



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



AUTOMATIZACIÓN DE VIDRIOS O LÁMINAS PDLC, PARA EL CONTROL
DE CLIMATIZACIÓN DE AMBIENTES INTERNOS DE LA ESCUELA DE
MILENIUM EN LA PARROQUIA YANAHURCO, CANTÓN SAQUISILÍ,
PROVINCIA DE COTOPAXI.



AUTOR

Marco Vinicio Amaya Sandoval

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**“AUTOMATIZACIÓN DE VIDRIOS O LÁMINAS PDLC, PARA EL CONTROL
DE CLIMATIZACIÓN DE AMBIENTES INTERNOS DE LA ESCUELA DE
MILENIUM EN LA PARROQUIA YANAHURCO, CANTÓN SAQUISILÍ,
PROVINCIA DE COTOPAXI.”**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Tecnología de Construcción y Domótica

Profesor Guía

Ing. José Luis Valencia

Autor

Marco Vinicio Amaya Sandoval

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, AUTOMATIZACIÓN DE VIDRIOS Y LÁMINAS LDOP CON ARDUINO, PARA EL CONTROL DE CLIMATIZACIÓN DE AMBIENTES INTERNOS DE LA ESCUELA DE MILENIUM EN LA PARROQUIA DE YANAHURCO, CANTON SAQUISILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, a través de reuniones periódicas con el estudiante Marco Vinicio Amaya Sandoval, orientando conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan el Trabajo de Titulación"



Ing. José Luis Valencia Melo

C.C. 172160717-2

DECLERACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

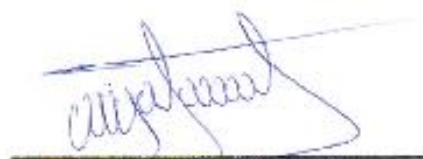
“Declaro haber revisado este trabajo, AUTOMATIZACIÓN DE VIDRIOS O LÁMINAS PDLC, PARA EL CONTROL DE CLIMATIZACIÓN DE AMBIENTES INTERNOS DE LA ESCUELA DE MILENIUM EN LA PARROQUIA YANAHURCO, CANTÓN SAQUISILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, a través de reuniones periódicas con el estudiante MARCO VINICIO AMAYA SANDOVAL, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francisco J. Zaldumbide Z.', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat abstract, with several loops and flourishes.

Arq. Francisco J. Zaldumbide Z.
C.C.: 1718906280

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

"Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Amaya Sandoval', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Amaya Sandoval Marco Vinicio

C.C 050296188-1

AGRADECIMIENTO

“Caminante no hay camino, se hace camino al andar”, decía un poeta español y es, en virtud de esa verdad, que el presente proyecto es un gran motivo para extender mi sincero agradecimiento a los coautores y gestores de este trabajo que va más allá de la obligación o legalidad, pues, el aporte material y, sobre todo, espiritual de mis padres, han sido los baluarte con los cuales he podido vencer los temores y las dificultades de toda naturaleza. Gracia padre, Marco; madre, Maruja. Gracias hermanas, tía Nely, sin ustedes todo esfuerzo habría sido vano. Esto no es sino la culminación de una etapa, reitero mi compromiso: el de seguir adelante siempre con la cabeza altiva y el corazón ardiente. Me quedan caminos por andar, estrellas por alcanzar, os invito a juntar las manos para poder alcanzarlos.

Gracias, de corazón a todos y todas.

DEDICATORIA

La culminación de un ciclo de estudios tiene protagonistas, a ellos dedico de forma sincera: a mis padres que, más allá de las dificultades y limitaciones, nunca dejaron de abrir los surcos por donde he transitado en procura de que los frutos surjan diáfanos. Por su acción noble y su entereza, he crecido intelectualmente y con este trabajo, rubrico mi compromiso de lealtad a los nobles ideales de mis padres, Marco y Maruja.

No está por demás destacar la ayuda que he recibido de mi entorno: mis hermanas, mi tía Nely Sandoval. A ellos también dedico este esfuerzo que será, sin duda alguna, un peldaño más que me enrumbará hacía nuevos horizontes y conquistas. No dejo de lado la necesidad de dedicar este trabajo a todos y todas quienes no han perdido la esperanza y anhelo de construir un nuevo mundo, una nueva sociedad.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación está direccionado a la automatizando vidrios o laminas PDLC para el control de climatización de ambientes internos de la Escuela de Milenium Yanahurco, esto se logró gracias a la ayuda de un software de simulación donde se representó la estructura del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco con sus material de estructura. La influencia del software de simulación es la representación de los diferentes materiales que tomamos para la investigación entregando datos para realizar comparaciones con la investigación de campo. En la investigación de campo se realiza un ensayo con la lámina inteligente PDLC escogida para la toma de datos y realizar la comparación con los datos obtenidos en la simulación. Estos resultados ayudan a la programación del sistema de automatización, tomando en cuenta los tiempos críticos, un tiempo donde el ambiente interior del edificio administrativo debe conservar su temperatura para así brindar un confort térmico a los individuos que hacen uso de estos espacios donde la automatización activara a la lámina inteligente PDLC y su estado será opaco ayudando que el calor térmico no se escape, el segundo punto tomado en cuenta es cuando el ambiente interno requiere generar calor la automatización de la lámina inteligente PDLC es cambiar su estado a transparente, para así dejar pasar los rayos UV y todo el ambiente genere calor térmico por medio de la radiación solar. Toda esta detección de temperatura interna se da gracias al sensor LM35 del circuito domótico que se encuentra en automatización con la tarjeta ARDUINO UNO. Se observa la conservación de la temperatura interna en el ensayo el cual es la recreación de un ambiente del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco, empleando la lámina inteligente PDLC sobre el vidrio de 6mm, generando un ambiente confortable para los usuarios del edificio administrativo.

ABSTRACT

This research project is aimed at automating glass or PDLC sheets for climate control of internal environments of the Milenium Yanahurco School, this was achieved thanks to the help of simulation software where the structure of the administrative building of the Yanahurco Milenium School with its structural materials. The influence of simulation software is the representation of the different materials that we take for the investigation, providing data to make comparisons with the field investigation. In the field research, a test is carried out with the PDLC smart sheet chosen for data collection and comparison with the data obtained in the simulation. These results help the programming of the automation system, taking into account critical times, a time where the interior environment of the administrative building must retain its temperature in order to provide thermal comfort to individuals who make use of these spaces where automation will activate to the PDLC smart foil and its state will be opaque helping that the thermal heat does not escape, the second point taken into account is when the internal environment requires generating heat the automation of the PDLC smart foil is to change its state to transparent, in order to leave UV rays pass and the whole environment generates thermal heat through solar radiation. All this internal temperature detection occurs thanks to the LM35 sensor of the home automation circuit that is in automation with the ARDUINO UNO card. The conservation of internal temperature is observed in the test which is the recreation of an environment of the administrative building of the Millennium Yanahurco School, using the PDLC smart sheet on 6mm glass, creating a comfortable environment for users of the administrative building.

ÍNDICE

1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General:.....	4
1.3.2 Objetivos específicos:.....	4
1.4 Alcance	6
1.5 Justificación.....	6
1.5.1 Justificación Teórica	6
1.5.2 Justificación Práctica	8
1.5.3 Justificación metodológica	9
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Eficiencia Energética En Fachadas Acristaladas	12
2.1.1 Características Energéticas Del Vidrio.....	12
2.2 Vidrios Estáticos Y Vidrios Inteligentes.....	14
2.2.1 Vidrios Estáticos	14
2.2.2 Vidrios Inteligentes	18
2.3 Láminas inteligentes PDCL (Láminas Líquidos Dispersos de Polímeros).....	24
2.4 Arduino.....	25
2.4.1 Elementos de la tarjeta Arduino	26
2.4.2 Tipos de placas de Arduino	27
3 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	28
3.1 Selección de los tipos de vidrios	28
3.2 Selección de edificio de referencia	29
3.3 Selección de programa de simulación	29
3.3.1 Introducción a la simulación.....	30
3.3.2 Modelización.....	30

3.3.3	Simulación de ensayos.....	32	
3.3.4	Diseño de ensayo.....	33	
3.3.5	Método de ensayo.....	35	
3.3.6	Comparación vidrio estático de 6mm con lámina inteligente PDLC sobre el vidrio 6mm.....	36	
4. ACONDICIONAMIENTO DE CIRCUITO			
DOMÓTICO			43
4.1	Elementos del circuito domótico.....	43	
4.1.1	Placa Arduino UNO	43	
4.1.2	Circuito de control de temperatura LM35 en Arduino	44	
4.2	Programación de Arduino.....	48	
4.3	Plano de instalación de automatización en la lámina inteligente PDLC.....	52	
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS			54
5.1	Comparación de temperatura.....	54	
5.2	Costo de materiales.....	57	
CONCLUSIONES			59
RECOMENDACIONES.....			61
REFERENCIAS			62
ANEXOS			63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de Temperatura: Vidrio estático 6mm.....	37
Tabla 2 Comparación de Temperatura: Lamina Inteligente PDLC en vidrio 6mm estado apagado (opaco).....	39
Tabla 3 Comparación de Temperatura: Lamina Inteligente PDLC en vidrio 6mm, estado encendido (cristalino).....	41
Tabla 4 Comparación de Temperatura: Vidrio Estático 6mm, Lamina Inteligente PDLC en vidrio 6mm apagado, estado encendido.....	54
Tabla 5 Costo de materiales caja de ensayo.....	58

NOMENCLATURA

PDLC	Polymer Dispersed Liquid Crystal
SPD	Suspended Particle Devices
mm	Milímetros
cm	Centímetro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
°C	Grados Centígrados
°K	Grados Kelvin
HIGH	Ciclo Alto
LOW	Ciclo Bajo
Delay	Retraso
UV	Ultravioleta
V	Voltios
W	Vatios
VAC	Voltios de corriente alterna
VDC	Voltios de corriente directa
NC	Switch Normalmente Cerrado
NO	Switch Normalmente Abierto
GND	Ground (Tierra)
OSB	Oriented Strand Board
Rx	Recepción datos
Tx	Trasmisión datos
C++	Lenguaje de programación orientado a objetos
WO3	Oxido de Tungsteno
UVA'S	Unidades de Vidrio Aislante
CO2	Dióxido de Carbono

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La importancia de los materiales de construcción, a través de la historia, ha sido tal que en los periodos donde un material fue usado con relevancia fueron conocidos como: La Edad de la Piedra, La Edad del Bronce, La Edad del Hierro, entre otros el vidrio no ha dado su nombre a ninguno de estos periodos pero si ha estado presente, de una u otra forma.

Podemos decir que el vidrio es uno de los materiales que ha acompañado al hombre a través de todas estas fases de la historia, ayudándolo siempre a fusionar su utilidad con la belleza. Con el pasar de los años, el vidrio fue incorporándose a la cultura del ser humano en sus pueblos, sus primeros usos fueron artísticos contribuyendo a realizar más investigaciones profundas, fortaleciendo los conocimientos científicos y tecnológicos.

En los diseños de las construcciones se considera, en su gran mayoría, la estructura el vidrio. El vidrio tiende a desempeñar un papel importante, ya sea con aspectos positivos como la iluminación natural en ambientes internos de la vivienda así como un confort térmico para sus habitantes; por otro lado, el aspecto negativo es un aumento de demanda energética de la climatización en determinadas condiciones. Según la Agencia de Protección Medioambiental de EE.UU., los vidrios son la fuente más importante de pérdida y ganancia de calor no deseado, lo que debe compensarse por medio de instalación de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Las empresas privadas, en el intento de reducir la demanda térmica que implica la utilización de los vidrios, se han dedicado a mejorar sus características y propiedades, introduciendo varias cámaras intermedias de aire y mejorando la calidad para disminuir el calor radiante por efecto de los rayos solares que atraviesan el cristal.

(Renedo , Fernández Fernández, & Carcedo Haya, 2014) En estos últimos años se han desarrollado los vidrios dinámicos o inteligentes, los mismos que, mediante la aplicación de fenómenos físicos, modifican su comportamiento con respecto al paso de la radiación solar y, por lo tanto, mejoran sus características térmicas.

En 1999, en el edificio Federal de Oakland, se realizaron pruebas con los primeros vidrios inteligentes, cuyos objetivos fueron desarrollar un sistema de control de ventanas inteligentes y obtener datos técnicos sobre la cantidad de energía que usan, de igual forma procuran evaluar el confort que generan al usuario. Entre los resultados se destaca el ahorro energético de iluminación interior entre un 6 y un 24 % comparando con vidrios estáticos tintados convencionalmente.

A partir de estos estudios, diversas empresas de vidrios a nivel mundial, se han encargado de mejorar las características de estas ventanas para poder producirlas más eficientes y económicas para el usuario final.

Los avances tecnológicos que se han dado en base al vidrio, están permitiendo la fabricación de láminas de mayor tamaño, mejorando todas sus propiedades y sus precios son muy competitivos en el mercado, logrando el aumento de superficies acristaladas en las fachadas de las construcciones.

1.2 Planteamiento del Problema

En la parroquia de Yanahurco, perteneciente al cantón Saquisilí, de la provincia de Cotopaxi, a 3722 m.s.n.m, se encuentran las instalaciones de la Escuela de Milenium Yanahurco, la escuela cuenta en su fachada con una gran superficie de vidrio.

En la Escuela del Milenium Yanahurco, se ha evidenciado la pérdida de calor en sus ambientes internos de la institución, la misma que causa incomodidad en el confort de sus usuarios, obligando a las autoridades que instalen calefactores

eléctricos en cada uno de los espacios donde se genera este problema. Pero la instalación de estos equipos ha generado un alto consumo eléctrico, pues, al tener una pérdida de calor constante, permanecen encendidos las 8 horas de actividad laboral en la institución. A su vez, al tener una gran superficie de vidrio en las ventanas, y cuando durante el día el sol sale a plenitud, causa deslumbración en los ambientes internos, generando malestar en el visón de los usuarios de los ambientes internos del plantel.

Se muestra los principales procesos y opciones que se realizarán mediante la automatización de vidrios o láminas inteligentes con una placa Arduino para la climatización de ambientes.

La investigación se origina por el consumo de energía eléctrica para la climatización de ambientes internos del edificio administrativo de la escuela, mediante calefactores por lo que es una alternativa significativa el control de climatización.

Al realizar la climatización de ambientes internos mediante la automatización de vidrios o laminas PDLC con una placa Arduino, permitirá la optimización de recursos energéticos. Esta automatización es con el fin de obtener un ahorro energético mediante el control de la temperatura.

Solución

Proponer la instalación de vidrios o láminas inteligentes PDLC, automatizando su uso para lograr una climatización interna de los ambiente de una construcción, ayudando a la eficiencia energética y control de temperatura térmica interna dando así un buen confort térmico a los usuarios.

Aporte

La elaboración de una guía de automatización de vidrios o laminas inteligentes PDLC por medio de un control ON/OFF con una placa Arduino, para el control de climatización de los ambientes internos del departamento administrativo de la

Escuela de Milenium en la parroquia Yanahurco, cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi.



Figura 1 Causa y efecto del problema.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Elaborar una guía de automatización de vidrios o láminas inteligentes PDLC, por medio de una placa ARDUINO, a fin de que proporcione un control de climatización de ambientes internos del edificio administrativo de la Escuela de Milenium en la parroquia Yanahurco, cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Selección de lámina inteligente PDLC existentes en el mercado ecuatoriano, para el uso en los ambientes internos de la estructura del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco.
- Realizar una tabla de datos de temperatura que se generan en los ambientes internos del edificio administrativo de la Escuela de Milenium durante la jornada de trabajo.
- Elaborar una tabla de datos sobre la temperatura que se genera en los ambientes internos del edificio administrativo de la institución, mediante el programa de simulación DesigBulding aplicando la utilización de láminas inteligentes PDLC en el vidrio estático de 6mm.
- Realizar una tabla de datos sobre la temperatura que se genera en los ambientes internos del edificio administrativo de la institución, mediante el programa de simulación DesigBulding aplicando la utilización del vidrio estático de 6mm, instalado en la estructura.
- Analizar los resultados obtenidos en el programa de simulación DesigBulding, elaborando una tabla de comparación aplicando la utilización de los vidrios estáticos de 6 mm y la lámina inteligente PDLC en el vidrio de 6 mm, para una posible estimación de la eficiencia energética.
- Realizar ensayos con la lámina inteligente PDLC, que posibilite el desarrollo de una tabla de datos de temperatura que se generan dentro del ambiente del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco.
- Desarrollar la guía del funcionamiento del sistema domótico que permita la comunicación con las Láminas inteligente PDLC.
- Configurar el sistema de control en ARDUINO con las láminas inteligentes PDLC, que posibilite el control de la climatización de los ambientes internos del edificio administrativo de la institución y la programación de escenarios en los puntos críticos de temperatura que el ambiente interno necesite calefacción.

- Elaborar los planos eléctricos de instalación del vidrio o lamina inteligente LDCP, que serán recomendados para la instalación en el edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco.

1.4 Alcance

El presente estudio propone realizar una investigación general sobre las características de cada uno de los vidrios o láminas inteligentes PDLC, que existen en el mercado ecuatoriano, para comparar su eficiencia frente a los vidrios de 6 mm utilizados comúnmente en las instalaciones de todas las construcciones. Para ello estableceremos una tabla de datos sobre la eficiencia energética en calefacción de los vidrios o laminas inteligentes PDLC y vidrios de 6mm, estos datos los obtendremos mediante el programa de simulación. A su vez realizaremos cajas de ensayo en el cual tendremos instalados vidrios o láminas inteligentes PDLC, con lo cual se obtendrá datos de temperatura. Se realizará la configuración del sistema domótico con ARDUINO, para automatizar el funcionamiento de los vidrios o láminas inteligentes PDLC y, de esa forma, controlar la climatización interna de los ambientes, generando con ello escenas en las cuales puedan ayudar en el confort de los usuarios de las instalaciones, regulando la calefacción de los ambientes internos del edificio administrativo de la institución. Estos escenarios se las programarán a partir de los datos relevados en los ensayos y del programa de simulación.

Es importante resaltar que no se implementará la automatización en las instalaciones del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco, se desarrollará una guía con las recomendaciones para la instalación del sistema.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación Teórica

(Carlos, 2007) El avance tecnológico que se está dando en estos últimos años a nivel mundial, y cómo no decirlo en nuestro país, ha contribuido eficazmente al desarrollo de la Domótica ayudando en muchos aspectos, los ambientes internos

de una construcción como son la iluminación, climatización, seguridad, comunicación, etc.

Por estas razones, esta guía de investigación se precisa para los instaladores, constructores, proyectistas, arquitectos, ingenieros y diseñadores adquieran una rápida familiarización con las posibilidades de los nuevos dispositivos y conocimiento. Esta tecnología ayuda eficazmente con el ahorro energético al hacer un uso más eficiente de estos diferentes dispositivos.

La automatización en esta guía nos dará una visión muy amplia sobre cómo realizar el control de climatización interna de una construcción, pues permiten una mayor eficiencia energética y generan un confort térmico para los usuarios de dichas instalaciones.

El confort térmico existe cuando las personas no experimentan sensaciones de frío ni calor, es decir cuando las condiciones de humedad, temperatura y el movimiento del aire son adecuados para las actividades que desarrollan estas personas. El cuerpo humano “quema” alimentos y genera calor, frente a lo cual se debe recordar que lo mismo es similar a cualquier máquina, por lo que, para poder mantener su temperatura nominal de 37°C, tiende a disipar calor y esto lo hace por medio de conducción, convección, radiación y evaporación. Cuando el cuerpo humano se encuentra cerca de la temperatura ambiental, deja de transmitir calor por falta de un gradiente térmico, y la evaporación queda como la única forma de enfriamiento.

Una de las funciones principales de las construcciones en viviendas, edificios, oficinas es proveer ambientes internos que sean térmicamente confortables, por ello el confort es indispensable para el diseño de las mismas.

Con el desarrollo de esta guía de automatización para el control de climatización de ambientes internos de una construcción por medio de vidrios o laminas inteligentes PDLC, en las instalaciones de esta infraestructura, se integrará

sistemas domóticos para dar un confort a sus usuarios, para lo que se torna imprescindible los fundamentos teóricos que existen en torno a los dispositivos domóticos, instalaciones eléctricas, cableado domóticos, entre otros elementos.

Gracias a la cátedra de Actualidad Tecnológica, se ha llegado a investigar el avance tecnológico que permite o fundamenta el funcionamiento de los diferentes tipos de vidrios y láminas inteligentes PDLC, así como el área de materiales de construcción, ya que el vidrio es un elemento indispensable en la estructura de la construcción. De otro lado, hay que tener en cuenta que el vidrio es un detalle arquitectónico para la construcción, por lo que los conocimientos obtenidos de obra gris y acabados, ayudan a proponer recomendaciones de uso de los vidrios o láminas inteligentes PDLC para las diferentes construcciones a realizarse.

Actualmente, todo sobre la fabricación, información técnica de venta de vidrios o láminas inteligentes PDLC, se encuentra en inglés, lo que será superado a través de medios tecnológicos que para ello existen. Al realizar la propuesta de automatización de vidrios y láminas inteligentes PDLC dentro de los ambientes internos, se necesitará realizar un diseño de las instalaciones eléctricas para el correcto funcionamiento, así como el cableado de domóticos a usarse en este proyecto.

1.5.2 Justificación Práctica

Con el presente proyecto se pretende demostrar la factibilidad del control de climatización de ambientes internos de una vivienda por medio de vidrios o lamina inteligente PDLC.

Para el efecto se practicará un análisis de los diferentes tipos de vidrios o láminas PDLC para el control de climatización de ambientes internos de la institución, a través de un software de simulación, cuyos programas, hoy en día, pueden ayudar a los profesionales a comparar y elegir la solución más adecuada en el problema que motiva el trabajo de investigación.

Los beneficiarios de esta guía serán los usuarios de las instalaciones de la Escuela del Milenio Yanahurco, por la información que será obtenida en cada una de las pruebas, se brindará información sobre la característica de los vidrios o laminas PDLC y cuáles serían recomendables utilizarlas en las instalaciones para brindar así un confort a los usuarios.

Por otra parte, en menester destacar las características de los vidrios o láminas PDLC que posibilitan su eficiencia energética en las instalaciones de la construcción, los beneficiarios será la institución pública, la misma que tendrá un ahorro en su economía en las cuotas de planillas de luz eléctrica.

1.5.3 Justificación metodológica

Para realizar el estudio de control de climatización de vidrios inteligentes, se realizará un estudio de los diferentes tipos de vidrios inteligentes que se podría utilizar en una vivienda, según las necesidades de climatización.

Para lograr los objetivos planteados en esta guía, se ha propuesto investigar las características de los diferentes tipos de vidrios y láminas PDLC que existen en el mercado ecuatoriano, para ello se realizará entrevistas personales en cada una de las empresas distribuidoras de este producto en el país, para tener especificaciones técnicas sobre el funcionamiento de cada uno de los tipos de vidrios y láminas PDLC. Con las empresas que se encuentren fuera del país, se tomará contacto para poder tener un video conferencia y que permita obtener los datos de los productos que no se encuentran en el mercado ecuatoriano.

Una vez adquirida toda la información que las entrevistas realizadas, se procederá a generar una tabla de características de cada uno de los diferentes tipos de vidrios o laminas PDLC, clasificándolos en existencia del mercado ecuatoriano y fuera del país.

Además, se realizará un análisis de muestras de temperatura que se generan en los ambientes internos de la institución, por ello se tomará muestras de datos por

medio de termómetros en los ambientes internos del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco en la jornada laboral de la institución. Para poder realizar una tabla de datos de temperatura, demostrando los puntos críticos que existen el edificio.

Al finalizar la investigación, procederemos a realizar las simulaciones en el software DesigBulding, en el cual aplicaremos los vidrios estáticos de 6mm instalados en la estructura del edificio administrativo de la institución y la lámina inteligente PDLC en el vidrio estático de 6mm. Con esta simulación será posible observar la temperatura que se genera en el ambiente interno del edificio en estudio.

Los resultados obtenidos de estas simulaciones, ayudaran a generar una tabla de comparación de temperatura de los vidrios estáticos de 6mm con la lámina inteligente PDLC instalada en los vidrios de 6mm.

El procedimiento de ensayo se realizará en cajas dimensionadas, abierta por una de sus caras, en material de madera, excepto la cara donde se encontrará el vidrio en estudio.

Con este ensayo se obtendrá datos de humedad y temperatura generados en el ambiente interno por el vidrio estático de 6mm y la lámina inteligente PDLC instalada en el vidrio de 6mm al entrar en ensayo. El instrumento que usaremos para la recolección de los datos será un termo-higrómetro ETP-110. Con los datos obtenidos en el proceso de investigación, se procederá a realizar una tabla comparativa de temperaturas con la simulación del vidrio y la lámina LDGP en DesigBulding.

Una vez realizado el análisis de datos obtenidos por medio de la simulación y de los ensayos respectivos, se procederá a realizar la programación del sistema domóticos por medio de Arduino, definida para este caso el control ON/Off de la lámina inteligente PDLC instalada en el vidrio de 6mm.

Además se analizará el protocolo a utilizar en Arduino, para poder programar el control ON/OFF de la lámina inteligente PDLC, para los puntos críticos de temperatura que se han obtenido gracias a la simulación, ensayos y muestras en los ambientes internos del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco.

Se realizará un plano de la instalación eléctrica de la lámina inteligente PDLC instalada en el vidrio de 6mm, para brindar información en la guía del modo de instalación de este tipo de producto.

La importancia de esta investigación radica en el impacto que tendrá sobre la eficiencia energética de una edificación por el uso de vidrios o laminas inteligentes PDLC, siendo que esta información obtenida va ser canalizada a los diferentes constructores interesados en la utilización de la misma.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Eficiencia Energética En Fachadas Acristaladas

Los avances tecnológicos en la construcción, han sido capaces de modificar la composición química de los vidrios, agregando elementos o gases de baja emisividad entre los vidrios, pudiendo incluir en ellos un sistema de control de iluminación y térmico, o a su vez combinando estos, dando como resultado distintos tipos de vidrios que contribuyen en el ahorro energético de los edificios, como son: vidrios de doble acristalamiento aislante, vidrios de baja emisividad, vidrios de control solar, laminados acústicos y seguridad, laminados tintados, laminados resistentes al fuego hasta los vidrios inteligentes o también llamados Smart Glazing. Estos vidrios inteligentes también son conocidos como vidrios dinámicos que son capaces de cambiar su propiedad frente al cambio de ambiente en el cual se encuentran instalados.

Todo este avance tecnológico tiene como objetivo ayudar en el confort de los usuarios, y reducir los costes y las emisiones de CO₂ que existen en un edificio (Rubin, 2011).

2.1.1 Características Energéticas Del Vidrio

Para que exista un mejor entendimiento del comportamiento del vidrio, a continuación se disponen de alguna de las definiciones de las características.

a) Luz visible

La energía emitida del sol se divide en tres tipos de energía: radiación (visible), infrarroja (calor), ultravioleta (degradación y riesgos a la salud). Cada una de estas energías se diferencia por su longitud de onda. Los rayos infrarrojos tienen longitudes altas y rayos ultravioletas tienen longitudes cortas; la luz visible al ojo humano es una pequeña parte del espectro electromagnético, los colores: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo se encuentran entre 390 y 780 nanómetros.

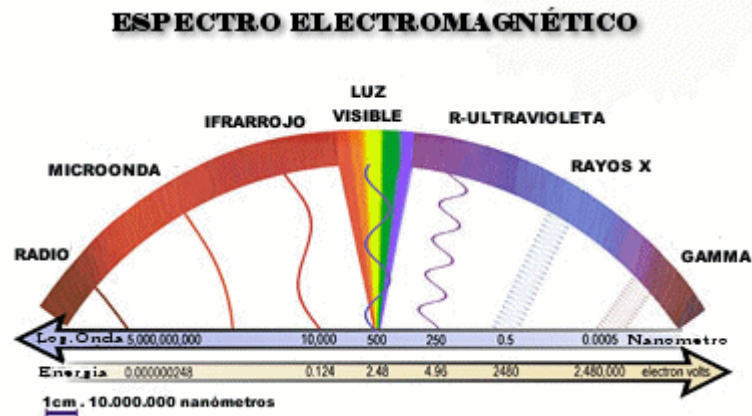


Figura 2 Espectro Electromagnético

(Tomado de: <http://luznaturalv2.blogspot.com/2015/09/espectro-electromagnetico-ondas.html>)

La transmisión luminosa es parte de la radiación, pero esta no es reflejada ni absorbida, por ello esta pasa libremente por el vidrio. Por esta razón, entre menor sea la radiación mejor será el centro de las reflexiones o sobrecalentamiento, por otro lado, al existir un número alto es recomendable para mantener mayor centro de luz natural.

b) Energía solar

La energía solar es la radiación emitida por el sol, parte de esta radiación se trasmite directamente a través del vidrio. Para evitar esta radiación que provoca sobrecalentamiento en el vidrio, es recomendable que la transmisión de la radiación sea lo más baja posible.

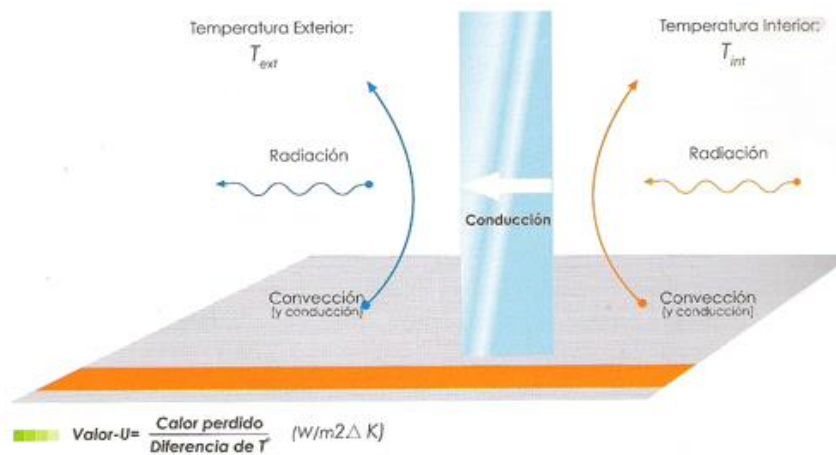


Figura 3 Coeficiente de transmisión de calor

(Tomado de: <http://www.especificar.cl/fichas/cristales-y-vidrios-de-control-solar>)

c) Factor solar

El factor solar es el porcentaje de energía total que atraviesa el vidrio y la energía solar incide. Esta energía total es la suma de la energía solar que entra directamente por la transmisión y de manera indirecta por la absorción, mientras más bajo es el factor solar, se mejora las propiedades del control solar de la abertura.

2.2 Vidrios Estáticos Y Vidrios Inteligentes

2.2.1 Vidrios Estáticos

El vidrio es uno de los materiales es usado por el ser humano desde hace milenios, el vidrio está presente en diversas formas que requiere el ser humano, en la construcción el vidrio es usado en ventanas, puertas, fachadas, etc.

El vidrio al poseer propiedades intrínsecas como: brillo, resistencia según el uso, transparencia, etc. Por ello el vidrio en estos casos es un material sustituible o a veces es realmente insustituible. Los componentes principales del vidrio se los puede encontrar en la naturaleza: sílice, cal y carbonato de sodio. Los materiales secundarios que son incluidos en la elaboración del vidrio son usados para darle propiedades especiales.

Las estructuras de una construcción tienden a incorporar una gran superficie de acristalamiento en las fachadas (ventanas), por ello es muy importante escoger los tipos de vidrios adecuados para estas partes de la estructura de una construcción. El vidrio al ser una parte importante de la estructura de un edificio se ve afectado por las condiciones climáticas, es conveniente utilizar vidrios con aislamiento térmico, este presenta elevadas prestaciones térmicas ayudando a reducir las pérdidas energéticas en los ambientes internos del edificio y dando un mejor confort térmico. Una de sus características es la temperatura de la superficie del vidrio es más elevada, reduciendo considerablemente el efecto de frío y eliminando el factor de condensación. Aun así existe más tipos de vidrios que ayudan a mejorar el aislamiento térmico de un edificio, este tipo de vidrio

que se pueden utilizar son los vidrios dobles con capas de baja emisividad, su propiedad es la sustitución del aire de la cámara por un gas noble, este es el argón.

2.2.1.1 Float Incoloro

(Vasa, s.f.) El vidrio float incoloro es un vidrio transparente de caras planas, asegurando transparencia, visión nítida, por ese motivo es llamado cristal. Este tipo de vidrio se lo llama monolítico o vidrio crudo para diferenciarlo de los vidrios laminados o doble vidriado, vidrio templado. El vidrio float al romperse lo hace en pedazos grandes y de forma filosa y cortante, por ello se deberá tomarse mucha atención a la selección del espesor adecuado a su funcionalidad en la estructura.

La selección del el espesor de este vidrio float depende del tamaño y presión del viento a la cual va ser sometido según su funcionalidad en la estructura, por ello este espesor debe ser calculado de acuerdo a la Norma IRAM 12565.

2.2.1.2 Float Color

(Huapaya Conde) Los vidrios float color, son fabricados con los mismos materiales de los vidrios float incoloro, solo que son agregados durante su producción óxidos metálicos específicos que producen un color específico en la masa del vidrio, aumentando su estética del vidrio, sin perder ninguna de las cualidades del float incoloro.

Estos vidrios son absorbentes de calor, gracias a la actuación de sus óxidos metálicos existentes en su masa absorbiendo la radiación solar que es emitida desde el exterior de la estructura. Esto contribuye a la disminución de ingreso de calor radiante al interior de la estructura, evitando las molestias ocasionadas por la excesiva luminosidad y resplandor, sin que ello afecte el ingreso de luz natural al interior.

Una desventaja de estos vidrios, es la posibilidad de ruptura por stress térmico que sufre su masa. La selección del espesor de este vidrio se da en función al

tamaño y presión del viento que va a ser sometido según la función que brindara en la estructura.

2.2.1.3 Doble acristalamiento

(LYMPEROPOULOU, 2012) Este tipo de vidrio posee una cámara de aire hermética, producida por el acristalamiento doble de los vidrios. El vidrio de esta cámara permite conseguir niveles de aislamiento térmico mayores a los de un vidrio estático simple.

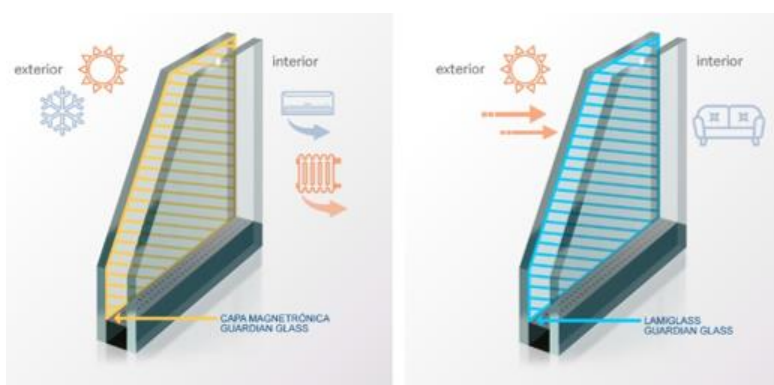
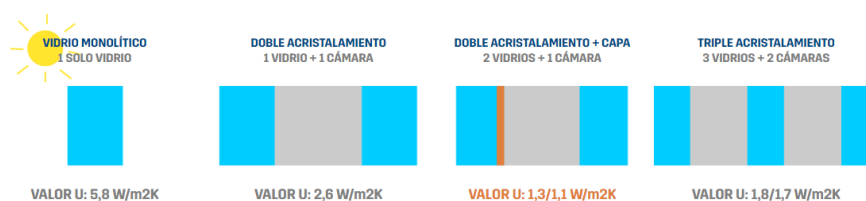


Figura 4 Estructura del vidrio de doble acristalamiento

(Tomado de: AislaGlass)

El acristalamiento doble con una cámara de 12 mm ofrece un coeficiente de transmisión energética de 2.8 de 2,8 w/m²-K, mientras el vidrio sencillo estándar alcanza 5.8 W/m²-K. Como se habló anteriormente la cámara de aire puede ser reemplazado por un gas noble, esto ayuda a mejorar el rendimiento térmico del vidrio de doble acristalamiento.



Todos los valores son nominales y están sujetos a tolerancias de producción. Valores U según la norma EN673.

Figura 5 Comparación entre vidrio sencillo y los diferentes tipos de vidrios de doble acristalamiento

(Tomado de: AislaGlass)

2.2.1.4 Vidrios Bajo Emisivos

(LYMPEROPOULOU, 2012) En los edificios que cuentan con una gran superficie de ventanas y fachadas de vidrios, se cuenta con una mayor pérdida de energía térmica de sus ambientes internos. Los vidrios de baja emisividad son requeridos en estos puntos de la estructura, con ellos se reducen notablemente el coeficiente de trasmisión energética.

Se debe tomar en cuenta la relación del coeficiente, cuando menor sea el coeficiente, mayor será el ahorro energético por las radiaciones térmicas existentes en los vidrios de doble acristalamiento. Este coeficiente se logra a través de la baja emisividad mediante un tratamiento de capas sucesivas de metales como la plata u óxidos metálicos sobre las superficies de los vidrios.

La capa metálica ayuda que la pérdida de energía a través del vidrio reduzca hasta en un 70% tomando en relación con un vidrio sencillo, con lo que se logra que el calor interno que se ha generado en el ambiente del edificio, se conserve y no sea afectado por el ambiente externo al hacer frío.

La instalación de este vidrio en los edificios se dirige con la finalidad energética de este, se debe tomar en cuenta el vidrio al cual se le dio el tratamiento de baja emisividad este va aislar el frío o el calor dependiendo el uso a darse. Si el vidrio que se ha dado el tratamiento está instalado con cara hacia el interior y orientada hacia la cámara de aire, la radiación solar permanecerá en el interior del ambiente del edificio después de transformándose en calor actuando como una calefacción natural para este ambiente, así aprovechando los recursos naturales.

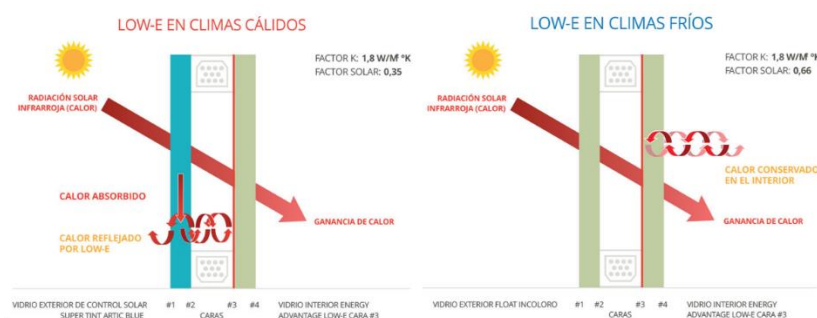


Figura 6 Doble acristalamiento con tratamiento de baja emisividad en la cara 3

(Tomado de: VASA)

Uno de los beneficios adicionales que nos ofrece el vidrio de baja emisividad es el confort interno que nos brinda, cuando el clima externo es frío, los vidrios de acristalamiento sencillo o dobles sin el tratamiento de capa metálica en sus caras, causando una temperatura superficial en la cara interna del vidrio mucho más baja que la temperatura del ambiente interno, generando el efecto de una pared fría y provocando un que los usuarios del edificio perciban el frío mucho más. Caso contrario con la funcionalidad de los vidrios de baja emisividad, la temperatura de la superficie del vidrio aumenta, reduciendo la diferencia de la temperatura existente en el ambiente interno con la del vidrio. Esta temperatura regulada por la baja emisividad da un mayor confort a los usuarios del edificio incluso al encontrarse cerca de la estructura del vidrio. De esa forma se ayudaría a mantener el calor térmico aprovechado por la radiación solar y la consecuente disminución del uso de calefactores eléctricos del edificio, dando un menor gasto de energía eléctrica.

2.2.1.5 Vidrios Control Solar

(LYMPEROPOULOU, 2012); “Al existir una gran cantidad de emisión de radiación solar en el interior de los ambientes, existe un sobrecalentamiento del espacio, los vidrios de control solar tienen la función de evitar este sobrecalentamiento del ambiente interno y reducir el uso del aire acondicionado, ayudando así a la disminución del gasto energético del edificio. Este efecto se produce al factor solar bajo, transmitido por el vidrio en el cual fue hecho el tratamiento de la capa de óxidos metálicos que proporcionan las propiedades de reflexión y absorción.”

2.2.2 Vidrios Inteligentes

(Gimenez Molina, 2011) Conocidos también como vidrios activos o vidrios cromogénicos, los mismos que actúan mediante la aplicación de un voltaje bajo logrando así controlar su transparencia, esta función del vidrio puede darse por los usuarios del edificio o por la instalación de domótica.

2.2.2.1 Vidrios Electrocrómicos

(LYMPEROPOULOU, 2012) El material electrocrómico es aquel que puede modificar sus características de absorción de la luz y el calor por medio de la aplicación de un voltaje. Al igual que todos los vidrios inteligentes los vidrios electrocromicos se elaboran emparedando ciertos materiales entre dos superficies de vidrio. Los materiales existentes en un vidrio electrocrómico básico son:

- Superficie de vidrio sencillo
- Oxido conductor
- Primera capa electrocrómica (Oxido de tungsteno)
- Conductores de iones
- Almacenamiento de iones
- Segunda capa electrocrómica (Oxido de tungsteno)
- Superficie de vidrio sencillo

Los iones existentes en la capa electrocrómica son los que permiten el cambio de tono del vidrio de opaco a transparente, estos iones son los que absorben la luz. La fuente de voltaje se conecta a las dos capas electrocromica, el voltaje impulsa a los iones desde la capa de almacenamiento de iones por la capa conductora de iones hacia la capa electrocromica. Este proceso genera que el vidrio sea opaco. Al retirar el voltaje, los iones se expulsan de las capas electrocromica y regresan a la capa de almacenamiento de iones, en este proceso el vidrio vuelve a ser transparente.

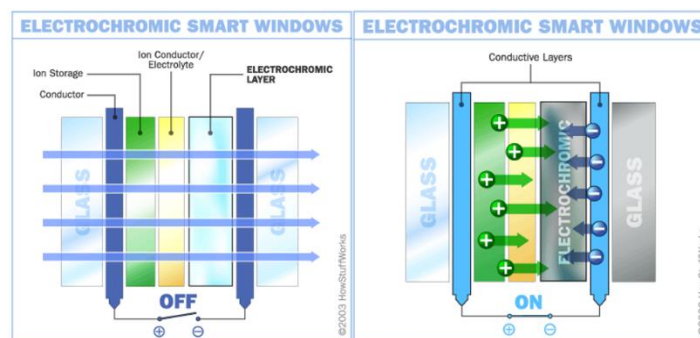


Figura 7 Funcionamiento de Vidrio sencillo electrocrómico.

(Tomado de: <https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window4.htm>)

(LYMPEROPOULOU, 2012) El control ON/OFF del vidrio puede ser activado de forma manual por los usuarios del edificio o puede ser activado por sensores relacionados con la intensidad de la luz. El vidrio electrocromico al poseer cinco capas de óxido metálico sobre el vidrio asegura una alta durabilidad y da una gran posibilidad de integrarlo en Unidades de Vidrio Aislante (UVAs) o de baja emisividad.



Figura 8 Aplicación de vidrios electrocromicos en oficinas.

(Tomado de: <https://www.pixelwindow.com.mx/cristalinteligente>)

2.2.2.2 Vidrios PDLC (Cristales Líquidos Dispersos de Polímeros)

(LYMPEROPOULOU, 2012) El vidrio tiene dos estados líquido y sólido, cuando hablamos de vidrios LDLC podemos decir que el vidrio se encuentra entre los estados sólido y líquido, dando una fase de cristal líquido. El cristal líquido se le ha dado varias aplicaciones y una de ellas en este campo lo tenemos como vidrios de cristal líquido disperso (PDLC). Estos vidrios responden a la carga eléctrica entregada, generando que sus cristales se alineen en forma paralela ayudando a pasar la luz (transparente). Cuando no hay carga eléctrica, los cristales líquidos del vidrio vuelven a desordenarse en toda la superficie generando el efecto translucido. Los vidrios con cristales líquidos tendrán solo dos estados transparentes o translucido, no existe ajuste para estados intermedios.

Los vidrios PDLC ya los podemos encontrar en diferentes partes de una estructura de edificios o viviendas, gracias a su estado translúcido sin eliminar toda la luz, se obtienen privacidad.

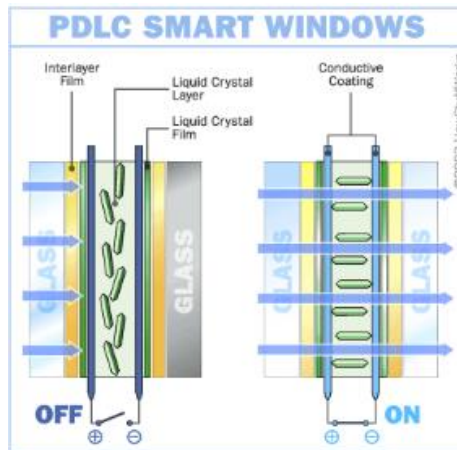


Figura 9 . Funcionamiento vidrio LDCP. Estado Off (izquierda), la luz se dispersa. Estado ON (derecha), la luz puede pasar el vidrio es transparente

(Tomado de: <https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window3.htm>)

Este tipo de vidrio no es muy competitivo desde el punto de vista de ahorro energético, por varias razones. El tipo LDCP, al encontrarse en el estado transparente, debe tener una alimentación continua de voltaje generando un consumo de 20 vatios/m², esto genera una diferencia de potencia entre el estado de transparencia y el estado de translúcido.

Ventajas

- Ofrece privacidad
- Su uso es más para particiones de ambientes interiores.

Desventajas

- En el estado translúcido (apagado), existe una excesiva entrada de radiación solar generando calor en el ambiente interno.
- Requiere una constante alimentación de voltaje para mantenerlo en el estado transparente (encendido).

- Debe usarse conjuntamente con un vidrio de control solar o bajo emisivo, ya que la capa de LDCP se encuentra afectada directamente por los rayos ultra violeta.

2.2.2.3 Gasocromicos

(LYMPEROPOULOU, 2012) Estos vidrios tienen un efecto similar en comparación con los vidrios Electrocrómicos pero el color del vidrio cambia según el hidrógeno que se introduce en la cavidad. La exposición al oxígeno devuelve la ventana a su estado original, transparente y se mantiene sin cambios en el contenido de gas.

El gas está introducido en la cámara entre el panel exterior y el intermedio de un vidrio triple. La segunda cavidad y el tercer vidrio, que suele llevar una capa bajo emisiva, asegura que el vidrio obtenga unas propiedades térmicas adecuadas. El componente activo de un vidrio Gasocromicos es una película de óxido de Tungsteno (WO_3), más delgada de $1\mu m$ de espesor, y laminada con un catalizador. Esta capa está localizada en la superficie interior del panel exterior de un triple vidrio (ver figura 14). Cuando dicha película está expuesta a una baja concentración de hidrógeno, adquiere un color azulado, reduciendo la visibilidad y los valores de transmitancia visible. Variaciones en el espesor de la película y la concentración de hidrógeno pueden afectar a la profundidad y la velocidad de coloración.

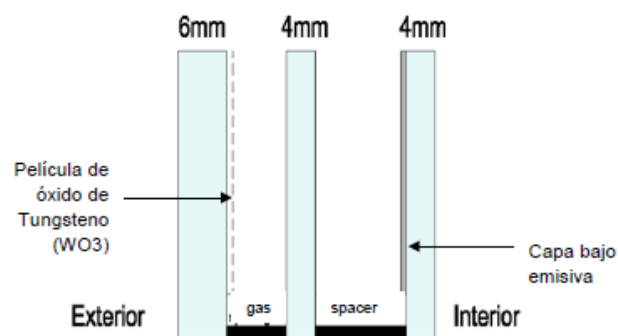


Figura 10 Estructura del vidrio Gasocromicos

El control de la unidad se puede manejar tanto manualmente como automáticamente. La integración a un sistema domótico previamente incorporado a la vivienda permitirá al vidrio encenderse o apagarse en función de las condiciones lumínicas, térmicas o de confort que desea el usuario.

Ventajas

- Puede ser controlado por el usuario mediante instalación domótica.
- Es capaz de reducir las cargas térmicas de aire acondicionado y calefactores.

Desventajas

- Alto nivel de complejidad al instalar en la estructura de edificios o viviendas

2.2.2.4 Vidrios SPD (Partículas en Suspensión)

(Giménez Molina, 2008) Este vidrio, controlado eléctricamente, utiliza dos delgadas capas de líquido, entre las cuales numerosas partículas microscópicas están suspendidas. En un estado apagado, las partículas están desordenadas y se bloquea parcialmente la transmisión solar y la vista. Cuando se aplica un campo eléctrico a través de las capas conductoras, las partículas se alinean y se aumenta así la transmitancia. Cuando la cantidad de voltaje se reduce, el vidrio se oscurece hasta que esté completamente oscuro.

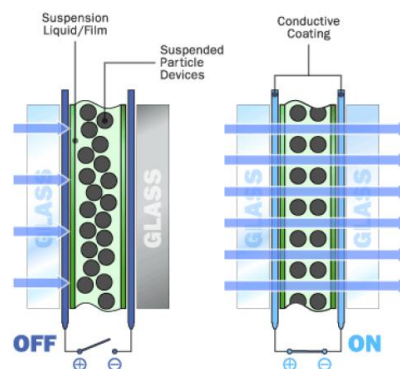


Figura 11 Funcionamiento de vidrio SPD (Suspended Particle Devices). Estado OFF (izquierda), transmisión solar y vidrio opaco. Estado ON (derecha), vidrio transparente.

(Tomado de: <https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window2.htm>)

El tiempo de encendido es más limitado en comparación con el electrocromico, y requiere unos 100 voltios, desde el estado de apagado (coloreado) al encendido (casi transparente), y puede ser modulado a cualquier estado intermedio. La potencia requerida es de 0.05 V/m², tanto para encenderlo, como para mantenerlo en una constante transmisión si no está apagado adquiriendo un color azul cobalto. Ya están investigando nuevos modelos que requieren un voltaje menor a 35 voltios, así como nuevas suspensiones que darían colores distintos (verde, rojo y violeta). Estos vidrios laminados están entrando actualmente en el mercado y pueden ser fabricados hoy día en láminas de dimensiones de 1.2x2.4 m, tanto planos como curvos. Sin embargo, la durabilidad y las propiedades ópticas solares no están verificadas actualmente y el coste de estos vidrios es muy elevado.

Ventajas

- Fácil instalación.
- Puede ser controlado por el usuario
- Tiene diferentes tipos de tono de visibilidad

Desventajas

- Una constante administración de voltaje eléctrico.

2.3 Láminas inteligentes PDCL (Láminas Líquidos Dispersos de Polímeros)

(S.A, 2017) La lámina PDCL es un producto adhesivo que se lo aplica sobre la superficie del cristal, cuando se aplica una corriente eléctrica, permite cambiar estado opaco a transparente y viceversa. El estado opaco es su estado natural de la lámina cuando esta no recibe corriente eléctrica y se vuelve transparente cuando es inducida a una corriente eléctrica. La lamina inteligente PDLC puede ser instalada en todo tipo de vidrio, aportando al ambiente del edificio un espacio con un concepto innovador y moderno.



Figura 12 . Funcionamiento Lamina inteligente PDLC (Líquidos Dispersos de Polímeros) Estado OFF (izquierda), estado ON (derecha).

2.4 Arduino

(Jecrepom, 2015) Arduino es una plataforma basada en una placa electrónica de hardware libre, en el cual incorpora un micro controlador re-programable, con un entorno de desarrollo basado en C++ (lenguaje de programación de código libre, de fácil utilización y enseñanza).

La placa está constituida por múltiples elementos electrónicos, los cuales permiten la comunicación con distintos micro controladores, sensores y actuadores, con lo cual se ayuda en los procesos de control y automatización. Arduino utiliza una interface de comandos y librerías basadas en programación C++, los cuales facilitan la programación y comunicación con los múltiples componentes electrónicos y módulos compactibles con Arduino.

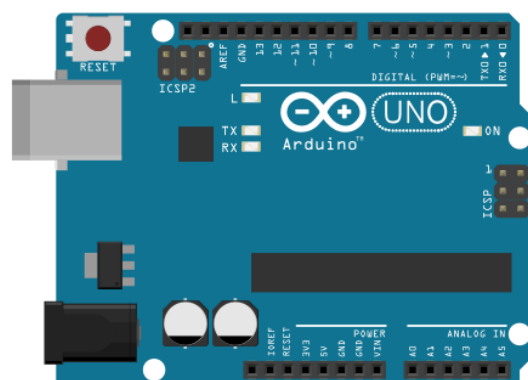


Figura 13 Placa Arduino

2.4.1 Elementos de la tarjeta Arduino

(Jecrepom, 2015) La tarjeta Arduino para tener comunicación con el usuario, contiene trece entradas y salidas digitales, seis entradas análogas, un puerto serial y un puerto USB.

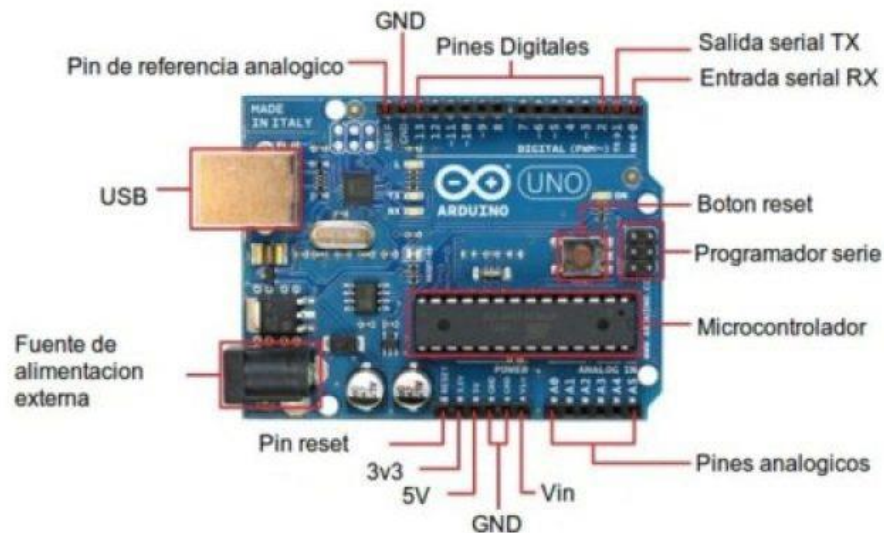


Figura 14 . Elementos de la placa Arduino

Pines digitales (del 0 al 13): estos pines se pueden utilizar tanto para entrada digital (ejemplo, oprimir un interruptor o pulsador) y salida digital (ejemplo, encender un LED o motor DC).

USB: conector USB es utilizado para alimentar la placa eléctricamente, por medio de un cable USB que está conectado a la computadora, el cual también sirve como comunicación para transmitir el código a la placa Arduino.

GND (abreviatura en ingles “tierra”): existen varios pines GND en la placa Arduino, cualquiera de ellos pueden ser utilizados para conectar a tierra el circuito.

5V y 3.3V: pines de suministro de voltaje de 5V (voltios) y 3.3V (voltios).

Pines analógicos (de A0 a A5): estos pines pueden leer la señal de un sensor analógico (sensores de temperatura) y convertir su señal en digital.

Entrada (RX: receptor) y Salida (TX: transmisión) serial: estos LED son indicadores de la señal de comunicación en serie de la placa Arduino, estos darán señales visuales siempre que Arduino esté recibiendo y transmitiendo datos (como cuando estamos cargando un código de programación desde la computadora a la placa Arduino).

Micro controlador: es un circuito integrado de la tarjeta Arduino, es decir es el cerebro. Es muy importante saber qué tipo de micro controlador se está usando en la tarjeta antes de cargar los programas desde el software de Arduino.

2.4.2 Tipos de placas de Arduino

(Arduino Cl, s.f.) Arduino ha fabricado diferentes modelos de placas oficiales, cada una de ellas están diseñadas para diferentes propósitos y características variadas (tamaño físico, numero de pines entrada/salida, modelo de micro controlador, etc.). Hay que destacar, que a pesar de los diferentes modelos de placas de Arduino todas pertenecen a la misma familia de micro controladores (AVR marca Atmel), esto quiere decir que todos comparten la mayoría de sus características de software, arquitectura, librerías y documentación.

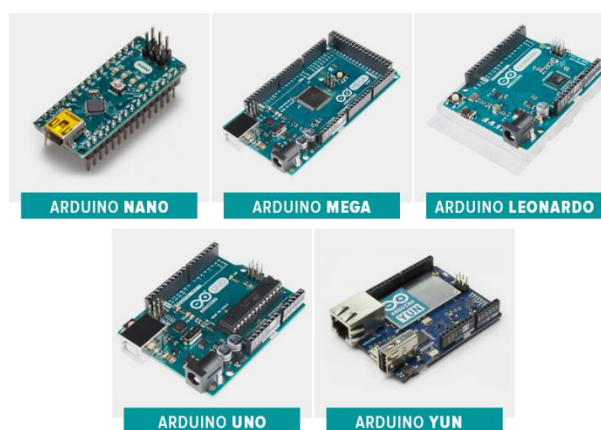
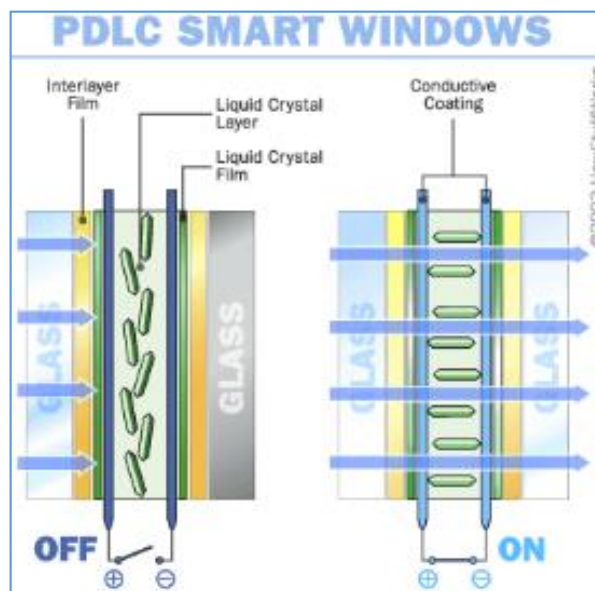


Figura 15 Clases de placas de Arduino

3 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Selección de los tipos de vidrios

Se ha elegido como base referencial una lámina inteligente PDLC (Cristales Líquidos Dispersos de Polímeros), dado que se puede encontrar en el comercio ecuatoriano, más información sobre este producto en el Anexo, también existen programas de simulación que pueden evaluar su eficiencia energética cuando se una en las fachadas de los edificios.



.Figura 16 Funcionamiento vidrio LDCP. Estado Off (izquierda), la luz se dispersa. Estado ON (derecha), la luz puede pasar el vidrio es transparente

(Tomado de: <https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window3.htm>)

(Todo Edificios, 2017) Para el funcionamiento de la lámina inteligente PDLC se instalan puertos de conexión de cobre que permiten la alimentación. Estos puertos de conexión se encuentran aproximadamente a 10 cm de ancho, en la parte superior de la lámina inteligente, es recomendable ocultar y proteger dentro de un marco.

Este tipo de lámina inteligente es controlado por medio de un interruptor simple y trabaja con un voltaje de 110v se detalla la información técnica en el anexo IV.

3.2 Selección de edificio de referencia

Para el estudio de investigación se ha seleccionado al edificio administrativo del complejo Escuela del Milenio Yanahurco, ubicado en la parroquia Yanahurco, cantón Saquisilí, Provincia de Cotopaxi. Esta estructura se encuentra ubicada a 3722 m.s.n.m ofreciendo educación regular, bilingüe, en horario matutino presencial.



Figura 17 Edificio de referencia Escuela del Milenio Yanahurco

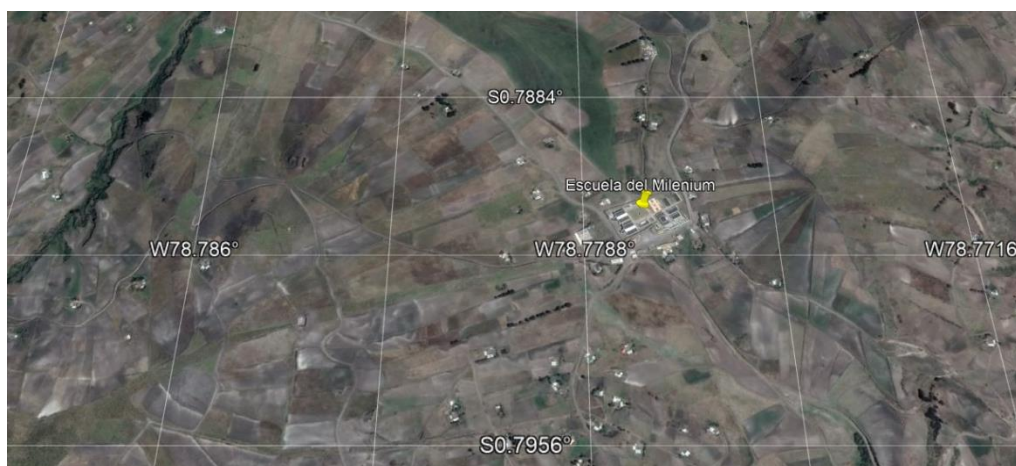


Figura 18 Ubicación Escuela del Milenio Yanahurco

3.3 Selección de programa de simulación

En el mercado existen múltiples programas de simulaciones, con sus ventajas y desventajas. Tras la investigación de nuestro proyecto pudimos encontrar

múltiples software de simulación en los que destacan DesingBulding y Ecotect. En toda la investigación realizada en la práctica del uso de ambos software, los resultados coinciden con los datos que obtenemos del análisis en sitio.

En la presente investigación se utilizó el software DesigBulding para estimar la temperatura, incidente de los ambientes interiores del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco. Según los resultados obtenidos en la simulación, se colocaron y se ensayaron las láminas inteligentes PDLC en el sitio.

3.3.1 Introducción a la simulación

El trabajo de modelización y la introducción de datos de los materiales hasta la interpretación de los resultados obtenidos a través del programa de simulación, fue de un largo trabajo de prueba y ensayo hasta poder ajustarse lo más posible a las condiciones reales del lugar de estudio.

Entre las limitaciones del software estuvo la de ingresar la ubicación exacta del lugar de estudio, ya que solo consta datos geográficos del Ecuador pero solo del cantón Quito, Guayaquil y Manta, y el lugar más cercano a las condiciones del lugar de estudio es el cantón Quito, obteniendo datos de altimetría más cercanos como aeropuerto de Tababela ubicado en el cantón Quito.

Adicionalmente, era necesario conocer a detalle de la estructura, el diseño y demás detalles del Edificio, lugar de estudio, por lo que fue necesario contactar con el constructor del proyecto, para obtener dicha información.

3.3.2 Modelización

(LYMPEROPOULOU, 2012) En el programa DesingBulding, se cargaron los planos del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco, luego fue necesario realizar una estimación sobre el grosor del vidrio en 6mm para finalmente simular que los vidrios tienen instaladas las láminas inteligentes PDLC.

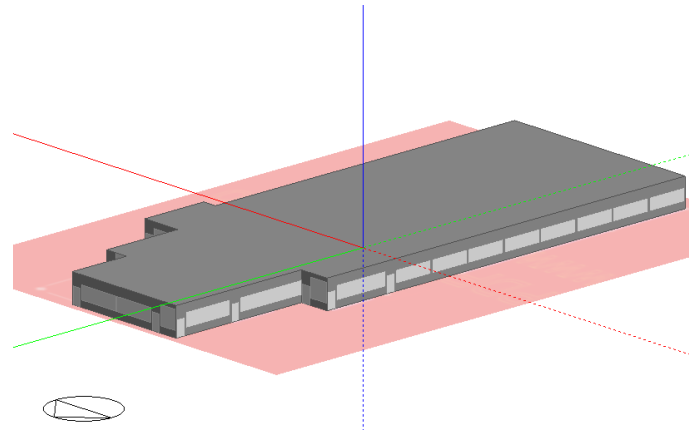


Figura 19 Modelización: vista externa del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco en DesingBulding

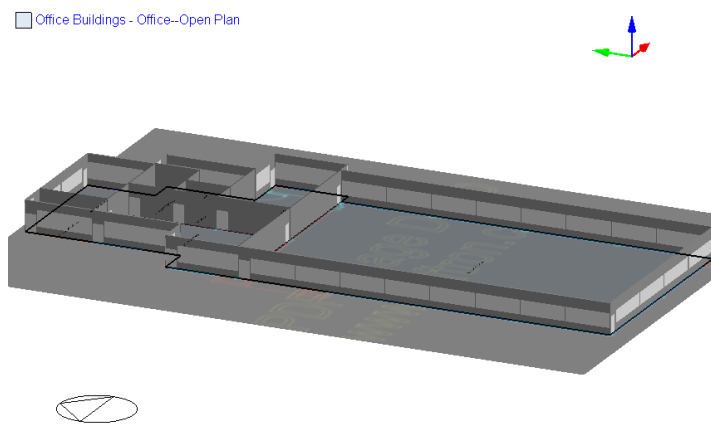


Figura 20 Modelización: vista interna del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco en DesingBulding

Para todos los cálculos de temperatura que se generan en el interior del ambiente de la estructura, se ha elegido solo la planta administrativa de la escuela, la cual se ha diseñado en el software DesingBulding.

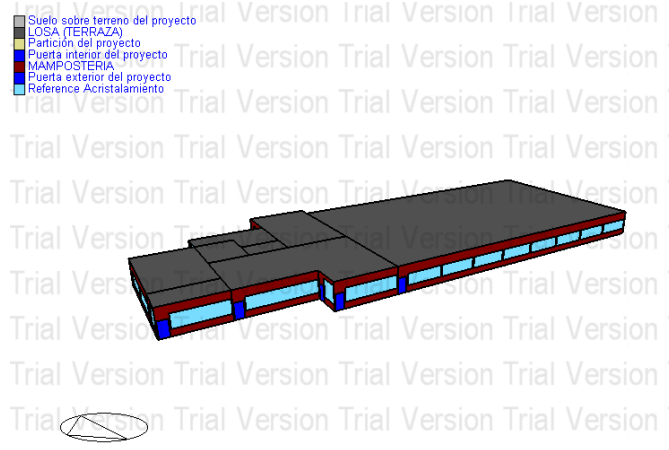


Figura 21 Modelización del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco en DesingBulding

3.3.3 Simulación de ensayos.

Ingresando los datos próximos al vidrio estático de 6mm y de la lámina inteligente PDLC instalada en el vidrio de 6mm que utilizamos en los ensayos, procedimos a la simulación de la estructura del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco.

Los datos que se obtuvieron en la simulación los comparamos con los datos tomados en cada uno de los ensayos, los cuales a través de una tabla comparativa, observamos la actividad que tiene la lámina inteligente PDLC.

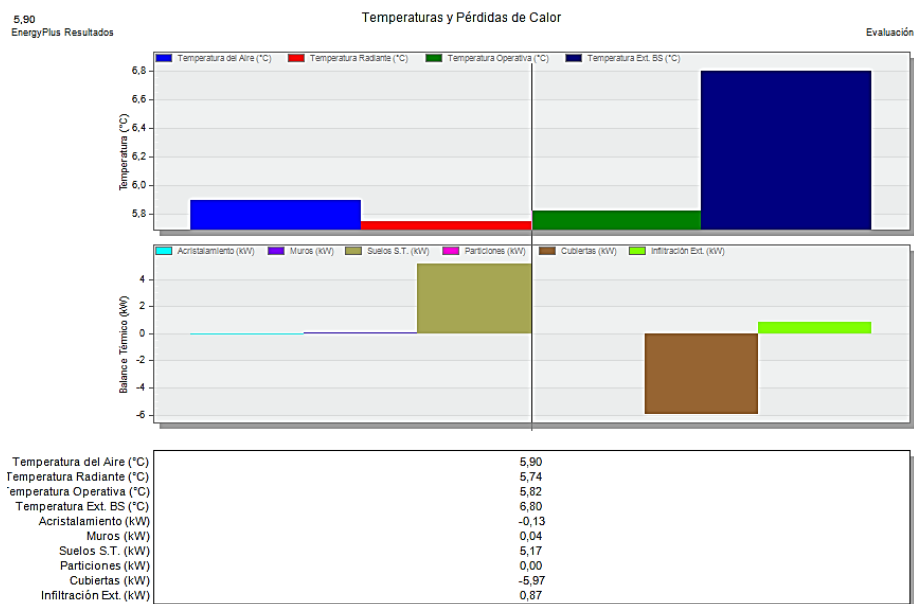


Figura 22 Temperatura y perdida de calor en la zona interna de la estructura con vidrio estático 6 mm.

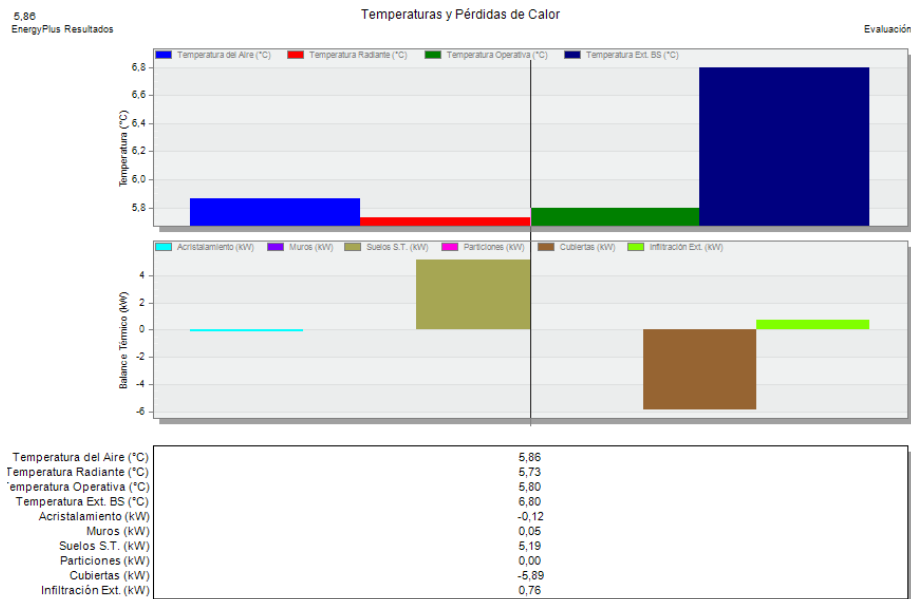


Figura 23 Temperatura y perdida de calor en la zona interna de la estructura con la lámina inteligente PDLC en el vidrio estático 6 mm.

3.3.4 Diseño de ensayo

Se propuso un método de estudio experimental mediante ensayos de vidrios estáticos de 6mm y la lámina inteligente PDLC aplicada sobre este vidrio.

El procedimiento de este ensayo se lo realizo mediante la creación de una caja de dimensiones de 100x100x30 cm, abierto por una de sus caras, en madera OSB de un espesor de 12 mm, las caja será expuesta al exterior del edificio administrativo de la escuela del Milenium de Yanahurco.



Figura 24 Caja de ensayo lamina inteligente LCDP en vidrio 6mm, encendido
(transparente)



Figura 25 Caja de ensayo lamina inteligente LCDP en vidrio 6mm, apagado
(opaco)

En las figuras 24 y 25, se puede observar la caja de ensayo como tal, en la cual se distingue los dos estados de la lámina inteligente PDLC actuando sobre el vidrio de 6m.

La elección de las dimensiones de las cajas responde a que es el tamaño más grande y a la vez fácil de transportar, permitiendo el paso libre por puertas y pasillos, facilitando así su transporte y permitiendo de este modo la colocación de la caja en locaciones diversas.

Esta caja permite la incorporación de sensores activos y una pequeña instalación domótica adosada a la caja, que ayuda a reaccionar activamente al vidrio de 6mm con lámina inteligente PDLC.

Los datos que se obtuvieron al interior y exterior de la caja son mediante termo-higrómetro ETP-110, con rango de temperatura del instrumento de medida es de -10°C – 60°C y el rango de humedad de 20% - 95%. Los datos fueron tomados cada 30 minutos en la caja de ensayo, intercalando el vidrio de 6mm y la lámina inteligente PDLC instalada en el vidrio de 6mm.



Figura 26 Termo-higrómetro ETP-110

3.3.5 Método de ensayo

Previo al comienzo de los ensayos, se estableció un plan de vidrios a ensayar así como se ha prefijado la época del año para realizar, ya que el mes de noviembre y diciembre en la ubicación del edificio es invierno y también existen fuertes vientos con lluvias.

Con los ensayos se compararon el comportamiento térmico del vidrio de 6mm, que es el vidrio común, el más fácil de fabricar que se usa hoy en día en la construcción de nuestro país y con la lámina inteligente PDLC instalada sobre el vidrio de 6mm.

Los datos de temperatura y humedad que obtenemos de este ensayo son comparados con los datos de las simulaciones en el software DesingBulding, permitiendo analizar el comportamiento energético de cada uno de los acristalamientos investigados.

3.3.6 Comparación vidrio estático de 6mm con lámina inteligente PDLC sobre el vidrio 6mm.

A continuación se detalla los datos de temperatura obtenidos por la simulación, ensayos y medidas tomadas dentro del edificio administrativo de la Escuela de Milenium Yanahurco, con la utilización de vidrios estáticos de 6mm y la lámina inteligente PDLC en el vidrio de 6mm.

Se puede observar en la tabla N° 1 que la temperatura que el software de simulación que nos da tiene una gran diferencia a los datos obtenidos con las mediciones realizadas con el termo-higrómetro en los ensayos y en el ambiente interno, esto es debido a que el software tiene en sus bases de datos la ubicación de nuestro proyecto en estudio y la ubicación más cercana e ingresada es el aeropuerto de Tababela, localizado en el cantón Quito, provincia de Pichincha. En nuestro estudio se toma las horas y temperaturas críticas que se nos presentan tanto en la simulación, ensayos y mediciones dentro del edificio administrativo para poder tener claro la automatización de nuestra lamina inteligente y así brindar el confort térmico que requieren los usuarios de las instalaciones.

En la tabla superior se indica las mediciones al emplear un vidrio estático de 6mm que la radiación solar generada en el ambiente de trabajo (interna), existe una diferencia promedio de 1.5 grados centígrados.

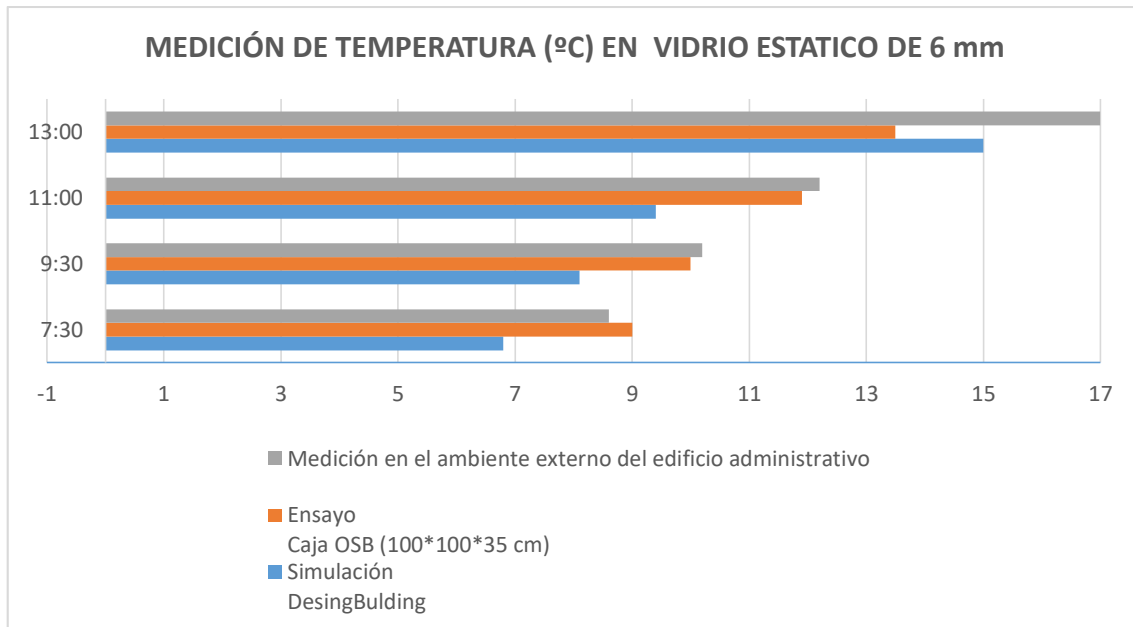


Figura 27 Comparación de mediciones térmicas del vidrio estático de 6mm, se han tomado las temperaturas críticas en el ambiente del edificio administrativo de la Escuela de Milenium de Yanahurco.

En la figura 27 se observa que la temperatura externa a las 13:00 PM es de 17°C, en relación con la temperatura interna es de 13.5°C, indicando que existe pérdidas de calor debido al material del vidrio estático como en la estructura de la caja de ensayo.

Tabla 2 Comparación de Temperatura: Lamina Inteligente PDLC en vidrio 6mm estado apagado (opaco)

MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON LAMINA INTELIGENTE EN EL VIDRIO ESTÁTICO DE 6 mm ESTADO OPACO (APAGADO)												
Hora	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
	am	am	am	am	am	am	am	am	am	am	pm	pm
Simulación DesingBulding Temperatura (°C)	8.8	9.0	10.1	10.8	11.1	12.3	13.6	13.7	14.0	14.5	15.8	17.0
Ensayo Caja OSB (100*100*35 cm) apagado Temperatura (°C)	12.1	13.9	15.1	15.7	16.3	17.8	18.0	18.4	19.1	19.7	20.5	20.8
Medición en el ambiente externo del edificio administrativo Temperatura (°C)	8.6	9.0	9.8	9.8	10.2	11.0	11.8	12.7	13.0	13.0	14.0	17.0

En la tabla N° 2, se indica los resultados de medición de la temperatura con la utilización de la lámina Inteligente PDLC en estado opaco (apagado) donde existe un incremento promedio de la temperatura de 4°C en la parte interna del ensayo.

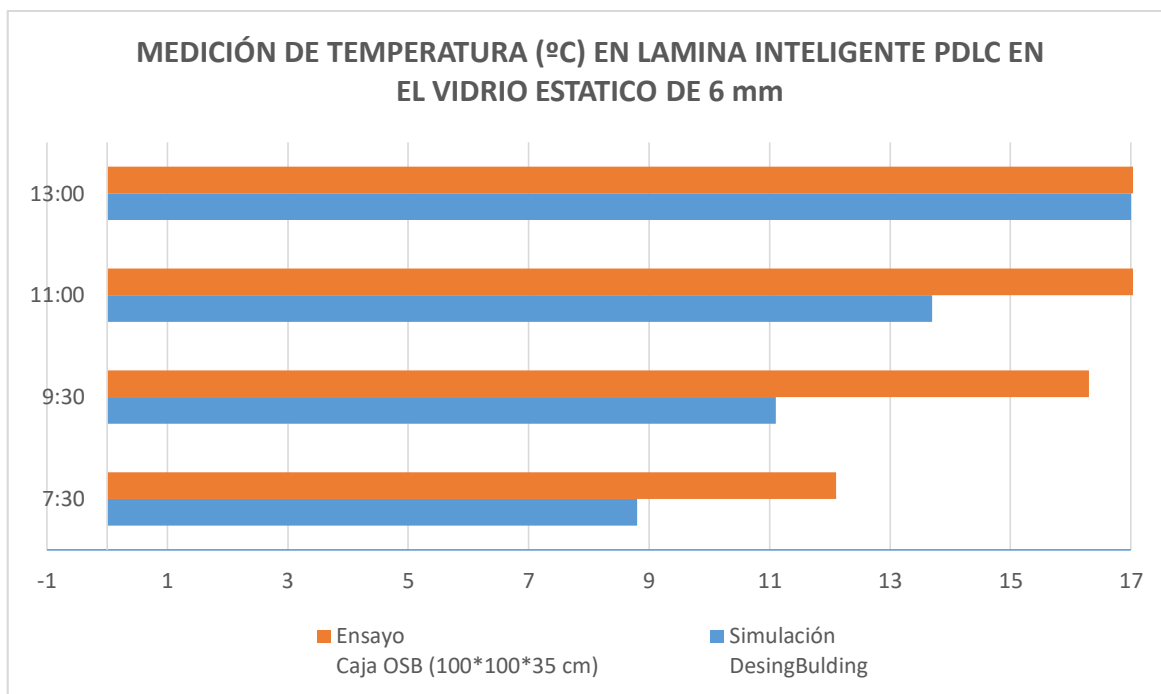


Figura 28 Comparación de mediciones térmicas de la lámina inteligente PDLC en el vidrio estático de 6mm, se han tomado las temperaturas críticas en el ambiente del edificio administrativo de la Escuela de Milenium de Yanahurco

Tabla 3 Comparación de Temperatura: Lamina Inteligente PDLC en vidrio 6mm, estado encendido (cristalino)

MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON LAMINA INTELIGENTE EN EL VIDRIO ESTÁTICO DE 6 mm ESTADO CRISTALINO (ENCENDIDO)												
Hora	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
	am	am	am	am	am	am	am	am	am	am	pm	pm
Simulación DesingBulding Temperatura (°C)	8.8	9.0	10.1	10.8	11.1	12.3	13.6	13.7	14.0	14.5	15.8	17.0
Ensayo Caja OSB (100*100*35 cm) Temperatura (°C)	11.8	13.7	15.0	15.3	15.1	16.8	17.0	17.4	17.8	18.2	19.5	19.8
Medición en el ambiente externo del edificio administrativo Temperatura (°C)	8.6	9.0	9.8	9.8	10.2	11.0	11.8	12.7	13.0	13.0	14.0	17.0

En la tabla superior nos indica las medidas de temperaturas del ensayo con la lámina PDLC en el estado cristalino (encendido) incrementa la temperatura en el ambiente con un diferencia promedio de 2.5°C.

Con las mediciones realizadas y obtenidas por medio del software DesingBulding, procedimos analizar el objetivo de este estudio la eficiencia térmica de la lámina inteligente PDLC en el vidrio de 6mm versus al vidrio estático de 6mm.

Se observa la variación térmica que existe al utilizar la lámina inteligente PDLC en el vidrio de 6 mm a relación del uso del vidrio estático.

La lamina inteligente PDLC ayuda a conservar la temperatura térmica en el ambiente interno del edificio administrativo, que es generado por la radiación solar. Estas medidas fueron tomadas con la lámina inteligente PDLC en su estado opaco (apagado).

4. ACONDICIONAMIENTO DE CIRCUITO DOMÓTICO

El circuito domótico será controlado mediante la placa Arduino UNO empleando un sensor de temperatura LM35, es cual será programado mediante las temperaturas críticas obtenidas en los ensayos con la lámina inteligente PDLC; donde se considera temperaturas críticas menores a 12.1°C la lámina se encontrará en un estado opaco y temperaturas mayores a la mencionada la lámina pasara a un estado cristalino.

La programación del sensor LM35 se realiza mediante el software libre de Arduino, con un lenguaje de programación similar a C++.

4.1 Elementos del circuito domótico.

4.1.1 Placa Arduino UNO



Figura 29 Placa Arduino UNO

(Jecrepom, 2015) Para el control de automatización de las láminas inteligentes PDLC se ha seleccionado la placa Arduino UNO. Es un modelo diseñado y comercializado por la comunidad libre Arduino, consta de un micro controlador ATmega328P, el cual permite un consumo energético menor comparado al

modelo equivalente ATmega328, la alimentación de la placa es mediante USB o con alimentación externa, contiene pines analógicos y digitales, los cuales nos sirvieron para la comunicación con el sensor de temperatura LM35.

Estos son los elementos que tenemos en la placa Arduino UNO:

- Micro controlador ATmega328P
- Voltaje Operativo – 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) 7 – 12v
- Voltaje de entrada (limites) 6 - 20v
- Pines Entrada/Salida digitales
- Pines de entrada analógica
- Corriente continua para pines entrada/salida – 40mA
- Corriente continua para pines de 3.3 v – 50mA
- Memoria flash – 32Kb de los cuales 0.5Kb son para bootloader
- SRAM – 2kB (Atmega328P)
- EEPROM – 1Kb (ATmega328P)
- Velocidad reloj – 16Mhz

4.1.2 Circuito de control de temperatura LM35 en Arduino

Para el control de automatización de la lámina inteligente PDLC, se ha realizado el circuito electrónico para leer el sensor de temperatura LM35 en Arduino, se ha optado por este sensor bastante normal que detecta temperaturas desde -55°C a 150°C, 1°C equivale a 10 mV y soporta voltajes entre 4V y 30V. Es muy importante saber que este sensor existe una regla de proporción entre voltaje de salida y los grados.

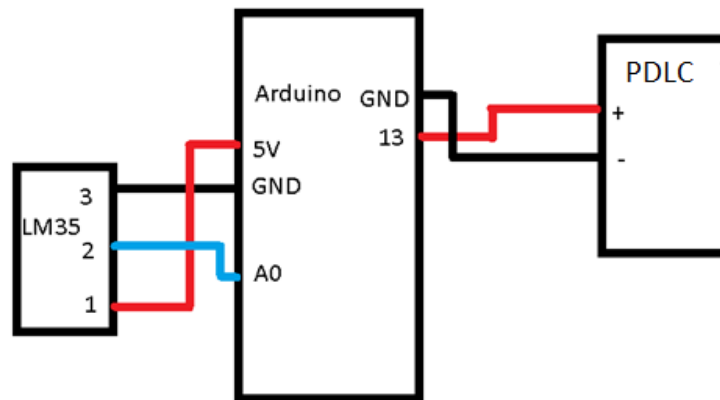


Figura 30 Diagrama de bloques del circuito de control de temperatura por medio del sensor LM35, Placa Arduino UNO y conexión a la lámina inteligente PLDC

Cuando leemos el sensor analógico en Arduino lo realizamos través de la función `analogRead`, donde nos da el valor entre 0 y 1023, 1024 valores posibles. Si tenemos 0V a la entrada nos devuelve 0 y si tenemos 5V p 3.3V nos devuelve 1023 (esto depende del voltaje con el que se está alimentando a Arduino). A partir de esta información, obtuvimos la fórmula matemática que nos ayudó a calcular la temperatura en función al voltaje que nos entrega el LM35.

$$\text{Temperatura} = \frac{\text{Valor} * 5 * 100}{1024}$$

Es muy importante saber que el funcionamiento de la lámina inteligente PLDC esta trabaja con un voltaje de 110 V, para ello necesitaremos en nuestro circuito de automatización un módulo relé de Arduino KY-019, el cual es usado para controlar circuitos en AC (corriente alterna). Este módulo actúa como un switch que responde a la señal que recibe del Arduino UNO, integra leds que son indicadores de señal high o low.



Figura 31 Modulo Relé KY-019 5V.

TTL Control Signal	5VDC to 12VDC (some boards may work with 3.3)
Maximum AC	10A 250VAC
Maximum DC	10A 30VDC
Contact Type	NC and NO
Dimensions	27mm x 34mm [1.063in x 1.338in]

El relé en su estructura posee por un extremo tres entradas: Tierra, Voltaje de entrada y Señal de activación; por el otro extremo tiene tres salidas. El pin del medio es el común de los dos pines del extremo, cada pin de los extremos sirve para seleccionar el accionamiento del relé que puede ser normalmente abierto y normalmente cerrado.

Si se conecta el pin de entrada común al pin normalmente abierto, el relé actuara cuando exista una excitación de voltaje, para así dar paso a la señal. Si se conecta el pin de entrada al pin normalmente cerrado, al ser excitado con voltaje, el relé interrumpirá la señal.

Al conocer ya el funcionamiento del módulo relé, procedimos al armado del circuito. Para la representación del esquema de automatización de la lámina inteligente PDLC, nos apoyamos en el software libre Fritzing, en el cual tenemos incluido bibliotecas con la mayoría de componentes electrónicos, eléctricos y semi conductores; del mismo modo incluye placas Arduinos, placas de conexión, leds, motores, displays, etc.

Al no existir en este software el elemento de la lámina inteligente PDLC para la simulación, fue adaptada una lámpara de 110v, ya que este tiene similar funcionamiento ON/OFF que la lámina inteligente PDLC. Esto solo lo hicimos en la simulación, en el momento que ya montamos el circuito domótico en la caja de ensayo conectamos la lámina inteligente PDLC.

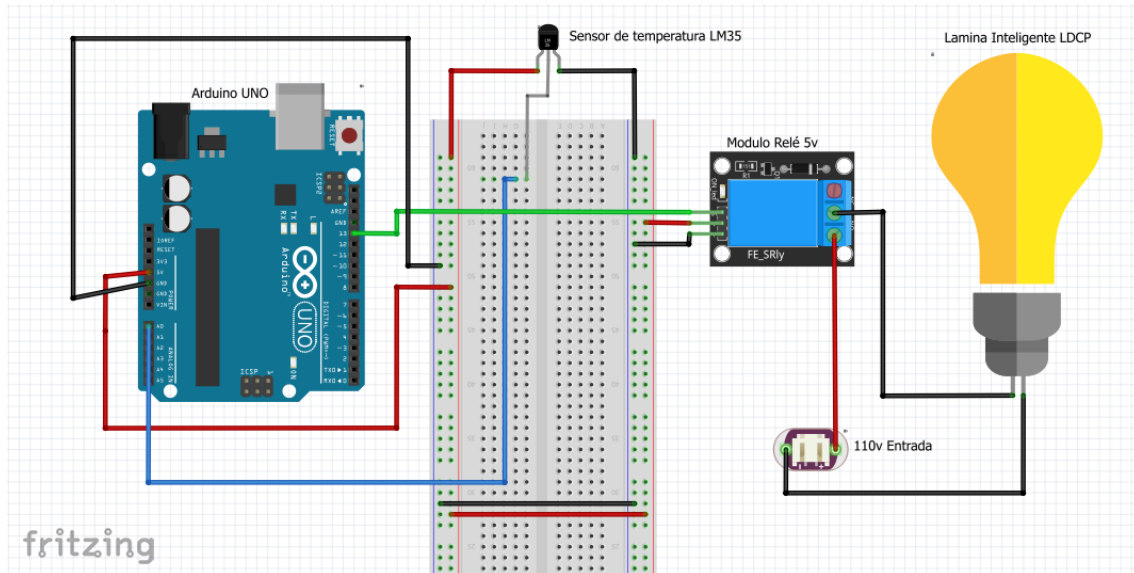


Figura 32 Simulación de circuito de automatización de láminas inteligentes LDCP por sensor de temperatura LM35.

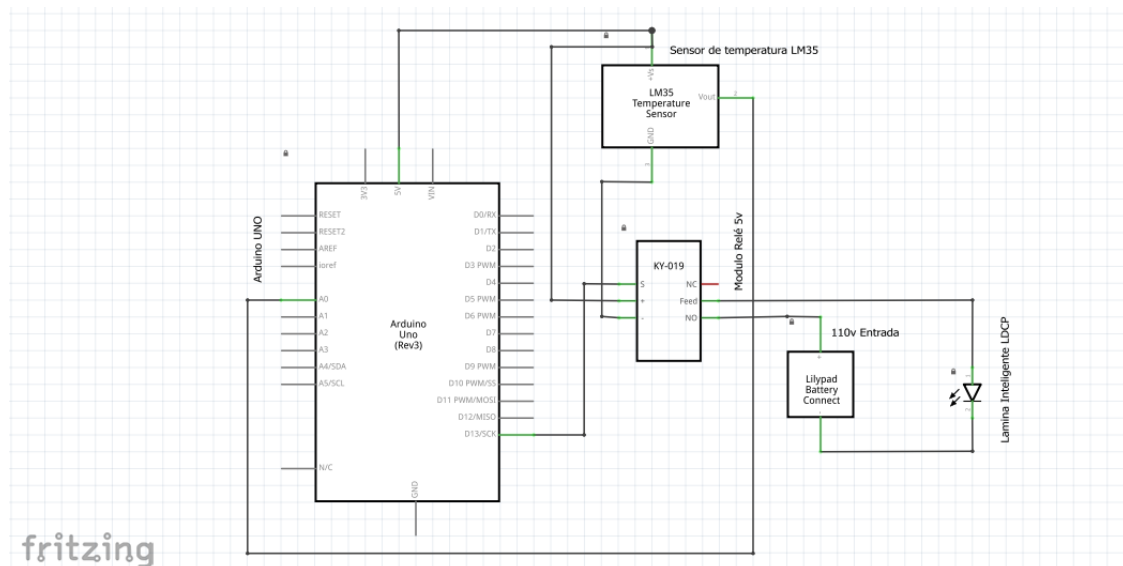


Figura 33 Esquema de circuito de automatización de láminas inteligentes LDCP por sensor de temperatura LM35.

En la figura 33, se interpreta el esquema electrónico de la automatización de la lámina inteligente PDLC aplicada en el vidrio de 6 mm con la placa Arduino UNO, donde esta recibe la señal de temperatura alta captada por el sensor LM35, al comparar esta temperatura con la temperatura crítica designada en el código fuente, este actúa mediante una señal de 5v enviada por medio del puerto digital 13, la cual está conectada a la entrada del módulo relé para hacer evitar la bobina y así cerrar el contacto de señal de salida para que la lámina inteligente PDLC se opaque impidiendo el acceso de rayos ultravioletas al interior del ambiente del edificio administrativo.

De este modo actúa inversamente; cuando el sensor de temperatura LM35 envía una señal de temperatura baja a entrada a la placa Arduino UNO y es comparada con la temperatura crítica del código fuente, la señal que envía al módulo relé por medio del puerto digital 13, designa que la bobina ya no sea excitada haciendo que el contacto sea abierto así la lámina inteligente PDLC se vuelve transparente, permitiendo el paso de los rayos UV para el calentamiento del ambiente interno de la estructura.

4.2 Programación de Arduino

La automatización de las láminas inteligentes PDLC en los vidrios de 6mm, se ha ejemplificado el código fuente de un control de temperatura con el sensor LM35 accionando un ventilador.

Se ha programado el encendido de la lámina inteligente PDLC, para que se active automáticamente cuando el sensor de temperatura detecte niveles mayores a un límite preestablecido e inversamente cuando el sensor de temperatura detecte niveles menores al límite que se establece en el código fuente este desactive automáticamente la lámina inteligente PDLC.

Inicialmente debemos darle el nombre en que consiste el código fuente, esto lo hacemos a través del símbolo //. Colocamos el título de nuestra automatización:

//Automatización de láminas inteligentes PDLC para el control de climatización de ambientes internos del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco.

(Diaz, s.f.) Se define la variable de salida con el comando **void setup ()**, para afirmar lo que contiene este comando lo hacemos dentro de corchetes **{ }**; entre los corchetes colocamos la comunicación de datos con el computador y declaramos que la variable de control es de salida colocando el comando **pinMode (13, OUTPUT)**. Esto reconoce en la placa Arduino UNO, al pin DIGITAL 13 como salida, el cual envía la señal al módulo relé para permitir accionar la bobina del relé, así actúa automáticamente el control ON/OFF de la lámina inteligente PDLC.

Luego de definir las variables, se procede a escribir la estructura del código fuente a través del comando **void loop ()**, como se mencionó anteriormente entre corchetes **{ }** establecemos las instrucciones que Arduino UNO ejecutara. La primera instrucción del código fuente es leer la señal enviada por el sensor de temperatura LM35 al pin A0, lo declaramos **float temperatura**, el cual ejecutara lectura de la señal mediante el comando **analogRead (0)**; se indica a la tarjeta el pin en el cual debe leer la entrada, esta se almacena en la variable temperatura. Posteriormente se empleara la función **Serial.print ()**; para mostrar en pantalla el valor de la temperatura medido por el sensor LM35, dentro del paréntesis **()** se escribe el valor a mostrar este debe estar incluido dentro de comillas **Serial.print ("Temperatura =")**. Este valor será guardado en la variable **voltaje** de tipo **float**, está ya fue declarada anteriormente.

El valor guardado en la variable **temperatura** se utiliza para transformarla a voltios dividiendo esta variable para la resolución de la tarjeta Arduino Uno es de **1024** y lo multiplicamos por el valor máximo de voltaje que es de 5 V. Realizada la transformación utilizamos el comando **Serial.println (temp)**; esto nos permite la visualización de los datos.

En la estructura del código utilizamos la función **if**, se utiliza la variable **temp** que registra los cambios de **HIGH** y **LOW** cuando se alcanza la temperatura establecida por la tabla de datos obtenida como límite de funcionamiento permisible, con esto creamos el control de automatización ON/OFF de la lámina inteligente PDLC.

En la comparación (**temp < 12.1**) se establece que la lámina inteligente debe estar apagada (estado opaco) para poder conservar el calor interno del ambiente y con la comparación (**temp > 12.1**) se establece que la lámina inteligente debe encenderse (estado transparente) para permitir la salida del calor que existe en el interior del ambiente.

Para que la lámina inteligente se encienda con la comparación (**temp < 12.1**) se utiliza el comando **digitalWrite (control, HIGH)**; para que la lámina inteligente se apague con la comparación (**temp > 12.1**) se utiliza el comando **digitalWrite (control, LOW)**.

Finalmente el sensor de temperatura debe realizar una medida constante de la temperatura interna del ambiente del edificio administrativo de la Escuela del Milenium Yanahurco, para ello se incluye un **delay (180000)** dentro de la estructura del código de repetición, para que se efectúe medidas de temperatura cada 30 minutos.

Finalizado el desarrollo de la estructura del código se debe compilar para verificar si existen errores en el lenguaje de programación, luego si no existen errores se debe cargar el código fuente a la tarjeta Arduino UNO para que lo ejecute.



```
On.Off_PDLC

//Automatización de laminas inteligentes LDCP para el control de climatización
//de ambientes internos del edificio administrativo
//de la Escuela del Milenium Yanahurco.

void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {

  float temperatura = analogRead(0);
  float voltaje = ( temperatura / 1024 ) * 5000;
  float temp = voltaje / 10;
  Serial.print ("Temperatura = ");
  Serial.println (temp);

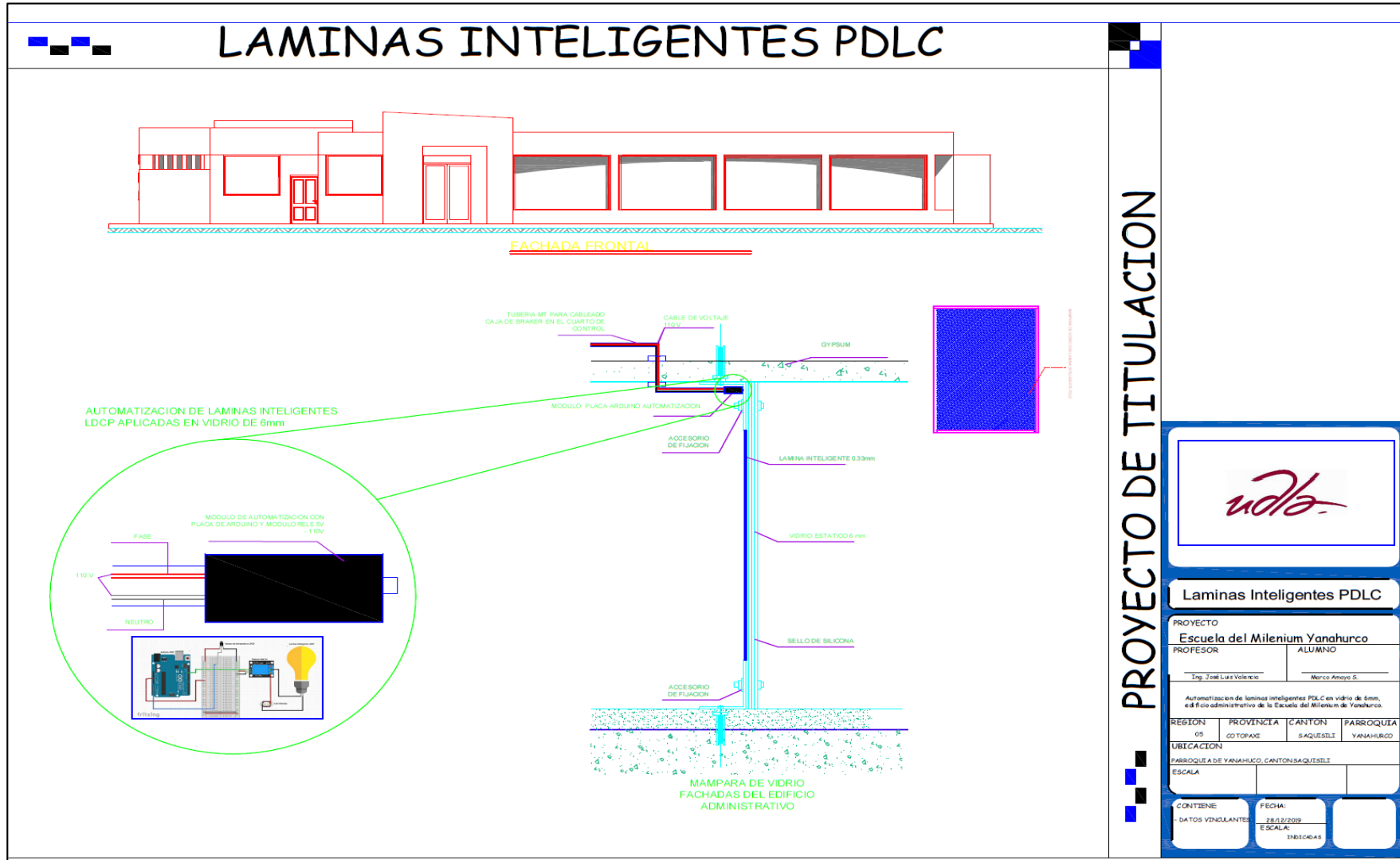
  if (temp < 12.1 ) {
    digitalWrite(13, HIGH);
  } else if (temp > 12.1) {
    digitalWrite(13, LOW);
  }
  delay (180000);
}

Guardado.
Los nombres de Sketch deben empezar con una letra o número, seguido por letras,
números, guiones, puntos y subrayados. La longitud máxima es de 63 caracteres.
```

13 Arduino/Genuino Uno en COM4

Figura 34 Código fuente del sensor LM35

4.3 Plano de instalación de automatización en la lámina



Laminas Inteligentes PDLC

PROYECTO
Escuela del Milenium Yanahurco

PROFESOR Ing. José Luis Valencia	ALUMNO Marco Amayo S.
--	---------------------------------

Automatización de laminas inteligentes PDLC en vidrio de 6mm, edificio administrativo de la Escuela del Milenium de Yanahurco.

REGION 05	PROVINCIA CO TOXA	CANTON SAQUESTLE	PARROQUIA YANAHURCO
---------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------

UBICACION
PARROQUIA DE YANAHURCO, CANTON SAQUESTLE

CONTIENE DATOS VINCULANTES	FECHA 28.02/2019
ESCALA	INDICADAS

4.4 inteligente PDLC

El circuito domótico de automatización de la lámina inteligente PDLC aplicada en el vidrio estático de 6mm, es adaptado en la parte superior del vidrio, la cual está cubierta por el tumbado de Gypsum, el que ayuda a ocultarlo y no cambiar la estética interna del ambiente del edificio administrativo de la Escuela del Milenium de Yanahurco como se muestra en el plano de instalación.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Ecuador, desde el 15 de enero del 2015 se encuentra vigente la ley de “los requisitos mínimos que deben cumplir los vidrios en la construcción; además de constituirse en uno de los requisitos mínimos necesarios para obtener la licencia de construcción y el permiso habilitante” (NEC, 2015)

5.1 Comparación de temperatura



Figura 35 Medición de temperatura exterior

El software de simulación nos indica temperaturas muy bajas debidas que la ubicación de la escuela de Milenium de Yanahurco no encuentra en la base de datos, se toma como referencia la ubicación de aeropuerto de Tababela; siendo la ubicación más próxima a los datos donde se realiza el ensayo.

Considerar que los software para los respectivos cálculos se realiza mediante valores ideales; por ende existe variaciones térmicas significativas al momento de realizar los ensayos.

En la tabla N° 4, indica la temperatura exterior del ambiente que se generaliza para cada uno de los casos; se aprecia la comparación entre las mediciones de temperaturas realizadas en el edificio en los ambientes exterior, interior, usando el vidrio estático 6mm y la lámina inteligente PDLC en el vidrio 6mm; con los datos de temperatura estimados en el software de simulación...

Tabla 4 Comparación de Temperatura: Vidrio Estático 6mm, Lamina Inteligente PDLC en vidrio 6mm apagado, estado encendido

TABLA: EFICIENCIA TERMICA												
Hora	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
	am	am	am	am	am	am	am	am	am	am	pm	pm
Medición en el ambiente externo del edificio administrativo. Temperatura (°C)	8.6	9.0	9.8	9.8	10.2	11.0	11.8	12.7	13.0	13.0	14.0	17.0
VIDRIO ESTATICO DE 6 mm												
Simulación DesingBulding Temperatura (°C)	6.8	7.0	7.1	7.8	8.1	8.3	9.1	9.4	10.0	10.8	11.3	15.0
Ensayo Caja OSB (100*100*35 cm) Temperatura (°C)	9.0	9.3	9.9	10.0	10.0	10.8	11.3	11.9	12.0	12.4	12.9	13.5
LAMINA INTELIGENTE EN EL VIDRIO ESTATICO DE 6 mm ESTADO OPACO												
Simulación DesingBulding Temperatura (°C)	8.8	9.0	10.1	10.8	11.1	12.3	13.6	13.7	14.0	14.5	15.8	17.0
Ensayo Caja OSB (100*100*35 cm) Temperatura (°C)	12.1	13.9	15.1	15.7	16.3	17.8	18.0	18.4	19.1	19.7	20.5	20.8
LAMINA INTELIGENTE EN EL VIDRIO ESTATICO DE 6 mm ESTADO CRISTALINO												
Simulación DesingBulding Temperatura (°C)	8.8	9.0	10.1	10.8	11.1	12.3	13.6	13.7	14.0	14.5	15.8	17.0
Ensayo Caja OSB (100*100*35 cm) Temperatura (°C)	11.8	13.7	15.0	15.3	15.1	16.8	17.0	17.4	17.8	18.2	19.5	19.8

En el cual se presentó que, los datos arrojados en la simulación como en los ensayos, dan a notar el accionar térmico que brinda las láminas inteligentes PDLC en los ambientes internos del edificio administrativo en horas críticas de las labores del personal administrativo.

Se analiza los resultados obtenidos con un vidrio estático de 6mm, que la variación de temperatura en la parte interna de ensayo en las horas iniciales existe un leve aumento de temperatura en la parte interna; se verifico a las 13:00 en la parte externa aumenta la temperatura y en la parte interna del ensayo existe perdidas de calor, debido al material del vidrio estático y por no poseer aislantes térmicos permitiendo así mantener la variación de calor.

Con la utilización de la lámina inteligente PDLC en un estado opaco (apagado) la temperatura interna del ensayo siempre se mantiene en un incremento proporcional sin caídas de las mismas; indicando de esta manera que se obtiene el beneficios al emplear la lámina por su estado opaco nos indica que posee un material similar al del aislante térmico; con el fin de conservar la temperatura en el ambiente.

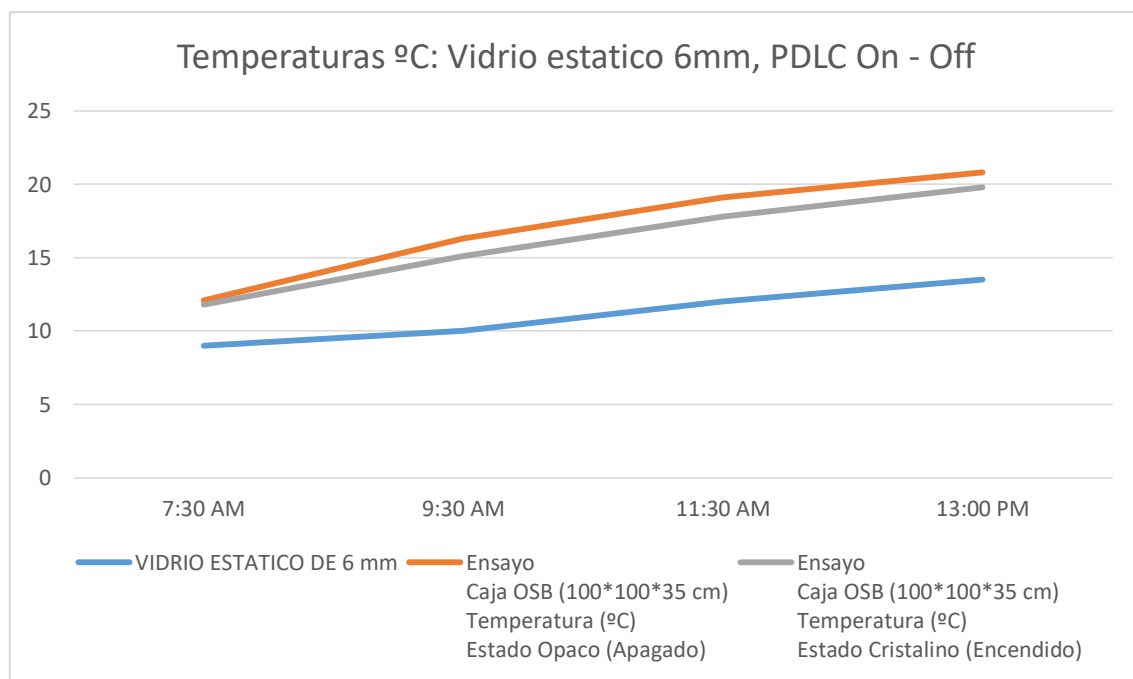


Figura 36 Comparación de temperaturas Vidrio estático 6mm, Lamina PDLC encendido y apagado

La lámina PDLC en estado encendido existe una leve disminución de temperatura debido a que el cristal se encuentra transparente y generando así un fenómeno de reflexión de los rayos solares, sin la pérdida de temperatura del mismo debido a la protección de la lámina.

Así se observa la temperatura interna del ensayo aplicando la lámina inteligente PDLC en el vidrio de 6mm en estado encendido, verificamos que existe una conservación de temperatura a un 98%.



Figura 37 Medición de Temperatura interna, caja de ensayo lamina inteligente PDLC en vidrio 6mm estado Encendido

La utilización de la lámina inteligente PDLC, es óptima teniendo como resultados un control de temperatura ambiente un circuito domótico donde se considera las temperaturas críticas menores a 12.1 donde la lámina se encuentra en estado opaco; generando un calor térmico interno confortable. Superior a dicha temperatura la lámina se activara para permitir una leve disminución de calor térmico generado en el ambiente interno.

5.2 Costo de materiales

En la investigación se realizó una caja de ensayo para la simulación del uso de la lámina inteligente PDLC en el vidrio de 6mm en las instalaciones del edificio administrativo de la Escuela del Milenium de Yanahurco.

Los elementos que constituyen la caja de ensayo fueron empleados por motivos de costo, debido a que la implementación en el edificio administrativo el costo sería superior, esta observación se puede constatar en la tabla 5.

Tabla 5 Costo de materiales caja de ensayo

Caja de ensayo	
Materiales	Costo Dólares (\$)
Madera OSB	\$ 21
Vidrio estático 6mm; 1m*1m	\$ 20
Lamina inteligente PDLC 1m * 1m	\$ 588
Tornillos	\$ 2
Total	\$ 631

El costo total de la caja de ensayo es de \$ 631 dólares, donde incluye todos los elementos que se emplearon para su construcción, es muy importante señalar que si esta investigación se implementaba en las instalaciones del edificio el costo sería muy elevado de la lámina inteligente PDLC, ya que el rollo de lámina se encuentra alrededor de \$ 4000 dólares, lo cual genera un costo elevado pero obtenemos un beneficio significativo a largo tiempo, brindando confort a los usuarios del edificio administrativo.

CONCLUSIONES

- Los vidrios inteligentes y láminas inteligentes son productos que se hallan en una fase temprana de comercialización en el mercado ecuatoriano y su investigación de la misma forma, este estudio resulta muy interesante en la medida que puedan en un futuro contribuir a la eficiencia energética de los acristalamientos en las construcciones de nuestro país.
- Se utilizó el programa de simulación DesigBulding para realizar la simulación de variaciones de temperatura en un ambiente interno de la escuela del Milenium de Yanahurco como resultado se obtiene temperaturas ideales de simulación para la comparación entre un vidrio estático de 6mm con respecto a la utilización de una lámina inteligente PDLC.
- El diseño de la estructura del edificio administrativo de la Escuela del Milenium de Yanahurco se lo realizó directamente en el software DesingBulding, ya que ahí obtuvimos una simulación energética directa del edificio.
- Se realizó el ensayo de temperaturas en el ambiente interno con la utilización de un vidrio estático de 6mm, donde se indica una pérdida de temperatura interna del ambiente del edificio administrativo.
- Se implementó el uso de la lámina inteligente sobre el vidrio de 6mm, dando como resultado una conservación de temperatura en la parte interna del ensayo, cuando la lámina se encuentra en estado opaco (apagado).
- Se realizó el ensayo con la lámina PDLC en estado encendido donde existió una leve depreciación de la temperatura interna del ensayo, debido a que no se encuentra activado el material aislante evitando el efecto de reflexión.
- Se utilizó un circuito domótico mediante el control de temperatura por medio del sensor LM35, considerando como temperatura crítica 12.1°C.

- Se programó la placa Arduino uno; para el accionamiento de la lámina inteligente PDLC, donde temperaturas inferiores a 12.1°C la lámina tendrá un comportamiento de apagado (opaco) y temperaturas mayores a 12.1°C la lámina será activada (cristalina).
- Se observa que existe una conservación de temperatura interna en el ensayo al emplear la lámina inteligente sobre el vidrio estático de 6mm; generando un ambiente confortable para los usuarios del edificio administrativo.

RECOMENDACIONES

- Utilizar software con mayor información geográfica en su base de datos.
- Realizar una manipulación adecuada de la lámina inteligente PDLC debido a los polímeros que se emplea en la misma.
- Para la programación de Arduino se debe tener conocimiento de C++.
- Tomar los valores de referencia que nos indica la ficha técnica de cada elemento electrónico que se utiliza en el sistema domótico.
- Es recomendable al realizar los ensayos verificar los instrumentos de medida se encuentren calibrados.

REFERENCIAS

- Arduino Cl. (s.f.). *MCI Electronics*. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Carlos, L. (2007). *La Domotica como solución del Futuro*. Madrid.
- Díaz, M. (s.f.). *Mecabot*. Obtenido de <http://mecabot-ula.org/tutoriales/arduino/practica-12-ventilador-encendido-automaticamente-por-medio-de-una-senal-enviada-desde-un-sensor-de-temperatura/>
- Giménez Molina, C. L. (2008). . *Nuevo método de estudio para el análisis de la eficiencia energética de cerramientos de vidrios especiales en viviendas*.
- Gimenez Molina, M. d. (2011). *Repositorio de la Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de http://oa.upm.es/5846/1/TESIS_CARMEN_GIMENEZ.pdf
- Huapaya Conde , J. (s.f.). *Academia*. Obtenido de https://www.academia.edu/11620122/Manual_del_Vidrio_Plano_CAVIPLAN_C%C3%A1mara_del_Vidrio_Plano_y_sus_Manufacturas_de_la_Rep%C3%BAblica_Argentina?auto=download
- Jecrepom. (22 de 03 de 2015). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/22/que-es-el-hardware-libre/>
- LYMPEROPOULOU, L. (2012). *ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16700/LymperopoulouLydia_a_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- NEC. (15 de Diciembre de 2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Obtenido de Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Renedo , E. C., Fernández Fernández, ,, & Carcedo Haya, J. (2014). Recuperado el 2019, de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5726/Nuevos%20vidrios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubin, E. S. (2011). Innovación y cambio climático. *Innovación. Perspectivas para el siglo XXI*.
- S.A, I. (2017). *Life2Better*. Obtenido de <https://life2better.com/life2better-life-film/>
- Todo Edificios. (2017). *Todo Edificios*. Obtenido de <http://todoedificios.cl/pdlc-film.html>
- Vasa. (s.f.). *Vasa*. Obtenido de <https://www.vasa.com.ar/product/161/>

ANEXOS

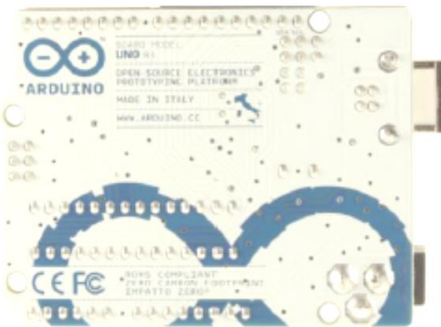
Anexo I

Datasheet Arduino UNO

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



Arduino Uno R3 Back



Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328. Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication


The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Anexo II

Datasheet LM35

 National Semiconductor

November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

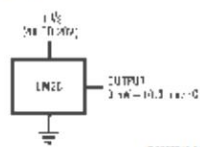
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in $^{\circ}$ Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ over a full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

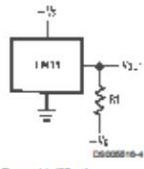
- Calibrated directly in $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/ $^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5 $^{\circ}\text{C}$ accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



D8005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



D8005516-4

Choose $R_1 = -V_{CC}/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{out}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

© 2000 National Semiconductor Corporation D8005516

www.national.com

Connection Diagrams

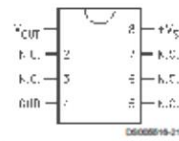
TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or
LM35DH
See NS Package Number H03H

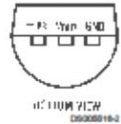
SO-8
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

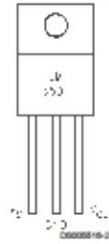
Order Number LM35DM
See NS Package Number M06A

TO-92
Plastic Package



Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_O \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_O = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_O = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_O = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_O = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_O \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_O \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Anexo III

Datasheet Modulo Relé

2 CHANNEL 5V 10A RELAY MODULE



Description

The relay module is an electrically operated switch that allows you to turn on or off a circuit using voltage and/or current much higher than a microcontroller could handle. There is no connection between the low voltage circuit operated by the microcontroller and the high power circuit. The relay protects each circuit from each other.

The each channel in the module has three connections named NC, COM, and NO. Depending on the input signal trigger mode, the jumper cap can be placed at high

level effective mode which 'closes' the normally open (NO) switch at high level input and at low level effective mode which operates the same but at low level input.

Specifications

- On-board EL817 photoelectric coupler with photoelectric isolating anti-interference ability strong
- On-board 5V, 10A / 250VAC, 10A / 30VDC relays
- Relay long life can absorb 100000 times in a row
- Module can be directly and MCU I/O link, with the output signal indicator
- Module with diode current protection, short response time
- PCB Size: 45.8mm x 32.4mm

Pin Configuration



1. **VCC**: 5V DC
2. **COM**: 5V DC
3. **IN1**: high/low output
4. **IN2**: high/low output
5. **GND**: ground

Sample Sketch

```
void setup(){
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

void loop(){
  digitalWrite(5, LOW);
  digitalWrite(6, HIGH);
  delay(4000);
  digitalWrite(5, HIGH);
  digitalWrite(6, LOW);
  delay(4000);
}
```

How to Test

The components to be used are:

- Microcontroller (any compatible arduino)
 - 2 channel 5V 10A relay module
 - Pin connectors
 - Breadboard
 - USB cable
1. Connect the components based on the figure shown in the wiring diagram using pin connectors. VCC and COM pin is connected to the 5V power supply, GND pin is connected to the GND, IN1 and IN2 pins are connected to the digital I/O pin. Pin number will be based on the actual program code.
 2. After hardware connection, insert the sample sketch into the Arduino IDE.
 3. Using a USB cable, connect the ports from the microcontroller to the computer.
 4. Upload the program.

Anexo IV

Datasheet Lamina Inteligente PDLC

SFI Smart Film Products

Item	NCAP PDLC Film Lamination	PDLC film Lamination	PDLC film Adhesive
GENERAL			
Technology	NCAP PDLC	PDLC	PDLC
Width	1,420mm	1,800mm	1,500mm
Roll Length	Length – 20m	Length – unlimited	Length – unlimited
Thickness	0.40mm	0.40mm	0.45mm
Expose to sun	Not recommended	Not recommended	Not recommended
Colors	white	white, light grey, dark grey	white, light grey, dark grey
Method	EVA, TPU	EVA, TPU	Dry Stick
Format	Roll 1.0m; 1.4m	Roll 1.2m; 1.5m; 1.8m; Cut to Size	Roll 1.2m; 1.5m; Cut to Size
LOGISTIC			
Lead time	2 weeks	2 weeks	2 weeks
Box size	40 X 38 X 117cm	38 X 38 X ___cm	38 X 38 X ___cm
Time in Market	25+ years	10 years	10 years
Comment	No 4h daily shut off	No 4h daily shut off	No 4h daily shut off
Warranty	1 year	1 year	1 year

SFI PDLC Detailed Specification

Item	Power	Extra Clear Film Lamination	PDLC film Lamination	PDLC film Adhesive
OPTICAL				
VLT	ON	>90%	>80%	>80%
	OFF	<5%	<5%	<5%
HAZE	ON	4%	6%	7%
	OFF	>95%	>95%	>95%
VIEWING ANGLE	ON	180 degrees	150 degrees	150 degrees
UV BLOCKING	ON	>98%	>98%	>98%
	OFF	>98%	>98%	>98%
IR BLOCKING	ON	30%	30%	30%
	OFF	85%	80%	80%
ELECTRICAL				
VOLTAGE	ON	100 VAC	48 VAC	48 VAC
RESPONSE TIME	ON à	15ms	10ms	10ms
	OFF à	34ms	200ms	200ms
POWER CONSUMPTION AMPERE (25% higher in glass)	ON	<10W/M ²	<10W/M ²	<10W/M ²
	ON	110 mA/sqcm	200 mA/sqcm	150 mA/sqcm

Item	Power	Extra Clear Film Lamination	PDLC film Lamination	PDLC film Adhesive
ENVIRONMENTAL				
OPERATING TEMPERATURE	ON/OFF	-20°C~ 60°C	-20°C~ 60°C	-20°C~ 60°C
STORAGE TEMPERATURE	ON/OFF	-40°C~ 70°C	-20°C~ 60°C	-20°C~ 60°C
LIFE (INDOORS)	ON/OFF	>20 years	5-10 years	5-10 years
LIGHT GREY FILM				
VLT	ON	none	40%	50%
	OFF	none	<5%	<5%
DARK GREY FILM				
VLT	ON	none	30%	40%
	OFF	none	<5%	<5%

Anexo V

Instalación de lámina inteligente PDLC en vidrio de 6mm, para usar en la caja de ensayo.



Laminas inteligentes PDLC 1m x 1m



Limpieza del vidrio de 6mm cara del vidrio que estará en la parte interna de la caja del ensayo



Pegado de lámina inteligente PDLC sobre la cara de vidrio 6mm



Retirar las burbujas con una espátula plástica que queda entre la lámina PDLC y el vidrio 6mm. Si persisten las burbujas retirar la lámina con mucho cuidado y volver a pegar.



Retirar el adhesivo protector de la lámina PDLC y limpiarlo con un paño suave sin pelusa



Función ON/OFF de la lámina inteligente PDLC, modo apagado lamina PDLC opaca y modo encendido lamina PDLC transparente.

Guía de automatización de lámina inteligente PDLC, por medio de un ARDUINO, a fin de que proporcione un control de climatización de ambientes internos del edificio administrativo de la Escuela de Milenium en la parroquia Yanahurco, cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi.

1 Introducción

La presente guía tiene la finalidad de instruir a los usuarios correctamente la automatización de la lámina inteligente PDLC por medio de la placa ARDUINO UNO, de esa forma, controlar la climatización interna del edificio administrativo de la Escuela de Milenium de Yanahurco, generando con ello escenas en las cuales puedan ayudar en el confort de los usuarios de las instalaciones, regulando calefacción, refrigeración del ambiente interno del edificio.

2 Conocimientos Básicos

2.1 Electrónica y Lenguaje de Programación

El usuario debe tener un conocimiento básico sobre electrónica y electricidad, ya que entrara en manipulación con dispositivos electrónicos y también saber interpretar diagramas electrónicos para la conexión.

A su vez, también es esencial que sus conocimientos sean claros sobre lenguaje de programación C++, este ayudara a la programación del código fuente que será cargado a la placa Arduino UNO.

2.2 Equipos Electrónicos

A continuación se detalla los elementos electrónicos que se van a usar para la automatización de la lámina inteligente PDLC.

2.2.1 Placa Arduino UNO:



Micro controlador ATmega328P / Voltaje Operativo – 5V / Voltaje de entrada (recomendado) 7 – 12v / Voltaje de entrada (limites) 6 - 20v / Pines Entrada/Salida digitales / Pines de entrada analógica / Corriente continua para pines entrada/salida – 40mA / Corriente continua para pines de 3.3 v – 50mA / Memoria flash – 32Kb de los cuales 0.5Kb son para bootloader / SRAM – 2kB (Atmega328P) / EEPROM – 1Kb (ATmega328P) / Velocidad reloj – 16Mhz

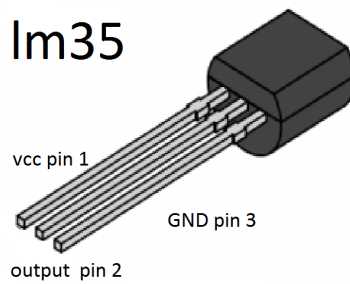
2.2.2 Módulo Relé 5V



Control Signal 5VDC to 12 VDC / Maximum AC 10A 250 VAC / Maximum DC 10A 30 VDC / Contact Type NC and NO

2.2.3 Sensor de temperatura LM35

Im35



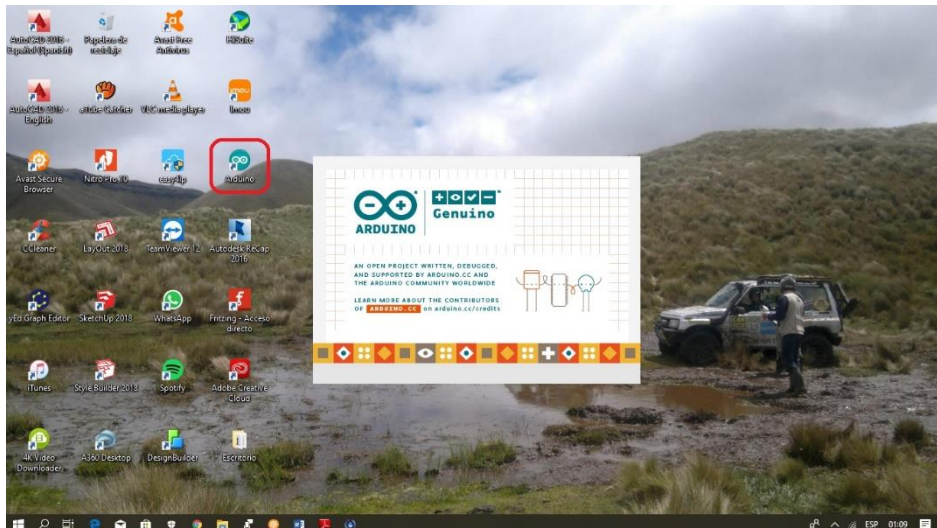
2.2.4 Lamina inteligente PDLC



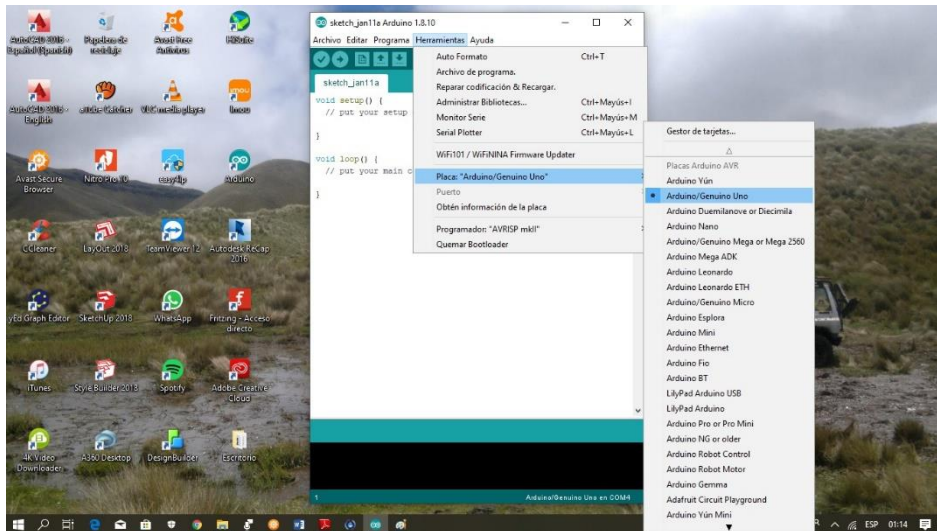
Voltaje: 100 VAC / Tiempo de respuesta ON: 15 ms OFF: 34 ms

3 Programación placa Arduino UNO

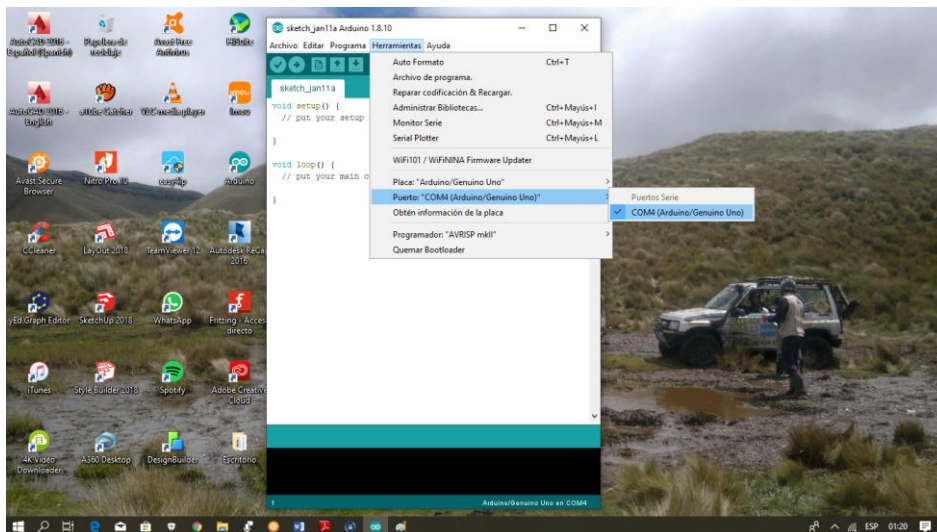
- Ingresamos al software ARDUINO, por medio del icono de acceso rápido.



- Nos dirigimos a la barra de menú, opción herramientas, seleccionamos Placa y buscamos la placa Arduino a utilizar “Arduino/Genuino Uno”



- Nos redirigimos a la barra de menú, opción herramientas, seleccionamos Puerto y buscamos el puerto de comunicación con la placa Arduino UNO de automatización de lámina inteligente PDLC “COM4 (Arduino/Genuino Uno)



- En la siguiente imagen se muestra como el lenguaje de programación en el código IDE de Arduino, realizara la automatización de la lámina PDLC con los rangos de temperatura crítica.

```
On.Off_PDLC

//Automatización de laminas inteligentes LDPC para el control de climatización
//de ambientes internos del edificio administrativo
//de la Escuela del Milenium Yanahurco.

void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
}

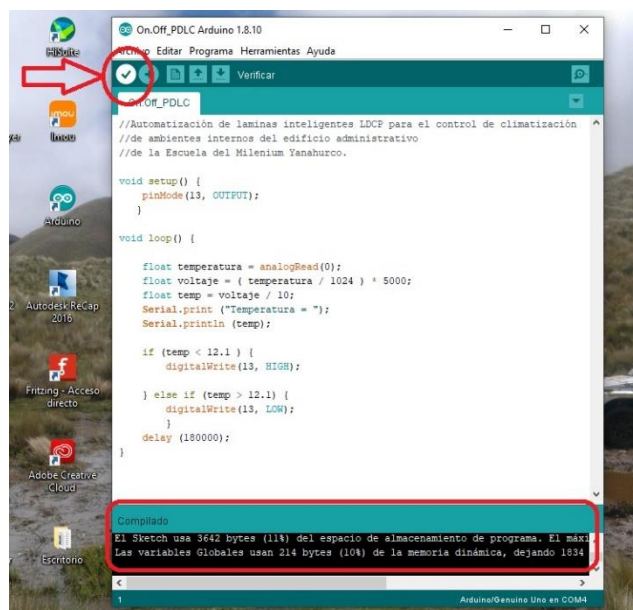
void loop() {

  float temperatura = analogRead(0);
  float voltaje = ( temperatura / 1024 ) * 5000;
  float temp = voltaje / 10;
  Serial.print ("Temperatura = ");
  Serial.println (temp);

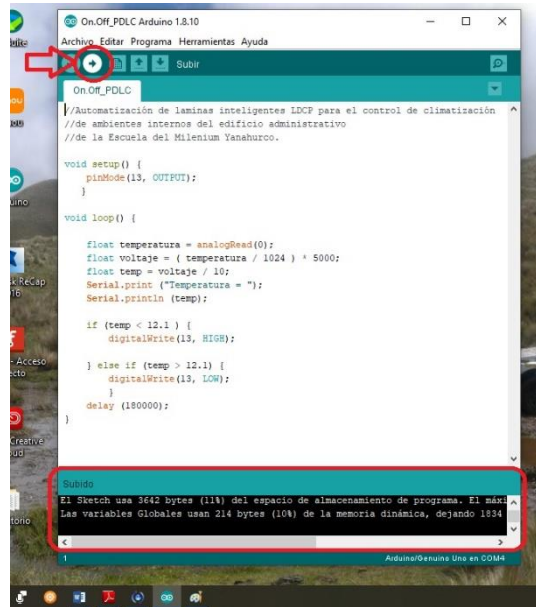
  if (temp < 12.1) {
    digitalWrite(13, HIGH);
  } else if (temp > 12.1) {
    digitalWrite(13, LOW);
  }
  delay (180000);
}

Guardado.
Los nombres de Sketch deben empezar con una letra o número, seguido por letras,
números, guiones, puntos y subrayados. La longitud máxima es de 63 caracteres.
```

- Una vez escrito el código fuente de la automatización, realizaremos una comprobación de errores o compilación del código. En la parte superior izquierda encontramos un icono con el símbolo de visto lo damos clic y el programa Arduino comprobara si existe o no errores. Una vez finalizado en la parte inferior nos detalla el análisis de compilación, al no existir errores nos indica el mensaje “Compilado”.



- Una vez compilado el código fuente, nos dirigimos nuevamente a la parte superior izquierda al icono con el símbolo “Flecha”, en este momento vamos a cargar el código fuente a nuestra placa Arduino UNO. Una vez cargado en la parte inferior nos notificara que el código fuente ha sido subido correctamente.



4 Circuito de Automatización Laminas Inteligentes PDLC

- El pin 5V de la placa Arduino UNO conectamos a la fase positiva del protoboard. El pin GND de la placa Arduino UNO conectamos a la fase GND del protoboard.
- El sensor LM35 tomamos el pin 1 VCC y lo conectamos a la fase positiva del protoboard. Tomamos el pin 3 y conectamos a la fase GND del protoboard.
- Tomamos el pin 2 del sensor LM35 y conectamos a la entrada analógica de la placa Arduino UNO “A0”.
- En la salida digital de la placa Arduino UNO, tomamos el pin 13 y conectamos al módulo relé 5V al pin de señal “IN1”.
- En el módulo relé 5V, tomamos el pin VCC y conectamos a la fase positiva del protoboard, del mismo modo tomamos el pin de GND del módulo relé y lo conectamos a la fase GND del protoboard.

- En los pines de salida del módulo relé tomamos el pin NO (Normalmente Abierto) y conectamos el cable de fase 110V. Conectamos el pin común del módulo relé “COM” y conectamos al terminal 1 de la lámina inteligente PDLC.
- Conectamos el terminal 2 de la lámina PDLC y conectamos al neutro de la toma de 110v.
- Finalizada la conexión, comprobamos que los terminales estén aislados y asegurados.
- Después de la verificación, procedemos a alimentar la Placa Arduino UNO con el voltaje de 5V.
- El sensor de temperatura inicia a enviar señal a la placa Arduino UNO el cual según la comparación que fue instruida, activara y desactivara la lámina inteligente PDLC.

