultados del sistema de automatización de los telones eléctricos implementado se muestran en la Tabla 7. En ella se evidencia el registro de las mediciones tomadas de la tensión del sensor amplificado que llega a la entrada del PLC y la radiación solar, producto del seguimiento durante 4 días consecutivos.

Tabla 7. Mediciones de tensión y radiación solar que afectan al sensor del control de los telones, ya implementado.

Hora	Día 1		Día 2		Día 3		Día 4	
	Voltaje (V)	Radiación (W/m ²)	Voltaje (V)	Radiación (W/m ²)	Voltaje (V)	Radiación (W/m ²)	Voltaje (V)	Radiación (W/m ²)
2:00 pm	1,21	130	1,23	123	1,12	109	3,34	335
2:30 pm	1,32	139	1,19	121	3,01	302	2,76	280
3:00 pm	1,28	134	1,23	124	4,27	430	3,37	338
3:30 pm	1,38	141	1,36	140	3,44	347	3,32	335
4:00 pm	1,45	148	3,09	313	5,65	564	2,08	206
4:30 pm	1,87	188	3,23	325	3,41	340	2,81	283
5:00 pm	1,31	133	2,87	289	2,91	293	3,09	310

Las tensiones mostradas en la Tabla 7 fueron procesadas digitalmente por el PLC y los valores arrojados se compararon con el umbral de decisión para establecer el estado lógico de la salida del sensor (*high* o *low*). A partir de lo anterior se obtuvo la Tabla 8.

Tabla 8. Estados lógicos del sensor obtenidos a partir de los valores analógicos de tensión a la entrada del PLC.

Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
2:00 pm	Low	Low	Low	High
2:30 pm	Low	Low	High	Low
3:00 pm	Low	Low	High	High
3:30 pm	Low	Low	High	High
4:00 pm	Low	High	High	Low
4:30 pm	Low	High	High	Low
5:00 pm	Low	Low	Low	High

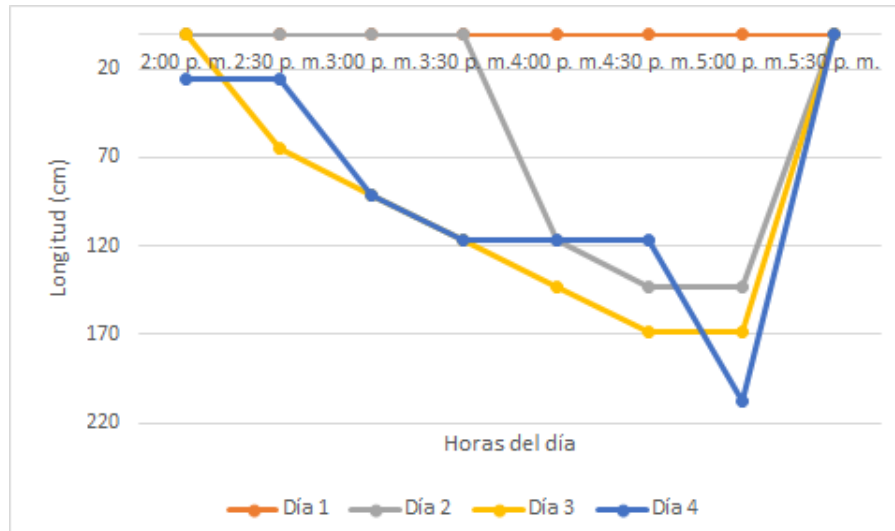
Debido a que la salida del sistema está directamente relacionada con los estados lógicos del sensor, la activación de los motores que controlan el movimiento de los telones se presenta cuando el estado lógico del sensor es *high*. Lo anterior se resume en la Tabla 9.

Tabla 9. Tiempo de activación en segundos de los motores de bajada de los telones.

Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
2:00 pm	0	0	0	8
2:30 pm	0	0	20	0
3:00 pm	0	0	8	20
3:30 pm	0	0	8	8
4:00 pm	0	36	8	0
4:30 pm	0	8	8	0
5:00 pm	0	0	0	28

La Figura 19 muestra las distancias en centímetros que se desplazan los telones en los días de prueba.

Figura 19. Distancias de los telones a lo largo de los días de prueba.



3.3.2 Análisis. En la Tabla 9 se observa cómo se acumula el tiempo en que los telones no se han activado, esta acción se hace por medio de contadores de flancos y temporizadores con el fin de que el ingreso de la radiación solar a la sala de espera de atención a Pregrado sea limitada conforme pasan las horas de la tarde. Los intervalos de tiempo en que se activa la entrada son suficientes para controlar la radiación solar que ingresa al lugar.

La Figura 19 muestra gráficamente el movimiento de los telones durante cuatro días; en estas gráficas se ve con detalle que a las 5:30 pm los telones vuelven a su posición inicial, condición que se contempla desde el inicio del diseño del sistema para asegurar que la zona de Atención a Pregrado disfrute de la iluminación natural en las horas de la mañana del siguiente día.

Las lecturas mostradas en la Tabla 7 son tomadas cada treinta minutos, tiempo que se considera suficiente para proteger a las personas que se encuentran al interior del área de trabajo.

Para finalizar, se debe tener en cuenta que, en caso de un corte de energía al PLC entre las 2:00 pm y las 5:00 pm, el sistema tendrá en cuenta el tiempo acumulado en que los telones no han descendido durante el mismo día. Es decir, si el PLC lleva un acumulado de dos periodos consecutivos sin activar los motores y en ese instante se corta la energía durante un tiempo en el edificio, al momento de realizar la siguiente medida, y suponiendo que la entrada está en *high*, se activarán los motores de los telones durante 28 segundos.

Para determinar el costo del sistema diseñado e implementado, se tuvo en cuenta la inversión para adquirir los materiales y el costo de mano de obra para diseñar e implementar el sistema de telones automáticos. La Tabla 10 muestra los costos parciales y totales del sistema.

Tabla 10. Costos parciales y totales del sistema de telones automáticos.

Concepto	Precio/unidad [pesos]	Cantidad	Total [pesos]
Caja protectora 30x30x15 cm	30.000	1	30.000
Caja protectora 8x8x7 cm	3.500	1	3.500
Caja protectora 7x7x5 cm	8.000	1	8.000
PLC Logo 12/24 RC	650.000	1	650.000
Fotodiodo OP910W	15.000	1	15.000
Relevo 24 V 8 pines	24.000	2	48.000
Adaptador de voltaje	25.000	2	50.000
Amplificador de instrumentación AD620AN	16.000	1	16.000
Cable Cu #22 [m]	400	60	24.000
Canaleta [m]	23.000	15	345.000
Chazos y tornillos	10.000	1	10.000
Cinta aislante	9.900	1	9.900
Cinta de enmascarar	10.900	1	10.900
Estaño de soldar	24.900	1	24.900
Herramientas	50.000	1	50.000
Diseño y mano de obra por persona	2.000.000	3	6.000.000
Otros	100.000	1	100.00
Total			7.295.200

4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN LA SALA DE ESTUDIO GRUPAL DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

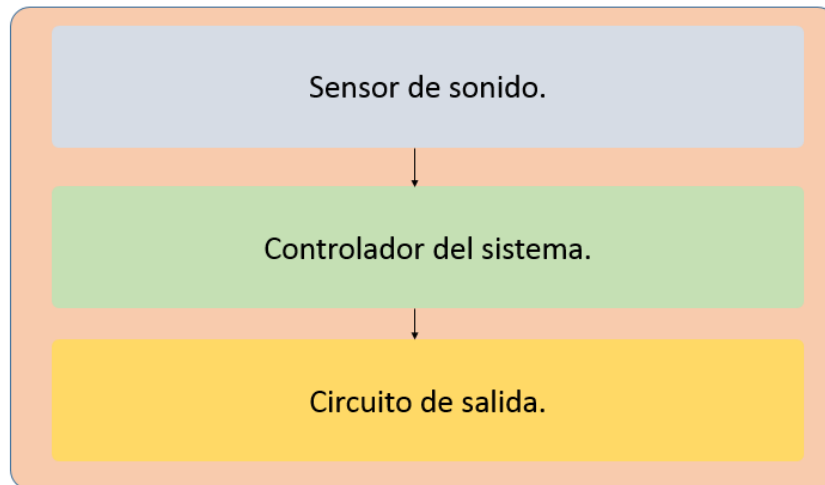
En este capítulo se presentará el diseño, la implementación y los resultados del sistema de detección de sonido instalado en la Sala de Trabajo Grupal del CIEE.

Por medio de un sistema de control a lazo abierto, una placa de Arduino y tres sensores de sonido, se mide el nivel de sonido generado en este lugar para reproducir alertas acústicas y activar señales visuales cuando se sobrepase el umbral de tolerancia previamente establecido, y cumplir el objetivo de ayudar a autorregular los niveles de ruido en el área.

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO

El diseño del sistema se compone de tres subsistemas principales: sistema entrada (adquisición de sonido), sistema central (procesamiento de la señal) y sistema de salida (generación de alarmas), como se presenta en la Figura 20.

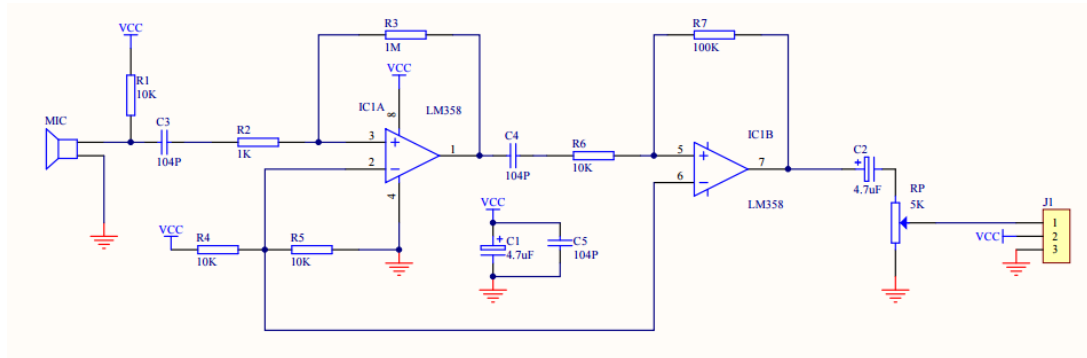
Figura 20. Esquema base del sistema de detección de sonido en la sala de estudios grupal del CIEE.



4.1.1 Diseño del sistema de entrada al Arduino. En esta sección se presenta detalladamente el diseño, etapa de amplificación y resultados de tres sensores de sonido para el sistema de control automático de detección de sonido.

4.1.1.1 Sensor de sonido. El sensor analógico de sonido DFR0034 es típicamente usado para la detección del ruido ambiente en un área específica. Fue construido para tener una fácil interacción con diferentes plataformas, tales como Arduino; para sensar y amplificar diferentes tipos de ruido acústico [22]. Este sensor cuenta con un rango de tensión de polarización comprendido desde los 3,3V hasta los 5V, su interface es analógica y su tamaño es de 22mm x 30mm. El circuito del sensor de sonido se muestra en la Figura 21.

Figura 21. Esquema del circuito interno del sensor analógico de sonido [22].

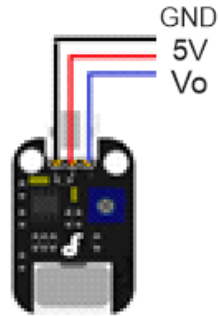


El OPAMP LM358 que utiliza el modulo es un amplificador de baja potencia, lo que permite utilizar tensiones de 5V para polarizar todo el circuito.

En el circuito de la Figura 21, se observa que la señal de entrada al sensor es filtrada y amplificada de forma paralela. El dispositivo sensa el sonido y entrega una señal eléctrica proporcional a la señal acústica.

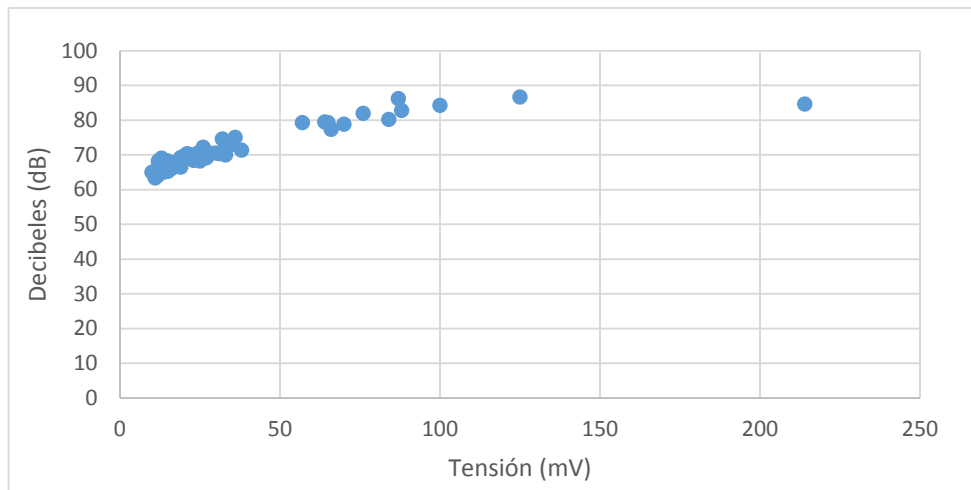
4.1.1.2 Caracterización del sensor. Se dispone de un sensor analógico para ejecutar las pruebas, configurado y conectado al Arduino. El sensor se ubica dentro de la Sala de Trabajo Grupal en horas de atención a los estudiantes, de tal manera que el micrófono reciba las señales sonoras durante un determinado tiempo, el esquema de conexión del sensor se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Conexión del sensor de sonido en para medición de la tensión a la salida [27].



Por medio de un multímetro se procede a medir el valor de la tensión en la salida del sensor y al mismo tiempo con la ayuda de un sonómetro se miden los decibelios en el área, registrando los valores que se obtiene en el mismo instante de tiempo por cada uno estos dos instrumentos. Esta medición se realiza en la parte central de la sala y arroja como resultado la siguiente gráfica, mostrada en la Figura 24, que relaciona el sonido en decibelios y la tensión de salida del sensor en V.

Figura 23. Relación entre los decibelios incidentes en el micrófono y la tensión de salida del sensor.



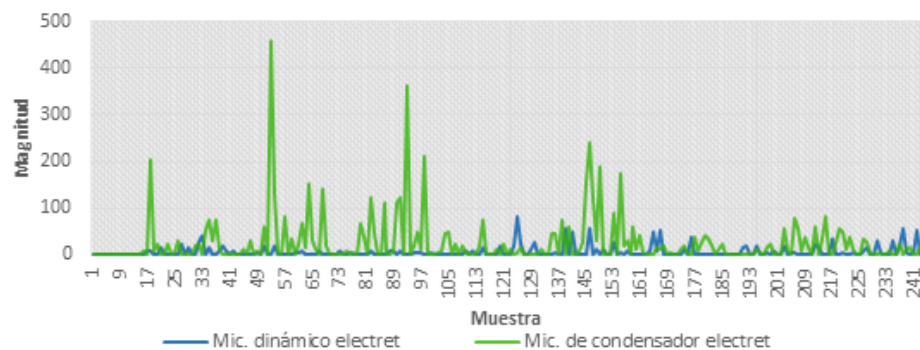
A partir de los resultados mostrados en la Figura 23, se contempla que la señal de tensión es muy pequeña para las entradas analógicas del controlador, pues el rango de entrada a la placa de Arduino es de 0V a 5V. Por consiguiente, es necesario amplificarlas para un procesamiento adecuado.

4.1.1.3 Micrófono del sensor. El micrófono es parte esencial de la implementación del sistema de sonido, ya que en su interior se convierte el fenómeno físico en su equivalente eléctrico y así se obtienen las señales que se van a procesar en el controlador del sistema.

El sensor analógico de sonido DFR0034 cuenta con un micrófono dinámico electret construido para aplicaciones de altos niveles de ruido; pero posee una mala respuesta en frecuencia, es decir, no reconoce los cambios de frecuencia y presión sonora que se producen en la voz. Esta fue la principal razón que llevó a la búsqueda de un micrófono con mejores características que se adaptara a las necesidades de la implementación. Se cambia el micrófono del sensor de sonido por un micrófono Lavalier, diseñado para captar de manera precisa la voz humana [22].

En la Figura 24 se observa el comportamiento de las señales de salida del sensor con dos tipos de micrófono. En el eje de las abscisas podemos observar los valores correspondientes a la conversión analogo-digital de la tensión a la salida del sensor, que son procesados de manera digital por el arduino; y en el eje de las ordenas cada una de las muestras tomadas. En color azul, se encuentra la gráfica determinada por el micrófono original del dispositivo; y en color verde, se tiene la señal determinada por un micrófono Lavalier, con mejores características que el anterior. Cabe resaltar que la distancia entre la fuente emisora y el micrófono para la prueba fue de 30cm.

Figura 24. Señal de salida del micrófono dinámico, en azul, y del micrófono Lavalier, en verde.



La Tabla 11 muestra resultados obtenidos de la comparación hecha entre el sensor de sonido conectado a un micrófono dinámico con el mismo sensor conectado a un micrófono Lavalier.

Tabla 11. Comparación de algunas características de dos micrófonos estudiados.

Parámetro	Micrófono dinámico	Micrófono Lavalier
Máxima magnitud de las muestras	82	459
Porcentaje de ceros en las muestras	49,65	33,18

Los parámetros de los micrófonos comparados en la Tabla 11 son indispensables en la determinación del elemento que se escogió para la implementación, a continuación se explica el significado de cada uno de ellos. Estos datos se calculan a partir de las muestras presentadas en la Figura 24. A continuación se exponen tres enunciados que contribuyen al análisis de los datos de la tabla 11:

- La magnitud de las muestras dependerá de cuanto alcance y que tan sensible sean los micrófonos; entre mayor sea el valor de la muestra, mejor es el rendimiento del dispositivo respecto a estas dos características.
- Cuando se mide la tensión de los micrófonos, se puede observar una aleatoriedad en las muestras tomadas. Si se posicionan los micrófonos a la misma distancia de la fuente, el promedio de los datos dará una idea cercana de la distancia a la que cada dispositivo sensa ruido acústico.
- Los micrófonos electret son la versión encapsulada de dispositivos mucho más potentes e ideales para cualquier aplicación de sonido; pero la miniaturización de estos circuitos eléctricos implica un menor *performance* respecto a los originales; en este caso, se espera que los micrófonos no funcionen de manera ideal, por lo que se busca el mejor rendimiento entre estos. De los 242 datos que se tomaron por medio de Arduino, se realiza el cálculo del porcentaje de ceros existentes en las muestras con el fin de analizar que tan eficientes y confiables era cada uno de los micrófonos. Como las pruebas se realizan con un ruido sostenido, un menor porcentaje de ceros significa que el dispositivo es más confiable y exacto al momento de realizar el sensado [23].

Examinando los datos presentados en la tabla 11 con los enunciados, se puede concluir que el micrófono que posee mejor comportamiento en términos de fiabilidad, distancia de sensado y *performance* es el micrófono Lavalier.

4.1.1.4 Mejoras al micrófono del sensor. El micrófono parabólico es un instrumento cuyo principal objetivo es captar el sonido proveniente de diferentes direcciones. Esta conformado por un plato reflector que acoge las ondas del sonido y las enfocan en un área pequeña, para luego ser recogidas por un micrófono. Este tipo de estructura es utilizada para captar el sonido donde la fuente se ubica a largas distancias [23].

Los elementos que conforman el micrófono parabólico son: un plato reflector, un micrófono, un brazo o barra que sostiene el micrófono y una salida para el micrófono [23], como se muestra en la figura 25.

Figura 25. Micrófono parabólico [24].



El principio de funcionamiento de este tipo de micrófono se basa en reflejar las ondas de sonido desde un área grande, el plato reflector, hacia un área pequeña, el micrófono.

El punto focal se debe ubicar de manera exacta para que el micrófono parabólico funcione correctamente y poder lograr un volumen acústico más alto y mayor calidad de sonido. Para hallar este valor, se hace necesario el uso de la siguiente fórmula, que relaciona el punto focal con el diámetro de la parábola (D) y su profundidad (F).

$$PuntoFocal = \frac{D^2}{16 * F} \quad (3.1)$$

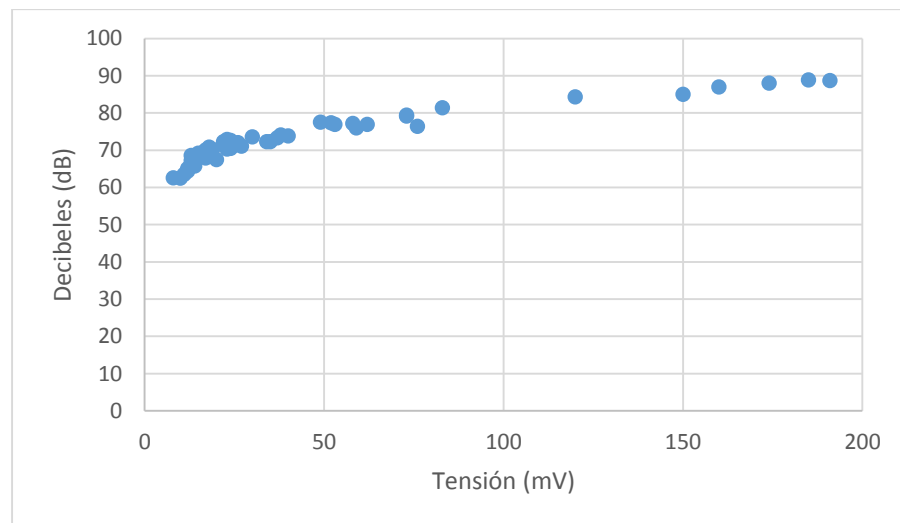
Donde D=20cm y F=5cm. Hallando el punto focal se obtiene lo siguiente.

$$PuntoFocal = \frac{20^2}{16 \cdot 5} = \frac{400}{80} = 5cm. \quad (3.2)$$

Una vez ubicado este punto, se procede a fijar el brazo del micrófono. Este puede ser una barra que va desde el centro o un extremo del plato. El micrófono se coloca en un extremo del brazo, ubicándolo exactamente en el punto focal.

Finalmente, una vez ubicadas cada una de estas piezas, se procede a conectar el micrófono a la respectiva salida deseada, ya sea un amplificador, grabador o cualquier dispositivo que sea requerido. La Figura 26 muestra la relación entre los decíbeles y la tensión del sensor de sonido. Esta medición se hace en el centro de la Sala de Trabajo Grupal.

Figura 26. Señal obtenida del micrófono parabólico.



4.1.1.5 Etapa de preamplificación de la señal de ruido acústico. Para acoplar la señal que genera el sensor de sonido al Arduino, se diseña una etapa de preamplificación que no genere ruido eléctrico a la señal que ingresa al controlador. Para ello se hace uso de los amplificadores de instrumentación, que son dispositivos que ejecutan muy bien esta tarea, cuentan con una alta impedancia de entrada, bajo nivel de tensión *offset*, alto CMRR y baja impedancia de salida [19]. Al escoger el amplificador que mejor se acomodara al sistema, se tuvieron en cuenta las características que se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12. Comparación entre tres diferentes tipos de amplificadores operacionales.

Dispositivo	CMRR	Ganancia	Tensión de Offset (mV)	Ancho de banda (kHz)	Corriente de polarización (nA)	Precio (USD)
INA128P	106	1-10000	50	200	5	8,74
INA333	100	1-10000	25	150	0,2	11,50
AD620AN	100	1-10000	50	120	1	4,09

Los tres dispositivos anteriormente analizados son parecidos en las características presentadas, pero se puede resaltar una importante ventaja del amplificador AD620 sobre los demás integrados: es más económico, por lo que se ha escogido para la etapa de preamplificación.

La ganancia del amplificador es variable y se ajusta con una resistencia R_G , cuyo valor se debe hallar teniendo en cuenta el rango de tensión de salida del sensor y el rango de tensión de entrada al controlador. Su ecuación es:

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G} \quad (3.3)$$

Teniendo los datos suficientes, se procede al cálculo del valor de la resistencia R_G .

$$V_0 = G * V_{in} \quad (3.4)$$

$$G = \frac{V_0}{V_{in}} \quad (3.5)$$

Se usan los valores máximos de la salida del sensor (V_{in}) y la entrada máxima que admite el controlador (V_0) para utilizar todo el rango del sistema central.

$$G = \frac{5V}{200mV} = 25 \frac{V}{V} \quad (3.6)$$

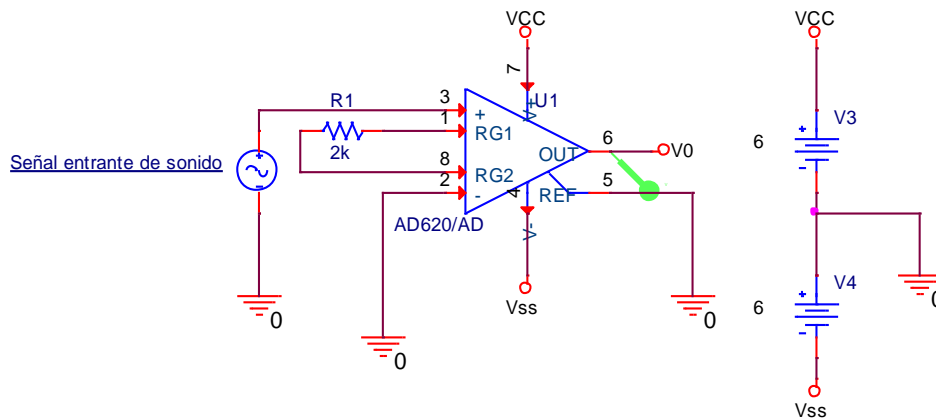
De la ecuación 3.6 se tiene que:

$$25 = 1 + \frac{49400}{R_G} \quad (3.7)$$

$$R_G = 2,058k\Omega \quad (3.8)$$

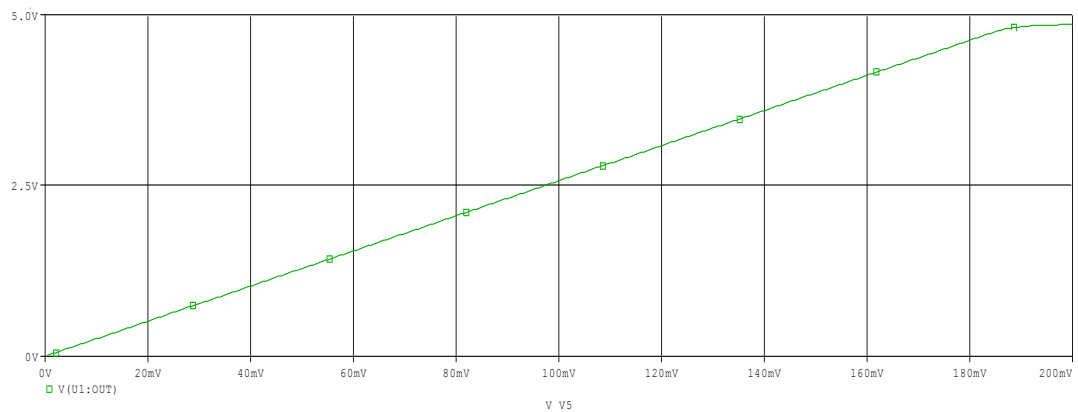
4.1.1.6 Simulación de la etapa de preamplificación de la señal de ruido acústico. La Figura 27 muestra el circuito amplificador de la señal del sensor de sonido. La tensión de alimentación es de $\pm 6V$.

Figura 27. Circuito amplificador de tensión mediante un AD620.



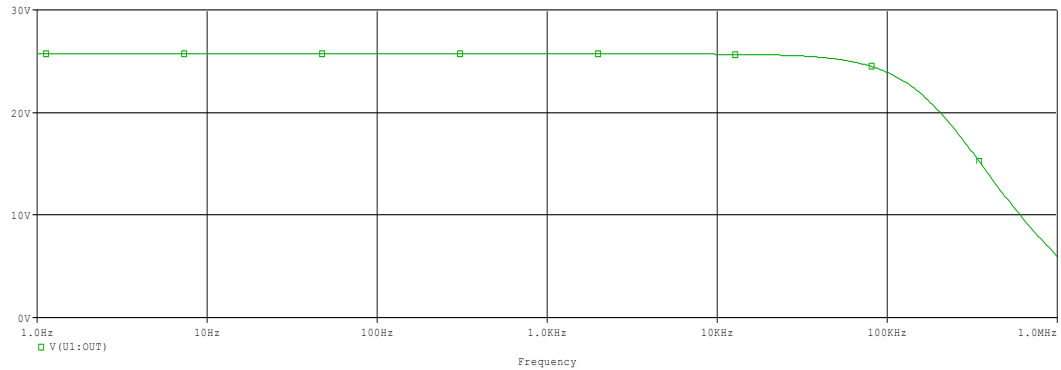
Para verificar su comportamiento, se muestra en la Figura 28 la señal de salida del sensor por medio de un barrido de tensión de entrada entre 0V y 200mV.

Figura 28. Tensión de salida del circuito amplificador en función de su tensión de entrada.



La tensión de salida tiene un comportamiento lineal ante el rango de tensión de entrada. El máximo tensión de salida es de 5V cuando la entrada es de 200mV. La Figura 29 muestra un barrido en frecuencia del amplificador de tensión para el sensor de sonido, donde además se presenta la ganancia del mismo.

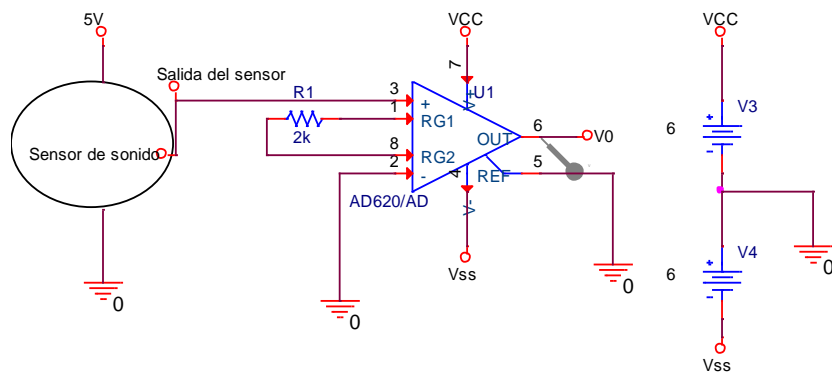
Figura 29. Ganancia del circuito amplificador respecto a la frecuencia.



Observando la Figura 29, se puede decir que la ganancia de banda plana es de 25,7V/V hasta los 20kHz, luego la ganancia se atenúa 3dB en los 100kHz. Se tuvo en cuenta el ancho de banda del amplificador de tal manera que se pudieran amplificar los sonidos que el oído humano puede escuchar, comprendidos en un rango de 20Hz a 20kHz.

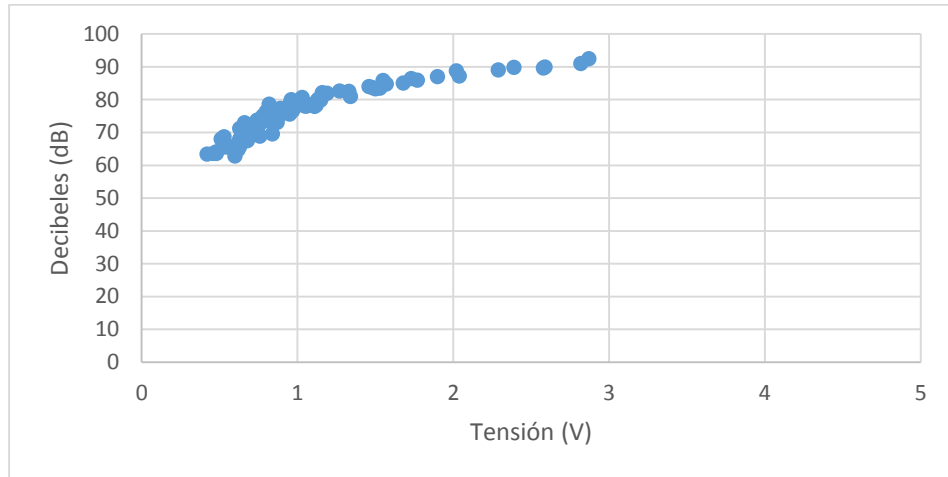
4.1.1.7 Circuito completo del sensor. Teniendo el circuito del sensor acoplado a la etapa de preamplificación, se verifica su correcto funcionamiento y la nueva configuración se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Sensor de sonido con la etapa de preamplificación.



Se mide la tensión de salida del sensor preamplificado con el micrófono parabólico incorporado por medio de un multímetro y al mismo tiempo se registran los decibeles incidentes en el sensor con ayuda de un sonómetro, en el centro de la Sala de Trabajo Grupal. La relación entre las dos variables se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Relación entre los decibeles del sonido y la salida del sensor preamplificado.

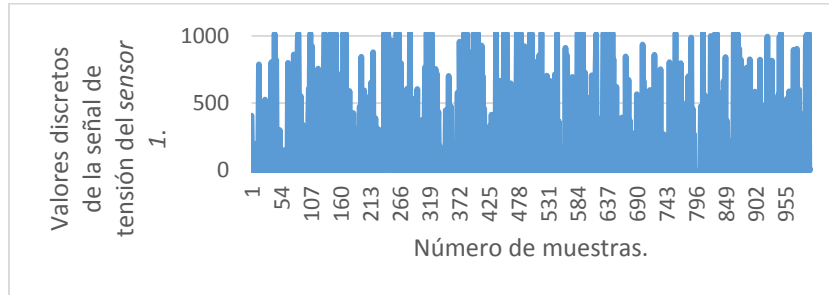


De esta manera se muestra que la relación entre los decibeles del sonido y la tensión amplificada del sensor conserva la misma forma que cuando no se amplificó la señal.

4.1.1.8 Conversión analógico-digital de la señal de los sensores. Para poder procesar las señales provenientes de los sensores de sonido, el controlador del sistema convierte las señales analógicas entrantes a digitales. Arduino Mega 2560 procesa señales digitales mediante 10 bits, de tal manera que los valores analógicos en el rango de 0V a 5V se pueden representar en forma discreta mediante 1023 posibles valores.

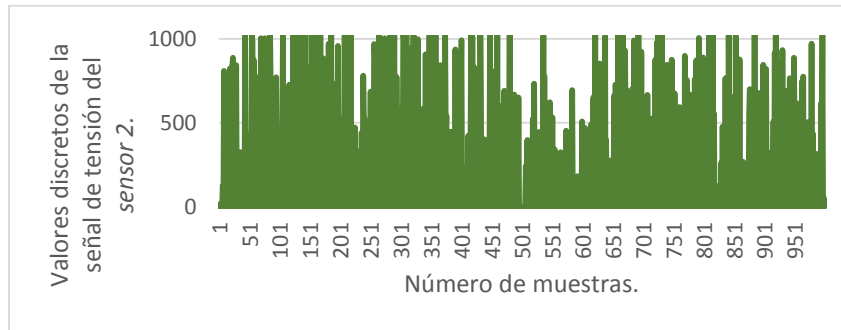
Se efectúan pruebas en la Sala de Trabajo Grupal de la E3T en horas donde los estudiantes desarrollaban sus actividades académicas. Para comprobar la efectividad de la conversión analógica-digital de las señales arrojadas por cada uno de los 3 sensores de sonido, se ubican en diferentes lugares cercanos a los focos de emisión de ruido acústico, teniendo en cuenta los cambios de volumen y frecuencia de las señales de sonido. Los resultados de los datos del *sensor 1* se muestran en la Figura 32.

Figura 32. Señal discreta obtenida del sensor 1 de sonido.



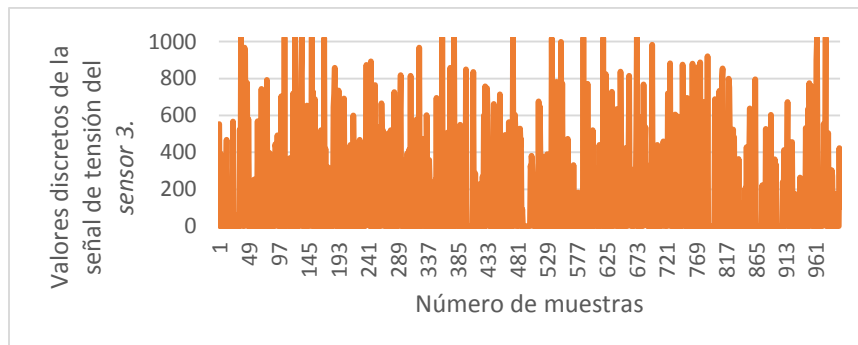
Los resultados de la prueba de adquisición de datos del *sensor 2* se muestran en la Figura 33.

Figura 33. Señal discreta obtenida del sensor 2 de sonido.



Los resultados de la prueba de adquisición de datos del *sensor 3* se muestran en la Figura 34.

Figura 34. Señal discreta obtenida del sensor 3 de sonido.

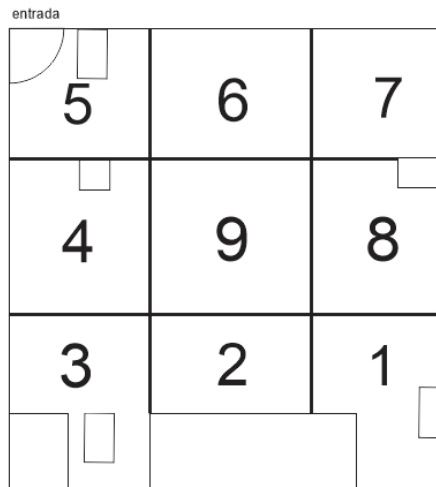


La distancia entre el sensor y los focos de emisión de sonido es de aproximadamente 3m.

Las gráficas muestran las variaciones de los niveles de ruido captados por cada uno de los sensores, expresados de forma discreta mediante la digitalización de las señales. Los altos niveles de ruido sonoro se expresan en las gráficas en el rango entre 800 y 1023, mientras que los bajos niveles están comprendidos entre 0 y 799. De esta manera, se evidencia que los sensores responden adecuadamente ante los cambios de frecuencia y volumen de las señales de sonido.

4.1.1.9 Ubicación de los sensores de sonido en la Sala de Trabajo Grupal. Se divide la Sala de Trabajo Grupal del CIEE en 9 partes para poder medir los decibeles y determinar la ubicación de los tres sensores de sonido. Las mediciones se hacen durante dos días de 8 am a 12 pm y de 2 pm a 6 pm, horario en el cual se presenta más afluencia de estudiantes. Con la ayuda de un sonómetro, se toman 6 muestras por minuto en cada área y cada 20 minutos se vuelve a repetir el proceso. Las pruebas son realizadas con el propósito de identificar los posibles puntos donde se concentra el ruido en la sala, ya sea por los efectos de eco o reverberación; e instalar los micrófonos en donde cumplan mejor con su función. La Figura 35 muestra un plano de la Sala de Trabajo Grupal y las zonas definidas para tomar las mediciones.

Figura 35. Plano de las divisiones hechas en la Sala de Trabajo Grupal del CIEE para las mediciones de ruido



En las figura 36 y 37 se muestran las mediciones tomadas en cada una de las zonas a lo largo del primer y segundo día de pruebas.

Figura 36. Decibelios medidos en cada zona de la sala a lo largo del primer día de pruebas.

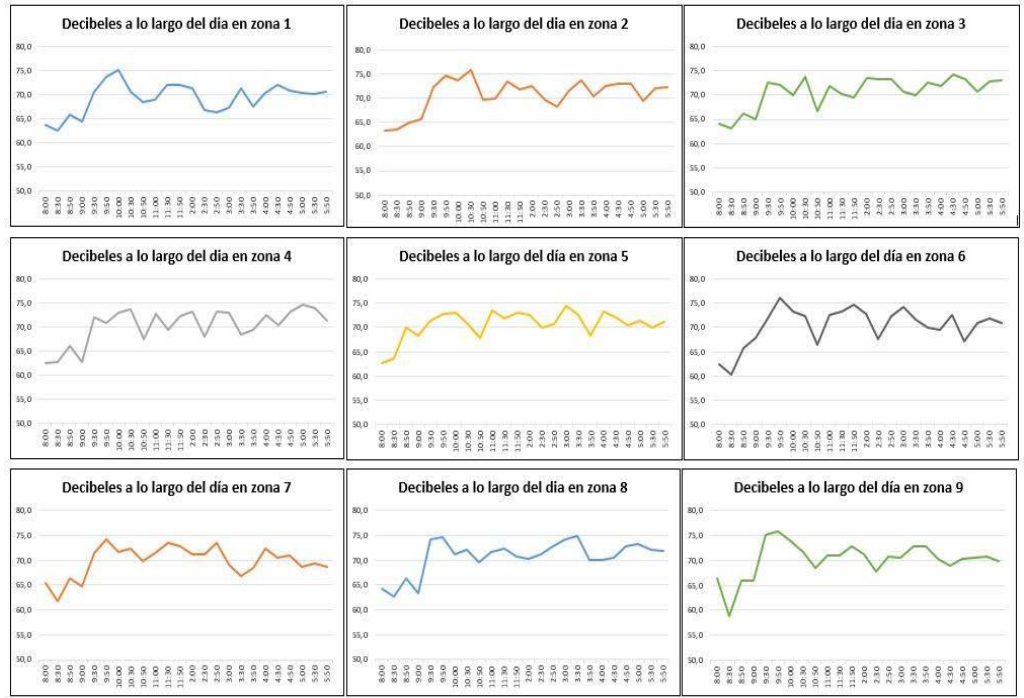
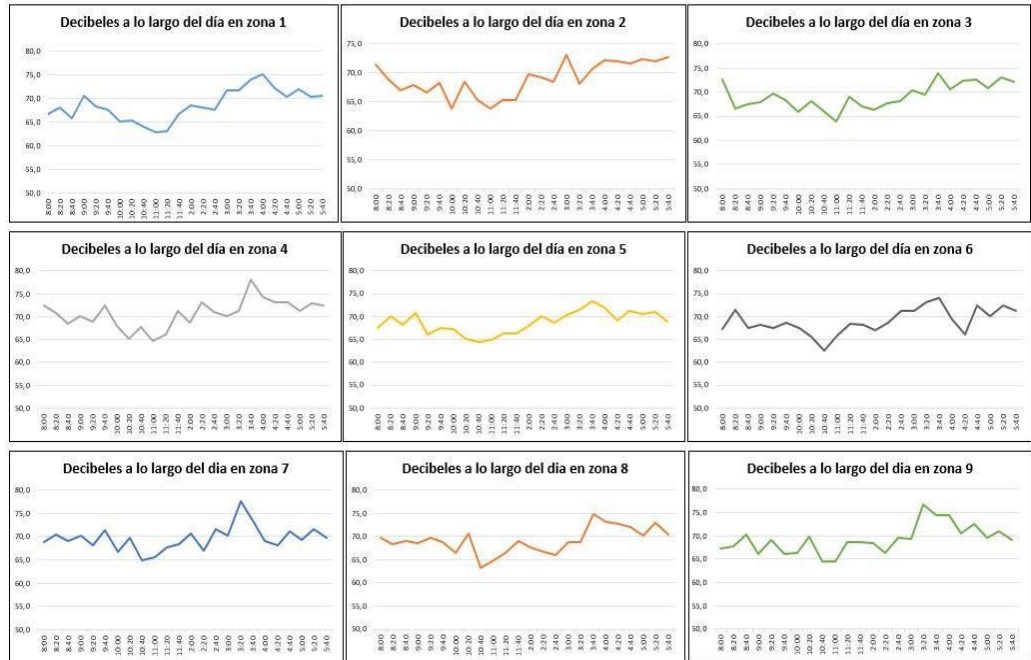


Figura 37. Decibelios por zona en el día 2 de pruebas.



En las figuras 36 y 37 se puede observar que el ruido de las zonas delimitadas se percibe de manera similar. Se graficaron los datos obtenidos de las 9 zonas para cada día de pruebas en una misma gráfica para evidenciar de manera concreta cómo el ruido se percibe de manera general en la sala. Los resultados se muestran en las Figuras 38 y 39.

Figura 38. Decíbeles medidos en las 9 zonas en el día 1.

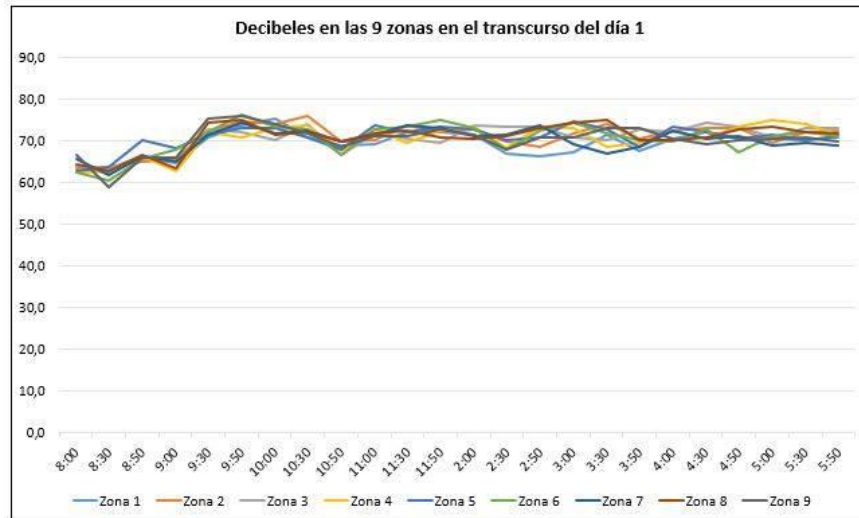
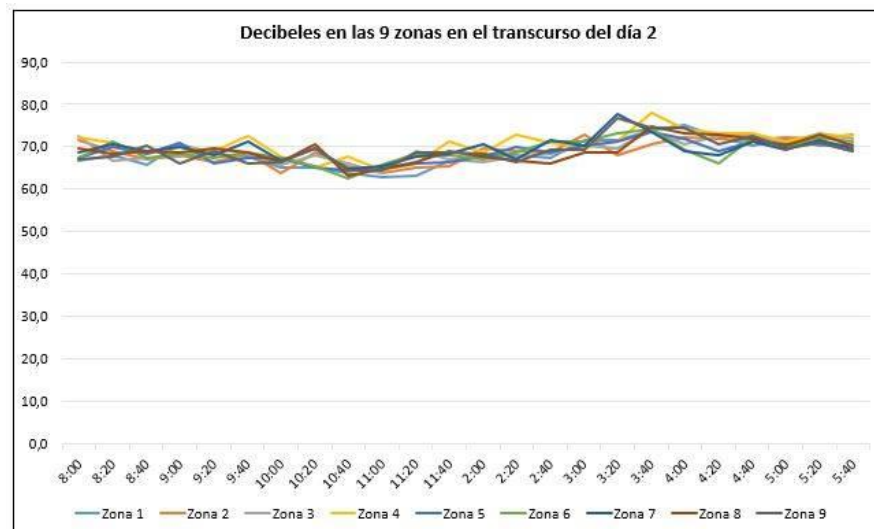


Figura 39. Decíbeles medidos en las 9 zonas en el día 2.



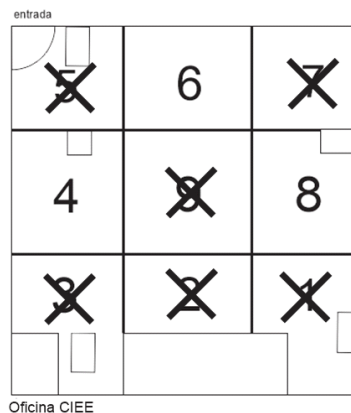
Como muestran las figuras 38 y 39, no existe zona alguna donde el ruido se concentre, por lo tanto no existe un lugar en especial en la sala de estudio grupal donde el ruido tienda a percibirse de manera más fuerte o con mayor intensidad, en comparación con los demás.

Ya comprobado que la ubicación de los sensores no se encuentra sujeta a una concentración de ruido en particular de alguna o varias zonas, se analizan otros aspectos importantes que se dan por las condiciones del sitio de instalación:

- Los sensores deben estar relativamente lejos de las puertas, ya que en estos lugares es probable que se presenten ruidos fuertes como portazos o gritos provenientes de la parte de afuera de la sala o en la oficina del CIEE.
- Los sensores deben estar bien distribuidos para detectar la mayor cantidad posible de ruido que se genera en la sala.
- Los estudiantes no se ubican de manera uniforme en la sala; se forman grupos y se dejan lugares vacíos. Se debe garantizar el sentido donde exista más probabilidad de concentración de las personas.

Teniendo en cuenta los anteriores enunciados, se descartaron las zonas mostradas en la Figura 40 que no cumplen uno o varios de ellos.

Figura 40. Zonas descartadas para la ubicación de los sensores.



La zona 3 y la zona 5 se encuentran cerca a puertas y ventanas que pueden agregar ruido no deseado al sistema. La zona 7 se elimina por encontrarse muy cerca de una ventana que limita con un balcón donde muchos estudiantes se reúnen para hablar, existiendo la posibilidad de que se genere ruido ajeno a la sala de estudio. La zona 9 se elimina por la poca cantidad de ruido que se podría captar y por la baja

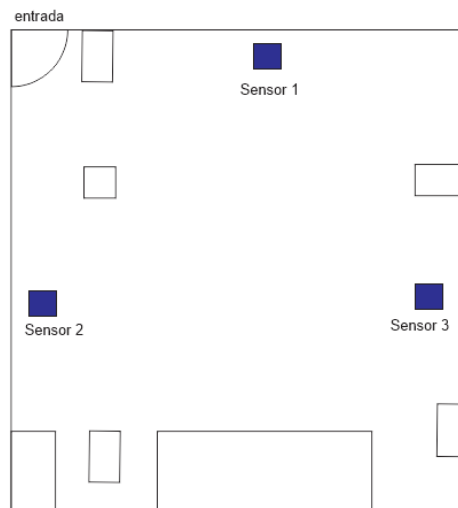
cantidad de estudiantes que allí se ubican. La zona 2 es bastante aislada y, por lo tanto, es ineficiente para el sistema.

Mediante los criterios antes mencionados y el análisis de eliminación de cada zona, se establecieron los lugares donde se instalarán los sensores, (zonas 4, 6 y 8).

La zona 4 es escogida porque en esta parte se sitúan muchos estudiantes de forma regular debido a que hay muchas mesas ubicadas allí. De esta manera se captaría eficientemente el ruido. El sensor ubicado en ese lugar puede captar el ruido proveniente de las zonas 3 y 5 sin ser afectado por variables externas. La zona 6 se escoge porque los estudiantes se ubican allí de manera regular y el sensor detecta el ruido de gran parte de la sala, obteniendo el ruido de la zona 5 y 7 sin ser afectado significativamente por los sonidos externos. La zona 8 se elige por la cobertura que se obtiene allí por del micrófono parabólico, el sensor en esta posición puede captar el ruido procedente de las zonas 7 y 1.

Es importante mencionar que gracias a la sensibilidad de los sensores y el aporte de los micrófonos parabólicos, se alcanzan a sentir el ruido proveniente de la zona 2 y el que se pueda generar en el centro de la sala. La Figura 41 muestra la ubicación definitiva de los sensores de ruido.

Figura 41. Ubicación final de los sensores de sonido en la sala de Trabajo Grupal.



4.1.2 Determinación del umbral para la activación de la salida del sistema de detección de ruido. Para aseverar que en la Sala de Trabajo Grupal hay contaminación auditiva, debe haber ruido consecutivo durante cierto tiempo. Cualitativamente se determinó que cuando existen altos niveles de ruido durante más de 10s en la sala, las personas se incomodan, obstruyendo el desarrollo de las actividades académicas.

Debido a que los tres sensores de sonido están distribuidos en la sala y teniendo en cuenta el tiempo para determinar si hay o no contaminación auditiva, el nivel de sonido que determina la activación de la salida del sistema se establece tomando muestras del promedio de los datos de los sensores cada 200ms y las acumula durante 10 segundos para luego promediarlas en este mismo intervalo de tiempo. La siguiente ecuación define el valor del nivel de ruido total.

$$\text{Nivel de ruido total} = \frac{\sum_1^{50} \text{Ruido}_i}{50} \quad (3.9)$$

Donde:

$$\text{Ruido}_i = \frac{\text{Sensor}_1 + \text{Sensor}_2 + \text{Sensor}_3}{3} \quad (3.10)$$

Para la determinación del umbral de ruido que activa los actuadores del sistema, se realizan pruebas durante dos días en horas donde más se concentran estudiantes en la Sala de Trabajo Grupal. Se miden los decibeles en el centro del lugar con la ayuda de un sonómetro y simultáneamente se obtienen los valores arrojados de los sensores en forma digital por el Arduino. Cada valor obtenido por el sonómetro fue asociado a un valor de nivel de ruido. En las figuras 42 y 43 se muestran los resultados de las mediciones efectuadas.

Figura 42. Decíbeles promedio en la Sala de Trabajo Grupal en función de los datos obtenidos del controlador del sistema en el primer día de prueba.

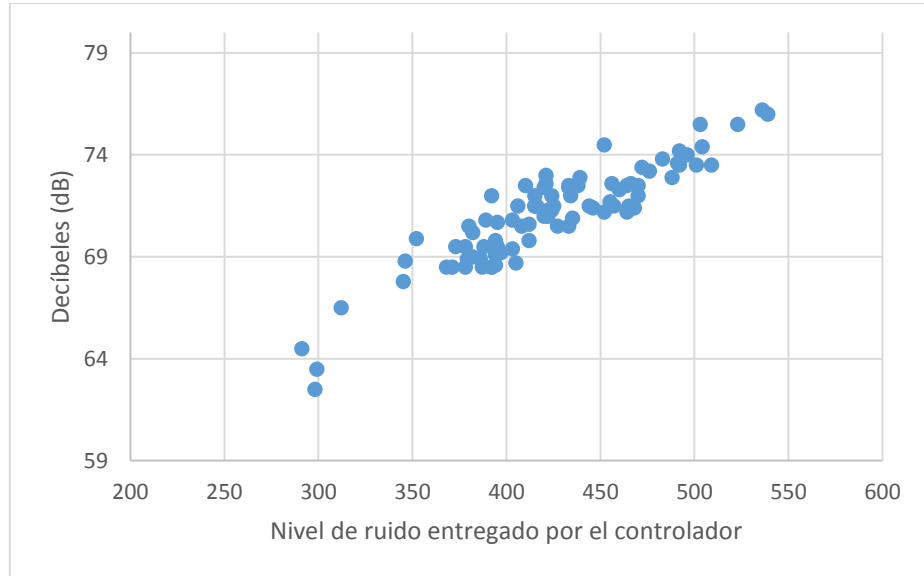
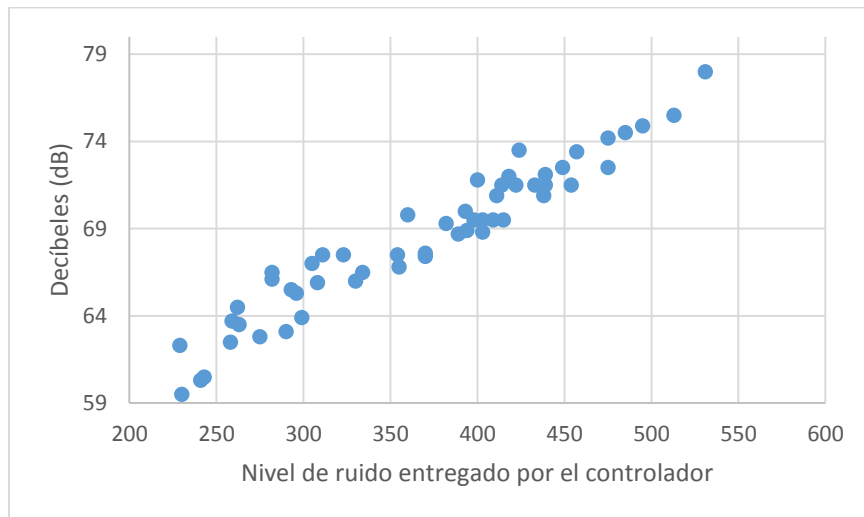


Figura 43. Decíbeles promedio en la Sala de Trabajo Grupal en función de los datos obtenidos del controlador del sistema en el segundo día de prueba.



Con base en las mediciones mostradas en las figuras 42 y 43, se determina cualitativamente el nivel de ruido que era percibido por las personas, dando como resultado la Tabla 13.

Tabla 13. Valores obtenidos del diseño de la primera etapa de amplificación.

Decibeles (dB)	Intensidad
60,1	Bajo
63,6	Bajo
65,5	Bajo
67,8	Bajo
70,7	Bajo
72	Bajo
72,9	Bajo
73,2	Ligeramente alto
74,9	Ligeramente alto
76,4	Alto
80,8	Muy Alto
84,7	Muy Alto
86,4	Muy Alto
87	Muy Alto
88,7	Muy Alto
87,2	Muy Alto
89,6	Muy Alto
89,9	Muy Alto
91	Muy Alto
92,4	Muy Alto

Para la Tabla 13 se tiene en cuenta los datos de la Figura 2, donde se muestran los niveles de decibeles en diferentes tipos de zonas. Al observar los datos plasmados en esta tabla se deduce que el ruido ambiente propicio para trabajar dentro de la Sala de Trabajo Grupal tiene un rango de 60 a 73dB. A partir de los 73dB y hasta los 76, el ruido se considera alto y algo molesto para desarrollar las actividades académicas, aunque por lo general este es producto de sonidos fuertes y transitorios, por ende se espera que autorregulen el volumen de su voz.

A partir de los 76dB el ruido se considera molesto y no apto para un buen ambiente de estudio. Esta medida corresponde a una lectura de 520 unidades, que es el ruido promedio en valores discretos tomados por el controlador de toda la sala.

4.1.2.1 Resultados del diseño del sensor preamplificado de sonido. Los resultados más importantes obtenidos en el diseño del sensor de sonido se encuentran en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores obtenidos del diseño de la primera etapa de amplificación.

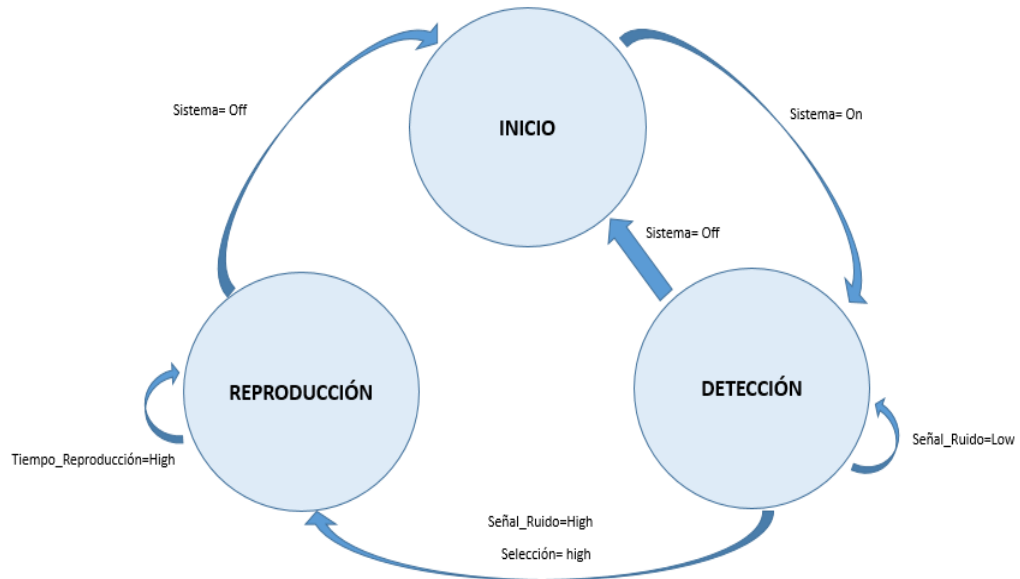
Parámetro	Valores	Unidades
Tensión de polarización de los amplificadores	± 6	V
Tensión de polarización de los sensores de sonido	5	V
Resistencia de ganancia para amplificación	2	k Ω
Rango de tensión de salida del circuito de amplificación	0-3,5	V
Valor analógico de determinación de estado Low	0-75,9	dB
Valor analógico de determinación de estado High	76-180	dB
Umbral general del sistema de la entrada al controlador del sistema	520	-

4.1.3 Diseño del sistema y lógica interna de control. El control del sistema de detección de sonido está conformado por la placa de Arduino Mega2560, esta plataforma es sencillo de utilizar por su lenguaje de programación, su versatilidad con cualquier tipo de sensor y la cantidad y utilidad de los pines de entrada y salida que tiene.

Mediante los tres micrófonos instalados en la Sala de Estudio Grupal de CIEE, se capta el sonido producido por los estudiantes y demás personal en el área. Esta señal es procesada por el Arduino el cual, mediante una lógica programada, compara los valores que está recibiendo con el umbral previamente establecido y se encarga de emitir las señales de alerta. Si se sobrepasa el umbral se activa el sistema y las señales sonoras y visuales indicarán a las personas presentes en el lugar que deben moderar la intensidad del sonido que están emitiendo.

La Figura 44 muestra el diagrama de estados del sistema de detección de sonido.

Figura 44. Diagrama de estados del programa desarrollado en la plataforma del controlador.



Inicio: En este estado el sistema se encuentra inactivo, las entradas y salidas están desactivadas y, por lo tanto, no hay lectura ni procesamiento de señales. Una vez energizado el sistema, cambia de estado a *Detección*.

Detección: En el estado de detección es donde el sistema se activa. Los sensores captan el ruido y el controlador procesa las señales para determinar el nivel de ruido total cada 10 segundos y comparar el valor obtenido con la constante *Umbral*. Si la señal *Suma_Ruido* es menor a la constante *Margen*, el sistema permanecerá en este estado.

Reproducción: Si se cumple que $Suma_Ruido > Margen$ entonces la señal *Selección* se activa. El módulo MP3 se habilita y el código genera un número aleatorio que es utilizado como número de canción. Son 27 canciones que están habilitadas para reproducirse desde el módulo reproductor MP3, guardadas en la memoria microSD. Después de reproducir una canción y encender dos bombillos durante 30 segundos, el programa realiza un stop forzado y automáticamente el sistema llega al estado *Detección* para un nuevo sensado de sonido. Durante el

estado *Reproducción*, no se realiza detección de tensión en las entradas del controlador, con el fin de que el sistema no detecte el sonido emitido por los parlantes.

4.1.3 Diseño del sistema de salida. Para poder generar la señal acústica se utiliza un módulo MP3 y dos pares de parlantes como actuadores del sistema. Para la señal visual se utilizan dos lámparas controladas por medio de relés en placas especiales para Arduino.

4.1.3.1 Modulo reproductor MP3 WT5001. Este módulo es un dispositivo que se comunica por medio del puerto UART de la placa de Arduino y es el encargado de reproducir las canciones que se guardan en la memoria microSD, la cual se inserta en su propio slot. Este módulo posee una salida para sonido, que le permite la conexión con cualquier dispositivo que tenga un jack macho, requiere una polarización de 3,3V que es obtenida del mismo Arduino y posee dos salidas, Tx y Rx que se conectan de manera invertida (Tx-R1x y Rx-T1x) a la placa. La comunicación entre el Arduino y el modulo se da por medio del puerto serial número 1 que tiene la placa [25].

Este módulo soporta una memoria microSD con una capacidad hasta de 2Gb y fue elegido por su gran versatilidad y fácil acoplamiento con el Arduino.

Comandos principales utilizados:

- Reproducir desde la tarjeta microSD

```
Serial1.write (0x7E)
Serial1.write (0x04)
Serial1.write (0xA0)
Serial1.write ((byte)0x00)
Serial1.write (0x01)
Serial1.write (0x7E) [25].
```

En la penúltima línea es donde se indica el número de canción que se va a reproducir.

- Control de Volumen

```
Serial1.write (0x7E)
Serial1.write (0x03)
Serial1.write (0xA7)
```

```
Serial1.write (0x1F)
Serial1.write (0x7E) [25].
```

En la penúltima línea de código es donde se especifica el nivel de volumen con que se va a reproducir, el nivel mínimo es 00 y el nivel máximo es FF.

- Detener la reproducción de la canción (Stop)


```
Serial1.write (0x7E)
Serial1.write (0x02)
Serial1.write (0xA4)
Serial1.write (0x7E) [25].
```

4.1.3.2 Parlantes. Para generar la señal auditiva se utilizan cuatro parlantes marca Genius que tienen una potencia de salida de 3W cada uno y funcionan con la tecnología plug & play. En la Tabla 15 se muestran las principales características de estos elementos.

Tabla 15. Especificaciones de los parlantes.

Parámetro	Valores	Unidades
Potencia de salida por parlante	3	W
THD	10%	-
Relación señal a ruido S/N	≥70	dB
Respuesta en frecuencia	200-18000	Hz

4.1.3.3 Canciones. Son 27 canciones que serán reproducidas de forma aleatoria por el sistema. Se escoge música clásica para que las alertas de aviso sean agradables al oído.

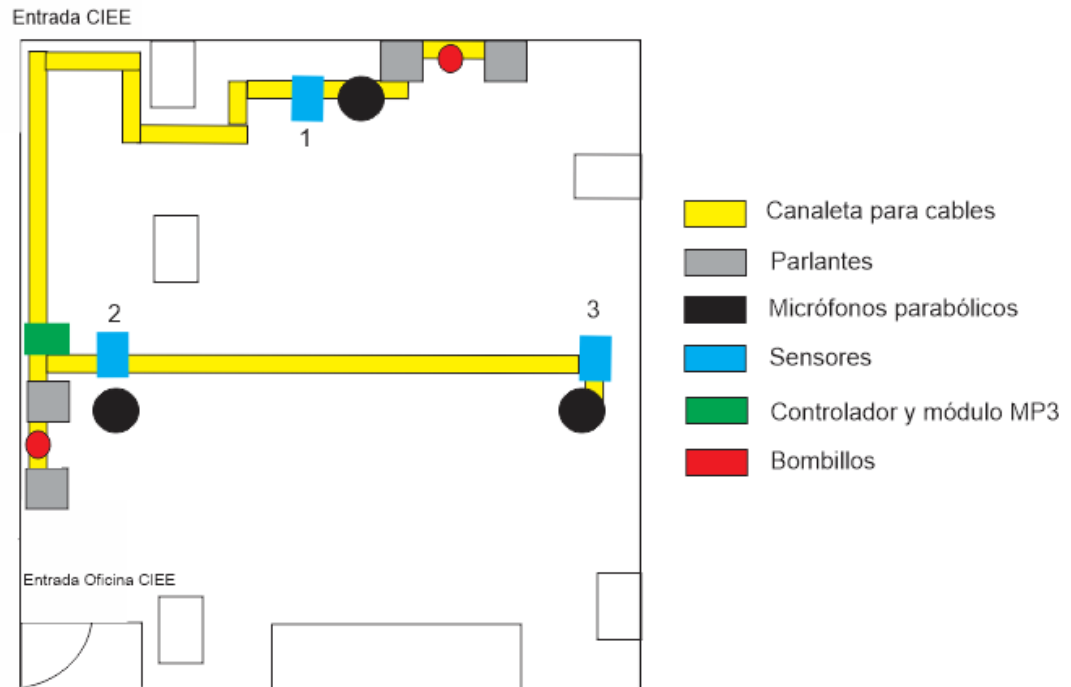
4.1.3.4 Lámparas. Se cuenta con un par de lámparas de 7W en medio de cada par de parlantes, como señal visual de aviso. Se encenderán una vez que se active la selección de las canciones.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO

En esta sección se muestra el proceso para la instalación de los sensores de sonido, los micrófonos parabólicos, el controlador del sistema y la canalización de los cables.

4.2.1 Instalación del sistema detector de ruido. Los tres sensores están instalados en el techo en los puntos estratégicos mostrados en la Figura 45 en cajas plásticas blancas.

Figura 45. Plano de conexión de dispositivos del sistema de detección de ruido en el CIEE.



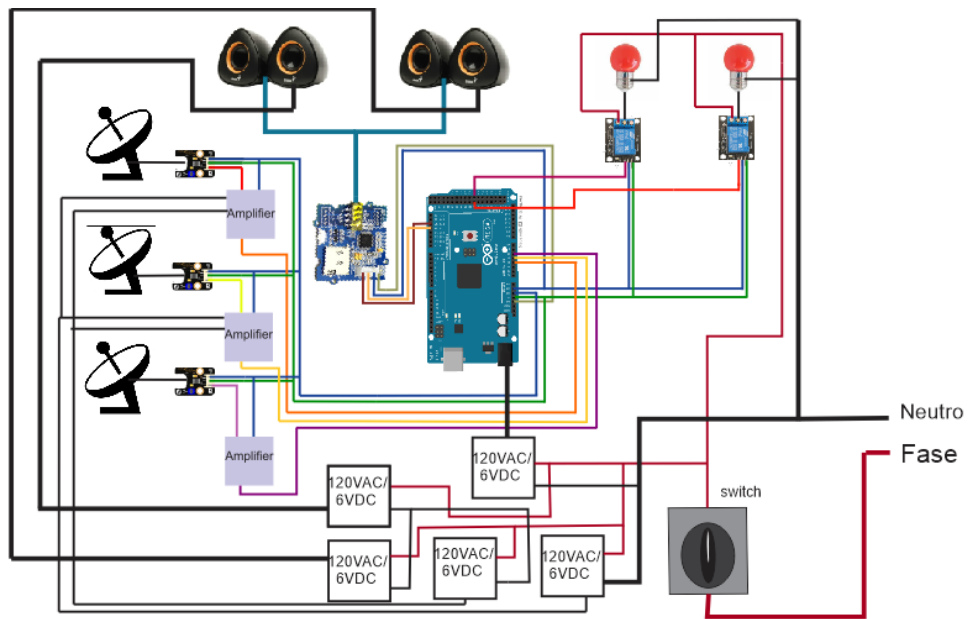
Los cables que transmiten la señal eléctrica de la salida del amplificador al Arduino, los cables GND del circuito, los cables de alimentación del sensor desde el controlador (5V), y los cables de alimentación dual de tensión (V_+ y V_-) son de calibre AWG #22, que soportan hasta 920mA y tienen una resistencia de $0,05293\Omega/m$. La Tabla 16 muestran las resistencias totales por cable y la corriente máxima que conduce cada uno.

Tabla 16. Resistencia y corrientes por cada cable de cada sensor amplificado.

Cable	Resistencia del cable (Ω)	Corriente max. (mA)
V₁₊	0,4635	6,30
V₂₊	0,309	6,34
V₃₊	0,618	6,35
V₁₋	0,4635	-5,82
V₂₋	0,309	-5,83
V₃₋	0,618	-5,80
GND	0,4635	4,24
Vo₁	0,4635	2,87
Vo₂	0,309	2,87
Vo₃	0,618	2,90

El controlador del sistema se ubica cerca de los extractores de calor de la Sala de Trabajo Grupal, junto al módulo MP3. La salida del módulo se conecta a dos pares de parlantes ubicados en los lugares mostrados en la Figura 46. Se cuenta con un interruptor para encender o apagar el sistema. Cuando los estudiantes lleguen al Centro de Estudios, un miembro de la rama del CIEE encenderá el sistema de detección de ruido acústico y al terminar la jornada, deberá apagar el mismo hasta el nuevo día.

46. Esquema de conexiones del sistema



La Figura 47 muestra la instalación del sistema de detección de ruido.

Figura 47. Instalación de la caja del controlador del sistema, selector y fuentes de alimentación



Las Figuras 48 a 50 muestran los platos parabólicos y los sensores de sonido del sistema.

Figura 48. Primer sensor de sonido y micrófono parabólico



Figura 49. Segundo sensor y micrófono parabólico



Figura 50. Tercer sensor y micrófono parabólico



Las Figuras 51 y 52 muestran las salidas del sistema; los parlantes y los bombillos.

Figura 51. Parlantes y lámparas ubicados cerca al controlador



Figura 52. Parlantes ubicados en la pared paralela a la entrada a la Sala de Trabajo Grupal

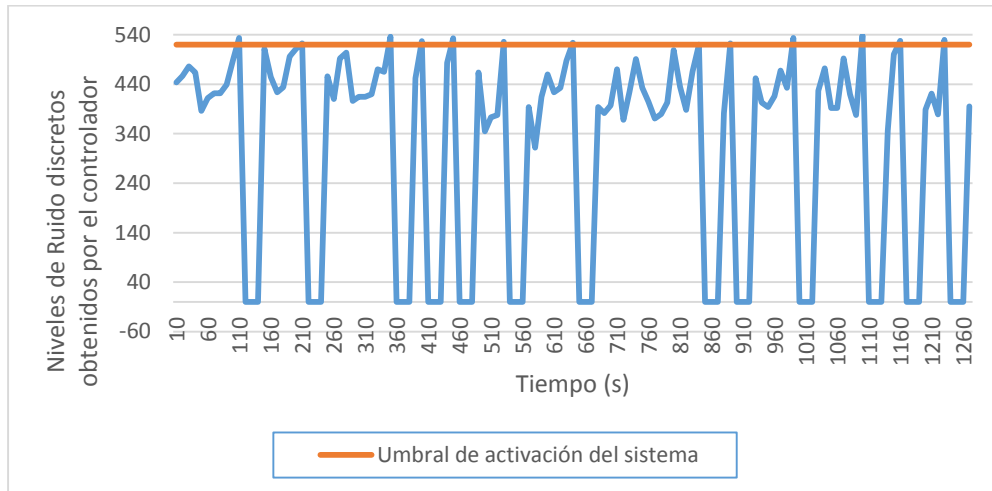


4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE NIVELES DE RUIDO

En esta sección se presenta los resultados obtenidos del sistema de detección de niveles de ruido en la sala de estudio grupal, además de un análisis de todo el diseño e implementación.

4.3.1 Resultados. Los resultados del sistema de detección de niveles de ruido en la sala de estudio grupal implementado se presentan en la Figura 53. En ella se muestra el registro de las mediciones tomadas del nivel de ruido. Estos datos corresponden aproximadamente a 10 minutos de funcionamiento del sistema. El eje de las abscisas corresponde a los valores digitales asociados a los valores de tensión a la salida del sensor, que a su vez están directamente relacionados con los niveles de ruidos en decibels; y en el eje de las ordenadas se encuentra el número de muestras tomadas.

Figura 53. Detección de niveles de ruido



La línea naranja indica el límite del umbral, cuando los niveles de ruido sobrepasan este valor no se registra lecturas por parte de los sensores, lo que indica que durante este tiempo se activó la señal de alerta y se está reproduciendo la canción. Una vez pasados los 30 segundos de duración de la canción, se reanuda la adquisición de datos y se repite el proceso en los casos donde es superado el umbral.

4.3.2 Análisis. Las modificaciones realizadas al sensor de sonido fueron esenciales en el desarrollo de esta implementación, el cambio de elementos significa un aumento en la sensibilidad, pues el micrófono de condensador es especialmente diseñado para usarlo en aplicaciones relacionadas con las voz humana. La etapa de preamplificación aumentó la distancia a la que el dispositivo percibía el sonido. La construcción del micrófono parabólico se acopla con los requisitos del sistema: Aumenta la distancia de recepción de ruido y entrega una señal fiel. Aunque la distribución de los estudiantes en la sala no es uniforme, los micrófonos sensan todo el ruido generado debido a su gran alcance y sensibilidad, lo que confirma en las Figuras 38 y 39.

Los resultados mostrados en la Figura 53 indican que hay un ciclo de detección de ruido cada diez segundos en los cuales se suman las señales de los tres micrófonos, si el resultado sobrepasa el margen establecido, entonces las entradas se deshabilitan para evitar la realimentación del sistema cuando se activen los actuadores.

Según la información asociada a la Figura 2, el umbral ideal para el sistema debe ser 65dB, pero con las mediciones tomadas y teniendo en cuenta el lugar donde se

implementó el sistema, se elevó el umbral, ya que siendo una sala de trabajo grupal, los estudiantes mantienen un tono de voz elevado y al haber establecido el umbral en 65dB, las salidas del sistema se activarían todo el tiempo, generando incomodidades a la comunidad estudiantil.

Para determinar el costo del sistema diseñado e implementado, se tuvo en cuenta la inversión para adquirir los materiales y el costo de mano de obra para diseñar e implementar el sistema detector de ruido. La Tabla 17 muestra los costos parciales y totales del sistema.

Tabla 17. Costos parciales y totales del sistema de detección de ruido.

Concepto	Precio/unidad [pesos]	Cantidad	Total [Pesos]
Caja protectora 15x15x8 cm	8.000	1	8.000
Caja protectora 8x8x7 cm	3.500	4	14.000
Arduino MEGA 2560	135.000	1	135.000
Sensor de sonido DRF-0034	20.000	3	60.000
Adaptador de voltaje	25.000	5	125.000
Relevo en board para Arduino 5V 10 A	24.300	2	48.600
Modulo reproductor MP3 WT5001	60.350	1	60.350
Tarjeta MicroSD 2 Gb	12.000	1	12.000
Parlantes Genius (par)	31.000	2	62.000
Bombillo 7 W	700	2	1.400
Plato parabólico	80.000	3	240.000
Micrófono Lavalier	28.000	3	84.000
Amplificador de instrumentación AD620AN	16.000	3	48.000
Cable Cu #22 [m]	400	130	52.000
Canaleta [m]	23.000	40	920.000
Chazos y tornillos	23.000	1	23.000
Diseño y mano de obra por persona	2.000.000	3	6.000.000
Otros	250.000	1	250.000
Total			8.143.350

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la sala de atención a Pregrado el ingreso directo de los rayos solares se ve limitado gracias al movimiento automático de los telones, otorgando una protección de los rayos UV a las personas que se encuentran en este lugar, la iluminación natural no se ve afectada gracias a la reflexión de la luz; por otro lado, se disminuyó la transmitancia de calor, lo que contribuye a un mejor ambiente de trabajo.

El control automático de los telones es una herramienta de estudio para todo aquel que quiera investigar en el campo de la automatización, fácilmente se puede verificar el funcionamiento de cada etapa y utilizarse como material didáctico por la comunidad de la E3T.

La comunidad de la E3T acogió rápidamente el sistema de detección de ruido, pues se evidenció la apropiación y sentido de pertenencia hacia los mejoramientos que se desarrollan en el edificio; incentivando así a los estudiantes a la profundización en las diferentes áreas de automatización.

El sistema de detección de ruido que se implementó, unificó conceptos de diferentes áreas tales como los platos parabólicos limitando el número de sensores al mínimo para un correcto funcionamiento del sistema.

Para obtener un sistema de automatización eficiente, se debe conocer el ambiente en el que se ubicará y qué tan expuestos quedarán los dispositivos ante los fenómenos climáticos, para escoger adecuadamente los elementos que harán parte del sistema.

Se debe escoger adecuadamente el controlador, debe acoplarse a las necesidades técnicas estipuladas para cada sistema. Además se debe conocer sus limitaciones en cuanto a software y hardware.

Para diseñar un sistema de automatización es necesario determinar el rango de tensión o corriente que permiten los controladores a la entrada, para que los sensores puedan acoplarse eléctricamente al sistema. En el caso del PLC se utilizó al máximo el rango que permitía la entrada analógica, gracias a la ganancia obtenida en la etapa de preamplificación, lo cual permitió una adecuada lectura de la tensión del sensor por parte del controlador.

El controlador conserva su programación cuando se desconecta su alimentación. Debido a que los contadores de flancos tienen remanencia, no se pierde el conteo de los períodos donde la lectura del sensor es *low*, por tanto no deja de acumular los tiempos de bajada.

Se intentó desarrollar una lógica de programación de subida para los telones que tuviera en cuenta el tiempo de bajada, para subir un tiempo equivalente; pero la memoria RAM del controlador no posee la capacidad para almacenar un número tan elevado de líneas de código. Además, el PLC cuenta con limitadas herramientas de programación que no permiten el desarrollo óptimo de los códigos que se le deseen programar, como se muestra en la Figura 54.

Figura 54. Información de parámetros y memoria utilizada en la elaboración del programa

```
*** 27/12/15 19:25 Sistema automático telones.lld
*** Determinar LOGO!
Recursos empleados:
Bloques de función      42/56
RAM                     27/27
REM                     4/15
Parámetro               48/48
Temporizador            11/16
Profundidad de pila     13/58
Entradas digitales      0/8
Salidas digitales       3/4
Marca                   5/8
Entradas analógicas     1/2
Cuadro de texto         0/5
Profundidad máx. de anidado
```

El integrado AD620AN es sensible a las condiciones climáticas, debe estar aislado del calor, la humedad y las partículas pequeñas para aumentar su vida útil.

Se determinó que la intensidad con la que llegan los rayos solares al sensor disminuye en 24,5% por cada 3 mm de vidrio que se le interpongan, lo que disminuye la calidad de la señal que ingresa al PLC.

Al iniciar las pruebas del sensor de sonido, se encontró que este poseía muchas deficiencias que impedían el funcionamiento correcto de todo el sistema. Entre esos problemas está la distancia a la que el micrófono captaba la señal, pues pudo

observarse que a medida que la fuente se alejaba del sensor, los datos leídos por medio del puerto serial poseían más porcentaje de ceros, como lo describe la Tabla 18.

Tabla 18. Distancia del sensor a la fuente de sonido y porcentaje de ceros leídos.

Distancia [cm]	Porcentaje de ceros (%)
5	50,2
10	59,6
15	62,4
20	70,1
30	89,7
100	99,92

Problema que fue solucionado con la etapa de preamplificación y la construcción del micrófono parabólico.

Es pertinente escoger primero el controlador, teniendo en cuenta que tiene que ser el que mejor se ajuste a las tareas que debe realizar. Luego de saber todas las características de este elemento, se pueden escoger los sensores y actuadores que cumplan con los requerimientos de diseño y al mismo tiempo se acoplen fácilmente al controlador.

Es muy importante la caracterización del sensor, tener en cuenta el sitio de implementación, la alimentación y las diferentes variables que interactúan con el sistema para el diseño del controlador.

Como pasar de la teoría a la práctica es el paso más difícil al momento de hacer funcionar un sistema, se recomienda realizar todo tipo de pruebas en todos los dispositivos por separado con el fin de identificar los problemas antes de unir los elementos.

Al unificar todo el sistema, se pueden encontrar problemas que no se presentaron al momento de realizar el paso anterior, se deben realizar mediciones en cada punto

crítico, teniendo claro lo que debería suceder teóricamente, para así hacer funcionar correctamente el sistema.

El sistema cuenta con un selector, por medio del cual se enciende o se apaga según se requiera, esta tarea es asignada al personal perteneciente al Centro de Estudios, quienes deben energizar el sistema cuando se abra la sala de estudio grupal y apagarlo cuando se cierre. Si resulta una actividad que genere mucho ruido en la parte de atrás del edificio de la E3T se debe apagar el sistema para evitar el desmejoramiento del ambiente de estudio.

La comunidad de la E3T debe estar debidamente informada del funcionamiento del sistema, pues su objetivo principal es ayudar a la autorregulación de los estudiantes, con lo que se debe contar de su total apoyo. Muy cercano a los bombillos se ubicaran carteles informativos que incentiven al correcto uso de la sala.

Los sistemas que se han desarrollado hasta el momento funcionan con una mayor cantidad de sensores de sonido. El diseño que se implementó para la sala grupal del CIEE cuenta con características que optimizan el funcionamiento y el número de micrófonos necesarios para su correcto funcionamiento, ya que por ejemplo, el plato parabólico crea un área de sensado que abarca mucho más espacio que el micrófono solamente; y la correcta etapa de amplificación permite aumentar la distancia entre la fuente de sonido con el micrófono. Por lo que el costo de este diseño, en comparación con sus sistemas homólogos, es más económico.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. J. Klaassen, “Selecting and specifying building automation system sensors,” *HPAC Eng.*, 2001.
- [2] R. Lang, D. Bruckner, G. Pratl, R. Velik, and T. Deutsch, “Scenario recognition in modern building automation,” in *Procs. of the 7th IFAC Int’l Conf. on Fieldbuses {&} Networks in Industrial {&} Embedded Systems (FeT 2007)*, 2007, pp. 305–312.
- [3] L. Sommaruga and E. De Angelis, “Competence-based blended learning in building automation: towards a EU curriculum in ‘Domotica,’” *European Journal of Engineering Education*, vol. 32. pp. 675–685, 2007.
- [4] V. Marinakis, H. Doukas, C. Karakosta, and J. Psarras, “An integrated system for buildings’ energy-efficient automation: Application in the tertiary sector,” *Appl. Energy*, vol. 101, pp. 6–14, 2013.
- [5] D. Snoonian, “Smart buildings,” *IEEE Spectrum*, vol. 40, no. 8. pp. 18–23, 2003.
- [6] A. Angstrom, “Solar and terrestrial radiation.,” *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 50, no. 210, pp. 121–126, 1924.
- [7] C. A. Gueymard, “The sun’s total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models,” *Sol. Energy*, vol. 76, no. 4, pp. 423–453, 2004.
- [8] Organización Mundial de la Salud, “Índice UV solar mundial,” p. 34, 2003
- [9] C. P. Vega, “Sonido y audición.”
- [10] M. Rocamora, “Física del sonido,” 2006.
- [11] A. Laquidara, I. P. Pérez, and C. Díaz, “El decibel.”
- [12] Niebel, Benjamín W. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. Novena Edi-ción. Alfaomega. Pág. 266.
- [13] G. F. Quittner, “Sensors in Automation,” *IEEE Trans. Ind. Electron. Control Instrum.*, vol. IECI-21, no. 1, 1974.

- [14] C. A. Rosen and D. Nitzan, "USE OF SENSORS IN PROGRAMMABLE AUTOMATION." *Computer*, vol. 10, no. 12. pp. 12–23, 1977.
- [15] P. Wang and Q. Liu, "Physical Sensors and Measurement," in *Biomedical Sensors and Measurement*, 2011, pp. 199–275.
- [16] M. Kyomasu, "Development of an integrated high speed silicon PIN photodiode sensor," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 42, no. 6, 1995.
- [17] M. Sun, K. Xie, and Y. Lu, "Robust pin photodiode with a guard ring protection structure," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 51, no. 6, pp. 833–838, 2004.
- [18] "Fotodiodo," *Agrega*, 2009. [Online]. Available: <http://www.agrega.educacion.es>.
- [19] W. SURAKAMPONTORN, V. RIEWRUJA, C. SURAWATPUNYA, and S. YODLADDA, "Instrumentation amplifiers using operational transconductance amplifiers," *International Journal of Electronics*, vol. 71, no. 3. pp. 511–515, 1991.
- [20] Siemens, "Manual LOGO!," 2008.

BIBLIOGRAFÍA

ARELLANO ESPINO, Abraham, Técnicas de grabación y reproducción de sonido: Micrófonos. Tesina Ingeniero en Comunicaciones y electrónica, Ciudad de México, México: Instituto Politecnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Culhuacan, 2007.

QUITTNER, George F. Sensors in Automation. IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation [online] February 1974, Vol. IECI-21 N° 1 [cited: 15 Dic. 2015] Available from: IEEE Explore.

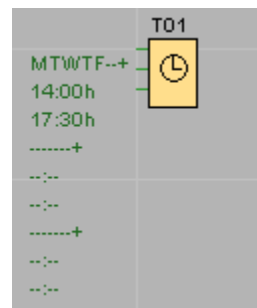
ROSEN, Charles and NITZAN, David, Use of sensors in programmable automation. Stanford Research Institute [online] December 1977 [cited: 20 Nov 2015] Available from: Computer.

SUN, Maoyou, XIE, Kezhou and LU, Yicheng Robust pin photodiode with a guard ring protection structure. IEEE Trans. Electron Devices [online] June 2004, Vol. 51, no. 6 [cited: 18 Ago 2015] Available from: IEEE Explore.

ANEXO A. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL DE LOS TELONES ELÉCTRICOS DE LA SALA DE ESPERA DE COORDINACIÓN DE PREGRADO

Mediante el software LOGO!Soft Comfort, y empleando el lenguaje de programación Ladder, se diseñó el control de los telones eléctricos, con base en el diagrama de estados de la Figura 13. En la Figura 55 se presenta el reloj semanal que activa el programa en el PLC.

Figura 55. Reloj semanal que activa el programa en el PLC



Para iniciar, existe un contador semanal que habilita el funcionamiento del programa sólo de 2:00 pm a 5:30 pm, de lunes a viernes. La Figura 56 muestra contacto de lectura de entrada analógica y discriminador analógico

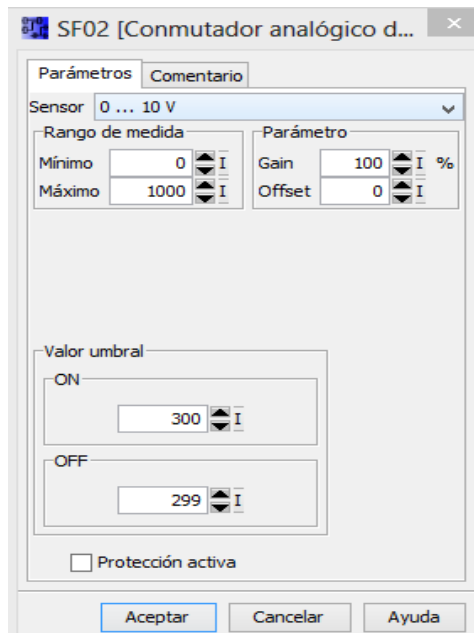
Figura 56. Contacto de lectura de entrada analógica y discriminador analógico



El contacto *A11* indica que la entrada *I7* es analógica y es la señal que se conecta a la salida del sensor de radiación solar. *SFO2* es un conmutador analógico en el cual el valor umbral de activación/desactivación es parametrizable. Los valores umbrales son para establecer los dos posibles estados lógicos, *high* y *low*. En la Figura 57 se

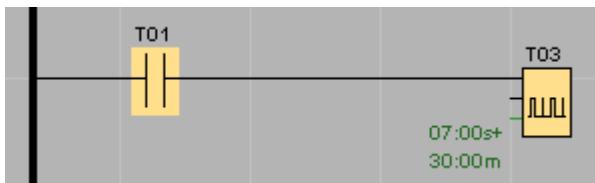
muestra la ventana de parametrización de rango de medida analógica y de umbral de activación/desactivación

Figura 57. Ventana de parametrización de rango de medida analógica y de umbral de activación/desactivación



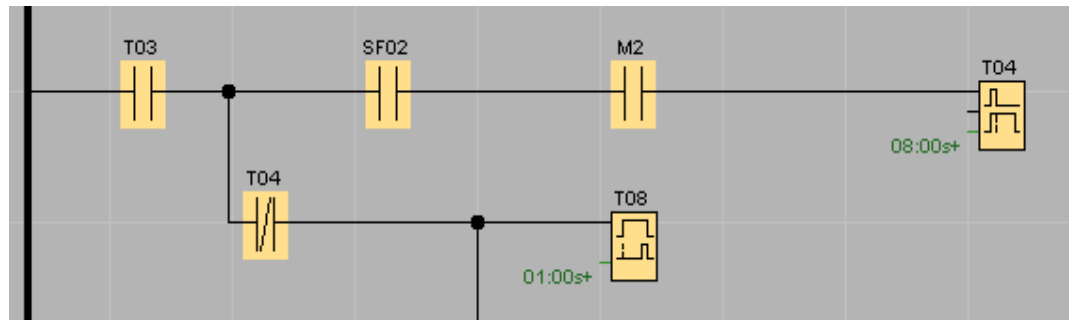
Se escoge el tipo de señal que entrará al PLC, la luz solar llegará al sistema de control en un rango de 0 a 10V; el rango de la magnitud medida es de 0 a 1000 W/m²; el valor umbral para un estado lógico *high* es de 300W/m²; y por último, el valor umbral para un estado lógico *low* es 299W/m², es decir, en el rango de 0 a 299W/m², se desactivará el contacto asociado al conmutador analógico. En la Figura 58 se muestra el esquema de contactos de activación de lectura de la tensión a la salida del sensor por parte del PLC.

Figura 58. Esquema de contactos de activación de lectura de la tensión a la salida del sensor por parte del PLC



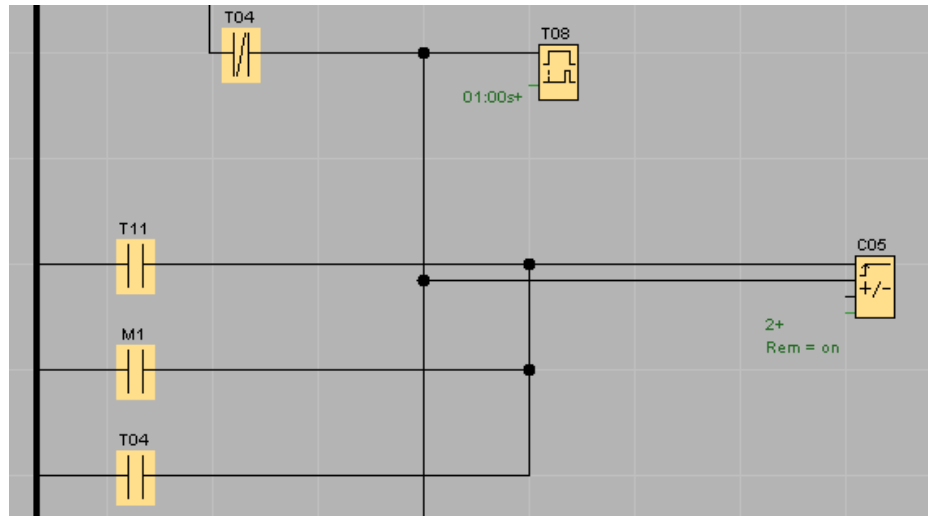
T03 es un generador de pulsos asíncrono, es utilizado para generar pulsos periódicos, dura 7s en estado *high* y 30 minutos en estado *low*. Este bloque es activado por el contador semanal y hará que se active desde las 2:00 pm hasta las 5:30 pm de lunes a viernes. En la Figura 59 se muestra el diagrama de contactos para el conteo de horas sucesivas de desactivación de la salida del sistema

Figura 59. Diagrama de contactos para el conteo de horas sucesivas de desactivación de la salida del sistema



Cada hora a partir de las 2 pm, el contacto *T03* se activa durante 7 segundos, tiempo en el cual se comprueba si la lectura del sensor de luz solar sobrepasa el umbral para poder decidir si se activa o no el contacto asociado *SF02*. El temporizador de retardo a la conexión *T08*, permite habilitar por un segundo la acción de *T04* si la radiación solar sobrepasa el umbral de activación. *T08* activa el contacto *M2* que se encuentra en la línea de *T04*, este último habilita a los contactos *T03* y *SF02*. En caso de que *T03*, *M2* y *SF02* se encuentren activos al mismo tiempo, activarán a *T04* (temporizador de retardo de desactivación) durante 8 segundos. La función de esta parte del programa es activar el movimiento de los telones hacia abajo cuando el sistema tome la lectura del sensor de luz solar. En caso que la lectura esté en el umbral *high*, los telones bajarán 8 segundos, de lo contrario se mantendrán en su posición actual. En la Figura 60 se muestra el esquema de activación y reseteo del contador de 2 flancos

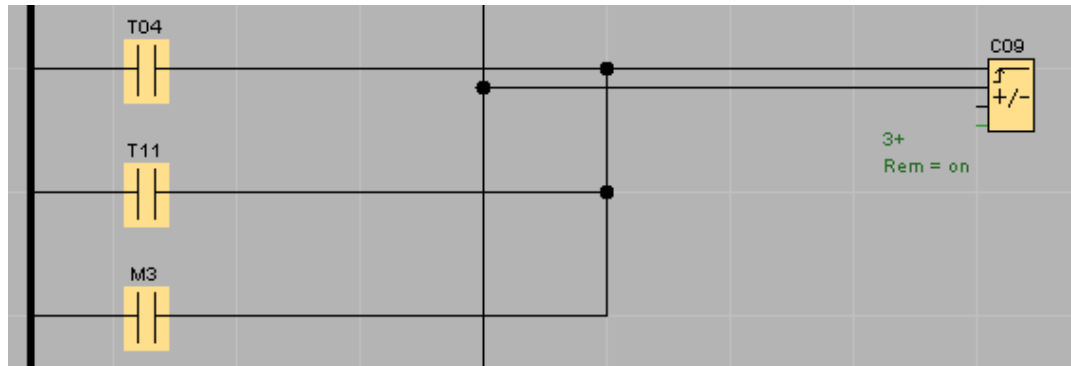
Figura 60. Esquema de activación y reseteo del contador de 2 flancos



En el caso que no se active el temporizador *T04* cuando se habilita el contacto *T03*, existe un contacto negado de *T04* que activará los contadores de flancos para determinar el número de períodos en los que el umbral de radiación solar es bajo para activar la salida del PLC.

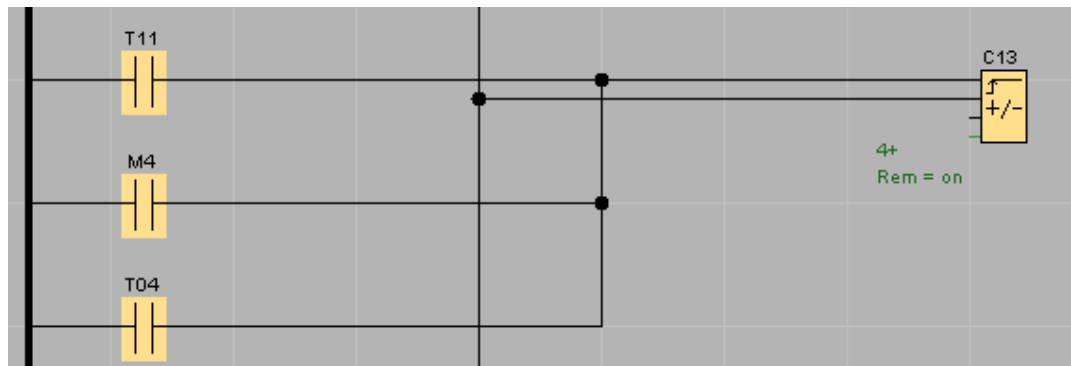
El contador de flancos *C05* detecta dos flancos. Es usado cuando no se detecta suficiente radiación solar para activar los telones en un período, y al siguiente la radiación alcanza o sobrepasa el umbral de activación de la salida del PLC. Este contador usa dos parámetros para efectuar el desarrollo del sistema; *Reset* es usado para detener el conteo de la herramienta y *Count* lleva la cuenta de los flancos. *T04*, *T11* (es un segundo reloj semanal que hace que suban los telones y detiene el uso de los contadores de flancos) y *M1* (es un contacto que se habilita cuando se activa el contador *C05*) resetean el contador mientras que la negación de *T04* activa el conteo de los flancos. Una vez se cumple la cuenta, se activa el contador y habilita acciones que se mostrarán más adelante. La finalidad de este contador es habilitar el descenso de los telones durante 20 segundos. En la Figura 61 se muestra el contador de 3 flancos y sus parámetros

Figura 61. Contador de 3 flancos y sus parámetros



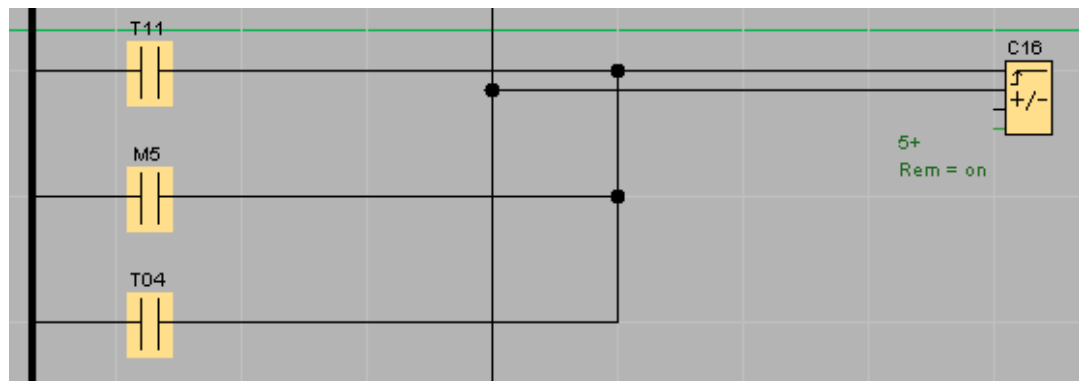
C09 es otro contador de flancos, funciona al detectar durante dos períodos la inactivación de *T04* y al siguiente período este último se activa. Esta acción es realizada para saber cuánto tiempo debe bajar el telón. El conteo se reinicializa cuando se activa *T04* o cuando comienza a funcionar nuevamente el programa el siguiente día. Cuando *C09* se habilita, los telones descienden durante 28 segundos. En la Figura 62 se muestra el contador de 4 flancos y sus parámetros.

Figura 62. Contador de 4 flancos y sus parámetros.



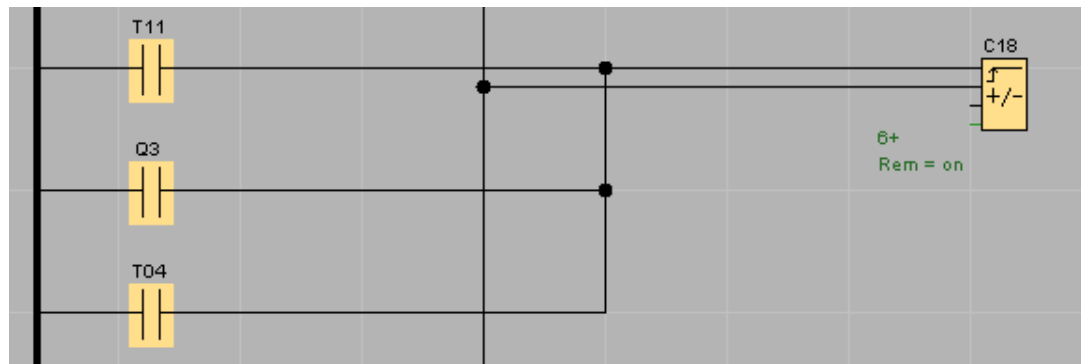
El contador de flancos *C13* se activa tras 3 períodos consecutivos de inhabilitación del contacto *T04* y la activación un período después del mismo. Los contactos *T11*, *T04* y *M4* (contacto que es habilitado cuando se activa *C13*) resetean al contador. Al activarse *C13*, los telones descienden durante 40 segundos. En la Figura 63 se muestra el contador de 5 flancos y parámetros.

Figura 63. Contador de 5 flancos y parámetros



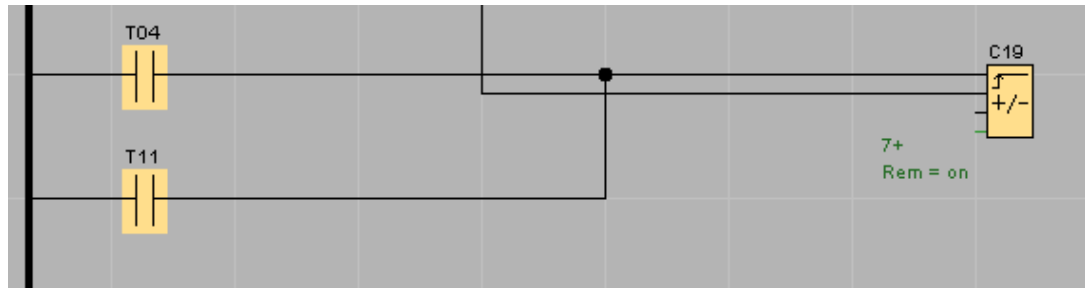
C16 se activa cuando pasan 4 períodos consecutivos de inhabilitación del contacto *T04* y el siguiente período, *T04* se activa. *T11*, *T04* y *M5* (es un contacto que se habilita cuando *C16* también lo hace) son contactos que reinician al contador. Cuando se activa *C16*, los telones bajarán durante 40 segundos. En la Figura 64 se muestra el contador de 6 flancos y sus parámetros

Figura 64. Contador de 6 flancos y sus parámetros



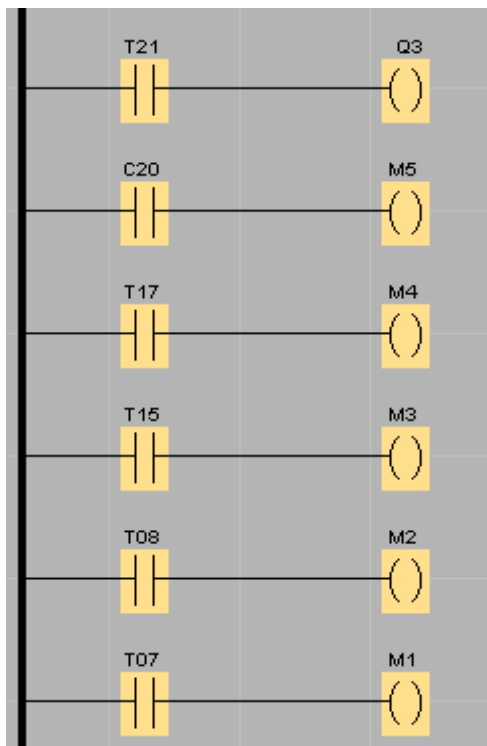
C18 se activa cuando durante 5 períodos consecutivos *T04* permanece desactivado y un período siguiente, es habilitado. *T11*, *T04* y *Q3* (es una salida del PLC que se utilizó para asociarla con un contacto que se activa cuando *C18* también lo hace) reinician el contador. Cuando se activa *C18* se habilita, los telones descienden durante 36 segundos. En la Figura 65 se muestra el contador de 7 flancos y sus parámetros

Figura 65. Contador de 7 flancos y sus parámetros



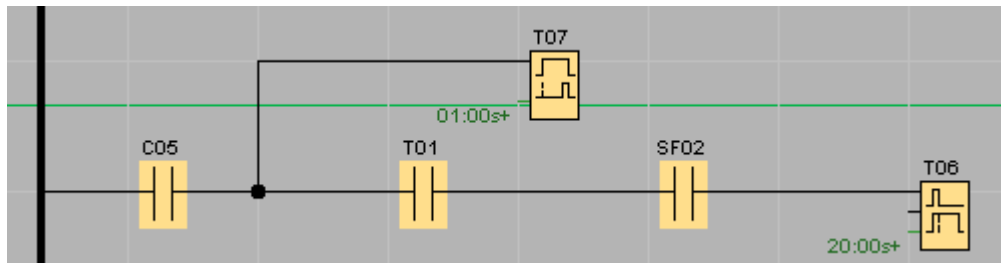
C19 se activa tras 6 períodos consecutivos de inhabilitación del contacto *T04* y un período después este último se habilita. *T04* y *T11* reinician el contador. La activación del contador provoca el descenso de los telones durante 36 segundos. En la Figura 66 se muestran los contactos asociados al reinicio de los contadores de flancos

Figura 66. Contactos asociados al reinicio de los contadores de flancos



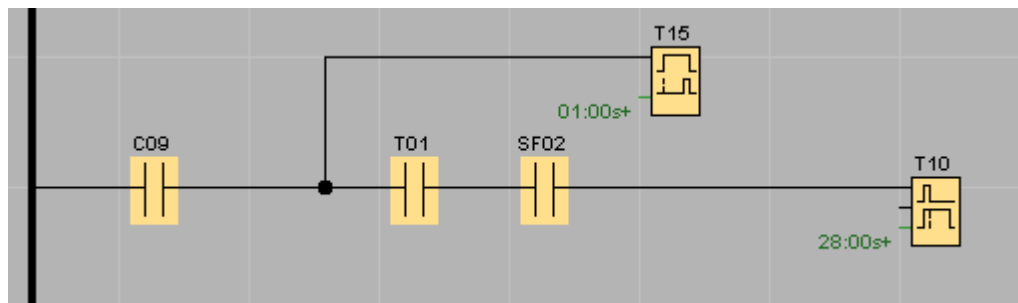
El contacto *T07* permite habilitar la bobina *M1* para reiniciar el contador *C05*. El contacto *T08* habilita la bobina *M2* para reiniciar el temporizador *T04*. El contacto *T15* habilita la bobina *M3* para reiniciar el contador *C09*. El contacto *T17* habilita la bobina *M4* para reiniciar el contador *C13*. El contacto *C20* habilita la bobina *M5* para reiniciar el contador *C16*. Finalmente, el contacto *T21* habilita la bobina *Q3* para reiniciar el contador *C18*. En la Figura 67 se presenta el esquema de contactos asociados al contador de 2 flancos y la salida del PLC.

Figura 67. Esquema de contactos asociados al contador de 2 flancos y la salida del PLC



Si *T04* no se activa en un período, *C05* verifica si en el siguiente período si la señal del sensor de luz es estado lógico *high*; si estas condiciones se cumplen, activa por medio de *T06* la bobina de salida durante 20 segundos; luego de que *C05* se active por un segundo se reinicia su conteo por medio del temporizador *T07*. En la Figura 68 se muestra el esquema de contactos asociados al contador de 3 flancos y la salida del PLC.

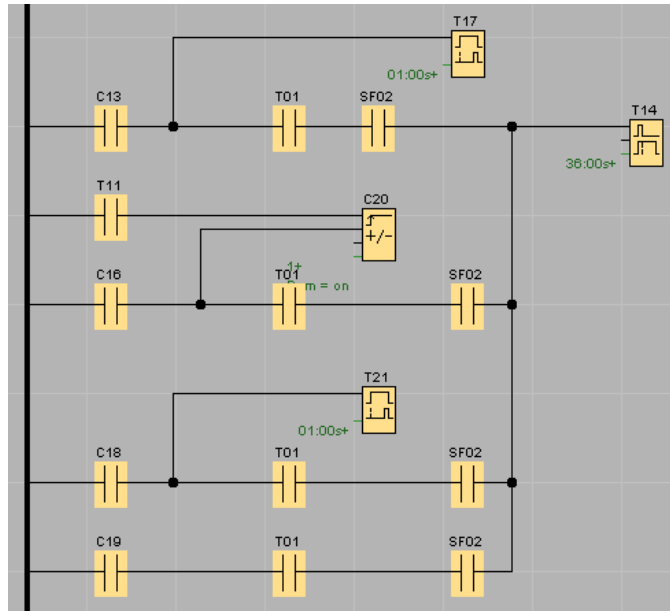
Figura 68. Esquema de contactos asociados al contador de 3 flancos y la salida del PLC.



Cuando el contacto *C09* se active, el temporizador *T15* se activa durante un segundo para reiniciar el contador de 3 flancos, y si el reloj semanal *T01* y el selector de umbral *SFO2* se activan, se habilita un temporizador de retardo a la desconexión *T10* durante 28 segundos, tiempo en el cual los telones descienden. En la Figura 69

se muestra el esquema de contactos asociados a la activación de la salida Q1 del PLC durante 36 segundos.

Figura 69. Esquema de contactos asociados a la activación de la salida Q1 del PLC durante 36 segundos.



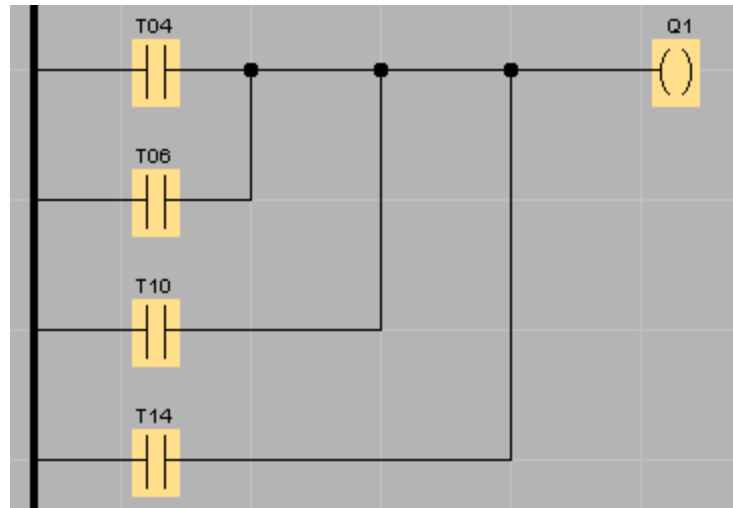
Si el PLC recibe tres lecturas consecutivas de umbral *low* por parte del sensor y a la siguiente hora la lectura es un *high*, se activará el contacto asociado al contador de flancos C13 y los telones bajarán durante 36 segundos gracias al temporizador T14. La activación del contacto C13 activará un temporizador T17 durante 1 segundo para reiniciar el contador de 4 flancos.

La activación de la salida Q1 del PLC también se habilita durante 36 segundos cuando el contador de 5 flancos C16 se activa, provocando a su vez que el contacto C20 se habilite para reiniciar el contador C16.

Si el contacto C18 se activa, hará que T21 también lo haga durante un segundo para reiniciar el contador de 6 flancos, a su vez que se activa el temporizador del retardo a la desconexión durante 36 segundos, tiempo que descenderán los telones eléctricos.

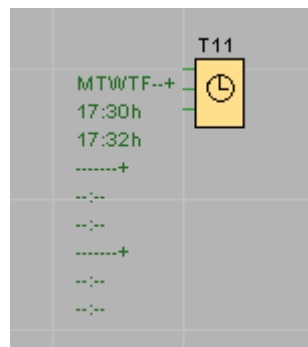
Si el contador de flancos *C19* se activa, también se activará el temporizador de retardo a la conexión *T14* durante 36 segundos. En la Figura 70 se muestra la activación de la salida *Q1* del PLC.

Figura 70. Activación de la salida *Q1* del PLC.



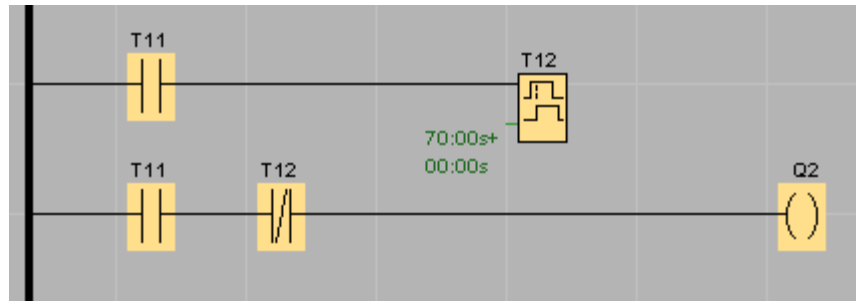
Q1 es una salida del sistema que está asociada al descenso los telones, se activará si se activa cualquiera de los temporizadores de retardo a la desconexión *T04*, *T06*, *T10* y *T14*. En la Figura 71 se muestra el reloj semanal para la lógica de subida de los telones.

Figura 71. Reloj semanal para la lógica de subida de los telones.



De lunes a viernes a las 5:30 pm se activa el reloj semanal *T11*. Su función es activar la salida *Q2*. Este reloj está activo durante dos minutos. En la Figura 72 se muestra el esquema de contactos para subir los telones.

Figura 72. Esquema de contactos para subir los telones.



Por último, se encuentra la lógica de subida de los telones. El reloj semanal *T12* activa un temporizador de retardo a la conexión/desconexión que cuenta 70 segundos antes de activarse, tiempo en el cual la salida *Q2* activa los telones para que suban a su posición inicial. La bobina *Q2* se activará con el reloj *T11* y la negación de *T12*, puesto que la negación del contacto asociado, hace que se active durante 70 segundos y luego se desactive.

ANEXO B. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE RUIDO EN LA SALA DE ESTUDIOS GRUPAL DEL CIEE

Utilizando el lenguaje de programación de Arduino, basado en *Wring*, y su entorno de desarrollo, basado en *Processing*; se realizó el programa para el sistema central que controla la regulación de ruido en la Sala de Estudio Grupal. En la Figura 73 se muestra la declaración de tipo de variables y condiciones iniciales.

Figura 73. Declaración de tipo de variables y condiciones iniciales.

```
#define voz1 A3 // define una variable y la asocia con una entrada analógica
#define voz2 A4 // define una variable y la asocia con una entrada analógica
#define voz3 A5 // define una variable y la asocia con una entrada analógica

const int Margen = 26000; // Es el umbral de las señales de los sensores (520*50)
int Suma_Ruido = 0;
int rele1 = 40; //asignacion de pines para reles de bombillos
int rele2 = 41;
int contador = 0; // Es el contador de muestras de tiempo que se detecta el ruido
const int tiempoRuido = 50; // tiempo que debe transcurrir para disparar la alarma
boolean estado= false; //determina si el nivel de ruido es igual o mayor que el umbral
float NumCancionFloat = 0; // Define el valor inicial del número de las canciones
int NumCancion = 0; // Condición inicial del número de las canciones para
// Reproducirse aleatoriamente
```

En la Figura 74 se muestra la declaración de las variables de entrada del sistema.

Figura 74. Declaración del espacio de programación.

```
void setup() {

    pinMode(voz1,INPUT);
    pinMode(voz2,INPUT);
    pinMode(voz3,INPUT);
    pinMode(rele1,OUTPUT);
    pinMode(rele2,OUTPUT);
    Serial1.begin(9600);
    Serial.begin(9600);
}
```

En Arduino, el uso de *void setup* es obligatorio para que se puedan ejecutar correctamente las líneas de código. *Serial.begin* es un comando que permite abrir los puertos seriales de la placa y leer por medio de estos puertos, los valores de las variables que nos suministren información relevante. El comando *pinMode* configura el pin en específico para determinar si se comporta como entrada o salida. En la Figura 75 se muestran los condicionales para toma de decisiones.

Figura 75. Condicionales para toma de decisiones.

```
do{
    digitalWrite(rele1,LOW);
    digitalWrite(rele2,LOW);

    for ( contador = 0; contador<tiempoRuido; contador++){
        Suma_Ruido=(analogRead(A3)+analogRead(A4)+analogRead(A5))+Suma_Ruido;

    delay(200);
    //Serial.println(Suma_Ruido);
    if(Suma_Ruido > Margen){
        Serial.println("Ruido promedio");
        Serial.println(Suma_Ruido/50);
        Serial.println(" ");
        //Serial.println("Ruido alto");
        Serial.println(" ");
        contador = 0;
        Suma_Ruido = 0;
        goto Seleccion;
    }
}
```

La Figura 75 muestra el sistema en el estado *Detección*, los relés se mantienen en *Low* para mantener apagados los bombillos; se realiza la suma de los tres sensores durante 10 segundos: 0,2 segundos del *Delay* multiplicado por 50 de *tiempoRuido*. Se compara esta suma con el umbral y se toma la decisión de seguir en el mismo estado o pasar a *Selección*. En la Figura 76 se muestra la programación cuando el sistema pasa al estado *Selección*.

Figura 76. Estado Selección

```
Seleccion:
//funcion random para canciones
NumCancionFloat = random(1,27);
NumCancion = NumCancionFloat;

Serial.print("num cancion ");
Serial.println(NumCancion);
```

Cuando el sistema pasa al estado *Selección* genera un número aleatorio tipo *float* que puede ir desde el 1 hasta el 27; este valor resultante se convierte en entero y se utiliza para escoger el caso dentro de una función *Switch*. En la Figura 77 se muestran los comandos para la reproducción de las canciones.

Figura 77. Comandos para la reproducción de las canciones.

```
Rep1: Serial.println("Reproducción de alerta sonora");

//control volumen
Serial1.write(0x7E);
Serial1.write(0x03);
Serial1.write(0xA7);
Serial1.write(0x1F);
Serial1.write(0x7E);

//Reproducir desde uSD
Serial1.write(0x7E);
Serial1.write(0x04);
Serial1.write(0xA0);
Serial1.write((byte)0x00);
Serial1.write(0x01);
Serial1.write(0x7E);

//Reles
digitalWrite(rele1,HIGH);
digitalWrite(rele2,HIGH);

delay(30000);
```

Existen 27 estados diferentes que se identifican como Rep1, Rep2,... Rep27; en ellos se especifica el número y el volumen de la canción que se va a reproducir; se

activan los relés para encender los bombillos. El *delay* es de 30 segundos, tiempo en el que va a durar la reproducción de la canción en la sala Grupal. En la Figura 78 se muestra el comando para detener las reproducciones.

Figura 78. Parar de reproducir la canción.

```
//          STOP Para parar la canción y que no reproduzca en toda su longitud
Serial1.write(0x7E);
Serial1.write(0x02);
Serial1.write(0xA4);
Serial1.write(0x7E);
goto inicio;
```

El Arduino envía los comandos de *stop* al módulo de sonido que interpreta inmediatamente los datos recibidos y procede a parar la reproducción de las canciones.

Después de que se detiene la canción, el sistema vuelve al estado inicio y empieza a sensor de nuevo.