

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**  
**ESTUDIO Y DISEÑO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA**  
**EDIFICACIÓN PERTENECIENTE AL CENTRO EDUCATIVO “DANTE**  
**PAZZANESE”, APLICANDO CRITERIOS DE ENERGÍA RENOVABLE**

**AUTOR:**  
**XAVIER EDUARDO MEDINA SALINAS**


**TUTOR:**  
**VÍCTOR HUGO NARVÁEZ VEGA**

**Quito, marzo del 2017**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Xavier Eduardo Medina Salinas con documento de identificación N° 1713798617, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “ESTUDIO Y DISEÑO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN PERTENECIENTE AL CENTRO EDUCATIVO “DANTE PAZZANESE”, APLICANDO CRITERIOS DE ENERGÍA RENOVABLE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico con mención en Sistemas Industriales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Xavier Eduardo Medina Salinas


Cédula: 1713798617

Fecha: Marzo, 2017

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Víctor Hugo Narváez declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ESTUDIO Y DISEÑO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN PERTENECIENTE AL CENTRO EDUCATIVO “DANTE PAZZANESE”**, realizado por el sr. Xavier Eduardo Medina Salinas, mismo, que cumple todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado proyecto final de titulación.

Quito, marzo del 2017



Víctor Hugo Narváez Vega

C.I. 171188687-7

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Director del Centro Educativo “Dante Pazzanese” por brindarme la oportunidad y brindar todas las facilidades para realizar el presente proyecto como parte del requisito final, necesario, para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

A mis amados padres por ser los brazos que brindan soporte, protección y abrigo en este camino llamado vida, por ser mis arquetipos a seguir y por haber sembrado en mi persona valores como la humildad, la predisposición, la buena voluntad y el amor por lo que haces.

A mi amada hija por ser el impulso más fuerte y la cura más dulce de mis peores momentos, me enseñaste que el amor puede hacer milagros no importa cuán abatido haya estado, ¡lo hacía por ti!

A mis amigos y todas esas personas que de una u otra manera jugaron un papel preponderante en mi formación como estudiante y como persona. Brindándome ánimo, amor, otras veces dolor y también decepción; porque de los errores se aprende y la virtud más grande está en volver a levantarse.

A mis queridos profesores/as (Ingenieros/as, Físicos/as) que con verdadero don de educadores, disciplina y valores han sabido guiarnos a la culminación de esta meta.

A mis tutores los Ingenieros Walter Taipe, Víctor Hugo Narváez por todo el tiempo, apoyo y facilidades brindadas en la elaboración del presente proyecto.

Xavier Eduardo Medina Salinas

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción.....	1
Capítulo 1.....	2
Fundamentación teórica.....	2
1.1 Centro Educativo “Dante Pazzanese”.....	2
1.1.1 Reseña histórica.....	2
1.1.2 Localización.....	3
1.1.3 Características constructivas de la edificación.....	3
1.2 Eficiencia energética en edificaciones.....	4
1.2.1 Conceptos básicos.....	5
1.3 Norma ASHRAE.....	5
1.3.1 Confort Térmico.....	5
1.3.2 Fenestración.....	6
1.3.3 Temperatura de bulbo seco.....	6
1.3.4 Temperatura de bulbo húmedo.....	7
1.3.5 Temperatura ambiente.....	7
1.3.6 Temperatura efectiva.....	7
1.3.7 Humedad relativa.....	7
1.3.8 Zona termal confortable.....	7
1.3.9 Temperatura operativa.....	7
1.3.10 Estrés térmico.....	8
1.4 Norma UNE 12464.1.....	8
1.5 Luminotecnia.....	8
1.5.1 Nociones básicas.....	8
1.6 IDAE 2009 Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red.....	10
1.7 Energía solar fotovoltaica.....	10
1.7.1 Conocimientos básicos.....	10
Capítulo 2.....	12
Análisis de confort térmico e iluminación.....	12
2.1 Determinación de la generación de calor por actividad metabólica.....	15
2.1.1 Área superficial del cuerpo (Área de DuBois).....	16
2.1.2 Cálculo del calor metabólico generado aplicado a la muestra.....	16
2.2 Determinación de coeficientes de transferencia térmica.....	18
2.2.1 Coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_r$ ).....	19
2.2.2 Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_c$ ).....	19
2.2.3 Transferencia de calor por convección corregido ( $h_{cc}$ ).....	19

2.2.4 Transferencia de calor por evaporación ( $h_e$ ).....	20
2.2.5 Transferencia de calor por evaporación corregido ( $h_{ec}$ ).....	20
2.3 Aislamiento térmico.....	21
2.3.1 Toma de mediciones de temperatura, prueba de bulbo seco y bulbo húmedo.....	23
2.3.2 Obtención de valores de humedad relativa.....	25
2.4 Fenestración.....	29
2.4.1 Determinación del U-Factor.....	30
2.4.2 Cálculo del flujo de calor.....	30
2.5 Iluminación.....	32
2.5.1 Toma de mediciones de flujo luminoso por unidad de superficie (LUX).....	32
2.5.2 Aplicación de la norma UNE 12464.1 en los espacios de interés.....	33
2.5.3 Cálculos y simulación del tendido actual de luminarias.....	37
2.5.4 Simulación del sistema de iluminación en DiaLuxEVO vs 6.....	42
2.6 Análisis del consumo de electricidad.....	43
Capítulo 3.....	44
Medidas para alcanzar el confort de la edificación, logrando una eficiencia energética adecuada.....	44
3.1 Mejoras térmicas.....	44
3.2 Mejoras en iluminación.....	49
3.2.1 Diseño de la propuesta de Iluminación.....	50
3.3 Diseño del sistema fotovoltaico.....	55
3.3.1 Dimensionamiento del sistema.....	55
3.3.2 Determinación de la tensión nominal.....	59
3.3.3 Orientación e inclinación óptima del generador fotovoltaico.....	59
3.3.4 Cálculo del generador fotovoltaico.....	60
3.3.5 Determinación del número de paneles fotovoltaicos.....	61
3.3.6 Cálculo del sistema de acumulación.....	63
3.3.7 Dimensionamiento del regulador de carga.....	64
3.3.8 Dimensionamiento del inversor.....	64
3.3.9 Conexión e instalación de los paneles fotovoltaicos.....	65
3.4 Análisis del retorno de la inversión.....	65
Conclusiones.....	70
Recomendaciones.....	73
Lista de referencias.....	76
Anexos.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Logo del Centro Educativo “Dante Pazzanese”.....	2
Figura 1.2. Localización del Centro Educativo “Dante Pazzanese”.....	3
Figura 1.3. Edificación perteneciente al Centro Educativo “Dante Pazzanese”.....	4
Figura 2.1. Aula 03 del Instituto.....	13
Figura 2.2. Uniforme para hombres y mujeres.....	21
Figura 2.3. Registro de mediciones de temperatura.....	24
Figura 2.4. Curva psicométrica de rangos aceptables de humedad.....	28
Figura 2.5. Luxómetro digital compacto.....	33
Figura 2.6. Simulación del estado actual de iluminación del Aula 03.....	42
Figura 3.1. Ventilación natural tipo 1.....	45
Figura 3.2. Ventilación natural tipo 2.....	45
Figura 3.3. Ventilación mecánica.....	46
Figura 3.4. Propuesta de recirculación de la carga de aire para el Aula 03.....	47
Figura 3.5. Ventilador de pared de baja presión.....	48
Figura 3.6. Simulación de la propuesta de iluminación en el Aula 03.....	55
Figura 3.7. Esquema del diseño a implementarse.....	56
Figura 3.8. Visualización del resultado obtenido mediante Sun Surveyor Lite.....	60
Figura 3.9. Conexión paneles fotovoltaicos.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Dimensiones de la muestra.....	13
Tabla 2.2 Características constructivas de la muestra.....	14
Tabla 2.3. Características de la población de la muestra.....	14
Tabla 2.4. Recopilación de valores a utilizarse para determinar el calor metabólico.....	15
Tabla 2.5. Cálculo de la tasa metabólica media (M) para periodos intermitentes de actividad durante el desarrollo de clases en el Aula 03.....	17
Tabla 2.6. Potencia generada para el calor metabólico generado en el Aula 03.....	18
Tabla 2.7. Ecuaciones para el cálculo de ( $h_c$ ).....	19
Tabla 2.8. Cálculo de los coeficientes de transferencia térmica en el Aula 03.....	20
Tabla 2.9. Estimación del aislamiento térmico de prendas de vestir para la población masculina del Aula 03.....	22
Tabla 2.10. Estimación del aislamiento térmico de prendas de vestir para la población femenina del Aula 03.....	22
Tabla 2.11. Porcentajes de humedad relativa de la edificación generados en el día.....	26
Tabla 2.12. Porcentajes de humedad relativa de la edificación generados en la noche.....	27
Tabla 2.13. Determinación del cumplimiento del rango recomendado de humedad relativa, según la curva psicométrica de la figura 7.....	29
Tabla 2.14. Cálculo del flujo de calor por ventanales en el día.....	31
Tabla 2.15. Cálculo del flujo de calor por ventanales en la noche.....	31
Tabla 2.16. Calor total generado en el Aula 03.....	32
Tabla 2.17. Calor restante.....	32
Tabla 2.18 Recopilación de valores utilizados para aplicación de la Norma UNE 12464.1 en las instalaciones del Centro Educativo “Dante Pazzanese”.....	34
Tabla 2.19. Determinación del cumplimiento de los niveles de iluminación según la norma UNE 12464.1 para el día.....	35
Tabla 2.20. Determinación del cumplimiento de los niveles de iluminación según la norma UNE 12464.1 para la noche.....	36
Tabla 2.21. Determinación de horas laboradas al año.....	37
Tabla 2.22. Luminarias y focos encontrados en las áreas escogidas para análisis.....	38
Tabla 2.23. Determinación de los coeficientes de reflexión.....	39
Tabla 2.24. Solapamiento de los coeficientes de reflexión e índice de utilización....	39
Tabla 2.25. Cálculos para determinar los niveles actuales de iluminación.....	41
Tabla 2.26. Consumo eléctrico en iluminación de áreas en análisis.....	43
Tabla 3.1 Determinación del tipo de luminarias.....	51
Tabla 3.2. Luminaria de la propuesta.....	51
Tabla 3.3. Cálculo del número de luminarias aplicando la norma UNE 12464.1.....	52

Tabla 3.4. Potencias y costos de la nueva instalación de luminarias.....	53
Tabla 3.5. Potencias y costos de la nueva instalación de luminarias con reducción del costo Anual.....	54
Tabla 3.6. Zonas escogidas para el dimensionamiento del generador fotovoltaico....	57
Tabla 3.7. Luminarias a utilizarse para la optimización del sistema fotovoltaico.....	58
Tabla 3.8. Propuesta optimizada de iluminación del sistema solar fotovoltaico.....	58
Tabla 3.9. Resumen de costos para los sistemas instalados y de la propuesta.....	65
Tabla 3.10. Presupuesto de inversión inicial.....	66
Tabla 3.11. Periodo de recuperación de la inversión del generador fotovoltaico.....	67
Tabla 3.12. Mejora de la propuesta del generador fotovoltaico.....	68
Tabla 3.13. Periodo de amortización para el diseño del generador mejorado.....	69

## **RESUMEN**

El Centro Educativo Dante Pazzanese funge como una institución dedicada a la formación de Asistentes en Salud y Primeros Auxilios, así como Asistentes en Instrumentación Quirúrgica desde su fundación en el año 2003, al crecer como Institución Educativa pretende alcanzar nuevos proyectos en este ámbito, pues su prestigiosa trayectoria así lo exige (Creación del Instituto Técnico Superior “Dante Pazzanese” – I.T.S.D.P.) motivo por el cual ve la necesidad de brindar todas las condiciones de confort y seguridad que habiliten sus espacios destinados a impartir educación en su edificación actual. Para ello debe contar con estándares que garanticen o certifiquen las condiciones que se pretende alcanzar y son requisito primordial para la aprobación y autorización de funcionamiento en la edificación del I.T.S.D.P. por parte del C.E.S. (Consejo de Educación Superior). Por lo cual, al proponer a la Institución un estudio de Eficiencia energética, como parte de un proyecto de titulación, apoya al mismo y ve la oportunidad de conocer y debelar cual es el estado actual de sus instalaciones para así poder denotar la realidad y alcanzar estándares que garanticen las mejores condiciones de confort (iluminación, confort térmico) y que a su vez permitan modernizar sus sistemas de iluminación y ventilación con sistemas más eficientes sin renunciar a la calidad y ahorro energético que pudiese alcanzarse, incorporando también el uso de energía limpia y renovable como parte de una iniciativa para descentralizar los consumos de energía eléctrica proveniente de la red pública ayudando a reducir el impacto que conlleva la generación de energía procedente de fuentes no renovables y contaminantes.

## **ABSTRACT**

The Dante Pazzanese Educational Center serves as an institution dedicated to the training of Assistants in Health and First Aid, as well as Assistants in Surgical Instrumentation since its foundation in 2003. Growing up as an Educational Institution aims to reach new projects in this field, since its (Dante Pazzanese Higher Technical Institute - ITSDP), which is why it sees the need to provide all the conditions of comfort and security that enable its spaces designed to impart education in its current building. To do this, it must have standards that guarantee or certify the conditions that are intended to be achieved and are a prerequisite for the approval and authorization of operation in the construction of I.T.S.D.P. By C.E.S. (Council of Higher Education). Therefore, when proposing to the Institution an Energy Efficiency study, as part of a titling project, it supports it and sees the opportunity to know and discuss what is the current state of its facilities in order to be able to denote reality and attain Standards that guarantee the best conditions of comfort (lighting, thermal comfort) and that in turn allow to modernize their lighting and ventilation systems with more efficient systems without sacrificing the quality and energy saving that could be achieved, also incorporating the use of clean energy And renewable as part of an initiative to decentralize electricity consumption from the public grid helping to reduce the impact of generating power from non-renewable sources and pollutants.

## **INTRODUCCIÓN**

Las tecnologías de iluminación, ventilación, energía auxiliar deben irse renovando en las edificaciones, pues el avance en el desarrollo de tecnologías dentro de este campo y la concientización sobre un mejor modelo de consumo de energía así lo exigen. La mejora en la eficiencia de estas tecnologías logra disminuir el consumo de energía por utilización de sistemas inadecuados y obsoletos que generan consumos innecesarios y acarrear costos extras al consumo real. Por lo cual, el presente estudio contempla la utilización de normas técnicas que permitan conocer y valorar el estado actual de la edificación en busca de un sistema de consumo de energía eficiente.

En el capítulo primero, se detalla todas las características y datos relevantes para la realización del levantamiento de información que, en conjunto a las nociones y definiciones comprendidas en el mismo, permitirá dar el enfoque del estudio (eficiencia energética en edificaciones destinadas a la educación) que se tendrá en cuenta en todo el desarrollo. En el capítulo segundo, la aplicación de normas técnicas como la norma ASHRAE (Fenestración, Confort térmico), UNE 12464.1 permitirá la identificación de fallas ergonómicas en el entorno de trabajo (fatiga térmica, exceso o falta de iluminación de espacios interiores) y fallas de diseño en la concepción de la edificación (tecnología de iluminación, potencia instalada, consumo de energía, ventilación). El capítulo tercero tiene como fin garantizar un nivel de confort y seguridad adecuado, así como normalizado, lo que permitirá un consumo de energía eficiente sin renunciar a la cantidad ni a la calidad de energía ya que esto afectaría al confort y al bienestar de las personas, consta de un diseño para mejora de las tecnologías de iluminación y confort térmico que reemplazaran los sistemas actuales de iluminación, ventilación y energía auxiliar por sistemas más eficientes, así como también la incorporación de un generador fotovoltaico.

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El desarrollo del capítulo comprende el levantamiento de información relevante para el estudio de eficiencia energética en la edificación (Actividades, localización, características constructivas, levantamiento de planos), así como también citar las definiciones, teorías y normas a emplearse para el correcto desarrollo del presente estudio.

### 1.1 Centro Educativo “Dante Pazzanese”



#### 1.1.1 Reseña histórica

El Centro Educativo Dante Pazzanese se fundó el año 2003 bajo la premisa de “Educando para humanizar la salud” se dedica a la formación de personal técnico en el área de salud, brindando el perfil de Asistentes en Enfermería y Primeros Auxilios y Técnicos en Instrumentación Quirúrgica de acuerdo al actual Modelo de Atención Integral de Salud (M.A.I.S.) que rige en el país. Ofrece horarios de estudios matutinos y vespertinos de lunes a viernes e intensivos solo sábados.

### 1.1.2 Localización

El Centro Educativo Particular “Dante Pazzanese”, está ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, sector la Mariscal en las calles Jerónimo Carrión, pasaje E1A, casa N21-01 entre Juan León Mera y Reina Victoria. En la figura 1.2 se encuentra el croquis para su correcta ubicación.



### 1.1.3 Características constructivas de la edificación

La propiedad se adquirió en el año 2011, teniendo un tiempo de construcción de 20 años aproximadamente. Sus cimientos son de hormigón armado, y se concibió con fines de vivienda; consta de subsuelo, planta baja, primer piso y segundo piso. En el año 2012 se realizó una remodelación de las instalaciones con el fin de adaptar las mismas para actividades de índole administrativo y educativo.

La edificación presenta las siguientes características físicas de su fachada, así como de sus diferentes ambientes, (puede apreciar en la figura 1.3) siendo los materiales utilizados los siguientes:

- Paredes de ladrillo, con revestimiento de cemento, alisadas y pintadas de color blanco (color principal) y amarillo (color secundario).

- Los tumbados son parte de la loza, son revestidos de cemento y pintados de color blanco en los niveles inferiores.
- Las puertas internas son de madera de laurel, pintados en un tono miel oscuro y lacadas.
- Los ventanales son de gran abertura (en la tabla 1 se pueden encontrar sus dimensiones y características) y tienen marco de madera, con vidrios blanco de 3mm.
- Las puertas y ventanales exteriores de la planta baja son de marco de aluminio color negro, poseen vidrios de 6mm.

Edificación perteneciente al Centro Educativo “Dante Pazzanese”



Figura 1.3. Al fondo la edificación en estudio.  
Elaborado por: Eduardo Medina

**Nota:** Para conocer más sobre la distribución y planos de la edificación, refiérase al anexo 1.

## 1.2 Eficiencia Energética en Edificaciones

Se refiere al correcto uso de los sistemas de calefacción, ventilación, iluminación, agua caliente, aire acondicionado, utilizando menos energía para conseguir el mismo uso o servicio; involucra la incorporación de normás técnicas para el uso de los equipos,

práctica de hábitos y energía procedente de fuentes de energía limpia y renovable, lo que contribuye a un uso eficiente de la energía.

Las principales vías para lograr el ahorro de la energía son:

- Buscar diseños eco-eficientes en las edificaciones.
- Fomentar el uso de energías renovables.
- Fomentar el ahorro y la concienciación de los usuarios.

### **1.2.1 Conceptos básicos**

**Energía:** (E) es una medida del cambio impartido a un sistema y que se puede transferir mecánicamente a un objeto cuando una fuerza trabaja sobre dicho objeto. Debido a que el cambio puede realizarse en distintas maneras, hay una variedad de formas de energía. Todas las formas de energía, incluido el trabajo, tienen las mismas unidades, joule. (Frederick J. Bueche, 2007)

**Sistemas energéticos:** son todas aquellas formas de aprovechar la energía tales como: iluminación, térmico, aire acondicionado, refrigeración, motores. (Principios energéticos, Energy Manager, 2015)

**Recursos energéticos:** son todas aquellas formas de generar energía como: combustibles, energía eléctrica, biomasa, otros. (Principios energéticos, Energy Manager, 2015)

**Eficiencia:** Podemos definir la eficiencia como la relación entre los recursos utilizados y los logros conseguidos con dichos recursos. Se entiende que la eficiencia se da cuando se utilizan menos recursos para lograr un mismo objetivo. O, al contrario, cuando se logran más objetivos con los mismos o menos recursos. (Gerencie, diferencia entre eficiencia y eficacia, 2016)

### **1.3 Norma ASHRAE**

Fundada en 1894, ASHRAE es una asociación de tecnología para edificios con más de 50.000 miembros mundialmente. La asociación y sus miembros se enfocan en los sistemas de edificios, la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la

sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y la educación continuas, ASHRAE da forma hoy al entorno construido de mañana. ASHRAE fue concebida en 1959 como la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, debido a la fusión de la Sociedad de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado (ASHAE) fundada en 1894, y la Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración (ASRE) fundada en 1904. (ASHRAE, 2016)

### **1.3.1 Confort Térmico**

Se incorpora dentro del compendio de normas técnicas provisto por ASHRAE y contiene un conjunto de procedimientos e índices para calcular y proveer condiciones para el confort térmico humano. (ASHRAE, 2009)

### **1.3.2 Fenestración**

Es un término arquitectónico que se refiere a la disposición, proporción, y el diseño de la ventana, ventana de techo y sistemas de puertas en un edificio sirve como una como un medio para admitir radiación solar para iluminación natural (luz del día), y para el aumento de calor a un espacio. La energía de los edificios es afectada a través de cuatro mecanismos básicos: transferencia térmica de calor, ganancia de calor solar, pérdida de aire y luz natural. Para minimizar los efectos antes citados se recurre a las técnicas de fenestración como son: “el uso de la luz del día para compensar las necesidades de iluminación, el uso de acristalamientos y estrategias de sombreado para controlar la ganancia de calor solar pasiva y minimizar los requisitos de refrigeración, el uso de acristalamiento para minimizar la pérdida de calor por conducción, las estrategias de ventilación natural que pueden reducir el consumo de energía para la refrigeración y los requisitos de aire fresco.” (ASHRAE, 2009)

### **1.3.3 Temperatura de bulbo seco TBS**

TBS (Temperatura de bulbo seco o de referencia): “Es la temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se ha apantallado de la radiación por algún medio que no restrinja la circulación natural del aire a su alrededor” (Universidad Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2016)

### **1.3.4 Temperatura de bulbo húmedo TBH**

TBH (Temperatura de Bulbo Húmedo): “Es la temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se encuentra recubierto por una muselina empapada de agua, ventilado únicamente de forma natural y no apantallado de las fuentes de radiación.” (Universidad Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2016)

### **1.3.5 Temperatura ambiente**

Es la temperatura experimentada por una persona en un ambiente dado. Esta temperatura es el resultado del intercambio de calor por conducción (a través de pisos o herramientas) y radiación (Muros, plafones, sol). (Pedro R. Mondelo, 2001)

### **1.3.6 Temperatura efectiva**

Es un índice determinado experimentalmente, que incluye la temperatura, el movimiento del aire y la humedad. El intervalo normal es desde 18,3 °C hasta 22,8 °C, con una humedad relativa de 20% a 60%. (Pedro R. Mondelo, 2001)

### **1.3.7 Humedad Relativa**

Es la relación entre la masa de agua o vapor de agua que existe en un determinado volumen y la cantidad de agua o vapor de agua necesaria para que se sature dicho volumen a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje. (Pedro R. Mondelo, 2001)

### **1.3.8 Zona termal comfortable**

Es el intervalo normal de temperatura efectiva. Se recomiendan temperaturas de 18,8 °C y 22,9 °C como límites externos para la regulación termostática. (Pedro R. Mondelo, 2001)

### **1.3.9 Temperatura operativa**

Es la temperatura del cuerpo de un trabajador. Se determina por los efectos acumulativos de todas las fuentes y receptores de calor. (Pedro R. Mondelo, 2001)

### **1.3.10 Estrés térmico**

El estrés térmico corresponde a la carga neta de calor a la que los trabajadores están expuestos y que resulta de la contribución combinada de las condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física que realizan y las características de la ropa que llevan. (Ministerio de salud Chile, 2013)

### **1.4 Norma UNE 12464.1**

La Norma Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo en interior, define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Las recomendaciones de esta norma, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, permite crear ambientes agradables para los usuarios. El objetivo es conseguir una mayor eficiencia energética en las instalaciones de los edificios reduciendo hasta un 22 % los consumos específicos. (Comisión de Normalización Europea de la Norma UNE 12464-1, 2016)

### **1.5 Luminotecnia**

Es ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación. (f2e Fundación para la eficiencia energética, 2016)

#### **1.5.1 Nociones básicas**

##### **Flujo luminoso**

Es la magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa y se define como: Potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, se mide en Lumen (Lm) (f2e Fundación para la eficiencia energética, 2016)

$$\Phi = \text{Flujo luminoso (lumen)} \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

##### **Eficiencia luminosa ( $\eta$ )**

Expresa el rendimiento energético de una lámpara y mide la calidad de la fuente como instrumento destinado a producir luz por la transformación de energía eléctrica en energía radiante visible. (f2e Fundación para la eficiencia energética, 2016)

Es el cociente entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total consumida por la fuente.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso [Lm]

P = Potencia Eléctrica [W]

$\eta$  = eficiencia Luminosa Lm/W]

### **Iluminancia (E)**

Iluminancia o iluminación se define como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie. Su unidad es el Lux. (f2e Fundación para la eficiencia energética, 2016)

El Lux se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 m<sup>2</sup> cuando sobre ella incide, uniformemente repartido un flujo luminoso de 1 Lumen.

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ lumen} / \text{m}^2 = \text{lux} \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso que llega a superficie [Lm]

S = superficie a iluminar [m<sup>2</sup>]

E = Iluminación en la superficie S [lux]

### **Intensidad luminosa (I)**

El flujo luminoso nos da la cantidad de luz que emite una fuente de luz en todas las direcciones del espacio. Para saber si el flujo se distribuye en cada dirección del espacio definimos la intensidad luminosa. (f2e Fundación para la eficiencia energética, 2016) La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada, es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un Angulo solido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo solido expresado en estereorradianes. Su unidad en la Candela.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso [Lm]

$\omega$  = Angulo solido [sr]

I = Intensidad Luminosa [cd]

## **1.6 IDAE 2009 Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red**

El presente fue realizado por el Departamento de Energía Solar del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con la colaboración del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid y del Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), su finalidad es establecer las condiciones técnicas que deben tomarse en consideración en la convocatoria de ayudas para la promoción de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica para cubrir las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red. (Departamento de energía solar del IDAE - CENSOLAR, 2011)

## **1.7 Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Se produce mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos conectados entre sí que a su vez están compuestos por unidades básicas denominadas células solares o fotovoltaicas. El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador forma una superficie plana que tiene que ser expuesta a la luz del sol para producir energía eléctrica. La inclinación y la orientación adecuadas de dicha superficie son fundamentales para conseguir una conversión eficiente de energía solar en energía eléctrica. (Agustín Castejón, 2010)

### **1.7.1 Conocimientos básicos**

#### **Efecto fotovoltaico**

Cuando un fotón incide sobre un semiconductor, si tiene suficiente energía, genera un par electrón-hueco. Si su energía es inferior a la energía de enlace del material, lo atravesará sin producir ningún efecto. Los electrones y huecos que se generan al iluminar un semiconductor se mueven por su interior aleatoriamente, cada vez que un electrón encuentra un hueco, lo ocupa y libera la energía adquirida previamente en forma de calor, esto se llama recombinación de un par electrón-hueco. Este proceso no tiene ninguna utilidad si no se consigue separar los electrones y los huecos de manera que se agrupen en diferentes zonas para formar un campo eléctrico, de forma que el

semiconductor se comporte como un generador eléctrico. Si de alguna forma se consigue mantener esta separación y se mantiene constante la iluminación aparece una diferencia de potencial. Esta conversión de luz en diferencia de potencial recibe el nombre de efecto fotovoltaico. (Agustín Castejón, 2010)

### **Célula solar**

Una célula solar básica es una unión PN con un contacto en la región P y otro en la región N que permiten la conexión con un circuito eléctrico. (Agustín Castejón, 2010)

### **Módulos fotovoltaicos**

Es un conjunto o arreglo de células solares individuales, conectadas en serie o paralelo. En su gran mayoría es común encontrar módulos con 36 y 96 células conectadas en serie, también pueden incluir la conexión en paralelo de grupos de células conectadas en serie. Al conjunto de células solares agrupadas en las condiciones descritas se le denomina módulo fotovoltaico. (Agustín Castejón, 2010)

### **Sistemas aislados**

Los sistemas fotovoltaicos aislados son los sistemas de generación eléctrica más comunes en las zonas en las que el acceso a la energía eléctrica está restringido. Por lo general son de poca potencia (entre 3 y 10 KW) y constan de paneles fotovoltaicos, reguladores, baterías e inversor (Phoenix Solar SL, 2016)

## **CAPÍTULO 2**

### **ANÁLISIS DE CONFORT TÉRMICO E ILUMINACIÓN**

Mediante la aplicación de las distintas normas acogidas para el análisis y mejoramiento de la eficiencia energética de la edificación, se determina qué áreas cumplen o están por debajo del límite permitido por éstas, se adapta los criterios de medición a los de las instalaciones analizadas, se escoge el valor que mejor se ajuste al resultado obtenido según la norma y se presenta una tabla con la interpretación de si cumple o no con lo establecido.

La exposición ocupacional al calor y los problemas de sobrecarga térmica que de ella se desprenden son comunes en determinados lugares de trabajo, “producen en el organismo dos tipos de carga térmica: Carga externa o ambiental y carga interna o metabólica. La carga térmica ambiental es, básicamente, el resultado de la acción de dos mecanismos: intercambio calórico por convección-conducción e intercambio por radiación. Además, el organismo genera calor debido al calor metabólico que es una combinación del calor generado por el metabólico basal y el resultado de la actividad física.” (Ministerio de salud Chile, 2013)

Para fines prácticos del presente estudio se tomará el Aula 03 como muestra de estudio, pues es el aula más grande ( $48,13 \text{ m}^2$ ) y la que contiene el mayor número de estudiantes (35 personas) por lo cual se convierte en la ideal para abarcar el mejor escenario para el análisis (curso de lunes a viernes 7:30-9:30) en la figura 2.1 se puede observar la muestra en cuestión.

Aula 03 del Instituto



Figura 2.1. Identificación física y determinación de elementos del entorno  
Elaborado por: Eduardo Medina

En la tabla 2.1 se detallan las dimensiones físicas de la muestra (Aula 03).

Tabla 2.1  
Dimensiones físicas del Aula 03.

<b>DIMENSIONES FÍSICAS DEL AULA 03</b>				
<b>LARGO</b> <i>m</i>	<b>ANCHO</b> <i>m</i>	<b>ALTURA</b> <i>m</i>	<b>AREA</b> <i>m</i> <sup>2</sup>	<b>Nro.</b> <b>ocupantes</b>
8,75	5,50	2,30	48,13	35
<b>DIMENSIONES PUERTA</b>				
<b>Nro.</b>	<b>GROSOR</b> <i>m</i>	<b>ANCHO</b> <i>m</i>	<b>ALTURA</b> <i>m</i>	<b>MATERIAL</b>
1	0,03	0,90	2,30	madera
<b>DIMENSIONES VENTANALES</b>				
<b>Nro.</b>	<b>GROSOR</b> <i>m</i>	<b>ANCHO</b> <i>m</i>	<b>ALTURA</b> <i>m</i>	<b>MATERIAL</b>
1	0,007	1,90	0,90	aluminio
2	0,007	4,00	0,40	madera
3	0,007	1,46	0,40	aluminio

Elaborado por: Eduardo Medina

La tabla 2.2 muestra información con las características de materiales encontrados en la construcción de la edificación.

Tabla 2.2.  
Características constructivas de la muestra

<b>MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL AULA 03</b>	
<b>PAREDES</b>	De ladrillo, con revestimiento de cemento, masillado, pintura de agua color blanco.
<b>PISO</b>	De hormigón armado, fundido, cubierta de cerámica de 0,30 m x 0,30 m, color texturizado café claro con gris
<b>TUMBADO</b>	Parte de la siguiente planta, de hormigón armado, 0,30 m de grosor, masillado, color blanco.
<b>VIDRIOS</b>	vidrio blanco de 3mm, transparente, instalado con presión al marco.

Elaborado por: Eduardo Medina

La tabla 2.3 contiene información sobre la población de la muestra escogida (Aula 03).

Tabla 2.3.  
Características de la población de la muestra.

<b>CARACTERISTICAS DE LA POBLACION DE LA MUESTRA</b>				
	<b>Nro.</b>	<b>EDAD PROMEDIO AÑOS</b>	<b>ESTATURA PROMEDIO (m)</b>	<b>PESO PROMEDIO (lb)</b>
MUJERES	31	25	1,62	118,2
HOMBRES	4	23	1,68	127,6

Elaborado por: Eduardo Medina

Se puede apreciar que la población en su gran mayoría es de género femenino.

## 2.1 Determinación de la generación de calor por actividad metabólica

Como lo advierten los estudios de calor metabólico de ASHRAE “Las actividades metabólicas del cuerpo resultan casi completamente en calor que debe ser disipado y regulado de forma continua para mantener las temperaturas normales del cuerpo. Por lo tanto, una cuidadosa regulación de la temperatura corporal es fundamental para el confort y la salud.” (ASHRAE, 2009)

Partiendo de este antecedente se determina la importancia de analizar la generación de calor por actividad metabólica para las distintas actividades a llevarse a cabo en las distintas áreas de la edificación. Debido a que la mayor parte de este calor se transfiere al medio ambiente a través de la piel, se debe caracterizar la actividad metabólica en términos de la producción de calor por unidad de área de piel donde (para una persona en reposo, se trata de  $18,4 \text{ BTU/h} \cdot \text{ft}^2$  ( $50 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2$ ) y se llama 1 *met*) (ASHRAE, 2009).

“Un hombre normal y sano a los 20 años tiene una capacidad máxima de aproximadamente ( $M$  = calor metabólico,  $M_{act}$  = calor metabólico requerido para la actividad de la persona)  $M_{act} = 12 \text{ met}$ , que se reduce a 7 *met* a la edad de 70 años, las tasas máximas para las mujeres son aproximadamente un 30% inferior” (ASHRAE, 2009). Tomando en cuenta las unidades ya descritas, a continuación, se realiza una recopilación de valores típicos para las diferentes actividades metabólicas a llevarse a cabo en la edificación y que se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4.  
valores de referencia de las actividades metabólicas

	<b>Mact</b>	
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>BTU/h.ft<sup>2</sup></b>	<b>met</b>
Reclinado	15	0,8
Sentado, quieto	18	1
Parado, relajado	22	1,2
Leyendo, sentado	18	1
Escribiendo	18	1
Caminando en el lugar	31	1,7
Limpiando la casa	37	2.0

Nota: valores tomados de Fundamentals (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

Como se puede observar la actividad de mayor generación de calor pertenece a la actividad de limpiando la casa, se puede apreciar su valor y su equivalente en *met*.

### 2.1.1 Área superficial del cuerpo (Área de DuBois)

Los términos de la ecuación (2.1) tienen unidades de potencia por unidad de área y se refieren al área de superficie del cuerpo desnudo. La medida más usada para superficie corporal desnuda, propuesto originalmente por DuBois y DuBois (1916) y contenidas en (ASHRAE, 2009), es descrito por:

$$A_D = 0.108m^{0.425}l^{0.725} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

*Donde:*

$A_D$  = área de Dubois,  $ft^2$

$m$  = peso,  $lb$

$l$  = altura,  $in$

#### Cálculo del área de DuBois

Al existir una variación de alrededor del 30% en la producción de calor metabólica entre hombre y mujer (ASHRAE, 2009) se procede a realizar una diferenciación en los cálculos sobre la población de la muestra escogida. A continuación, se toma el valor promedio de estaturas y pesos de los individuos, los cuales se transforman a sus equivalentes correspondientes en el sistema inglés. Obteniendo de esta forma los valores para el cálculo del área de DuBois descritos en la ecuación 2.1.

Calculo del área de DuBois para hombres de la muestra ( $m=127,6$  lb,  $l=66,14$  in) por lo tanto:

$$A_D = 0.108m^{0.425}l^{0.725}$$

$$A_D = 0.108(127,6)^{0.425}(66,14)^{0.725}$$

$$A_D = 17.71ft^2$$

Calculo del área de DuBois para mujeres de la muestra ( $m=118,2$  lb,  $l=63,78$  in) por lo tanto:

$$A_D = 0.108m^{0.425}l^{0.725}$$

$$A_D = 0.108(118,2)^{0.425}(63,78)^{0.725}$$

$$A_D = 16,70ft^2$$

### 2.1.2 Cálculo del calor metabólico generado aplicado a la muestra

Frecuentemente las actividades desarrolladas por personas en centros de educación consisten en una mezcla de actividades o una combinación de trabajo y períodos de descanso. “Una tasa metabólica media ponderada es en general satisfactoria, siempre que las actividades se alternan con frecuencia (varias veces por hora). Por ejemplo, una persona cuyas actividades consisten de escribir 50% del tiempo, llenar información mientras se está sentado 25% del tiempo, y caminar sobre el espacio de trabajo 25% del tiempo tendrá una tasa metabólica media de:  $0.50 \times 20 + 0.25 \times 22 + 0.25 \times 31 = 23 \text{ BTU} / \text{h} \cdot \text{ft}^2$ ” (ASHRAE, 2009).

Al ser ésta una institución dedicada a la educación, y en especial a la formación de técnicos en atención primaria al paciente (asistentes en enfermería y primeros auxilios) las actividades a desarrollarse en las distintas áreas son de carácter intermitente, y siguiendo la distribución de la planificación del periodo de clase normal para esta institución (120 min) se determinan los siguientes porcentajes de práctica de las actividades descritas en la tabla 2.4 y expuestas en los cálculos de la tabla 2.5 para la muestra analizada.

Tabla 2.5.

Cálculo de la tasa metabólica media (M) para periodos intermitentes de actividad durante el desarrollo de clases en el Aula 03.

CÁLCULO DE LA TASA METABÓLICA MEDIA (M)				
ACTIVIDAD	MINUTOS	PORCENTAJE %	BTU/h.ft <sup>2</sup>	M
sentado, quieto	10	8,33	18	1,50
leyendo sentado	45	37,50	18	6,75
escribiendo	20	16,67	18	3,00
parado relajado	10	8,33	22	1,83
caminando en el lugar	15	12,50	31	3,88
limpiando la casa	20	16,67	37	6,17
<b>TOTALES</b>	120	100,00	144	23,13

Nota:  $M=0,083 \times 18 + 0,375 \times 18 + 0,167 \times 18 + 0,083 \times 22 + 0,125 \times 31 + 0,167 \times 37 = 23,13 \text{ BTU/h.ft}^2$

Elaborado por: Eduardo Medina

Al no existir un apartado específico en la tabla de actividades típicas de producción de calor metabólico de ASHRAE que designe específicamente la actividad desarrollada

por un asistente de enfermería y primeros auxilios, se procede a utilizar el valor de la actividad descrita como “limpiando casa” (House cleaning), que es la actividad que más se adapta a los trabajos realizados en horas de clase (tendido de cama del paciente, colocar sueros e inyecciones, cambiar sondas vesicales, baño del paciente, etc.)

Por lo tanto, el valor  $M$  (taza de producción de calor metabólico,  $\text{BTU/h} \cdot \text{ft}^2$ ) calculado corresponde a  **$23,13 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 = 1,3 \text{ met}$** . En la tabla 2.6 se puede observar los valores de potencia generada por las actividades realizadas en el Aula 03.

Tabla 2.6.  
Potencia generada para el calor metabólico generado en el Aula 03

GÉNERO	CALOR METABOLICO	ÁREA DE DUBOIS	POTENCIA GENERADA	
	(BTU/h.ft <sup>2</sup> )	(ft <sup>2</sup> )	(BTU/h)	(W)
Hombre	23,13	17,71	409,63	381,25
Mujer	23,13	16,70	386,27	359,51

Nota:  $1\text{BTU/h} = 0.93071 \text{ W}$ , Fuente: Fundamentals (ASHRAE, 2009) Elaborado por: Eduardo Medina

Los valores determinados en la tabla nos muestran la diferencia que existe en la generación de calor metabólico generado por actividad tanto para mujeres como para hombres y para tener una mejor referencia de la cantidad de calor generado también se expresa su valor equivalente en vatios.

## 2.2 Determinación de coeficientes de transferencia térmica

Como lo cita ASHARE “Los valores para el coeficiente linealizado de transferencia de calor por radiación, coeficiente de transferencia de calor por convección, y el coeficiente de transferencia de calor por evaporación, se requieren para resolver las ecuaciones que describen la transferencia de calor del cuerpo” (ASHRAE, 2009)

Para poder entender de mejor forma como se transmite o se realiza el intercambio de energía entre la generación de calor metabólica y el medio ambiente es necesario calcular los coeficientes de transferencia térmica, que muestran como este calor se incorpora al ambiente por los distintos mecanismos de transferencia para la muestra escogida.

### 2.2.1 Coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_r$ )

Al ser éste un coeficiente casi constante para temperaturas habituales en interiores, un valor de 0,83 BTU / h·ft<sup>2</sup> · ° F es suficiente para la mayoría de los cálculos. (ASHRAE, 2009) En la tabla 8 se muestra el resumen de los cálculos de éste y el resto de coeficientes.

$$h_r = 0.83 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot \text{°F} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

### 2.2.2 Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_c$ )

La transferencia de calor por convección generalmente es causada por el movimiento del aire dentro del espacio habitado o por movimientos corporales, (ASHRAE, 2009)

Para su estimación se toma un valor promedio de velocidad en la actividad de caminar sin movimiento de aire de: “hombres menores de 55 años (5,94 km/h = 324,72 fpm), mujeres menores de 55 años (4,93km/h = 269,51 fpm)” (Universidad Politécnica de Cataluña, TRRL, 2016) las ecuaciones para su estimación se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7.  
Ecuaciones para el cálculo de ( $h_c$ )

ECUACIONES PARA LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN			
CONDICION	LIMITE	ECUACIÓN	FUENTE
Caminando con aire quieto	100 < V < 400	$h_c = 0,092V^{0,53}$	V= velocidad caminando Nishi, Gage (1970)
Actividades con aire quieto	1,1 < M < 3,0	$h_c = (M - 0,85)^{0,39}$	Gage et al (1976)

Nota:  $h_c$  en BTU/h·ft<sup>2</sup> · °F, V en fpm, y M en met, donde 1 met = 18.4 BTU/h·ft<sup>2</sup>. Fuente: Fundamental (ASHRAE, 2009) Elaborado por: Eduardo Medina

### 2.2.3 Transferencia de calor por convección corregido ( $h_{cc}$ )

Para su cálculo se considera el valor de la presión atmosférica (Pt = 536mmhg = 10,36 psi) a una altura (h = 2850 m) correspondientes a la ciudad de Quito – Ecuador.

$$h_{cc} = h_c(P_t/14,7)^{0.55} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:  $P_t =$  Presión atmosférica local, psia

### 2.2.4 Transferencia de calor por evaporación ( $h_e$ )

La relación Lewis, describe la relación entre la transferencia de calor por convección y los coeficientes de transferencia de masa para una superficie. “La relación Lewis se puede utilizar para relacionar los coeficientes de transferencia de calor por convección y evaporación de acuerdo con la ecuación 2.7, donde LR es la relación de Lewis y, en condiciones habituales en interiores, es igual a aproximadamente 205 ° F / psi” (ASHRAE, 2009)

$$LR = \frac{h_e}{h_c} \quad \rightarrow \quad h_e = h_c \cdot LR \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

### 2.2.5 Transferencia de calor por evaporación corregido ( $h_{ec}$ )

Su valor es determinado por la relación.

$$h_{ec} = h_e(14.7/P_t)^{0.45} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Los resultados obtenidos de los coeficientes de transferencia de calor pueden ser observados en la tabla 2.8.

Tabla 2.8.

Cálculo de los coeficientes de transferencia térmica para el Aula 03

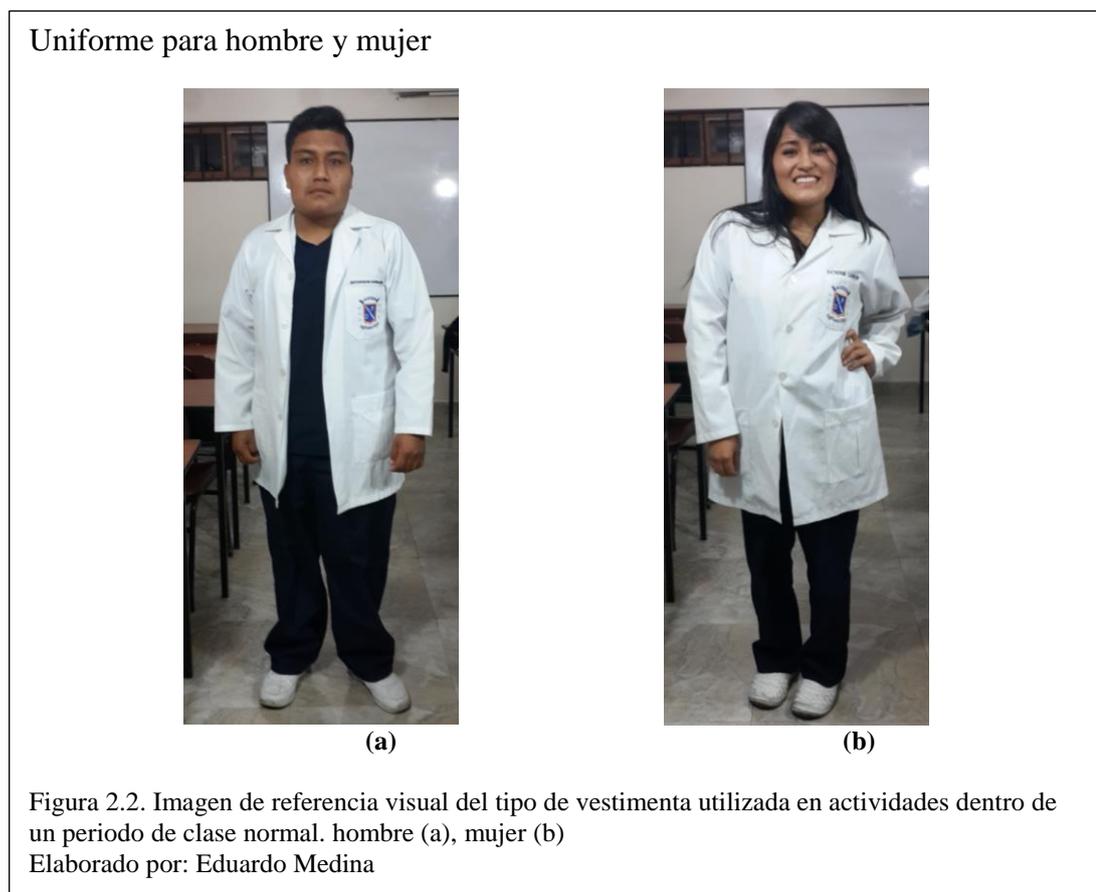
CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR (Btu/h.ft <sup>2</sup> .°F)					
CONDICION	(hr)	(hc)	h <sub>cc</sub> $h_{cc} = h_c(P_t/14,7)^{0.55}$	h <sub>e</sub> = $\frac{h_e}{h_c} \cdot LR$	h <sub>ec</sub> = $1.17h_e$
Caminando con aire quieto hombre	0,83	$h_c = 0,092(324,72)^{0.53}$ 1,97	$h_{cc} = 1,97(10,36/14,7)^{0.55}$ 1,63	$h_e = 1,97 * LR$ 288,43	$h_{ec} = 1,17.288,43$ 337,46
Caminando con aire quieto mujer	0,83	$h_c = 0,092(269,51)^{0.53}$ 1,79	$h_{cc} = 1,79(10,36/14,7)^{0.55}$ 1,48	$h_e = 1,79 * LR$ 316,74	$h_{ec} = 1,17.316,74$ 370,58
Actividades con aire quieto	0,83	$h_c = (1,26 - 0,85)^{0.39}$ 0,71	$h_{cc} = 0,71(10,36/14,7)^{0.55}$ 0,59	$h_e = 0,71 * LR$ 125,64	$h_{ec} = 1,17.125,64$ 147,00

Nota: las unidades de RL deben transformarse a libras por pie. Fuente: Fundamental (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

### 2.3 Aislamiento térmico

Estudiar el nivel de aislamiento térmico nos permite determinar de manera precisa la carga térmica generada por el cuerpo a causa del tipo de vestimenta utilizada en el desarrollo de las distintas actividades. Para determinar el nivel de aislamiento de la ropa, se realiza una estimación de dichos valores, según el tipo de vestimenta utilizada por la población del Aula 03 durante las actividades normales de un día de clases cualquiera, tanto para hombres, como para mujeres. “Su unidad de medida es el *clo* (1.0 *clo* es equivalente a  $0,88 \text{ ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{h}/\text{BTU}$ .)” (ASHRAE, 2009)

En la figura 2.2 se puede apreciar el tipo de vestimenta utilizado en horas normales de clase para la estimación y referencia del tipo de ropa y determinación de los valores adecuados de aislamiento térmico de cada prenda de vestir (Iclu,i)



Estos valores se resumen en la tabla 2.9 que contiene los valores de aislamiento térmico para hombre y la tabla 2.10 los valores de aislamiento térmico para mujeres.

Tabla 2.9.

Estimación del aislamiento térmico de prendas de vestir para la población masculina del Aula 03

DESCRIPCION DE LA PRENDA	Iclu, i
Calzoncillo	0.04
Camiseta	0.08
Medias de caña alta	0.06
Pantalones rectos (delgados)	0.30
Camiseta (manga corta, cuello en V)	0.19
Mandil	0.31
<b>TOTAL</b>	<b>0.98 clo</b>

Nota: valores tomados de la tabla 8, cáp.9, pág. 178, Fundamental (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

El mayor aislamiento térmico se encuentra en el uso de la prenda mandil.

Tabla 2.10.

Estimación del aislamiento térmico de prendas de vestir para la población femenina del Aula 03

DESCRIPCION DE LA PRENDA	Iclu, i
Pantis	0.03
Brasier	0.04
Camiseta	0.08
Medias tobilleras	0.03
Pantalones rectos (delgados)	0.30
Camiseta (manga corta, cuello en V)	0.19
Mandil	0.31
<b>TOTAL</b>	<b>0.98 clo</b>

Nota: valores tomados de la tabla 8, cáp.9, pág. 178, Fundamentals (ASHRAE, 2009)

Elaborado por: Eduardo Medina

El valor determinado para hombres y el valor obtenido para el aislamiento térmico de las mujeres coincide para este caso de estudio debido a que se utilizan prendas similares.

Para calcular el aislamiento de un conjunto de ropa este “se calcula a partir de los valores individuales utilizando una fórmula de sumatoria como lo sugiere (McCullough y Jones 1984)” (ASHRAE, 2009)

$$I_{cl} = 0,835 \sum_i I_{clu,i} + 0,161 \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

Donde:  $I_{clu,i}$  = aislamiento eficaz de prenda de vestir

$I_{cl}$  = es el aislamiento de todo el conjunto.

Con los valores para hombres ( $I_{clu,i} = 0,98 \text{ clo}$ ) y mujeres ( $I_{clu,i} = 0,98 \text{ clo}$ ) se procede a aplicar la ecuación 2.10, obteniendo el siguiente resultado:

$$I_{cl} = 0,835 \times 0,98 + 0,161 = 0,9793 \text{ (clo) para ambos casos}$$

### **2.3.1 Medición de temperatura de bulbo seco (TBS) y bulbo húmedo (TBH)**

Con el fin de determinar el porcentaje de humedad relativa existente en el ambiente del Aula 03 se procede a realizar mediciones de temperatura por el método conocido como Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH), para ello se da a continuación las observaciones generales para el procedimiento de medición tomadas del protocolo para la medición de estrés térmico (Ministerio de salud Chile, 2013):

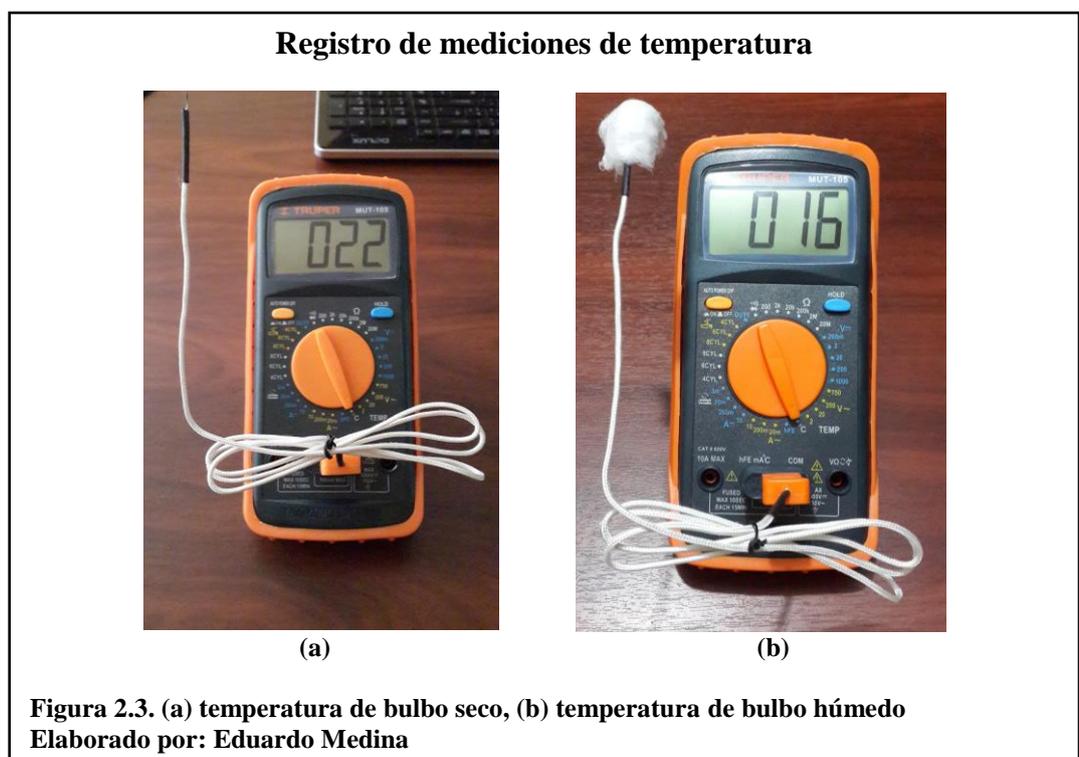
- La evaluación debe realizarse en los momentos que se presenten las peores condiciones térmicas, en la hora u horas de mayor temperatura de la jornada laboral. Para efectos del presente estudio se tomarán dichas mediciones durante el día (de 10h00 a 13h00) y la noche (de 17h30 a 20h30) para las condiciones ambientales que se presenten el día de las mediciones, mismas que se detallaran en cada tabla de valores obtenidos.
- Cada lectura de evaluación tendrá una duración de 15 minutos.
- Siempre se deberá calcular la unidad de temperatura en °C (grados Celsius).
- Chequear estado de batería u otra conexión que pueda tener el equipo.

El procedimiento a seguir es el siguiente para la toma de temperatura de bulbo seco (TBS):

- Para realizar este proceso se debe conectar el módulo de verificación e iniciar la detección de la lectura. Si esta tiene una precisión dentro de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  de los valores entregados por el fabricante, el equipo puede ser utilizado en la medición. El equipo a utilizarse consta de un multímetro marca TRUPER, modelo MUT-105 con termocupla tipo K, rango de  $-40^\circ\text{C}$  a  $1000^\circ\text{C}$  con una precisión de  $\pm 5\%$ .

El procedimiento a seguir para la toma de temperatura de bulbo húmedo (TBH) es el siguiente:

- El sensor debe cumplir con las siguientes características: Zona sensible del sensor, en forma cilíndrica.
- La parte sensible completa debe estar provista de una mecha blanca de un material altamente absorbente de agua (algodón).
- La mecha debe estar tejida en forma de manga y debe quedar ajustada con precisión sobre el sensor.
- La mecha debe mantenerse limpia.
- el sensor de TBH debe humedecerse, revisando que el algodón tenga contacto con el agua destilada y esperar al menos 10 minutos para que el sensor se ambiente (estabilice), teniendo presente lo indicado en los puntos anteriores.
- Para determinar la ubicación (altura) del equipo y número de lecturas, se debe comprobar la homogeneidad de la temperatura en los alrededores del puesto de trabajo a distintas alturas (desde nivel de piso), tomando tres lecturas de preferencia. Para nuestro caso, se realizaron mediciones a nivel de las mesas de trabajo en el aula (0, 80 metros desde el piso), con un total de tres mediciones en distintos puntos del aula. En la figura 2.3 se puede apreciar los valores obtenidos para las mediciones de temperatura de bulbo seco y húmedo para el aula 03.



Con los valores de las mediciones obtenidos se realiza una tabulación de datos para proceder a determinar el valor de humedad relativa de las diferentes áreas de la edificación, dichos valores se encuentran registrados en la tabla 2.11 para mediciones tomadas en el día y la tabla 2.12 registra las temperaturas tomadas en la noche, que se muestra en conjunto con la determinación del porcentaje de humedad relativa.

### **2.3.2 Obtención de valores de humedad relativa**

Para calcular el valor de humedad relativa se recurre al software especializado (Hand Down Software V3.1.61) que permite determinar el valor de la humedad relativa expresado en porcentaje con solo introducir los valores de temperatura por bulbo seco y bulbo húmedo en los campos disponibles, una vez colocados los valores el software nos desplegará el valor del porcentaje de humedad relativa de manera automática, así como también la ubicación gráfica de este porcentaje en una curva isotérmica.

Debido al alto costo de una licencia profesional se utiliza una versión estándar gratuita, que por características comerciales establece la presión atmosférica ( $P_t=760\text{mmhg}$ ) suficiente para poder obtener valores referenciales estimados, que para los cálculos del presente estudio son valores aceptables, pues se pretende conocer estos valores con la ayuda de un software especializado siendo éste la mejor opción al ser un software especializado.

Si se busca una referencia visual de los porcentajes de humedad relativa calculados con el software para el Aula 03, así como también de su uso, refiérase al anexo 2.

La tabla 2.11 contiene los resultados obtenidos de humedad relativa para las distintas áreas de la edificación generados para el día, mientras que la tabla 2.12 los valores generados para la noche.

Tabla 2.11.

Porcentajes de humedad relativa para las distintas áreas de la edificación generados en el día.

UBICACIÓN		TEMPERATURA °C		TEMPERATURA °F		HUMEDAD RELATIVA (%)
		BULBO SECO	BULBO HUMEDO	BULBO SECO	BULBO HUMEDO	
SUBSUELO	AULA 01	18	16	64,40	60,80	81,80
	BODEGA	17	16	62,60	60,80	90,50
	QUIROFANO	19	16	66,20	60,80	73,80
	COMEDOR	18	15	64,40	59,00	73,10
	BAR	18	16	64,40	60,80	81,80
	BAÑOS	18	15	64,40	59,00	73,10
PLANTA BAJA	AULA 02	22	17	71,60	62,60	61,00
	SECRETARIA	23	17	73,40	62,60	55,00
	BAÑO SECRETARIA	20	18	68,00	64,40	82,70
	AULA 03	20	17	68,00	62,60	74,50
	COMEDOR PROFESORES	18	16	64,40	60,80	81,80
	SALON DE ACTOS	20	16	68,00	60,80	66,60
PISO UNO	COPIADORA	22	17	71,60	62,60	61,00
	SALA PROFESORES	20	16	68,00	60,80	66,60
	BAÑO PROFESORES	19	15	66,20	59,00	65,70
	AULA 04	21	17	69,80	62,60	67,40
	BAÑO AULA 04	19	16	66,20	60,80	73,80
	LAB. ENFERMERIA	22	19	71,60	66,20	75,70
	BAÑO LABORATORIO	19	17	66,20	62,60	82,20
	CAPILLA	21	18	69,80	64,40	75,10
OFICINA DIRECCION	21	17	69,80	60,80	67,40	
PISO DOS	AULA 05	20	17	68,00	62,60	74,50
	SALA ESPERA	21	17	69,80	60,80	67,40
	OFICINA SUBDIRECCION	23	17	73,40	62,60	55,00
	BAÑO SUBDIRECCION	20	17	68,00	62,60	74,50
	SALA MULTIMEDIA	22	17	71,60	62,60	61,00
	AULA 06	23	18	73,40	64,40	61,90

Nota: temperatura ambiente para el día (cielo despejado con el sol en su acimut máximo)  
 $T=26^{\circ}\text{C}=78,8^{\circ}\text{F}$ , datos tomados de 10h00 a 13h00, Elaborado por: Eduardo Medina

En cada tabla se ha resaltado el valor correspondiente a la muestra escogida (Aula 03)

Tabla 2.12.

Porcentajes de humedad relativa para las distintas áreas de la edificación generados en la noche.

UBICACIÓN		TEMPERATURA °C		TEMPERATURA °F		HUMEDAD RELATIVA (%)
		BULBO SECO	BULBO HUMEDO	BULBO SECO	BULBO HUMEDO	
SUBSUELO	AULA 01	18	15	66,20	60,80	73,10
	BODEGA	17	14	62,60	57,20	72,40
	QUIROFANO	19	16	66,20	60,80	73,80
	COMEDOR	18	15	64,40	59,00	73,10
	BAR	19	16	66,20	60,80	73,80
	BAÑOS	18	15	64,40	59,00	73,10
PLANTA BAJA	AULA 02	20	16	68,00	60,80	66,60
	SECRETARIA	20	15	68,00	59,00	59,00
	BAÑO SECRETARIA	18	15	64,40	59,00	73,10
	AULA 03	19	15	66,20	59,00	65,70
	COMEDOR PROFESORES	19	16	66,20	60,80	73,80
	SALON DE ACTOS	19	15	66,20	59,00	65,70
PISO UNO	COPIADORA	19	15	66,20	59,00	65,70
	SALA PROFESORES	19	15	66,20	59,00	65,70
	BAÑO PROFESORES	18	15	64,40	59,00	73,10
	AULA 04	19	15	66,20	59,00	65,70
	BAÑO AULA 04	18	15	64,40	59,00	73,10
	LAB. ENFERMERIA	20	16	68,00	60,80	66,60
	BAÑO LABORATORIO	19	15	66,20	59,00	65,70
	CAPILLA	20	16	68,00	60,80	66,60
	OFICINA DIRECCION	19	15	66,20	59,00	65,70
PISO DOS	AULA 05	20	15	68,00	59,00	59,00
	SALA ESPERA	21	15	69,80	59,00	52,80
	OFICINA SUBDIRECCION	22	16	71,60	60,80	54,00
	BAÑO SUBDIRECCION	20	15	68,00	59,00	59,00
	SALA MULTIMEDIA	21	15	69,80	59,00	52,80
	AULA 06	20	16	68,00	60,80	66,60

Nota: temperatura ambiente para la noche = 16 °C = 60,8 °F, datos tomados de 19h30 a 21h00,  
Elaborado por: Eduardo Medina

La figura 2.4 a continuación establece la zona de confort aceptable para verano e invierno, para rangos de temperatura y humedad operativas, con una velocidad del aire  $\leq 40$  [fpm], un aislamiento térmico entre 1 y 0.5 [clo] durante una actividad primaria sedentaria.

Curva psicométrica de rangos aceptables de humedad

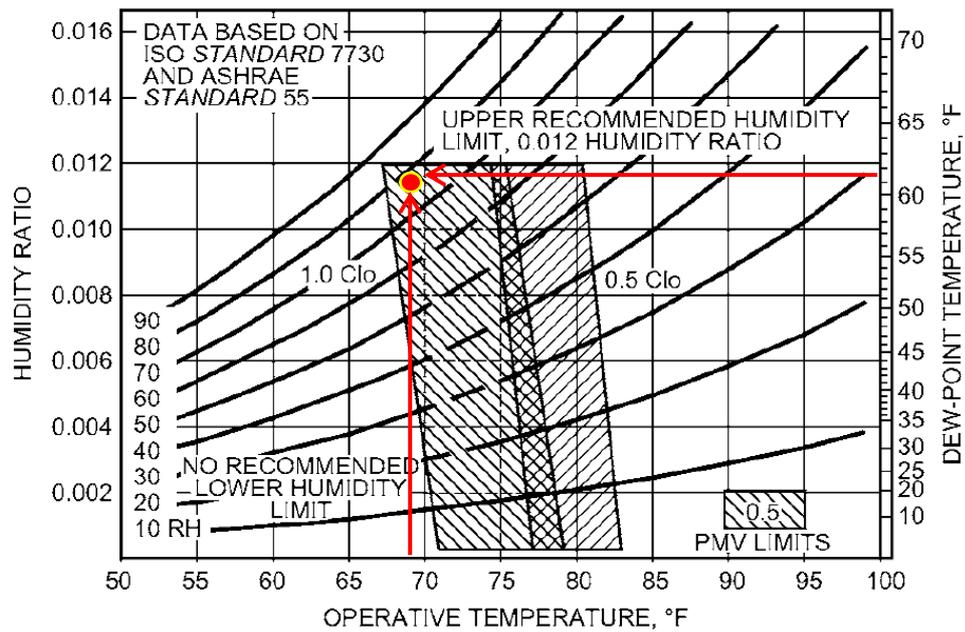


Figura 2.4. Determinación del porcentaje de humedad relativa obtenida para el Aula 03  
Elaborado por: Eduardo Medina

Se puede observar en la figura 2.4 que en el eje horizontal se encuentran los valores de temperatura operativa (o de bulbo seco) y en el eje vertical derecho la escala determina las temperaturas de bulbo húmedo (TBH) en escala Fahrenheit. Buscando la intersección entre la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo determinamos sobre la escala del gráfico el valor correspondiente a la humedad relativa, para conocer el rango entre el cual se encuentran los valores de la intersección nos guiamos en las líneas ascendentes desde el eje vertical derecho. Si el valor de la intersección se encuentra dentro de los límites de la malla sombreada dicho valor indicará que estamos dentro del límite aceptable de humedad que establece la norma.

De acuerdo con los resultados obtenidos ( $I_{cl}=0,9793 \text{ clo}$  para ambos casos,  $h_r = 74,50 \%$ ,  $M=1,3 \text{ met}$ ,  $TBS=74,50^\circ F$ ,  $TBH=65,70^\circ F$ ) el Aula 03 de la edificación perteneciente al Centro Educativo “Dante Pazzanese” está dentro de los rangos establecidos como límites de la zona de confort. Ahora se comprueba si las áreas analizadas cumplen con estar dentro de la zona de confort aceptable determinada por ASHRAE, la tabla 2.13 contiene el resultado.

Tabla 2.13.

Determinación de la zona de confort aceptable para cada área

UBICACIÓN		HUMEDAD RELATIVA (%)	ZONA DE CONFORT TERMICO ACEPTABLE
SUBSUELO	AULA 01	81,80	NO
	BODEGA	90,50	NO
	QUIROFANO	73,80	NO
	COMEDOR	73,10	NO
	BAR	81,80	NO
	BAÑOS	73,10	NO
PLANTA BAJA	AULA 02	61,00	SI
	SECRETARIA	55,00	SI
	BAÑO SECRETARIA	82,70	NO
	AULA 03	74,50	SI
	COMEDOR PROFESORES	81,80	SI
	SALON DE ACTOS	66,60	NO
PISO UNO	COPIADORA	61,00	NO
	SALA PROFESORES	66,60	SI
	BAÑO PROFESORES	65,70	NO
	AULA 04	67,40	SI
	BAÑO AULA 04	73,80	NO
	LAB. ENFERMERIA	75,70	NO
	BAÑO LABORATORIO	82,20	NO
	CAPILLA	75,10	NO
	OFICINA DIRECCION	67,40	SI
PISO DOS	AULA 05	74,50	SI
	SALA ESPERA	67,40	SI
	OFICINA SUBDIRECCION	55,00	SI
	BAÑO SUBDIRECCION	74,50	SI
	SALA MULTIMEDIA	61,00	SI
	AULA 06	61,90	NO

**Nota:** En el anexo 3 puede encontrar los puntos de humedad relativa diagramados en el software Hands Down, Elaborado por: Eduardo Medina

Para determinar el cumplimiento de la norma se utiliza la curva psicométrica proporcionada por ASHRAE que se encuentra en la figura 2.4.

## 2.4 Fenestración

Ahora se procede a analizar la estructura, superficie, disposición de puertas y ventanales para verificar que exista una apropiada transferencia térmica entre la temperatura ambiente y la temperatura interna del área (Aula 03) mediante la cual se pueda regular la temperatura generada por el calor metabólico resultante de las

actividades realizadas en el horario normal de clases de la muestra, para ello se debe determinar en primera instancia el U-Factor.

#### **2.4.1 Determinación del U-Factor**

U-factor mide la velocidad de transferencia de calor a través de la ventana (del interior al exterior cuando hace frío, y desde el exterior hacia el interior cuando está caliente) por unidad de superficie y por unidad de diferencial de temperatura. Sus unidades típicas son  $\text{BTU/h.ft}^2.\text{°F}$ . Cuanto menor sea el factor U, la energía calorífica se escapa menos en el invierno, he ingresa más calor en el verano. (David Paulus, U-factor, SHGC, CR, VT, Air Infiltration, Wasco, 2014)

Para determinar los valores a utilizarse en el presente cálculo, se toma los datos previamente citados en la tabla 3, donde se describen los materiales y dimensiones de los ventanales y puertas.

Al no poseer datos técnicos sobre la fabricación de los ventanales, y al ser estos de madera, aluminio con vidrios de (1/ 8 in) se considera un valor de emisividad máximo de ( $e = 0.1$ ), donde el U-Factor para los ventanales de aluminio es de (1,23  $\text{BTU/h.ft}^2.\text{°F}$ ) y para los ventanales de madera (0,91  $\text{BTU/h.ft}^2.\text{°F}$ ), según la tabla 4 del capítulo 15 (ASHRAE, 2009)

#### **Cálculo del área efectiva del vidrio por ventanal**

Ventanal 1:

$$3 \text{ divisiones de } (0.845\text{m}\times 0.98\text{m} + 2(0.775\text{m}\times 0.95\text{m})) = 2,30 \text{ m}^2 = 7,55 \text{ ft}^2$$

Ventanal 2:

$$5 \text{ divisiones de } (3(0,255\text{m}\times 0,68\text{m}) + 2(0,20\text{m}\times 0,625)) = 0,71 \text{ m}^2 = 2,33 \text{ ft}^2$$

Ventanal 3:

$$2 \text{ divisiones de } (2(0,285\text{m}\times 0,675\text{m})) = 0,39 \text{ m}^2 = 1,26 \text{ ft}^2$$

#### **2.4.2 Cálculo del flujo de calor**

Para el cálculo del flujo de calor a través de los ventanales en Aula 03, se utiliza la fórmula:

$$Q = U\text{-Factor} * A * \Delta T \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

los datos obtenidos se muestran en la tabla 2.14. y 2.15

Tabla 2.14.

Cálculo del flujo de calor por ventanales en el día

<b>AULA 03</b>	<b>TEMP. INTERNA</b>	<b>AREA DEL VIDRIO</b>	<b>TEMP. AMBIENTE</b>	<b>U-FACTOR</b>	<b>FLUJO DE CALOR</b>
<b>Nro</b>	<b>°F</b>	<b>ft2</b>	<b>°F</b>	<b>BTU/h. ft<sup>2</sup>.°F</b>	<b>BTU/h</b>
VENTANAL 1	68	7,55	78,8	1,23	100,29
VENTANAL 2	68	2,33	78,8	0,91	22,90
VENTANAL 3	68	1,26	78,8	1,23	16,74
<b>TOTAL</b>					<b>139,93</b>

Nota: el diferencial de temperatura se obtiene de restar la temperatura ambiente de la temperatura interna ( $\Delta T=10,8$  °F), Fuente: Fundamental (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

Los tres ventanales del Aula 03 logran evacuar una carga de calor correspondiente a 139,93 BTU/h

Tabla 2.15.

Cálculo del flujo de calor por ventanales en la noche

<b>AULA 03</b>	<b>TEMP. INTERNA</b>	<b>AREA DEL VIDRIO</b>	<b>TEMP. AMBIENTE</b>	<b>U-FACTOR</b>	<b>FLUJO DE CALOR</b>
<b>Nro.</b>	<b>°F</b>	<b>ft2</b>	<b>°F</b>	<b>BTU/h. ft<sup>2</sup>.°F</b>	<b>BTU/h</b>
VENTANAL 1	66,20	7,55	60,80	1,23	50,15
VENTANAL 2	66,20	2,33	60,80	0,91	11,45
VENTANAL 3	66,20	1,26	60,80	1,23	8,37
<b>TOTAL</b>					<b>69,97</b>

Nota: el diferencial de temperatura se obtiene de restar la temperatura ambiente de la temperatura interna ( $\Delta T=5,4$  °F), Fuente: Fundamental (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

Para el cálculo del calor generado por actividad metabólica para toda la población de la muestra en estudio, se toma el valor de la potencia generada de la tabla 2.6 tanto, para hombres, como para mujeres y se multiplica por su número correspondiente de individuos.

Tabla 2.16.  
Calor total generado en el Aula 03

	<b>POTENCIA GENERADA</b>	<b>PERSONAS</b>	<b>CALOR GENERADO</b>
	<b>BTU/h</b>	<b>#</b>	<b>Qh (BTU/h)</b>
HOMBRE	409,63	4	1638,52
MUJER	386,27	31	11974,37
	<b>TOTAL</b>		<b>13612,89</b>

Nota: se observa el calor total circulante en el aula 03, Fuente: Fundamentals (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

El calor restante  $Q_r$  se obtiene de la diferencia entre el calor total generado menos el flujo de calor en el día y la noche. Su valor se muestra en la tabla 2.17.

Tabla 2.17.  
Calor restante

	<b>Q<sub>r</sub> (BTU/h)</b>	
<b>LUGAR</b>	<b>DIA</b>	<b>NOCHE</b>
AULA 03	13472,96	13542,92

Nota: se obtiene de la diferencia entre el calor total generado y el flujo de calor por los ventanales Fuente: Fundamentals (ASHRAE, 2009), Elaborado por: Eduardo Medina

La tabla 2.17 muestra el valor correspondiente al calor que no se logra evacuar a través de los ventanales y que se mantiene en el Aula 03.

## 2.5 Iluminación

En el desarrollo de esta sección se utiliza la luminotecnica (definiciones y fórmulas) para realizar los cálculos que permitan identificar y determinar las condiciones actuales del sistema de iluminación instalado.

### 2.5.1 Toma de mediciones de flujo luminoso por unidad de superficie (LUX)

Se utilizará un Luxómetro digital compacto modelo TM-204 TENMARS (ver figura 2.5.) con el cual se toma las mediciones de flujo luminoso existente en cada área de la edificación, ésta se la realiza de forma perimetral (recorriendo el contorno del Aula) y vertical colocando el instrumento a la distancia de trabajo (sobre la mesa de trabajo) desde la fuente emisora de luz (0,80 metros desde el suelo, 1,50 metros desde la fuente de luz).

### Luxómetro digital compacto



Figura 2.5. Instrumento digital para medición de luxes

Fuente: <http://www.fnac.es/mp1533376/Luxometro-digital-compacto-modelo-TM-204/w-4>

Las mediciones se toman considerando la incidencia tanto de luz artificial y luz ambiental para el día y la noche, con cielo despejado.

#### Especificaciones:

- Compatible con unidades de nivel de iluminación LUX y FC (foot candle o candelas por pie).
- Visor digital de 3,5" para una cómoda y fácil lectura de los valores con un máximo de 2000 unidades.
- Sensor basado en foto-diodo y filtro.
- Rango: 200, 2000, 20000 o 200000 LUX o bien 20, 200, 2000 o 20000 FC.
- Precisión: +/- 3% (calibrado a una lámpara incandescente estándar de 2856°K) o bien +/- 8% (otro tipo de fuente lumínica visible).

En la tabla 2.21 se encontrarán los valores medidos y ponderados de los valores de flujo luminoso medidos en cada área para su analizar su contraste respecto a los valores establecidos por la norma UNE 12464.1

#### **2.5.2 Aplicación de la norma UNE 12464.1 en los espacios de interés**

Con la finalidad de cumplir con las recomendaciones de calidad, seguridad, confort visual, ambientes agradables y confortables para los usuarios de las instalaciones, se tomarán los valores unificados de luminosidad que dicta la presente norma. En la tabla 2.18 se presentan los valores recopilados y medidos en LUX para las diferentes secciones de la edificación, mientras que en la tabla 2.19 se encuentra la interpretación

del cumplimiento o no de la norma para los valores tomados en el día. La tabla 2.20 muestra la interpretación con respecto a la norma para la noche.

Tabla 2.18.

Recopilación de valores utilizados para aplicación de la Norma UNE 12464.1 en las instalaciones del Centro Educativo “Dante Pazzanese”.

<b>ESTABLECIMIENTOS SANITARIOS</b>	
<b>LUGAR</b>	<b>Emisividad Media LUX</b>
SALA DE TRATAMIENTO GENERAL	500
SALAS DE PREPARACION Y RECUPERACION	500
BAÑOS	200
<b>AREAS DE OPERACIÓN</b>	
<b>LUGAR</b>	<b>Emisividad Media LUX</b>
SALAS DE OPERACIÓN	1000
QUIROFANO	1000-5000
<b>LABORATORIOS Y FARMACIA</b>	
<b>LUGAR</b>	<b>Emisividad Media LUX</b>
ALUMBRADO GENERAL	500
<b>EDIFICIOS EDUCATIVOS</b>	
<b>LUGAR</b>	<b>Emisividad Media LUX</b>
AULAS PARA CLASE NOCTURNA Y EDUCACION DE ADULTOS	500
PIZARRA	500
AULAS DE PRACTICA Y LABORATORIOS	500
HALL DE ENTRADA	200
AREAS DE CIRCULACION Y PASILLOS	100
ESCALERAS	150
SALA DE PROFESORES	300
BODEGA PROFESORES	100
COCINA	500
<b>OFICINAS</b>	
<b>LUGAR</b>	<b>Emisividad Media LUX</b>
COPIADORA, ARCHIVO, ETC	300
ESCRITURA, ESCRITURA A MAQUINA, TRATAMIENTO DE DATOS, ETC.	500
SALA DE CONFERENCIA Y REUNIONES	500
RECEPCION, CAJA, BUFFET	300
RAMPAS DE ACCESO, AREA DE APARCAMIENTO (NOCHE)	75
CANTINAS ESCOLARES	200

Nota: tabla resumida elaborada para los criterios de diseño de iluminación del Centro Educativo Dante Pazzanese. Fuente: Norma UNE 12464.1, Elaborado por: Eduardo Medina

Tabla 2.19.

Determinación del cumplimiento de los niveles de iluminación según la norma UNE 12464.1 para el día.

<b>TABLA DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE 12464.1 CON MEDICION DE FLUJO LUMINOSO (LUX)EN EL DIA</b>					
	<b>UBICACIÓN</b>	<b>Em REF</b>	<b>Em MEDIDO</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>OBSERVACION</b>
<b>SUBSUELO UNO</b>	AULA 01	500	381	NO	zona de pizarra 327, norma 500
	BODEGA	100	100	SI	
	QUIROFANO	1000	67	NO	se toma el valor de sala de operación, debido a que este espacio se lo utiliza con fines de aprendizaje
	COMEDOR	200-300	100	NO	
	BAR	500	319	NO	
	BAÑOS	100-200	145	SI	
<b>PLANTA BAJA</b>	AULA 02	500	810	SI	zona de pizarra 302, NORMA 500
	SECRETARIA	500	2449	SI	
	BAÑO SECRETARIA	100-200	125	SI	
	AULA 03	500	342	NO	zona de pizarra 217, norma 500
	COMEDOR PROFESORES	200-300	241	SI	
	SALON DE ACTOS	500	515	SI	
<b>PISO UNO</b>	COPIADORA	300	525	SI	
	SALA DE PROFESORES	300	1137	SI	
	BAÑO PROFESORES	200	313	SI	
	AULA 04	500	802	SI	zona de pizarra 290, norma 500
	BAÑO AULA 04	100-200	152	SI	
	LABORATORIO DE ENFERMERIA	500	1549	SI	
	BAÑO LABORATORIO	100-200	171	SI	
	CAPILLA	300	13462	SI	
	OFICINA DIRECCION	500	1933	SI	
<b>PISO DOS</b>	AULA 05	500	2459	SI	zona de pizarra 1500, norma 500
	SALA ESPERA	300	411	SI	
	OFICINA SUBDIRECCION	500	1725	SI	
	BAÑO SUBDIRECCION	100-200	640	SI	
	SALA MULTIMEDIA	500	1740	SI	
	AULA 06	500	770	SI	zona de pizarra 529, norma 500

Nota: los valores se midieron en un día despejado y soleado (hora: 10h00 – 14h00), Em es la emisividad media medida en LUX, Elaborado por: Eduardo Medina

Tabla 2.20.

Determinación del cumplimiento de los niveles de iluminación según la norma UNE 12464.1 para la noche.

<b>TABLA DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE 12464.1 CON MEDICION DE LUXES EN LA NOCHE</b>					
	<b>UBICACIÓN</b>	<b>Em REF</b>	<b>Em MED</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>OBSERVACION</b>
<b>SUBSUELO UNO</b>	AULA 01	500	275	NO	zona de pizarra 213, norma 500
	BODEGA	100	77	NO	
	QUIROFANO	1000	60	NO	se toma el valor de sala de operación, debido a que este espacio se lo utiliza con fines de aprendizaje
	COMEDOR	200-300	56	NO	
	BAR	500	233	NO	
	BAÑOS	100-200	92	NO	
<b>PLANTA BAJA</b>	AULA 02	500	101	NO	zona de pizarra 81, NORMA 500
	SECRETARIA	500	229	NO	
	BAÑO SECRETARIA	100-200	110	SI	
	AULA 03	500	225	NO	zona de pizarra 150, norma 500
	COMEDOR PROFESORES	200-300	127	NO	
	SALON DE ACTOS	500	114	NO	
<b>PISO UNO</b>	COPIADORA	300	14	NO	
	SALA DE PROFESORES	300	23	NO	
	BAÑO PROFESORES	200	121	NO	
	AULA 04	500	78	NO	zona de pizarra 65, norma 500
	BAÑO AULA 04	100-200	66	NO	
	LABORATORIO DE ENFERMERIA	500	214	NO	
	BAÑO LABORATORIO	100-200	234	SI	
	CAPILLA	300	102	NO	
	OFICINA DIRECCION	500	123	NO	
<b>PISO DOS</b>	AULA 05	500	184	NO	zona de pizarra 223, norma 500
	SALA ESPERA	300	24	NO	
	OFICINA SUBDIRECCION	500	45	NO	
	BAÑO SUBDIRECCION	100-200	163	SI	
	SALA MULTIMEDIA	500	153	NO	
	AULA 06	500	148	NO	zona de pizarra 165, norma 500

Nota: los valores fueron tomados en la noche (hora: 19h00 - 21h00) con cielo despejado. Em es la emisividad media medida en LUX, Elaborado por: Eduardo Medina

### 2.5.3 Cálculos y simulación del tendido actual de luminarias

Con el objetivo de atender las necesidades inmediatas de confort y seguridad; para facilitar el proceso de cálculos se toma como referencia solo los espacios que se considere primordiales y necesarios.

- Subsuelo: Aula 01, Quirófano, Comedor, baños.
- Planta baja: Aula 02, Aula 03, Secretaria, Salón de Actos.
- Primer piso: Aula 04, Laboratorio de Enfermería, Oficina Dirección.
- Piso dos: Aula 05, Aula 06.

Se procede con los cálculos para determinar matemáticamente mediante los conceptos, criterios y fórmulas de luminotecnia y diseño de espacios interiores, si las áreas en análisis cumplen o no con los niveles de luminosidad, temperatura del color, tipo de luminaria, y potencia acorde a la Norma UNE 12464.1.

Considerando que el horario de funcionamiento de la institución inicia a las 7:30 am y finaliza a las 8:00 pm de lunes a viernes con distintos horarios que comprenden 2 horas diarias de clase y sábados horario matutino con 5 horas de clase, se obtuvo los siguientes valores que pueden apreciarse en la tabla 2.21.

Tabla 2.21.  
Determinación de horas laboradas al año.

CALCULO DE HORAS LABORADAS AL AÑO			
TOTAL, HORAS DIA AL AÑO L-V	1200	UNIFICADO HORAS DIA AL AÑO	1968
TOTAL, HORAS DIA AL AÑO SABADOS	288		
TOTAL, HORAS TARDE AÑO L-V	480	UNIFICADO HORAS NOCHE AL AÑO	1008
TOTAL, HORAS NOCHE AL AÑO L-V	1008		
		<b>TOTAL, HORAS AL AÑO</b>	<b>2976</b>

Nota: el total de horas calculadas corresponde únicamente al número de horas laboradas en la institución, Elaborado por: Eduardo Medina

Las áreas seleccionadas previamente, presentan los siguientes dispositivos de iluminación, tipos de focos y luminarias que se resumen en la tabla 2.22.

Tabla 2.22.  
Luminarias y focos encontrados en las áreas escogidas para análisis

LUMINARIAS ACTUALES INSTALADAS						
FABRICANTE	TIPO	W	TEMP. COLOR K	Lm	(V)	VIDA UTIL
SYLVANIA	Fluorescente compacta	23	6500	1450	120-127	12000
SYLVANIA	Fluorescente de alta potencia	85	6500	4900	120-128	8000
SYLVANIA	Fluorescente compacta	24	6500	1500	120-129	12000
OSRAM	Fluorescente	40	6500	2500	120-130	8000
BLITZ	LED	6	3000	450	110-130	15000

Nota: se encontró que en su mayoría la tecnología utilizada para alumbramiento en la edificación corresponde a iluminación fluorescente tubular con casquillo T12 del tipo montado, dobles sin difusor,  
Elaborado por: Eduardo Medina

Para poder determinar los índices actuales de luminosidad mediante el uso de fórmulas, se debe aplicar una serie de pasos que permite encontrar factores y coeficientes necesarios para los cálculos. Y son los siguientes:

- a. Dimensiones del local: altura, ancho, largo.

Se resumen en la tabla 2.25.

- b. Nivel de iluminación Em (LUX) de acuerdo al uso.

Se encuentra sus valores en la tabla 25, así como el exigido por la norma.

- c. Elección del tipo de lámpara y tipo de alumbrado.

En base a la información recolectada en la tabla 2.20, se investiga el tipo de alumbrado que posee cada clase de luminaria instalada, para en lo posterior (Capítulo 3) tomar las correcciones necesarias con el criterio correcto para cada aplicación.

- d. Determinación del índice del local (k).

Para su estimación nos valdremos de la ecuación 2.7.

$$K = \frac{L \times A}{H \times (L + A)} \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

Donde:

*L* = longitud del local

*A* = altura del local

*H* = la distancia al plano de trabajo a las luminarias

- e. Determinación de coeficiente de utilización CU (con el valor del índice del local y los valores de reflexión en paredes y techos, de acuerdo a los colores existentes en las áreas de análisis) Para su determinación se toma los valores de la tabla 2.23 que contiene los coeficientes de reflexión y tabla 2.24 con los valores de los coeficientes de utilización.

Tabla 2.23  
Determinación de los coeficientes de reflexión

Coeficientes de reflexión		
	Color	Factor de reflexión
Techo	Blanco muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	Blanco muy claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	opaco	0.1

Fuente: <http://slideplayer.es/slide/10514303/>

Para determinar (Cu), es necesario realizar el solapamiento entre el índice de utilización y los factores de reflexión del local. En la tabla 2.25 se podrá encontrar los valores calculados de (Cu) para cada área de la edificación.

Tabla 2.24  
Valores para la determinación de Cu

Índice del local k	Factor de utilización Cu								
	Factor de reflexión del techo								
	0.7			0.5			0.3		
	Factor de reflexión de las paredes								
	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
<b>1</b>	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
<b>1.2</b>	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
<b>1.5</b>	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
<b>2</b>	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
<b>2.5</b>	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
<b>3</b>	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
<b>4</b>	.61	.66	.62	.60	.66	.52	.54	.56	.52
<b>5</b>	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
<b>6</b>	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
<b>8</b>	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
<b>10</b>	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Nota: se debe realizar el solapamiento entre los factores de reflexión y el índice K del local  
Fuente: <http://slideplayer.es/slide/10514303/>

f. Factor de mantenimiento  $f_m$ .

$f_m$ , se considera igual a 0,80 ya que se considera un factor de limpieza normal.

g. Cálculo del número de luminarias con sus lámparas correspondientes.

Para obtener su número se usa la ecuación 2.13 y se determina en base a la información técnica recolectada de cada foco y luminaria instalada en las áreas en cuestión, el flujo luminoso de las mismas, así como otros datos relevantes. También se realiza el dimensionamiento del número ideal de luminarias para cumplir la norma con las luminarias actuales instaladas. Sus resultados pueden revisarse en la tabla 2.25.

$$N = \frac{E \times S}{f_m \times C_u \times \phi_l} \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

*Donde:*

$N$ = número de luminarias

$E$ = iluminación requerida en el local (lux)

$S$ = superficie o área del local (m<sup>2</sup>)

$f_m$ = Factor de mantenimiento

$\phi_l$ = flujo luminoso de la luminaria (lm)

Tabla 2.25.

Resumen de cálculos para determinar los niveles actuales de iluminación.

<b>CÁLCULO PARA LA DETERMINACION DE LAS CONDICIONES LUMINOSAS DE LAS ÁREAS ANALIZADAS</b>																
	<b>LUGAR</b>	<b>LARGO</b>	<b>ANCHO</b>	<b>AREA m2</b>	<b>H</b>	<b>LUXES DE LA NORMA</b>	<b>LUXES RECOM.</b>	<b>ΦL</b>	<b>INDICE K</b>	<b>Cu</b>	<b>fm</b>	<b>N OPT</b>	<b>N REC</b>	<b>N INST</b>	<b>Em LUX</b>	<b>OBSERVACION</b>
<b>SUBSUELO</b>	AULA 01	5,50	5,00	27,50	1,50	500	400	5000	1,75	0,45	0,80	8	6	5	327,27	NO CUMPLE
	QUIROFANO	4,90	4,30	21,07	1,50	1000	750	1450	1,53	0,39	0,80	47	35	2	42,94	NO CUMPLE
	COMEDOR BAR	4,90	4,40	21,56	1,50	300	200	1450	1,55	0,39	0,80	14	10	4	83,93	NO CUMPLE
	BAÑO	7,00	4,10	28,70	1,50	200	150	1450	1,72	0,45	0,80	11	8	3	54,56	NO CUMPLE
<b>PLANTA BAJA</b>	AULA 02	5,00	5,50	27,50	1,50	500	400	1450	1,75	0,45	0,80	26	21	4	75,93	NO CUMPLE
	SECRETARIA	5,60	5,50	30,80	1,50	500	400	5000	1,85	0,45	0,80	9	7	3	175,32	NO CUMPLE
	AULA 03	8,75	5,50	48,13	1,50	500	400	4900	2,25	0,45	0,80	14	11	4	146,62	NO CUMPLE
	AUDITORIO	9,90	8,00	79,20	1,50	500	400	1450	2,95	0,54	0,80	63	51	7	55,36	NO CUMPLE
<b>PISO UNO</b>	AULA 04	4,45	4,09	18,20	1,50	500	400	1450	1,42	0,31	0,80	25	20	4	79,03	NO CUMPLE
	LABORATORIO	7,70	5,50	42,35	1,50	500	400	5000	2,14	0,45	0,80	12	9	3	127,51	NO CUMPLE
	OFICINA DIR	3,20	5,50	17,60	1,50	500	400	1450	1,35	0,31	0,80	24	20	2	40,86	NO CUMPLE
<b>PISO DOS</b>	AULA 05	3,30	5,50	18,15	1,50	500	400	450	1,38	0,31	0,80	81	65	4	24,60	NO CUMPLE
	AULA 06	6,43	5,15	33,11	1,50	500	400	5000	1,91	0,45	0,80	9	7	3	163,07	NO CUMPLE

Elaborado por: Eduardo Medina

Nota: H, es la altura medida desde la fuente emisora de luz al espacio de trabajo; N OPT, es el número óptimo; N REC, es el número recomendado; N INST, es el número instalado.

- h. Cálculo de la potencia instalada en W.  
para su determinación se debe considerar la potencia del conjunto de lámparas que conforman la luminaria, así como también el equipo auxiliar de las mismas. En la tabla 2.26 se encuentra debidamente desarrollado su análisis.

#### 2.5.4 Simulación del sistema de iluminación de las áreas analizadas, utilizando DIALuxevo vs. 6

Mediante el ingreso de datos relevantes ya conocidos y dispuestos en las tablas 2.22 y 2.25 se procede a construir el entorno virtual y la distribución de las luminarias para las características del sistema de iluminación instalado actualmente. Obteniendo el siguiente resultado que se pueden verificar en la figura 2.6. Las simulaciones restantes se pueden encontrar en el anexo 3.

#### Simulación y cálculo por software de los niveles de luminosidad

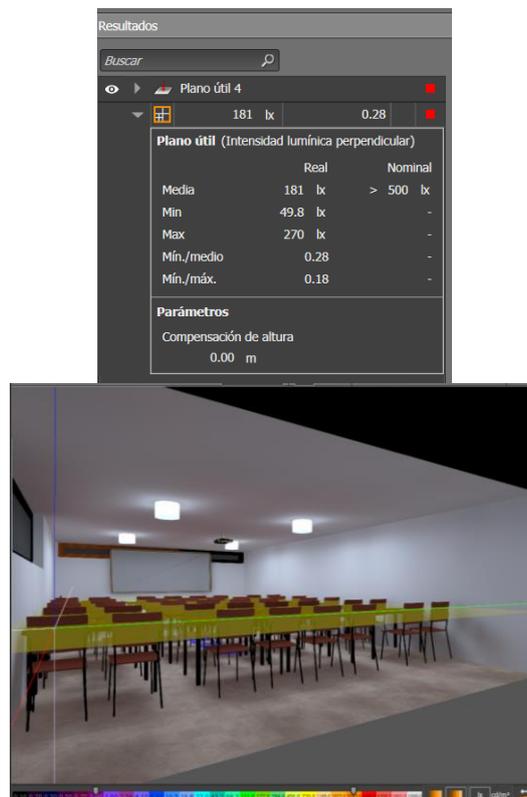


Figura 2.6. Simulación del estado actual de iluminación del Aula 03  
Elaborado por: Eduardo Medina

La figura mostrada presenta información relevante sobre los niveles de iluminación existentes del tendido actual de luminarias del Aula 03. En caso de cumplir con los niveles de la norma visualizaremos un recuadro de color verde con su respectivo valor, caso contrario uno de color rojo.

## 2.6 Análisis del consumo de electricidad

Es necesario calcular el costo de explotación del sistema de iluminación actual para comparar el ahorro a alcanzarse por el nuevo diseño que se está proponiendo. La tabla 2.26 muestra el consumo expresado en kW/h por año y su costo anual.

Tabla 2.26.  
Consumo eléctrico en iluminación de áreas en análisis

CONSUMO ELÉCTRICO EN ILUMINACIÓN PARA LAS ÁREAS EN ANÁLISIS										
	LUGAR	AREA m <sup>2</sup>	ΦL	N	Em LUX	P. Int W	ÍNDICE DE ILUM. kW/m <sup>2</sup>	CONSUMO ANUAL kW/h	COSTO kW/h	COSTO ANUAL USD
SUBSUELO	AULA 01	27,50	5000	5	327,27	745	27,09	2217,12	0,1285	284,90
	QUIRÓFANO	21,07	1450	2	42,94	46	2,18	136,90	0,1285	17,59
	COMEDOR BAR	21,56	1450	4	83,93	69	3,20	205,34	0,1285	26,39
	BAÑO	28,70	1450	3	54,56	69	2,40	205,34	0,1285	26,39
PLANTA BAJA	AULA 02	27,50	1450	4	75,93	92	3,35	273,79	0,1285	35,18
	SECRETARIA	30,80	5000	3	175,32	447	14,51	1330,27	0,1285	170,94
	AULA 03	48,13	4900	4	146,62	340	7,06	1011,84	0,1285	130,02
	AUDITORIO	79,20	1450	7	55,36	161	2,03	479,14	0,1285	61,57
PISO UNO	AULA 04	18,20	1450	4	79,03	92	5,05	273,79	0,1285	35,18
	LABORATORIO	42,35	5000	3	127,51	447	10,55	1330,27	0,1285	170,94
	OFICINA DIR	17,60	1450	2	40,86	46	2,61	136,90	0,1285	17,59
PISO DOS	AULA 05	18,15	450	4	24,60	48	2,64	142,85	0,1285	18,36
	AULA 06	33,11	5000	3	163,07	447	13,50	1330,27	0,1285	170,94
							<b>TOTAL ANUAL</b>			<b>1165,99 \$</b>

Nota: se toma en cuenta las cargas de los equipos auxiliares (balastos 69 W c/u), el costo del kilovatio hora esta tomado del pliego tarifario de enero del 2016 para un rango de consumo mayor a los 500 kW/h mes, que es el rango en el que se encuentra el consumo medio mensual de los 3 medidores (aproximadamente 503 kW/h) de la edificación desde enero a la presente fecha. Para consultarlo refiérase al anexo 4, Elaborado por: Eduardo Medina

## CAPÍTULO 3

### MEDIDAS PARA LOGRAR UNA EFICIENCIA ENERGÉTICA ADECUADA

Todos los esfuerzos se centran en lograr corregir, adaptar, actualizar las carencias de confort y seguridad encontradas e identificadas en el capítulo 2 para proponer diseños de sistemas de iluminación, ventilación, energía limpia que permitan corregir y mejorar el diseño existente en la edificación para satisfacer los requerimientos de las normas acogidas.

#### 3.1 Mejoras térmicas

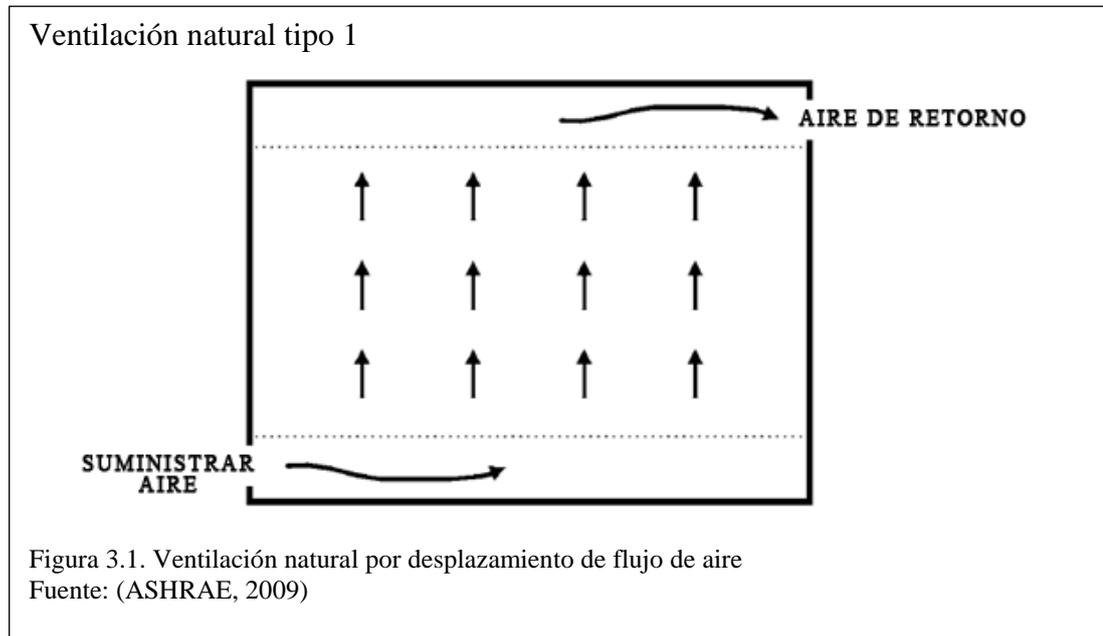
La ventilación es la introducción deliberada de aire desde el exterior a un edificio; se subdivide en la ventilación natural y mecánica.

**La ventilación natural:** es el flujo de aire a través de las ventanas abiertas, puertas, rejas, y otras aberturas del edificio, y que es impulsada por las diferencias de presión naturales y / o producidos artificialmente. (ASHRAE, 2009)

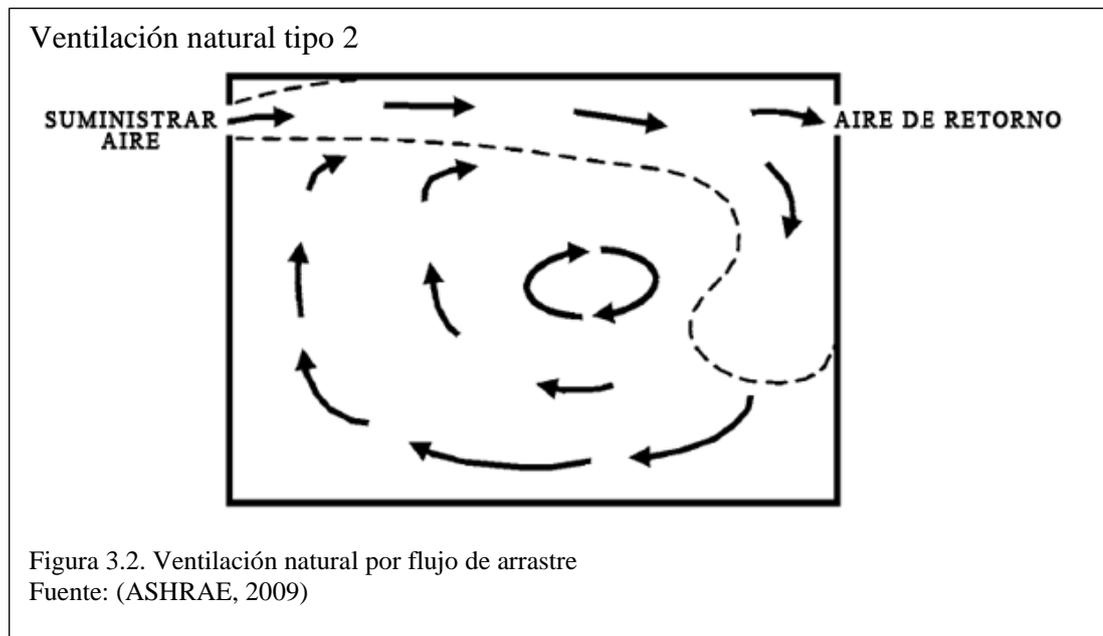
**Mecánica (o forzada):** es el movimiento intencional de aire dentro y fuera de un edificio utilizando ventiladores de admisión y escape, rejillas de ventilación. (ASHRAE, 2009)

Los datos de calor térmico de la muestra escogida (Aula 03) se pueden encontrar en la tabla 2.17. Los datos tomados presentan una elevada carga de calor que debe ser evacuada constantemente del espacio para mejorar las condiciones de confort térmico estudiadas para brindar así un espacio agradable y fresco en el desarrollo de las distintas actividades. Por lo cual se puede optar por dos formas de hacer recircular esta carga de aire, una es por ventilación natural y la otra por ventilación mecánica. Ambas permitirán que el flujo de la masa de aire caliente, producto de la actividad metabólica generada por presencia de los distintos individuos y actividades desarrolladas en un periodo normal de clases fluya con aire renovado constantemente.

Para implementar un sistema de ventilación natural se debe contar con un mínimo de dos aberturas en la edificación, como lo muestran las figuras 3.1 y 3.2.

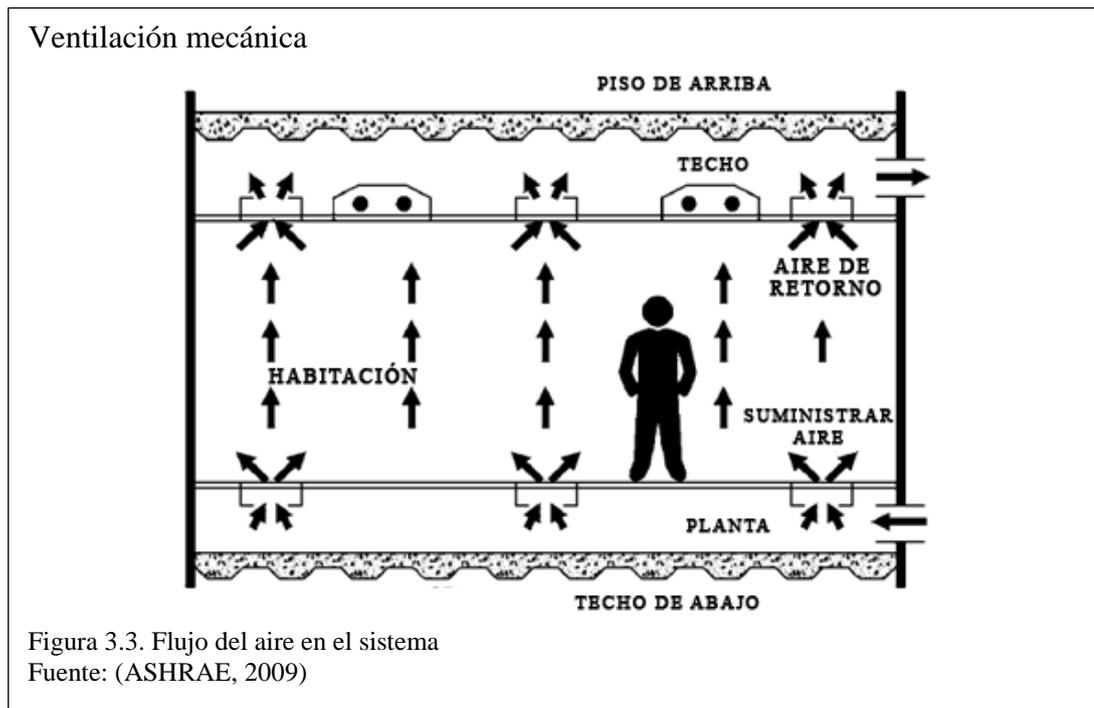


Donde se pueden apreciar una abertura inferior y una superior para ayudar con el flujo de aire utilizando únicamente la diferencia de presiones entre el aire frío que ingresa por la abertura inferior y el aire caliente que sale por la abertura superior.



Nota: Transferencia de aire, es aire que se mueve de un espacio interior a otro, ya sea intencional o no. (ASHRAE, 2009)

Por otra parte, un sistema de ventilación mecánica, involucra sistemas electromecánicos de ventilación como extractores, ventiladores, ductos de ventilación y requieren de una estructura más compleja para una correcta ambientación del espacio en cuestión. En la figura 3.3 se puede apreciar cómo debería lucir un sistema de ventilación artificial o mecánico.



El sistema de ventilación mecánico presenta ciertas ventajas sobre uno por ventilación natural como lo es el control del flujo de aire y el control de temperatura, cuando se adapta a éste un sistema de climatización. Sin embargo, para este caso no es el ideal puesto que el diseño estructural de la edificación no fue concebido, ni proyectado para manejar un sistema así. Por lo cual la opción a manejar es la ventilación natural, misma que se la puede potenciar con pequeños sistemas de ventilación y extracción de aire.

La figura 3.4 muestra la propuesta de ventilación para el Aula 03.

Diseño de la propuesta de ventilación natural potenciada para el Aula 03.

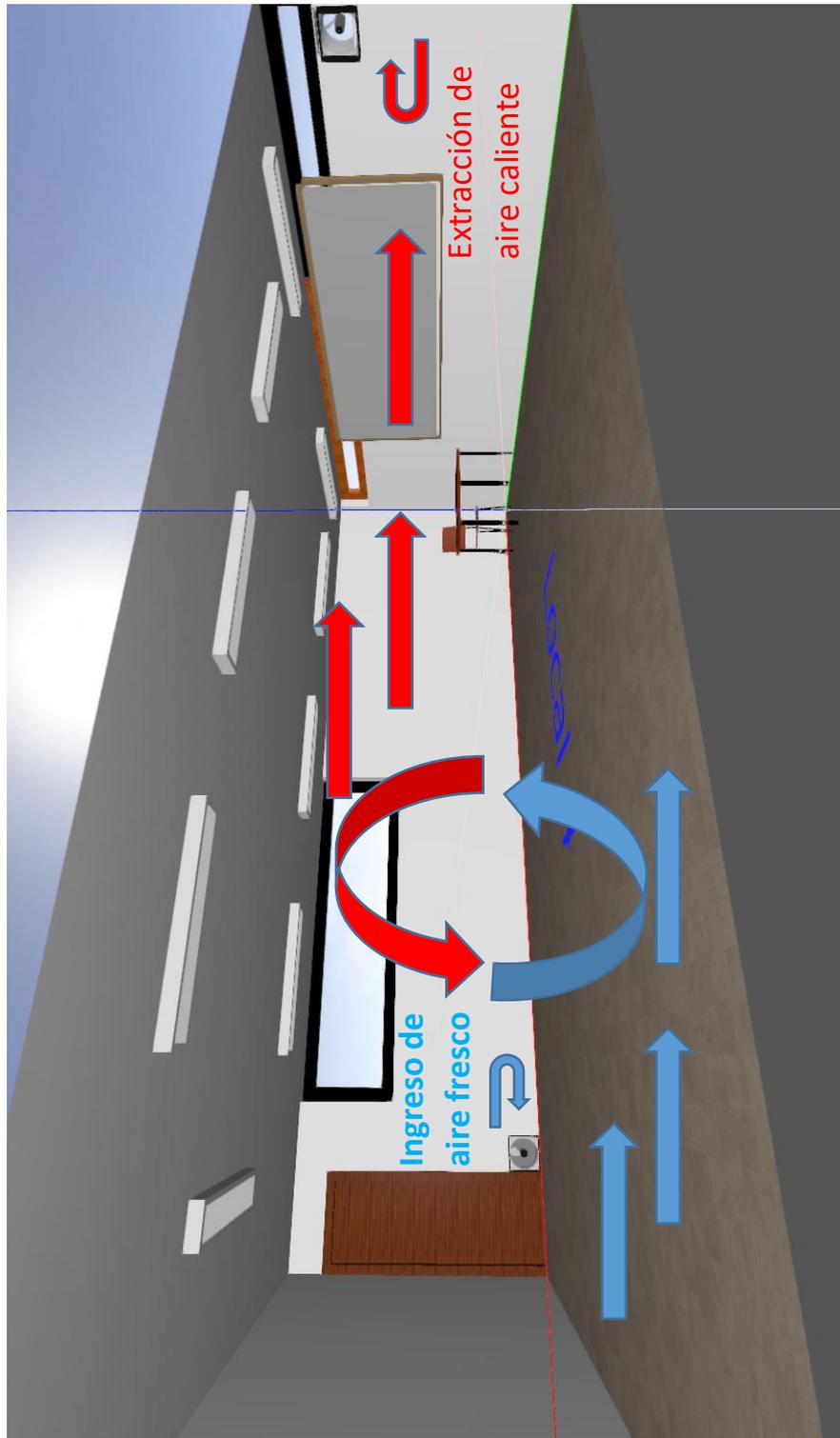


Figura 3.4. Propuesta de recirculación de la carga de aire para el Aula 03  
Elaborado por: Eduardo Medina

Nota: Se opta por el sistema de ventilación natural por desplazamiento de flujo de aire, basado en dos aberturas para la recirculación de aire fresco, se lo ha potenciado con ventiladores y extractores de pared.

El cálculo de la carga movida por los extractores se la realiza de la siguiente manera:

- Volumen del aula ( $V_t$ ) =  $(8,75 \times 5,50 \times 2,30 = 110,69 \text{ m}^3 = 3905,98 \text{ ft}^3)$
- Frecuencia de la renovación de aire ( $Fra$ ) = 10 a 25 cambios/ h = 2,4 min / cambio

$$Q_t = V_t / Ca$$

$$Q_t = \frac{3905,98}{2,4} = 1627,49 \text{ CFM}$$

Dónde:  $Q_t$  = Flujo de aire en CFM

- Para dos extractores ( $n = 2$ ) del diseño propuesto ( $Q_v$ ) se tiene:

$$Q_v = Q_t / n$$

$$Q_v = \frac{1627,49}{2} = 813,75 \text{ CFM}$$

Dónde:  $Q_v$  = flujo de aire para cada extractor, ventilador

En base a la información calculada se ha escogido un ventilador-extractor de pared de tipo axial, de baja presión, para caudal fijo con un flujo máximo de aire ( $Q = 1526 \text{ CFM}$ ) de 30 W de potencia. Que es mayor al flujo de aire requerido y con un nivel de sonoridad de 30dB que está dentro del rango de sonoridad aceptables para zonas residenciales. La figura 3.5 muestra el ventilador-extractor escogido.

#### Ventilador axial de evacuación



Figura 3.5. Ventilador de pared axial de baja presión, AW series  
Fuente: [www.systemair.com](http://www.systemair.com)

### **3.2 Mejoras en iluminación**

Un sistema de alumbrado energéticamente eficiente permite obtener una importante reducción del consumo, sin necesidad de disminuir sus prestaciones de calidad, confort y nivel de iluminación. (Comunidad de Madrid, 2006)

En la eficiencia de la iluminación influyen:

- Eficiencia energética de los componentes (lámparas, luminarias, equipos auxiliares).
- Uso de la instalación (régimen de utilización, utilización de sistemas de regulación y control, aprovechamiento de la luz natural).
- Mantenimiento (limpieza, reposición de lámparas).

Partiendo de este antecedente se deben practicar algunos pasos para lograr determinar los mejores parámetros para el nuevo sistema de iluminación, para ello nos valdremos de la metodología propuesta en la guía para la eficiencia energética para centros educativos (Comunidad de Madrid, 2011) y las consideraciones son las siguientes:

- Elección de las fuentes de luz  
Además de por sus características luminotécnicas, las fuentes de luz han de elegirse por su eficacia luminosa.
- Elección del equipo auxiliar  
El equipo auxiliar influye de forma determinante en la eficiencia energética del conjunto. Los balastos electrónicos ofrecen numerosas ventajas respecto a los electromagnéticos, tanto en confort de iluminación como en lo que a ahorro energético se refiere.
- Elección de las luminarias  
Nos valdremos de los parámetros del apartado 3.2.1 Diseño de la propuesta de Iluminación.
- Aprovechamiento de la luz natural  
La edificación posee grandes ventanales y por su ubicación (Noroeste) respecto al sol y a la no presencia de obstáculos naturales ni artificiales, se aprovecha este recurso en el diseño de la edificación, más al ser una institución que labora en horarios vespertino y nocturno solo se aprovecha de esta en el día, siendo necesario considerar esta observación para el diseño.

- **Sistemas de regulación y control**  
Los sistemas de regulación y control apagan, encienden y regulan la luz según interruptores, detectores de movimiento y presencia, células fotosensibles o calendarios y horarios preestablecidos. Permiten un mejor aprovechamiento de la energía consumida, reduciendo los costes energéticos y de mantenimiento. El ahorro energético conseguido al instalar este tipo de sistemas puede ser de hasta un 70 %. (Comunidad de Madrid, Guía técnica de iluminación eficiente, pág. 32, 2006)
- **Gestión y mantenimiento energético**  
El paso del tiempo hace que disminuya la eficiencia energética de la iluminación debido a la depreciación del flujo luminoso de las lámparas a lo largo de su vida útil y la suciedad acumulada en las luminarias. Un mantenimiento de la iluminación permite alcanzar ahorros de hasta el 50 %. (Comunidad de Madrid, Guía técnica de iluminación eficiente, pág. 34, 2006)

### **3.2.1 Diseño de la propuesta de Iluminación**

Los centros docentes en general no precisan una iluminación artificial de elevada reproducción cromática, a excepción de aulas dedicadas a la enseñanza de pintura, algún laboratorio, etc., donde la calidad cromática es importante. (Comunidad de Madrid, 2011)

Para la propuesta de diseño se tiene en cuenta todos los criterios establecidos en la norma UNE 12464.1 y la guía eficiente para iluminación de centros educativos de la Comunidad de Madrid.

Las lámparas tendrán un índice de reproducción cromática (Ra) de los valores comprendidos entre 70 y 85. Para las dependencias que precisan una mayor calidad el valor será  $> 90$ . (Comunidad de Madrid, 2011). La temperatura de color de las lámparas a utilizar teniendo en cuenta los niveles de iluminación que pueden precisar las distintas áreas, se consideran según los criterios de la tabla 3.1.

Tabla 3.1.

Criterios para la elección del tipo de luminaria

	TIPO DE LAMPARA	COSTO RELATIVO LAMPARA	EFICACIA LUMINOSA	ASPECTO CROMÁTICO	REPRODUCCIÓN DE COLORES	APLICACIONES
<b>FLUORESCENTES</b>	Blanca cálida	Medio-elevado	Media alta	cálido	Bueno (De lujo) media	-Alumbrado público. -Las de lujo son indicadas en carnicerías, restaurantes etc.
	Blanca fría	Medio-elevado	Media alta	intermedio	Bueno (De lujo) media	-Naves industriales, almacenes, escuelas, oficinas. -Las de lujo son indicadas para tiendas, comercios y oficinas que necesitan un buen rendimiento de color.
	Luz día	Medio-elevado	Media alta	frío	Bueno (De lujo) media	-Con altos niveles de iluminación (1000 lux). -Las de lujo, en tiendas de tejidos.
	Nueva generación (Trifosforo)	Elevado	Alta	Frío intermedio cálido	buena	-Aplicaciones que necesitan alto rendimiento luminoso de color.

Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>

Una vez determinado el tipo de luminaria para los diferentes usos, se adopta un tipo de alumbrado, para este caso se escoge alumbrado general mediante una distribución estándar de luminarias (tipo empotrar, adosar, suspender, etc.) en los distintos locales que tiene un centro docente, como: Vestíbulos, pasillos y escaleras, comedor, servicios higiénicos, cuartos de aseos, almacenes se utilizará alumbrado general. En zonas como aulas y laboratorios se utiliza alumbrado general + localizado, que refuerce la zona de exposición y mejore la captación de imágenes del observador, impidiendo reflejos. En la tabla 3.2 se encuentran el tipo de luminaria escogido para la propuesta de mejoras en el sistema de iluminación.

Tabla 3.2.

Luminaria de la propuesta

<b>LUMINARIA PARA DISEÑO DE PROPUESTA</b>						
FABRICANTE	TIPO	POTENCIA W	TEMP. COLOR	lm	VOLTAJE	VIDA UTIL
SYLVANIA	FLUORECENTE T5 FHE	28	4000	2900	120-130	25000 h

Fuente: <http://www.sylvania.com.ec/shop/lamparas/lamparas-fluorecentes-rectos/t5-fhe/>,

Elaborado por: Eduardo Medina

Si bien la norma UNE 12464.1 presenta un valor de luminosidad para cada espacio cabe recalcar que este se considera el valor óptimo determinado por la misma norma, pero la norma en si es flexible colocando valores mínimos, así como valores recomendados. En el presente diseño de propuesta de iluminación se trabaja con los valores recomendados, puesto que alcanzar el valor óptimo de luminosidad acarrea consigo un mayor número de luminarias y con el fin de optimizar los recursos económicos de la instalación se trabajará con esta referencia que a su vez no perjudica en lo absoluto el confort visual de los ocupantes, ya que se encuentra dentro del rango aceptable para las actividades a desarrollarse en las diferentes áreas.

Los índices de cumplimiento de la norma UNE 12464.1 se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3.

Cálculo del número de luminarias y luminosidad según la norma UNE 12464.1

PROPUESTA DE LUMINARIAS													
LUGAR		AREA m <sup>2</sup>	H	Em NOR LUX	Em REC LUX	ΦL	K	Cu	fm	Nro LUM OPT	Nro LUM REC	Em LUX	OBSER
SUBSUELO	AULA 01	27,50	1,50	500	400	5800	1,75	0,45	0,80	7	5	400	CUMPLE
	QUIROFANO	21,07	1,50	1000	750	5800	1,53	0,39	0,80	12	9	750	CUMPLE
	COMEDOR BAR	21,56	1,50	300	200	5800	1,55	0,39	0,80	4	2	200	CUMPLE
	BAÑO	28,70	1,50	200	150	5800	1,72	0,45	0,80	3	2	150	CUMPLE
PLANTA BAJA	AULA 02	27,50	1,50	500	400	5800	1,75	0,45	0,80	7	5	400	CUMPLE
	SECRETARIA	30,80	1,50	500	400	5800	1,85	0,45	0,80	7	6	400	CUMPLE
	AULA 03	48,13	1,50	500	400	5800	2,25	0,45	0,80	12	9	400	CUMPLE
	AUDITORIO	79,20	1,50	500	400	5800	2,95	0,54	0,80	16	13	400	CUMPLE
PISO UNO	AULA 04	18,20	1,50	500	400	5800	1,42	0,31	0,80	6	5	400	CUMPLE
	LABORATORIO	42,35	1,50	500	400	5800	2,14	0,45	0,80	10	8	400	CUMPLE
	OFICINA DIR	17,60	1,50	500	400	5800	1,35	0,31	0,80	6	5	400	CUMPLE
PISO DOS	AULA 05	18,15	1,50	500	400	5800	1,38	0,31	0,80	6	5	400	CUMPLE
	AULA 06	33,11	1,50	500	400	5800	1,91	0,45	0,80	8	6	400	CUMPLE

Elaborado por: Eduardo Medina

Se puede observar que, con los cambios realizados en el tipo de luminaria y la inclusión del número correcto de las mismas ahora se alcanzan los niveles de la norma.

Para el cálculo de la nueva potencia instalada de las luminarias se debe considerar los equipos auxiliares de las mismas, el balastro escogido es un balastro electrónico 2x28W con una potencia de línea de 62 W, factor de potencia de 0.85. La tabla 3.4 contiene la información de la propuesta de iluminación y su carga total instalada para cada área, así como también su consumo anual.

Tabla 3.4.  
Potencias y costos de la nueva instalación de luminarias

CÁLCULO DE POTENCIA INSTALADA PARA LA PROPUESTA DE LUMINARIAS											
	LUGAR	AREA m <sup>2</sup>	H	ΦL	Nro DE LUM REC	Em LUX	PT INST (W)	IND DE ILUM kW/ m <sup>2</sup>	CONS. ANUAL kW/h	COSTO kW/h	COSTO ANUAL \$
SUBSUELO	AULA 01	27,50	1,50	5800	5	400	590,00	21,45	1755,84	0,1285	225,63
	QUIROFANO	21,07	1,50	5800	9	750	1062,00	50,40	3160,51	0,1285	406,13
	COMEDOR BAR	21,56	1,50	5800	2	200	236,00	10,95	702,34	0,1285	90,25
	BAÑO	28,70	1,50	5800	2	150	236,00	8,22	702,34	0,1285	90,25
PLANTA BAJA	AULA 02	27,50	1,50	5800	5	400	590,00	21,45	1755,84	0,1285	225,63
	SECRETARIA	30,80	1,50	5800	6	400	708,00	22,99	2107,01	0,1285	270,75
	AULA 03	48,13	1,50	5800	9	400	1062,00	22,07	3160,51	0,1285	406,13
	AUDITORIO	79,20	1,50	5800	13	400	1534,00	19,37	4565,18	0,1285	586,63
PISO UNO	AULA 04	18,20	1,50	5800	5	400	590,00	32,42	1755,84	0,1285	225,63
	LABORATORIO	42,35	1,50	5800	8	400	944,00	22,29	2809,34	0,1285	361,00
	OFICINA DIR	17,60	1,50	5800	5	400	590,00	33,52	1755,84	0,1285	225,63
PISO DOS	AULA 05	18,15	1,50	5800	5	400	590,00	32,51	1755,84	0,1285	225,63
	AULA 06	33,11	1,50	5800	6	400	708,00	21,38	2107,01	0,1285	270,75
									<b>TOTAL, ANUAL</b>		<b>3610,04 \$</b>

Elaborado por: Eduardo Medina

Dado el alto costo de potencia instalada para el área de Quirófano y al ser este exclusivamente para desarrollo de laboratorios y prácticas no operatorias; se optó por reducir la cantidad de luxes a 500 lux, con lo cual se satisface el valor mínimo exigido por la norma y se brinda el confort esperado para dichas actividades reduciendo el número de luminarias a 6. Del mismo modo se recalcula el valor de luxes para el auditorio, dejándolo con el mínimo permitido por la norma (300 lux) y un total de 9 luminarias a instalarse, esto con el fin de disminuir el costo anual de explotación de las instalaciones sin afectar los estándares de la norma, si comparamos los valores de

Em medidos en este espacio (55,36 lux) y los que se pretende alcanzar (300 lux) se evidencia una mejora más que aceptable.

En la tabla 3.5 se pueden apreciar los cambios.

Tabla 3.5.  
Potencias y costos de la nueva instalación de luminarias con reducción del costo anual

CALCULO DE POTENCIA INSTALADA PARA LA PROPUESTA DE LUMINARIAS CORREGIDO											
LUGAR	AREA m <sup>2</sup>	H	ΦL	Nro DE LUM REC	Em LUX	PT INST (W)	INDICE DE ILUM KW/m <sup>2</sup>	CONS ANUAL KW/h	COSTO KW/H	COSTO ANUAL \$	
SUBSUELO	AULA 01	27,50	1,50	5800	5	400	590,00	21,45	1755,84	0,1285	225,63
	QUIROFANO	21,07	1,50	5800	6	500	708,00	33,60	2107,01	0,1285	270,75
	COMEDOR BAR	21,56	1,50	5800	2	200	236,00	10,95	702,34	0,1285	90,25
	BAÑO	28,70	1,50	5800	2	150	236,00	8,22	702,34	0,1285	90,25
PLANTA BAJA	AULA 02	27,50	1,50	5800	5	400	590,00	21,45	1755,84	0,1285	225,63
	SECRETARIA	30,80	1,50	5800	6	400	708,00	22,99	2107,01	0,1285	270,75
	AULA 03	48,13	1,50	5800	9	400	1062,00	22,07	3160,51	0,1285	406,13
	AUDITORIO	79,20	1,50	5800	9	300	1062,00	13,41	3160,51	0,1285	406,13
PISO UNO	AULA 04	18,20	1,50	5800	5	400	590,00	32,42	1755,84	0,1285	225,63
	LABORATORIO	42,35	1,50	5800	8	400	944,00	22,29	2809,34	0,1285	361,00
	OFICINA DIR	17,60	1,50	5800	5	400	590,00	33,52	1755,84	0,1285	225,63
PISO DOS	AULA 05	18,15	1,50	5800	5	400	590,00	32,51	1755,84	0,1285	225,63
	AULA 06	33,11	1,50	5800	6	400	708,00	21,38	2107,01	0,1285	270,75
									<b>TOTAL, ANUAL</b>		<b>3284,29 \$</b>

Nota: con lo cual se consiguió una reducción del 9,02 % = 325,75 \$ dólares,

Elaborado por: Eduardo Medina

### 3.2.2 Simulación de la propuesta de iluminación

Para simular la propuesta de iluminación se toma en cuenta los valores calculados en la tabla 3.2 y 3.3. En la figura 3.6 se puede apreciar un ejemplo de la simulación de la propuesta para el Aula 03 así como su renderizado.

En el anexo 5 se encuentra la evidencia de las simulaciones, así como el resultado calculado por el software DIALuxevo.

PLANTA BAJA / AULA 03 / Propuesta de iluminación y distribución de luminarias.



Figura 3.6. Simulación de la propuesta de iluminación en el Aula 03, por DIALuxevo.  
Elaborado por: Eduardo Medina

### 3.3 Diseño del sistema fotovoltaico

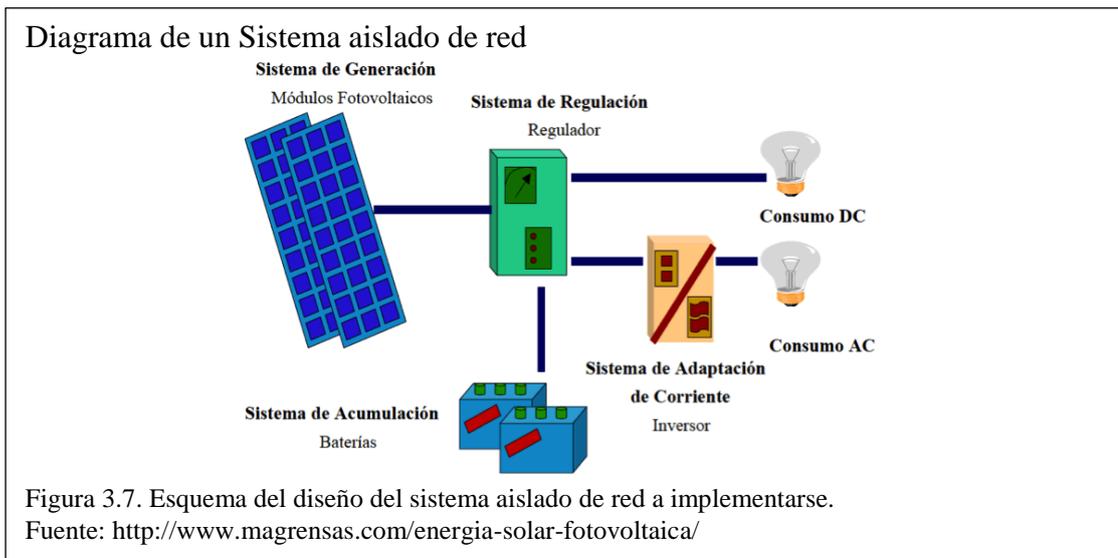
La iluminación representa en muchos edificios un porcentaje elevado del consumo eléctrico. Así, el porcentaje de energía eléctrica dedicado a iluminación puede llegar a alcanzar en algunos casos más del 50 %. (Comunidad de Madrid, 2006) Por tal motivo el diseño del sistema fotovoltaico estará orientado netamente a cargas de iluminación para espacios interiores, particularmente a espacios de uso intermitente como pasillos, gradas de acceso a niveles superiores e inferiores, baños, salas de estar. Para determinar y usar la radiación solar de manera óptima deben seguirse los siguientes pasos:

- Calcular el promedio diario de radiación en el lugar, utilizando los mapas o atlas de radiación solar del mundo o, mejor aún, los datos de radiación de una estación meteorológica cercana. (Orbegozo Carlos, 2010)
- Determinar el ángulo de inclinación óptimo y la orientación para el lugar:
  - Inclinación = latitud (para que la lluvia y el polvo no se estancuen en el módulo) (Orbegozo Carlos, 2010)
  - Orientación, de manera que se reciba la mayor radiación solar posible.
- Calcular la influencia de sombras y reflejos. Si es necesario corregir el rendimiento de los módulos o buscar una mejor ubicación.

#### 3.3.1 Dimensionamiento del sistema

Se le denomina dimensionado o diseño de un sistema solar fotovoltaico a una serie de procesos de cálculo que logran optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica

de origen solar, obteniendo un balance adecuado entre lo técnico y económico. “El primer aspecto que debemos considerar a la hora de realizar el diseño es el consumo racional de la energía, es necesario conocer o estimar la corriente y la tensión o voltaje de trabajo de los equipos instalados y el número de horas diarias de trabajo, teniendo en cuenta las posibles ampliaciones que a futuro se hagan en la instalación. Como segundo aspecto a tener en cuenta en el diseño está la disponibilidad en el sitio de instalación del recurso solar” (CONELEC, 2008). El esquema del diseño a implementarse se puede apreciar en la figura 3.7.



Si bien el presente diseño del sistema solar fotovoltaico estará normado por “el pliego de condiciones para instalaciones aisladas de red de la norma española”, la metodología para el desarrollo de los cálculos se llevará a cabo por cualquier método que se considere adecuado, siempre y cuando cumpla con las condiciones de la norma citada. Lo primero que debemos conocer es la cantidad de radiación solar de la zona (Quito, Ecuador) proporcionado por un organismo acreditado, en este caso nos referimos a (El atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica proporcionado por CONELEC) en el cual según lo sugiere la norma española en el pliego de condiciones técnicas aisladas de red se debe proyectar el diseño para el peor mes de radiación del año. Sin embargo, debido a la posición geográfica de nuestro país (El Ecuador tiene altos niveles de radiación solar, al estar en la mitad del mundo, el potencial de aprovechamiento de la energía solar en nuestro país es enorme; y, su uso extensivo ayudaría a alcanzar una independencia energética de largo plazo) (INER, 2014) la insolación global promedio para la provincia de Pichincha que

es el lugar donde se encuentra asentada la Ciudad de Quito, con un valor de 5250 Wh/m<sup>2</sup>/día. Sin embargo, según la norma se toma la insolación difusa promedio anual, que para la misma zona es de 2200 Wh/m<sup>2</sup>/día. Para verificar el mapa isotérmico puede referirse al anexo número 6. En la tabla 3.6 se puede encontrar en detalle los consumos de potencia de las diferentes zonas escogidas para ser alimentadas por el sistema fotovoltaico.

Tabla 3.6

Zonas escogidas para cálculo de consumo de energía demanda promedio para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

ESPACIOS ESCOGIDOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CON LUMINARIAS ACTUALES						
	ZONAS	TIPO	Nro	P (W)	USO h/d	ENERGIA Wh/d
INTERIORES	BODEGA	LFC	1	23	1	23
	BODEGA	LFC	2	23	2	92
	GRADAS NIVEL SUBSUELO-PLANTA BAJA	LF	1	40	8	320
	BAÑO COMEDOR	LFC	3	23	6	414
	HALL ACCESO PLANTA BAJA-SUBSUELO	LFC	1	23	4	92
	BAÑO SECRETARIA	LFC	1	23	1	23
	BAÑO PLANTA BAJA	LF	1	36	4	144
	GRADAS NIVEL PLANTA BAJA-PRIMER PISO	LFC	1	23	6	138
	HALL ACCESO PRIMER PISO	LFC	1	23	6	138
	BAÑO AULA 04	LFC	2	23	1	46
	BAÑO PRIMER PISO	LF	1	36	4	144
	BAÑO SUBDIRECCION	LFC	2	23	1	46
	GRADAS DE ACCESO NIVEL PRIMER PISO-SEGUNDO	LFC	1	23	4	92
EXTERIORES	PATIO CENTRAL ZONA IZQUIERDA	LH	1	50	4	200
	PATIO CENTRAL ZONA DERECHA	LH	1	50	4	200
	PATIO PISO UNO DERECHO	LH	2	50	1	100
	PATIO PRIMER PISO IZQUIERDO	LH	1	50	4	200
	ACCESO PATIO PRIMER PISO - SEGUNDO	LFC	1	23	4	92
<b>ENERGIA TOTAL</b>						<b>2504</b>

Elaborado por: Eduardo Medina

Por lo cual se estima un consumo de energía diario de 2504 kWh por día  $\approx$  2,6 kWh.

Esto equivale a una potencia de consumo promedio de (dividir para 24 horas)

$$P = 2504 \text{ Wh}/24h = \mathbf{104,33W} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

En la tabla 3.7 se presenta una propuesta de optimización de la tecnología utilizada para iluminación de las zonas escogidas debidamente contrastada con los estándares de iluminación interior dados por la norma UNE 12461.1

Tabla 3.7  
Optimización de la eficiencia de equipos del sistema fotovoltaico.

LUMINARIA PARA OPTIMIZACION DEL DISEÑO						
FABRICANTE	TIPO	POTENCIA W	TEMP. COLOR °K	FLUJO Lm	VOLTAJE	VIDA UTIL Horas
SYLVANIA	FAROLA LED EXT CON SENSOR MOVIMIENTO	30	6000	1800	100-240VAC	25000h
GREENICE	LED	15	4000	1200	12 V AC/DC	30000 h

Nota: valores tomados de los fabricantes, Elaborado por: Eduardo Medina

En la tabla 3.8 encontraremos el resumen del ahorro energético alcanzado.

Tabla 3.8  
Optimización para mejoramiento de la eficiencia del sistema solar fotovoltaico.

OPTIMIZACIÓN DE LUMINARIAS PARA MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO						
	ZONAS	TIPO	Nro	P (W)	USO h/día	ENERGIA Wh/d
INTERIORES	BODEGA	LED	1	15	1	15
	BODEGA	LED	2	15	2	60
	GRADAS NIVEL SUBSUELO-PLANTA BAJA	LED	1	15	8	120
	BAÑO COMEDOR	LED	3	15	6	270
	HALL ACCESO PLANTA BAJA-SUBSUELO	LED	1	15	4	60
	BAÑO SECRETARIA	LED	1	15	1	15
	BAÑO PLANTA BAJA	LED	2	15	4	120
	GRADAS NIVEL PLANTA BAJA-PRIMER PISO	LED	1	15	6	90
	HALL ACCESO PRIMER PISO	LED	1	15	6	90
	BAÑO AULA 04	LED	2	15	1	30
	BAÑO LABORATORIO ENFERMERIA	LED	2	15	4	120
	BAÑO SUBDIRECCION	LED	2	15	1	30
	GRADAS DE ACCESO NIVEL PRIMER PISO-SEGUNDO	LED	1	15	4	60
EXTERIORES	PATIO CENTRAL ZONA IZQUIERDA	LED EXT	1	30	4	120
	PATIO CENTRAL ZONA DERECHA	LED EXT	1	30	4	120
	PATIO PRIMER PISO DERECHA	LED EXT	2	30	2	120
	PATIO PRIMER PISO IZQUIERDA	LED EXT	1	30	2	60
	GRADAS ACCESO PATIO PRIMER PISO - SEGUNDO	LED	1	15	2	30
		ENERGIA TOTAL				1530

Elaborado por: Eduardo Medina

Con la optimización de las luminarias por una tecnología más eficiente, se ha logrado reducir la potencia instalada de 707 W a 465 W. Por lo cual se estima un consumo de energía diario de 1530 kWh por día  $\approx$  2kWh. Esto equivale a una potencia de consumo promedio de (dividir para 24 horas)

$$P = 1530Wh/24h = \mathbf{63,75 W} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

### **3.3.2 Determinación de la tensión nominal**

De la tabla 3.8, obtenemos la potencia instalada para el sistema fotovoltaico P=465 W, de acuerdo a la norma para potencias  $P \leq 800 W$  la tensión nominal del sistema será de 12 V.

### **3.3.3 Orientación e Inclinación óptima del generador fotovoltaico**

Para determinar la inclinación óptima, si se busca la máxima captación de energía solar a lo largo del año, se debe considerar el periodo de diseño para todo el año según lo establece la norma aplicada.

La orientación del generador será calculada mediante la utilización del software Sun Surveyor Lite en su versión V.1.4.9.1 que nos permitirá predecir las posiciones del sol en el transcurso del día, mes y año para la orientación de los paneles fotovoltaicos.

Mediante su instalación en un Smartphone Samsung Galaxy S4 GT-I9500 se aprovechan los recursos tecnológicos de este como sensores (giroscopio, magnetómetro, acelerómetro, etc), características de posicionamiento mediante GPS y redes WI-Fi desde los cuales se obtuvo la latitud [  $\varphi$  ] desde la ubicación de la edificación del Centro Educativo Dante Pazzanese, que se puede apreciar en la figura 3.8.

Siendo  $\alpha = \mathbf{N79^\circ E}$

### Determinación de la orientación del generador fotovoltaico



Figura 3.8. Visualización del resultado obtenido mediante Sun Surveyor Lite  
Elaborado por: Eduardo Medina

La inclinación óptima está en función de la latitud  $\varphi$  donde su valor determinado mediante el software es de:

$$\beta = \varphi = 0^{\circ}, 12', 17'' = 0, 20^{\circ}$$

Sin embargo, este valor debe ser rectificado según la norma en máximo  $13^{\circ}$  (Orbegozo Carlos, 2010) esto debido a la presencia de factores meteorológicos que pueden afectar el rendimiento de la captación solar de los paneles (lluvia, polvo)

$$\text{Angulo beta corregido: } \beta_c = \beta + 6, 80^{\circ}$$

$$\beta_c = 7^{\circ} \text{ valor escogido por diseño}$$

#### 3.3.4 Cálculo del generador fotovoltaico

Al no existir sombras en el lugar que se prevé instalar el generador fotovoltaico, se tiene un valor de factor de sombreado  $FS=1$ , y un factor de insolación  $FI=0,98$  para efectos del cálculo según la norma.

### valor medio de irradiación global diaria sobre la superficie del generador

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Donde:

$G_{dm}(0)$  = irradiación diaria sobre el plano horizontal en  $\frac{kWh}{m^2} \cdot \text{dia}$

$K$  = constante obtenida de la relación entre la irradiación diaria sobre el plano horizontal y el mismo valor para un plano inclinado.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 2.2 \times 1.15 \times 0.98 \times 1 = \mathbf{2479 \sim 2,48 kWh/m^2}$$

Para un sistema de generación fotovoltaico con acumulador, inversor, baterías se debe asignar un valor de **PR (Performance Ratio) = 0,6**. Siguiendo la metodología de la norma.

### Mínima potencia del generador fotovoltaico

$$PG_{min} = \frac{Ed \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

Donde:

$Ed$  = consumo de energía diario

$G_{CEM}$  = irradiancia en CEM (condiciones estándar de medida) ( $1000W/m^2$ )

$$PG_{min} = \frac{1530 * 1000}{2480 * 0,6} = \mathbf{1028,23 W}$$

Con el fin de no sobredimensionar el generador se comprobará que con la potencia máxima del módulo elegido no se sobrepasa el 20% del valor de  $PG_{min}$ , es decir, la potencia nominal del generador fotovoltaico debe cumplir:

$$PG_{min} \leq PG \leq 1,2 * PG_{min}$$

$$\mathbf{1028,3 \leq PG \leq 1233,88}$$

### 3.3.5 Determinación del número de paneles fotovoltaicos

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente de silicio cristalino (monocristalino y multicristalino) y silicio amorfo. Siendo los de mayor rendimiento los monocristalinos (entre 24% en laboratorio y 18% en campo). (Energías Renovables, 2014)

El panel fotovoltaico escogido tiene las siguientes características:

$U_n = 12V$ ,  $P = 150W_p$ ,  $U_{mpp} = 18,1V$ ,  $I_{mpp} = 8,42 A$ ,  $U_{oc} = 22,6 V$ ,  $I_{sc} = 8,88 A$

Determinación del número de paneles:

$$N_p \cdot N_s \geq \frac{P_{G_{min}}}{P_{máx}} = \frac{1028,3}{150} = \mathbf{6,85 \sim 7 \text{ módulos}}$$

Con estos datos, los parámetros del generador son:

### Potencia máxima del generador

$$P_G max = N_p \times P_{max} \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

$$P_G max = 7 \times 150 = \mathbf{1050 W}$$

Se comprueba que no sobrepase el 20% del valor de  $P_{G_{min}}$

$$es \ 1050 < 1233,88 \ (\mathbf{OK})$$

### Tensión de circuito abierto del generador

$$U_{Goc} = N_s \cdot U_{oc} \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

$$U_{Goc} = 1 * 22,6 = \mathbf{22,6 V}$$

### Intensidad de corto circuito del generador

$$I_{Gsc} = N_p \cdot I_{sc} \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

$$I_{Gsc} = 7 * 8,88 = \mathbf{62,16 A}$$

### Tensión máxima del generador

$$U_{Gmpp} = N_s \cdot U_{Mpp} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

$$U_{Gmpp} = 1 * \mathbf{18,1} = \mathbf{18,1 A}$$

### Corriente máxima del generador

$$I_{Gmpp} = N_p \cdot I_{mpp} \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

$$I_{Gmpp} = 7 * 8,42 = \mathbf{58,94 A}$$

Para acceder a los datos técnicos del módulo fotovoltaico, remítase al anexo 7.

### 3.3.6 Cálculo del sistema de acumulación

De acuerdo a la norma se debe dimensionar el sistema de acumulación para una autonomía de 3 días, con un PDmax del 70%

#### Consumo medio diario

$$Qd = \frac{Ed}{Un} \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

$$Qd = \frac{1530}{12} = 127,5 \text{ Ah/día}$$

La capacidad del sistema de acumulación no excederá de 25 veces la corriente de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico ( $I_{GSC}$ )

#### Capacidad de la batería para descarga en 20 horas

$$C_n = \frac{Qd \cdot A}{PD_{max} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

Donde:

$A$  = días de autonomía del sistema

$\eta_{inv}$  = rendimiento del inversor

$\eta_{rb}$  = rendimiento del conjunto batería y regulador de carga

$$C_n = \frac{127,5 * 3}{0,70 * 0,85 * 0,80} = 803,57 \text{ Ah}$$

Comprobamos la condición de diseño

$$Es, 803,57 < 1554 \text{ (OK)}$$

#### Número de elementos en serie

$$N_{bs} = \frac{Un}{Ub} = \frac{12}{12} = 1 \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

Donde:

$Ub$  = tensión de un elemento acumulador

#### Número de elementos en paralelo

$$N_{bp} = \frac{Cn}{Cb} = \frac{803,57}{150} = 5,36 \sim 6 \text{ baterías} \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

Donde:

$Cb$  = capacidad de un elemento acumulador (Ah)

Para revisar los datos técnicos de los acumuladores escogidos, remítase al anexo 8.

### 3.3.7 Dimensionamiento del regulador de carga

La tensión nominal de entrada tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación ( $U_R = U_n = 12V$ )

la tensión nominal  $I_R$ , es el valor de la intensidad de corto circuito,  $I_{Gsc}$  del generador fotovoltaico en condiciones CEM con un factor de seguridad de 1,25.

$$I_R = 1,25 \times 62,16 = \mathbf{77,7 A}$$

La tensión máxima de entrada no debe ser sobrepasada por la tensión máxima de circuito abierto del generador fotovoltaico ( $U_{Goc}$ ) a la temperatura más desfavorable ( $-10^\circ C$ ) de las células del módulo. ( $\beta = -158mV/^\circ C$ )

$$U_R \geq U_{Gco}(-10^\circ C) = U_{Gco} + \beta \cdot (T - 25) = 22,6 + (-0,158)(-10 - 25) \\ = \mathbf{28,13 V}$$

Con estos datos de consulta los catálogos de los fabricantes para seleccionar el regulador de carga que mejor se adapta a los parámetros. Para revisar los datos técnicos del regulador escogido, remítase al anexo 9.

### 3.3.8 Dimensionamiento del inversor

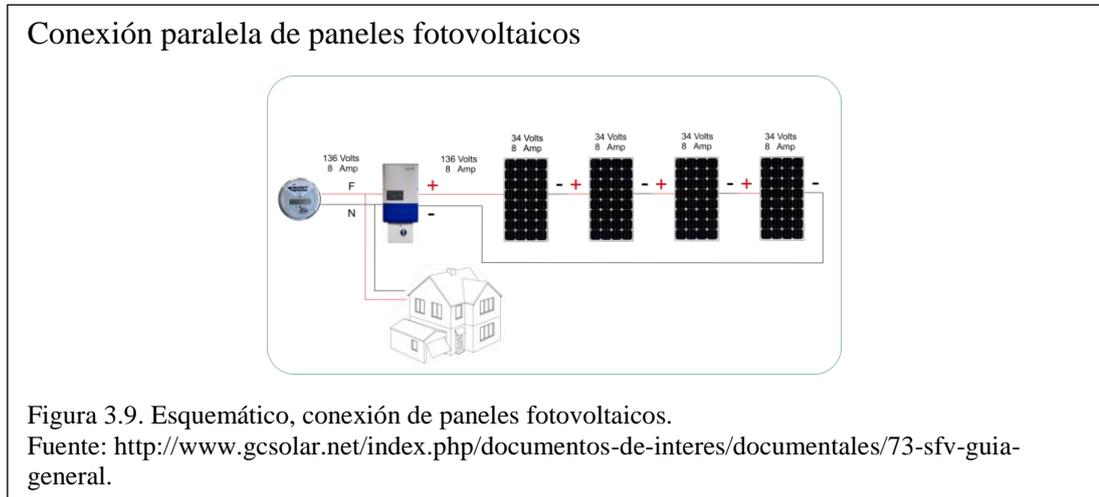
La tensión nominal de entrada tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación ( $U_n = 12V$ ) La potencia nominal del inversor se calcula con la suma de todas las potencias de los receptores que puedan funcionar de forma simultánea. Para determinar esta potencia se debe trabajar con los valores de potencia aparente de los receptores. Por lo tanto, al alimentar únicamente cargas para iluminación (cargas resistivas) la  $P_{max} = 465 W$ , se debe expresar en VA, obteniendo  $P_{max} = 465 VA$ . Se aplica un factor de dimensionamiento de 1,25 para posibles cargas extra.

$$P_{max} = 465 * 1,25 = \mathbf{581,25 VA}$$

Con este dato revisamos los catálogos de los fabricantes para encontrar un inversor que cubra este valor. Para acceder a los datos técnicos del inversor escogido para el generador fotovoltaico remítase al anexo 10.

### 3.3.9 Conexión e instalación de los paneles fotovoltaicos

La conexión en paralelo se utilizará siempre en las placas solares de 12V y 36 células, Las placas de 36 y 72 células se llaman comúnmente placas aisladas y sólo requieren de un regulador solar convencional (PWM) en la figura 3.9 se puede apreciar su conexión.



Los conductores necesarios tendrán la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos así, “para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior, incluyendo cualquier terminal intermedio, a los valores especificados (referidos a la tensión nominal continua del sistema)” (Unión Europea, 2011). En el anexo 11 se podrá apreciar el lugar previsto para la instalación del generador fotovoltaico.

### 3.4 Análisis del retorno de la inversión del generador fotovoltaico

La tabla 3.9 muestra un resumen del ahorro conseguido para la propuesta de diseño del generador fotovoltaico.

Tabla 3.9.

Resumen de costos para los sistemas instalados y de la propuesta

	INSTALACION ANTIGUA	INSTALACION NUEVA
<b>P INSTALADA (W)</b>	707	465
<b>CONSUMO ANUAL (KW/h)</b>	2,104	1,384
<b>COSTO KW/h</b>	0,1285	0,1285
<b>COSTO ANUAL (\$)</b>	270,36 \$	177,84 \$

Elaborado por: Eduardo Medina

En la tabla 3.10 detalla los equipos y componentes del generador fotovoltaico para iluminación según el diseño de la propuesta. También detalla el costo total de la inversión inicial para su posterior análisis.

Tabla 3.10.  
Presupuesto de inversión inicial

ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	VIDA UTIL AÑOS	CANTIDAD	VALOR/ UNITARIO	TOTAL \$	
1	Panel fotovoltaico	Marca SIMAX SM636-150, 12 V, 150 Wp, 36 pcs, monocristalino, anodizado	25 años	7	210,00	1470,00	
2	Acumulador	Marca Ultracell UCG150-12, gel de ciclo profundo, 12 V, 150 Ah, 2400 ciclos al 30%	15 años	5	300,00	1500,00	
3	Regulador	Marca Damia Solar, 12 V, 80 A, LCD, PWM	-	1	133,00	133,00	
4	Inversor	Marca UKC SSK-1000, 12 V a 110 VAC, ventilado	-	1	150,00	150,00	
5	Soportes	para 3 módulos, superficie plana, regulable	-	1	180,00	180,00	
6	Soportes	Para 4 módulos, superficie plana, regulable	-	1	210,00	210,00	
7	Protecciones	fusibles, termomagnéticas, tablero eléctrico DC, tablero eléctrico AC IP65	-	-	-	150,00	
8	cableado	divisores MC4, conectores MC4, cable solar 50m, cable eléctrico	-	-	-	150,00	
9	focos LED	Marca Greenice 15W, 12 V AC/DC	30000h	21	10,00	210,00	
10	Farola LED	Sylvania con sensor de movimiento, 30 W, 100-120 VAC	30000h	5	32,00	160,00	
						SUBTOTAL	4313,00
						IVA 14%	603,82
						INSTALACION 15%	646,95
						TOTAL INVERSION	5563,77 \$

Nota: los mayores rubros los registran los paneles fotovoltaicos y acumuladores,

Elaborado por: Eduardo Medina

El costo de la instalación antigua, es asumido ahora por el generador fotovoltaico, lo que se transforma en ahorro durante el tiempo de vida útil del generador a esto se suma el valor obtenido de la nueva instalación que en conjunto generan un valor de 448,20 dólares que no se paga a la empresa eléctrica. Para estimar la rentabilidad y el periodo de recuperación de la inversión, es necesario conocer los ingresos y egresos que se tendrán dentro del periodo de vida útil de la instalación, la cual se ha determinado en 24 años (un año antes del fin de vida útil de los PFV). En la tabla 3.11 se detalla cómo se recuperará la inversión y la puesta en marcha del generador fotovoltaico.

Tabla 3.11.  
Periodo de recuperación de la inversión del generador fotovoltaico

ESTIMACION DEL PERIODO DE RECUPERACION DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO					
AÑOS	INVERSIÓN \$	AHORRO \$	COSTOS MANTENIMIENTO	TOTAL \$	OBSERVACIÓN
0	5563,77	0	0	5563,77	
1		448,2	0	5115,57	
2		448,2	0	4667,37	
3		448,2	0	4219,17	
4		448,2	0	3770,97	
5		448,2	0	3322,77	
6		448,2	0	2874,57	
7		448,2	0	2426,37	
8		448,2	0	1978,17	
9		448,2	0	1529,97	
10		448,2	0	1081,77	
11		448,2	0	633,57	
12		448,2	0	185,37	
13		448,2	0	-262,83	Generación de rentabilidad
14		448,2	0	-711,03	
15		448,2	0	-1159,23	Cambio de baterías
16		448,2	0	-1607,43	
17		448,2	0	-2055,63	
18		448,2	0	-2503,83	
19		448,2	0	-2952,03	
20		448,2	0	-3400,23	
21		448,2	0	-3848,43	
22		448,2	0	-4296,63	
23		448,2	0	-4744,83	
24		448,2	0	-5193,03	Fin de vida útil de los módulos fotovoltaicos
25		448,2	0	-5641,23	reemplazo de los módulos fotovoltaicos

Nota: el cambio del sistema de acumulación se da a los 15 años

Elaborado por: Eduardo Medina

Como se puede apreciar en los datos revelados en la tabla 3.10, el tiempo de amortización del generador fotovoltaico en el cual empieza a generar una ganancia es de 13 años. Sin embargo, es un largo periodo de reembolso por lo cual nos vemos obligados a mejorar el diseño del generador fotovoltaico; para lo cual se realiza las siguientes modificaciones que se detallan en la tabla 3.12.

Tabla 3.12.  
Mejora de la propuesta del generador fotovoltaico

ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	VIDA UTIL	CANTIDAD	VALOR/ UNITARIO	TOTAL \$
1	Panel fotovoltaico	Marca SIMAX SM636-150, 12 V, 140 Wp, 36 pcs, policristalino, anodizado	25 años	8	143,50	1148,00
2	Acumulador	bateria monoblock, black bull, 220 Ah, 12 V	8 años	4	230,50	922,00
3	Regulador	Marca Damia Solar, 12 V, 80 A, LCD, PWM	-	1	133,00	133,00
4	Inversor	Marca UKC SSK-1000, 12 V a 110 VAC, ventilado	-	1	120,00	120,00
5	Soportes	Para 4 módulos, superficie plana, regulable	-	2	210,00	420,00
6	Protecciones	fusibles, termomagnéticas, tablero eléctrico DC, tablero eléctrico AC IP65	-	-	-	150,00
7	cableado	divisores MC4, conectores MC4, cable solar 50m, cable eléctrico	-	-	-	150,00
8	focos LED	Marca Greenice 15W, 12 V AC/DC	30000h	21	10,00	210,00
9	Farola LED	Sylvania con sensor de movimiento, 30 W, 100-120 VAC	30000h	5	32,00	160,00
						SUBTOTAL
						3413,00
						IVA 14%
						477,82
						INSTALACION 15%
						511,95
						<b>TOTAL INVERSION</b>
						<b>4402,77 \$</b>

Nota: Se reemplazaron los paneles fotovoltaicos, y los acumuladores para mejorar el tiempo de amortización, el regulador al ser de 80 A cumple perfectamente con la corriente máxima del GFV.

Elaborado por: Eduardo Medina

La amortización se muestra en la tabla 3.13, valores que no incluyen costos de ningún tipo de mantenimiento. Si desea verificar los rubros y periodo de amortización que incluyan mantenimiento del sistema remítase al anexo 12.

Tabla 3.13.

Periodo de amortización para el diseño del generador mejorado

ESTIMACION DEL PERIODO DE RECUPERACION DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO					
AÑOS	INVERSIÓN \$	AHORRO \$	COSTOS MANTENIMIENTO \$	TOTAL \$	OBSERVACIÓN
0	4402,77	0	0	4402,77	
1		448,2	0	4014,57	
2		448,2	0	3566,37	
3		448,2	0	3118,17	
4		448,2	0	2669,97	
5		448,2	0	2221,77	
6		448,2	0	1773,57	
7		448,2	0	1325,37	
8		448,2	0	877,17	cambio de baterías
9		448,2	0	428,97	
10		448,2	0	-19,23	Inicio de la rentabilidad del GFV
11		448,2	0	-467,43	
12		448,2	0	-915,63	
13		448,2	0	-1363,83	
14		448,2	0	-1812,03	
15		448,2	0	-2260,23	
16		448,2	0	-2708,43	cambio de baterías
17		448,2	0	-3156,63	
18		448,2	0	-3604,83	
19		448,2	0	-4053,03	
20		448,2	0	-4501,23	
21		448,2	0	-4949,43	
22		448,2	0	-5397,63	
23		448,2	0	-5845,83	
24		448,2	0	-6294,03	Fin de vida útil de los módulos fotovoltaicos, cambio de baterías
25		448,2	0	-6742,23	reemplazo de los módulos fotovoltaicos

Nota: el tiempo de amortización del generador ha disminuido a 10 años

Elaborado por: Eduardo Medina

El anexo 13 muestra las características técnicas de los nuevos paneles y el anexo 14 las baterías usadas para la mejora de la propuesta del generador fotovoltaico.

## CONCLUSIONES

- Se aplicaron los conceptos, definiciones y protocolos definidos en el presente estudio para una correcta medición de las magnitudes físicas presentes en la edificación, así como la caracterización, procesamiento y tabulación de datos mediante los cuales se pudo definir los límites del estudio; lo que permitió identificar la principal fuente de energía utilizada para las distintas actividades y propósitos de la Institución, siendo la energía eléctrica la principal fuente de energía. Se identificaron tecnologías de iluminación caducas respecto a tecnologías modernas lo que genera un consumo ineficiente de energía. Se reveló la ausencia de sistemas de calefacción y ventilación, lo que genera acumulación o carencia de calor.
- El desarrollo del estudio del confort térmico siguiendo los criterios y normas dados por ASHRAE reveló que en su mayoría los ocupantes del instituto son de género femenino (89%) como lo corrobora la población de la muestra tomada como referencia (población del Aula 03) por lo cual los valores obtenidos en los cálculos de calor metabólico, son menores a sí se tratase de una población masculina, esto debido a factores como la estatura y masa que influyen en el cálculo del área de DuBois y por ende en la generación de calor metabólico producto de las distintas actividades realizadas.
- Se determinó un aislamiento térmico efectivo por uso de la vestimenta diaria de 0,98 *clo* que es un valor relativamente alto de aislamiento térmico y al desarrollar actividades que aumentan el valor del calor metabólico generado, se alcanza un valor de 409,63 BTU/h. calor que es entregado directamente hacia el ambiente del área donde se desarrollan las actividades. En su mayoría este calor es transmitido por la piel, que al no contar con un sistema de renovación de aire natural o artificial puede afectar el nivel de atención y captación de nuevos conocimientos debido a la carga de calor acumulada (13472,96 BTU/h)
- En el estudio de fenestración con normas provistas por ASHRAE, se encontró que el flujo de transferencia de calor a través de ventanales para el Aula 03 (139,93 BTU/h) es bajo, para descargar y compensar toda la carga de calor metabólico generado, presente en el ambiente. Esto se debe exclusivamente al área disponible de los ventanales en el Aula 03 (11,14 ft<sup>2</sup>) que para un área de 157,91 ft<sup>2</sup> (Aula 03) resulta no ser suficiente.

- Se identificó también limitantes en el diseño estructural del aula 03 lo que no permite la implantación de modelos de climatización, el principal limitante es la altura disponible en los espacios (2.20 m) por lo cual se diseñó una propuesta que integra la ventilación natural impulsada por las diferencias de presión de aire frío y caliente, como lo muestra la figura 33, en conjunto con la ventilación mecánica para crear un diseño que fortalezca la renovación de la carga de aire necesaria a fin de mantener un confort térmico aceptable adaptándose a los espacios físicos disponibles.
- La aplicación de la Norma UNE 12461.1 mostró que para un día soleado promedio la mayoría de los espacios de la edificación alcanzan los niveles exigidos, esto debido a la incidencia de la luz solar a través de los ventanales que aportan al cumplimiento del nivel de luminosidad. Sin embargo, estos valores se dan únicamente para un día soleado disminuyendo notablemente para horarios vespertinos y nocturnos donde el aporte de la luz exterior no ayuda a cumplir con los índices esperados por la norma como lo muestra la tabla 2.20.
- Se encontró que las tecnologías usadas en iluminación de los espacios interiores y exteriores de la edificación usan tecnologías menos eficientes (Tabla 2.22) en comparación con tecnologías modernas (T5-FHE, LED) lo que evidenció la necesidad de diseñar un nuevo sistema de iluminación para alcanzar los niveles recomendados por la norma.
- Los datos de las tablas 2.19 y 2.20 del presente estudio rebelaron una baja emisividad media en la mayoría de los espacios, esto debido a la falta de criterios técnicos enfocados a brindar confort visual y se evidencia en el reducido número de luminarias (focos con fluorescentes compactos) que no abastecen el nivel de luminosidad exigido por la norma UNE 12464.1 y que no es la tecnología apropiada para un espacio destinado a impartir educación; la mala distribución de las luminarias también deja espacios desprovistos de niveles adecuados de luminosidad.
- Se aumentó la potencia instalada para iluminación a fin de cumplir con la norma UNE 12464.1 con lo cual el número de luminarias aumentó y con ello el consumo anual paso de 1165,99 dólares (por iluminación de las zonas previamente escogidas) a 3284,29 dólares.

- Se diseñó un generador fotovoltaico para suplir la demanda de iluminación de algunas zonas debidamente escogidas con el fin de ayudar a disminuir el valor de consumo del resto del sistema de iluminación de la edificación y dotar al sistema de energía limpia y renovable.
- El generador fotovoltaico se diseñó exclusivamente para suplir cargas de iluminación de espacios como bodegas, corredores, patios, baños, gradas de accesos a niveles superiores e inferiores, pues presentan consumos en periodos intermitentes y no sobrecargarán el generador.
- Se reemplazarán las luminarias que alimentará el generador fotovoltaico por tecnología LED de corriente continua para los espacios interiores y LED de corriente alterna para exteriores, esto con el fin de aportar a la eficiencia del generador y disminución de la carga de potencia eléctrica instalada en dichas áreas que se alimentaban de la red pública.
- Se demostró que es factible la aplicación de un generador fotovoltaico para alimentar cargas de iluminación dentro del área urbana, consiguiendo una reducción de la carga instalada de 707 W a 465 W lo que representa un ahorro de 448,20 dólares anuales que no se pagarán a la empresa eléctrica y que servirán para devengar año a año el costo del generador.
- Se mostró la rentabilidad de la implementación del generador fotovoltaico (como lo muestra la tabla 3.11) a pesar que los principales elementos (paneles fotovoltaicos, acumuladores) ingresan pagando aranceles de importación e incluso valores de I.V.A del 14% en su adquisición. más al tener un tiempo de amortización de la inversión de 13 años, se rediseño el generador fotovoltaico con criterios técnicos para conseguir disminuir el costo del generador de 5563,77 dólares (tabla 3.9) a 4402,77 dólares (tabla 3.12) únicamente modificando la tecnología de los paneles solares y acumuladores consiguiendo un nuevo tiempo de amortización de 10 años (tabla 3.13).
- Se simuló el diseño propuesto para iluminación utilizando un modelo eficiente desarrollado con criterios técnicos provistos por la luminotecnica y la norma UNE 12464.1 que a través de los datos obtenidos por el software DIALuxEvo V 6.0 permitieron apreciar de una manera más consistente (simulación tridimensional y renderizado) el beneficio alcanzado por el nuevo diseño.

## RECOMENDACIONES

- La carga de aislamiento térmico de los estudiantes resulta ser excesiva para poder mantener un confort térmico deseado, por lo cual se recomienda la utilización del mandil solo en prácticas y laboratorios. Logrando reducir así de 0,98 clo a 0,67 clo el aislamiento térmico, esto con el fin de reducir la carga de calor metabólico generado en el periodo de clases.
- Si bien la norma UNE 12464.1 es flexible en sus niveles de luminosidad se debería utilizar únicamente los valores recomendados de la norma, más no los valores óptimos pues un aumento de la emisividad media del local, aumenta también el número de luminarias y esto a su vez aumenta la potencia instalada, esto con el fin de disminuir costos anuales de consumo que pueden resultar ser innecesarios.
- Parte de nuevas propuestas en busca de mejorar aún más el confort térmico de los distintos ambientes de la edificación, puede ser el desarrollo de un sistema de ventilación y calefacción automatizado en lazo cerrado que maneje variables como la temperatura ambiente y la temperatura interna del aula o espacio a fin de conseguir regular la carga de calor o incrementarla. Esto se puede lograr valiéndonos del diseño para recirculación de aire desarrollado en este estudio que se complementará con el debido control electrónico.
- Se sugiere implementar a corto plazo el diseño propuesto para evacuar la carga de calor de los distintos espacios donde se aplique, esto ayudará de manera inmediata a corregir la acumulación de calor metabólico producto de las actividades realizadas en las aulas, haciendo que éste fluya con aire renovado y generando un impacto positivo en el desarrollo de las actividades educativas.
- Para la determinación de las mejores condiciones de captación solar es una buena alternativa el apoyarnos en software especializado o recursos online (en la web) que nos permita contrastar los cálculos del generador fotovoltaico con las normas de dimensionamiento del mismo.
- Para sistemas de almacenamiento de energía estacionarios como es el caso de este generador fotovoltaico es recomendable el uso de un banco de baterías estacionarias a base de níquel – cadmio que son de menor valor que un conjunto de baterías de gel, tienen mayor tiempo de vida útil, mínimo 20 años y bajos costos de mantenimiento.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Agustín Castejón, G. S. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editex S.A.
- ASHRAE. (2009). ASHRAE - HANDBOOK. En ASHRAE, *Fundamentals* (pág. 926). Atlanta: Inch-Pound Edition.
- ASHRAE. (2009). ASHRAE 2009. En R. society, *ASHRAE thermal confort* (pág. 1152). USA: ASDD.
- Comunidad de Madrid. (2006). Guía técnica de iluminación eficiente. En *Sector residencial y terciario* (págs. 8-34). Madrid: Graficas Arias Montano S.A.
- Comunidad de Madrid. (2011). Guía de ahorro y eficiencia energética en centros docentes. Madrid: Gráficas Arias Montano S.A.
- CONELEC. (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de Electrificación. En C. p. (CIE). Quito.
- Departamento de energía solar del IDAE - CENSOLAR. (15 de 07 de 2011). *Pliego de condiciones técnicas aisladas de red*. Madrid: IDAE.
- Energías Renovables. (25 de 11 de 2014). <http://www.energiasrenovablesinfo.com>. Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- Energy Manager. (2015). Principios Energéticos. En Y. N. López. México D.F.: CAMEXA.
- f2e Fundación para la eficiencia energética. (12 de 07 de 2016). Conceptos básicos de luminotécnia. En AIDO. Valencia: AIDO.
- Frederick J. Bueche, E. H. (2007). Física General. En *Física General* (pág. 736). México, D.F.: McGraw-Hill.
- INER. (21 de 08 de 2014). [www.iner.gob.ec](http://www.iner.gob.ec). Obtenido de Instituto nacional de eficiencia energética y energías renovables: <http://www.iner.gob.ec/solar/>
- Kahan, S. (20 de 08 de 2014). *Módulo, Aire Húmedo*. Montevideo: West publishing Co.
- Ministerio de salud Chile. (2013). En d. d. Instituto de salud pública, *Protocolo para la medición de estrés térmico* (pág. 11). Santiago: ISPCH.
- Orbegozo Carlos, A. R. (2010). Energía solar Fotovoltaica. En *Manual Técnico para instalaciones domiciliarias* (pág. 42). Madrid: DeD.
- Pedro R. Mondelo, E. G. (2001). Ergonomía 2. En *Confort y estrés térmico* (pág. 203). México: Edicions UPC.

Unión Europea. (21 de 07 de 2011). UNE 12464.1. En *Norma Europea sobre la iluminación de Interiores* (págs. 2-15). Valencia. Recuperado el 07 de 2016, de Instituto para la diversificación y ahorro de la energía.

Universidad Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (21 de 08 de 2016). Temperatura Protocolo. En E. C. Ingeniería. Bogotá: Laboratorio de Producción.

Universidad Politécnica de Cataluña, TRRL. (16 de 07 de 2016). Comparación de tiempos de trayectos Metro-A Pie-Bici en la zona urbana de Barcelona. Barcelona. Recuperado el 16 de 08 de 2016.

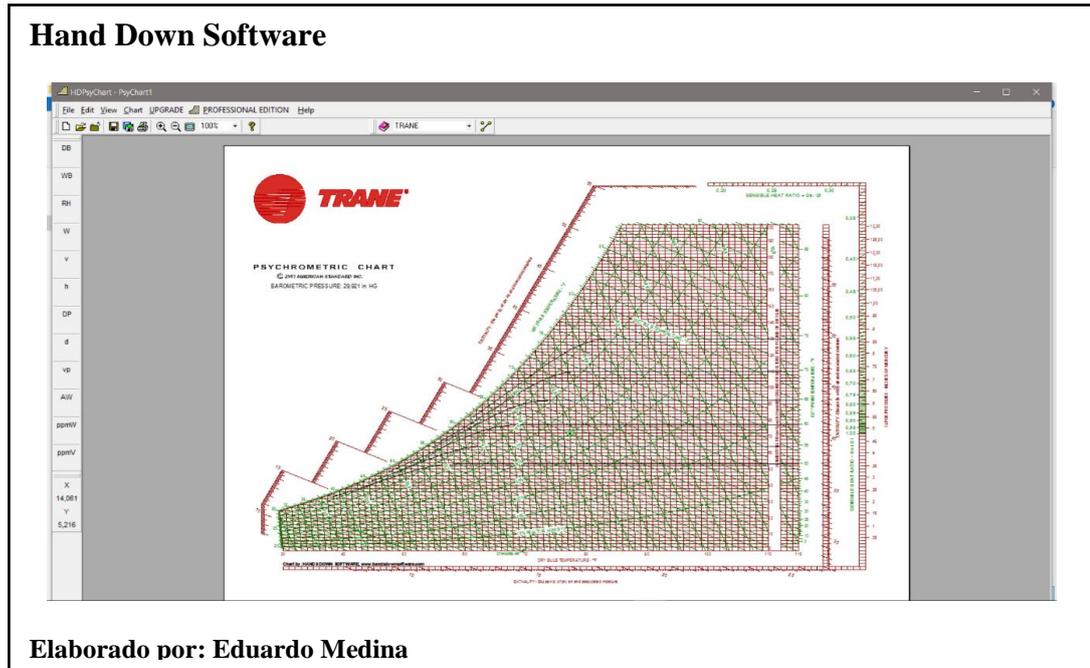
## ANEXOS

### Anexo 1 muestra de materiales y planos de la edificación

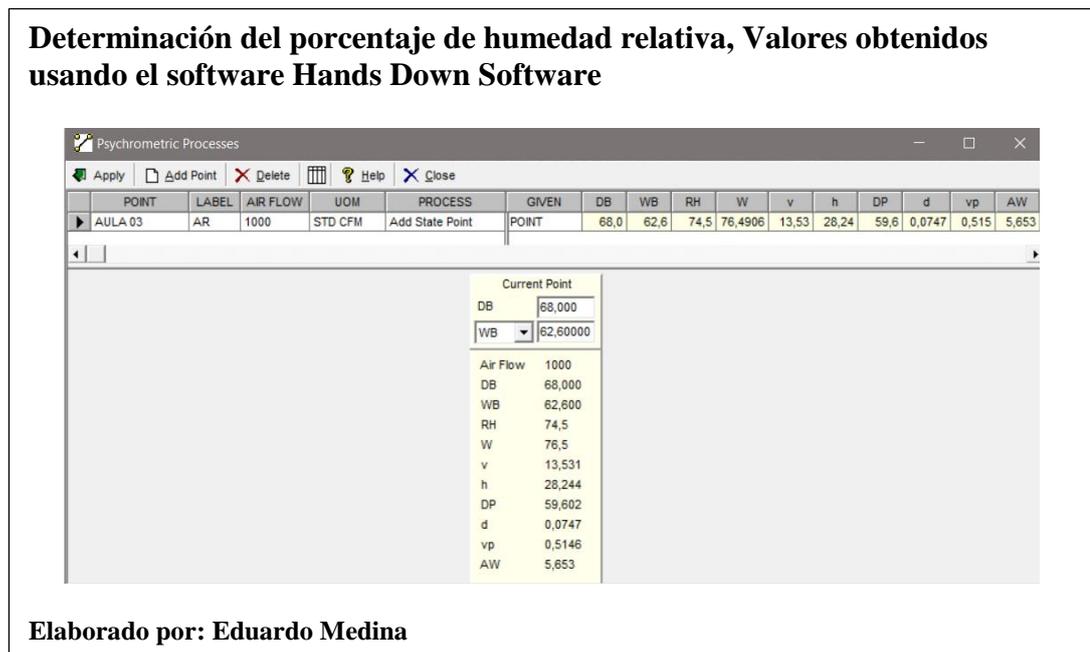
Se adjunta anexo 1 en archivo digital, incluido en el CD en la carpeta anexos.

### Anexo 2 uso del software Hands Down

Interfaz de usuario y opciones disponibles para manipulación y toma de datos.

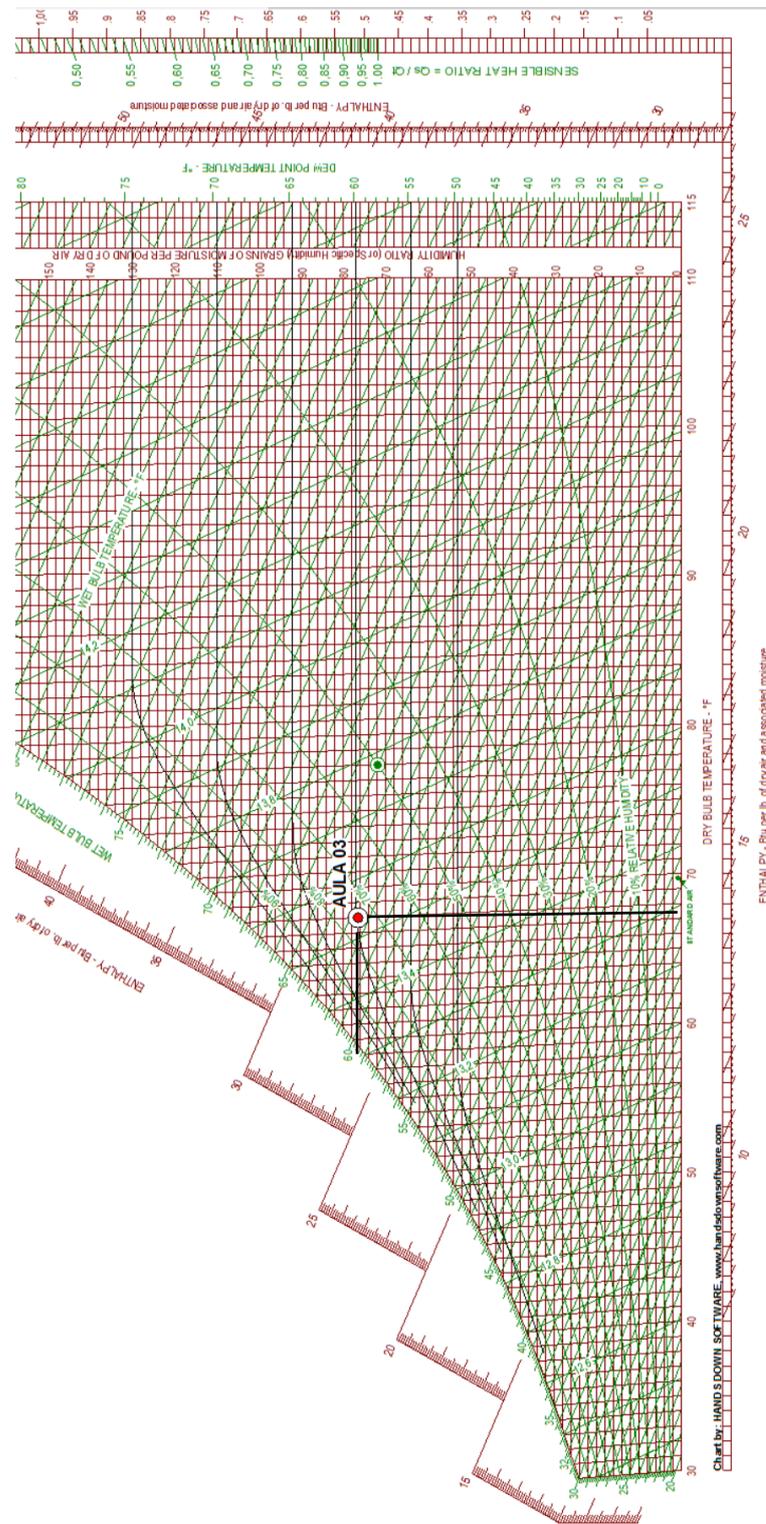


Nota: Para el ingreso de datos en el software, las temperaturas tomadas deben cambiarse a su equivalente en grados Fahrenheit.



# Diagramación y ubicación del porcentaje de humedad relativa

## Localización del nivel de humedad relativa para el Aula 03



Elaborado por: Eduardo Medina

### Anexo 3 simulación del sistema de iluminación actual

Se adjunta el anexo 3 en archivo digital, incluido en el CD en la carpeta anexos.

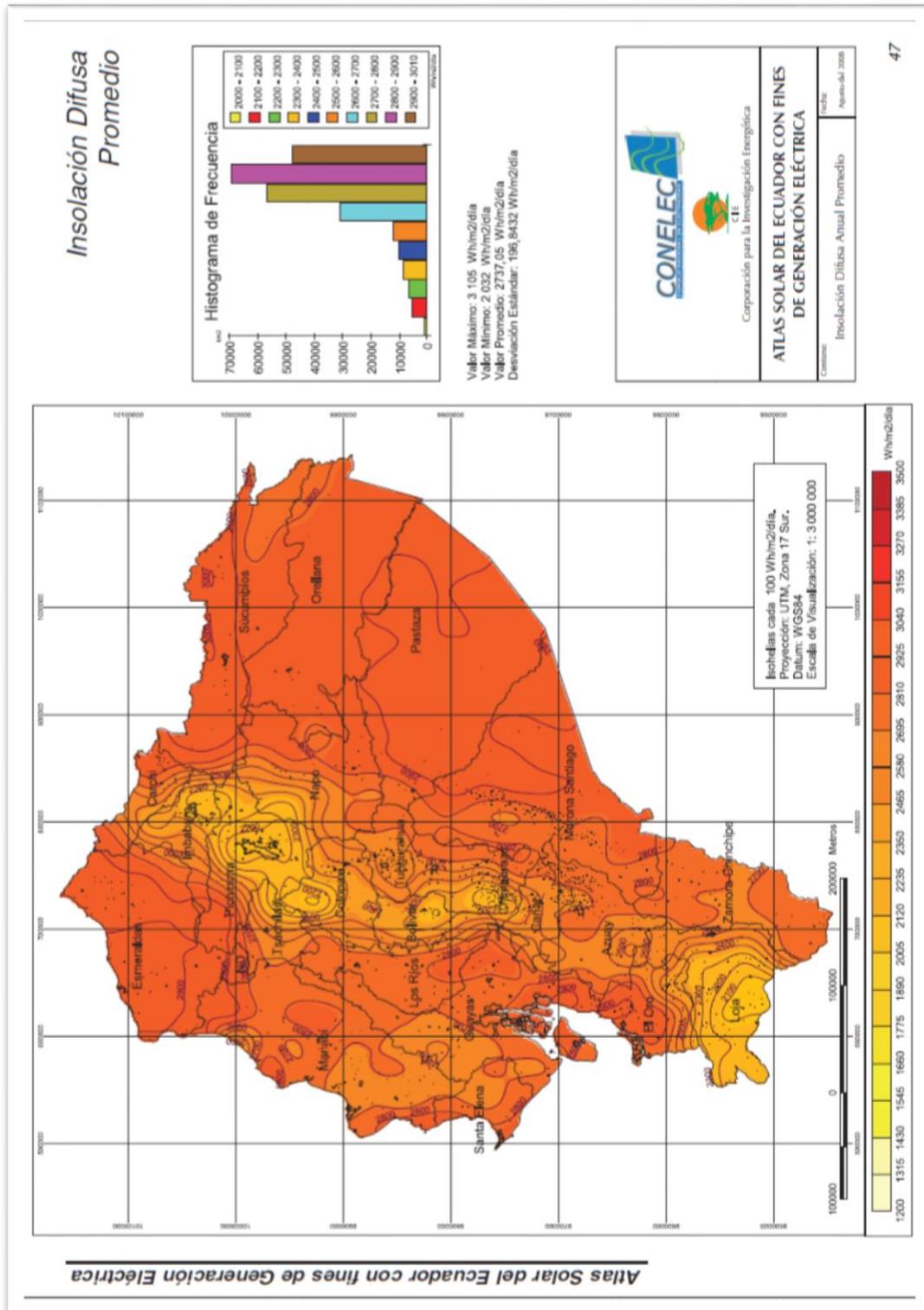
### Anexo 4 pliego tarifario 2016 E.E.Q.

EMPRESA ELECTRICA QUITO PLIEGO TARIFARIO VIGENTE PERIODO DE CONSUMO: 1-31 DE ENERO 2016									
CATEGORIA	RANGO DE CONSUMO (kWh)	DEMANDA (US\$/kW)	CARGOS TARIFARIOS (US\$)	DESCRIPCION	COMERCIALIZACION (US\$/Consumidor)	ALUMBRADO PÚBLICO (%) del valor de la planilla por consumo	TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA (Notas del Anexo)	Notas del Anexo	
A.	TARIFAS BAJA Y MEDIA TENSION								
A.1	RESIDENCIAL								
	0 - 50		0,0784	Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de Tarifa Residencial, independientemente de la carga contratada.					
	51 - 100		0,0814	Por cada kWh de consumo en el mes					
	101 - 150		0,0834	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo					
	151 - 200		0,0854	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo					
	201 - 250		0,0974	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo					
	251 - 500		0,0994	Por cada uno de los siguientes 250 kWh de consumo					
	501 - 700		0,1285	Por cada uno de los siguientes 200 kWh de consumo					
	701 - 1000		0,1450	Por cada uno de los siguientes 300 kWh de consumo					
	1001 - 1500		0,1709	Por cada uno de los siguientes 500 kWh de consumo					
	1501 - 2500		0,2752	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh de consumo					
	2501 - 3500		0,4360	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh de consumo					
	3501 y superior		0,6812	Por cada uno de los siguientes kWh de consumo en el mes				(2)	
	Subsidio cruzado		1,8	De descuento en el valor de la planilla por consumo a los abonados que consumen entre 1 y 130 kWh/mes, con un mínimo de pago correspondiente al cargo de Comercialización.				(1)	
	Subsidio Solidario		10%	Del valor de la planilla por consumo, por concepto de contribución al Subsidio Cruzado, a los abonados que consumen desde 161 kWh en adelante.					
	Subsidio Tarifa Dignidad		0,04	Los abonados Residenciales que consumen de 1 hasta 110 kWh/mes, con base al Decreto Ejecutivo NP 451-A de 1 de Julio de 2007 y Circular No. ARCONEL-DE-2015-002-0FC de 24 de marzo de 2015, recibirán un subsidio en un valor tal que como máximo pagarán 0,04 US\$/kWh de consumo y 0,70 US\$ por comercialización. El valor del subsidio por la Tarifa de la Dignidad correla en la planilla que corresponda, como un concepto independiente. Para la aplicación, en los procedimientos de cálculo se considerará inicialmente la misma forma como se venía haciendo y luego se aplicará el beneficio del Decreto en referencia.	1,414	6,40 Anexo Nota (3)			
A.2	RESIDENCIAL PARA EL PROGRAMA PEC								
	Aplicación de acuerdo al Numeral 16 del Anexo al Pliego						1,414	6,40 Anexo Nota (3)	(2)

## Anexo 5 Simulación de la propuesta de iluminación con Norma UNE 12464.1

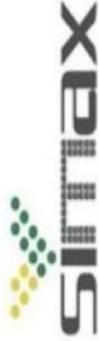
Se adjunta el anexo 5 en archivo digital, incluido en el CD en la carpeta anexos.

## Anexo 6 mapa isotérmico del Ecuador



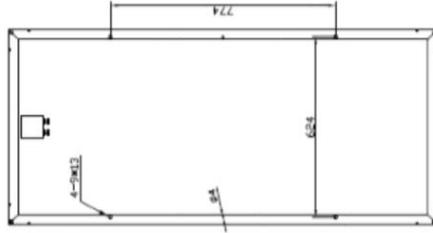
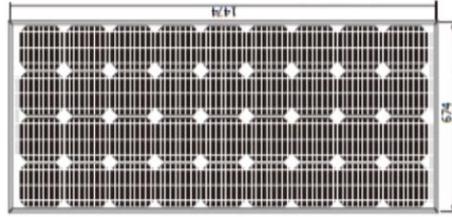
## Anexo 7 ficha técnica de datos de los paneles solares

# TECHNICAL DATA SHEET SM636-150



### Technical Data

Type	SM636-150
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 156mm×156mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1482×676×35mm ( 156×156mm cell)
Module, Weight	12 kg
Connector / Cross-Section	C6x1 Renihe
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium



### Electrical Data

Maximum Power	$P_{MPP,STC}$	150 W
Power Tolerance	$\Delta_{STC}$	+2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP,STC}$	18.1 V
Maximum Power Current	$I_{MPP,STC}$	8.42 A
Open Circuit Voltage	$U_{OC,STC}$	22.6 V
Short Circuit Current	$I_{SC,STC}$	8.88 A
Cell Efficiency	$\eta_{STC}$	15.5 %
Maximum System Voltage	$U_{DC}$	1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C, Wind 0 m/s

### Temperature Coefficients

Power Coefficient	$\alpha_k (P_{MPP})$	-0.50 ± 0.05 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_k (U_{OC})$	-0.35 ± 0.01 %/K
Current Coefficient	$\phi_k (I_{SC})$	0.06 ± 0.01 %/K

### Power Warranty

10 years performance warranty to 90 %

25 years performance warranty to 80 %

5 years warranty against production and material defects

### Certifications

IEC 61215, IEC 61730 ,TUV, CE, ISO9001:2000

## Anexo 8 Ficha técnica de datos de las baterías

UCG150-12		Physical Specification	
		Part Number:	UCG150-12
		Length:	485 ± 2 mm (19.09 inches)
		Width:	170 ± 2 mm (6.69 inches)
		Container Height:	240 ± 2 mm (9.45 inches)
		Total Height (with terminal):	240 ± 2 mm (9.45 inches)
		Approx Weight:	Approx 44 kg
Specifications			
Terminal Type	Nominal Voltage	12V	
	Nominal Capacity (10HR)	150AH	
	Standard Terminal	F10	
Container Material	Optional Terminal	F11	
	Standard Option	ABS	
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:VO)	
Rated Capacity	160.8 AH/8.04A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	150.0 AH/15.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	131.6 AH/26.3A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	119.3 AH/39.8A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	96.9 AH/96.9A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)	
Max Discharge Current	1500A (5s)		
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)	
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)	
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 45.0A. Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C	
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C	
	Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
25°C (77°F)		100%	
0°C (32°F)		86%	
Design Floating Life at 20°C	15 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

## Anexo 9 Ficha técnica de datos del controlador-regulador


El regulador Damia Solar de 80A dispone de pantalla LCD para un fácil control de los niveles de carga de la instalación solar y para poder configurar los diferentes parámetros del regulador. El regulador de carga tiene como objetivo insertar la energía de las placas a las baterías evitando sobrecargas que afecten a su vida útil. Dispone de modo de carga PWM para uso de placas solares de 12V y paneles de 24V de aislada (de potencia entre 160 y 190W). Entre sus principales características, permite ajustar los parámetros de carga y descarga de la batería. Por ejemplo, se puede configurar la desconexión de la batería por bajo voltaje evitando así que esta alcance niveles críticos de carga. Para uso de placas solares de 24V de potencia igual o superior a 200W, será necesario el uso de un regulador MPPT. Para cualquier duda consulta con un técnico de Damia Solar. Estaremos encantados de ayudarte.

### **Regulador Damia Solar de 80A 12/24V**

Para conectar placas de hasta 80A de amperaje total.

**Código del producto:** da0212

Características:

- Regulador de 80 amperios de capacidad máxima en placas solares.
- Con pantalla LCD que permite ajustar los parámetros de funcionamiento.
- Salida de consumos con ajustes de los parámetros de control de carga y descarga de la batería.
- Dispone de protecciones por sobrecarga, cortocircuito, polaridad inversa, y compensación automática de la temperatura.
- Dispone de indicador de amperios/hora de carga y descarga acumulados a lo largo del tiempo.
- Identificador automático de sistema de 12V o 24V.
- Máxima sección de cable en los conectores 16 mm<sup>2</sup>.
- Voltaje de los paneles: ≤50V.
- Voltaje de carga en flotación: 13,7V/27,4V.
- Baja tensión de desconexión (LVD): 10,7V/21,4V.
- Baja tensión de reconexión (LVR): 12,6V/25,2V.
- Modo de carga: PWM.
  
- Medidas: 130 x 188 x 62 mm.
- Peso: 0,7 Kg.

## Anexo 10 Ficha técnica de datos del Inversor

### Inversor de Voltaje de 12 VDC a 110 VAC

### 1000 Watts de Potencia



Marca: **UKC**  
Modelo: **SSK-1000**

Inversor / Convertidor de voltaje, de 12 Vdc a 110 Vac.

Para transformar los 12 Vdc de una batería de Auto a 110 Vac y poder conectar cualquier equipo eléctrico **que no sobrepase los 800 Watts continuos** de consumo de energía.

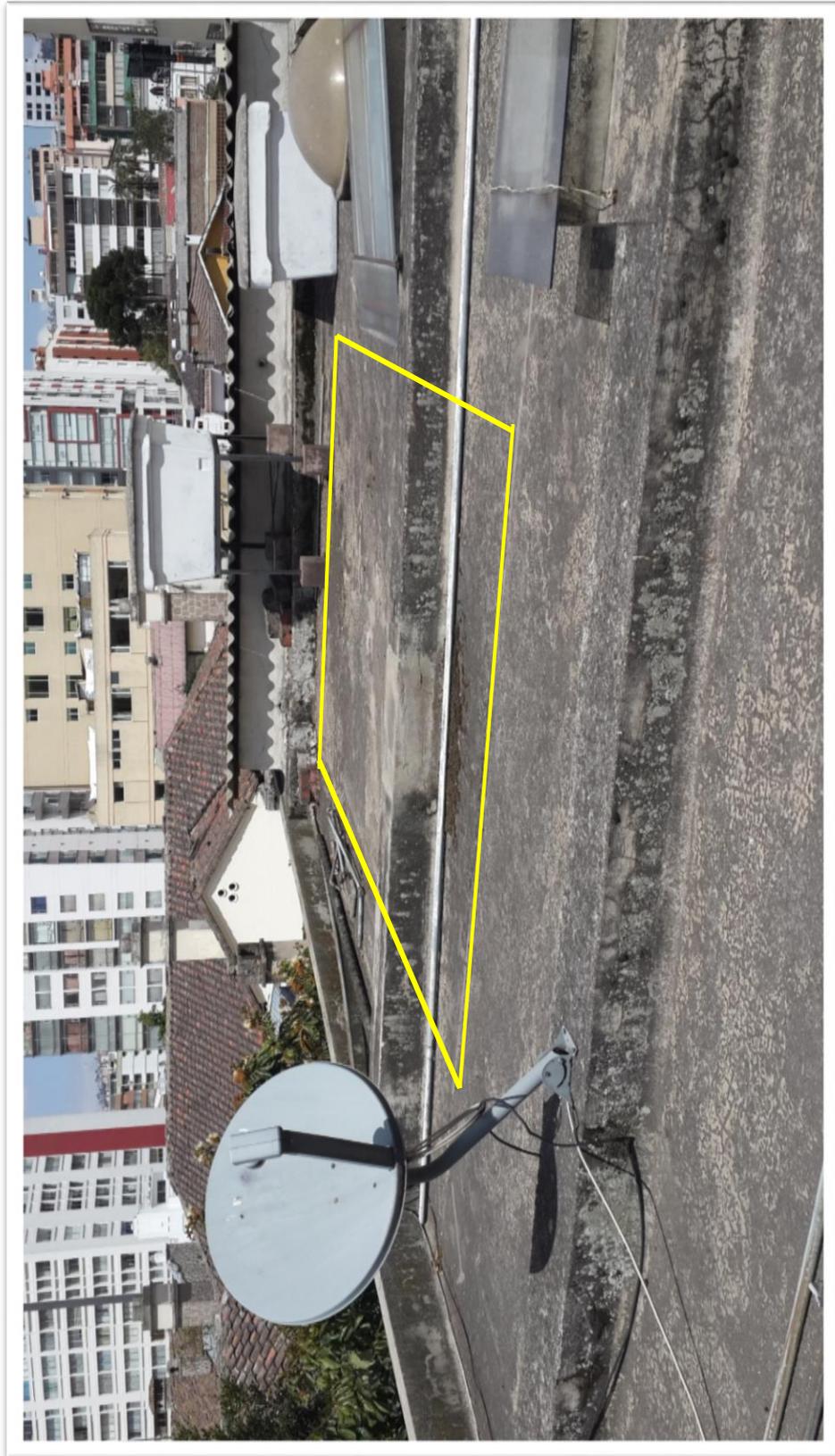
Características:

- **Capacidad de 800 Watts** continuos, o de 1000 Watts continuos por máximo 30 minutos seguidos, 2000 Watts pico.
- Fusible de protección.
- Conexión para enchufes redondos y planos.
- Switch de Encendido / Apagado.
- Conector USB para energizar cualquier equipo USB a 500 mA.
- Diseño en aluminio para mejor disipación de calor.
- Posee ventilador propio para evitar el calentamiento de la unidad.
- Incluye 2 cables para conexión entre el inversor y la batería. Con terminales de lagarto para conectar fácilmente a la batería del auto.
- Cables de 50 centímetros de longitud.
- Dimensiones del Inversor de Voltaje: 20,0 x 10,0 x 5,5 cm.

**NOTA:** Este inversor no es recomendable para usarse con equipos que funcionen con motor, como por ejemplo licuadoras, aspiradoras, taladros, etc. Al encenderse, todos los motores producen un pico de corriente que puede dañar al inversor.

Disponemos de otros modelos de Inversores.

**Anexo 11 Reconocimiento del lugar escogido para el generador fotovoltaico**



**Anexo 12 amortización del generador fotovoltaico con valores de mantenimiento correctivo**

ESTIMACION DEL PERIODO DE RECUPERACION DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO					
AÑOS	INVERSIÓN DÓLARES (\$)	AHORRO DÓLARES (\$)	COSTOS MANTENIMIENTO DÓLARES (\$)	TOTAL (\$)	OBSERVACIÓN
0	4402,77	0	0	4402,77	
1		448,2	0	3954,57	
2		448,2	0	3506,37	
3		448,2	0	3058,17	
4		448,2	0	2609,97	
5		448,2	0	2161,77	
6		448,2	0	1713,57	
7		448,2	0	1265,37	
8		448,2	922	1739,17	cambio de baterias
9		448,2	0	1290,97	
10		448,2	0	842,77	
11		448,2	0	394,57	
12		448,2	0	-53,63	Generación de rentabilidad
13		448,2	0	-501,83	
14		448,2	0	-950,03	
15		448,2	0	-1398,23	
16		448,2	922	-924,43	cambio de baterias
17		448,2	0	-1372,63	
18		448,2	0	-1820,83	
19		448,2	0	-2269,03	
20		448,2	0	-2717,23	
21		448,2	0	-3165,43	
22		448,2	0	-3613,63	
23		448,2	0	-4061,83	
24		448,2	922	-3588,03	Fin de vida útil de los módulos fotovoltaicos, cambio de baterias
25		448,2	1148	-2888,23	reemplazo de los módulos fotovoltaicos

## Anexo 13 Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos para la mejora del diseño del G.F.V.



### SIMAX 156 Polycrystalline Solar Module (SP636-125W-145W)



#### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon solar cell 156x156(mm)
No. of Cells	36(4x9)
Dimensions	1482x676x50(mm)
Weight	14kg
Front Glass	3.2mm(0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

#### Output

Cable Type	Φ=4mm <sup>2</sup>
Lengths	L=900mm
Junction Box	PV-GZX0601 MC3 or MC4

#### Temperature Coefficients

Nominal operating cell temperature(NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.035%/°C

### Electrical Specifications

Parameter	SP636-125	SP636-130	SP636-135	SP636-140	SP636-145
Peak power Pm(W)	125±3%	130±3%	135±3%	140±3%	145±3%
Open circuit voltage Voc(V)	21.7	21.7	22.3	22.3	22.9
Max. power voltage Vmp(V)	17.7	17.5	18	18	18.5
Max. power current Imp(A)	7.14	7.43	7.5	7.78	7.84
Short circuit current Isc(A)	7.57	7.87	7.95	8.25	8.31
Dimension(L*W*H)	1482*676*50				
Weight(kg)	14				
Max. over-current (A)	14				
Max. system voltage (V)	1000V DC				
Application Class	Class A				
Mono-crystalline silicon solar cell	156*156*0.19mm				
No. of cells and connections	36 series				
No. of bypass diodes	6				
Bypass diode rating (A)	10				
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200				
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0				
STC	Irradiance:1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature:25°C, AM:1.5				
Maximum No. of series connection	43				
Maximum No. of parallel connection	2				

## Anexo 14 Ficha técnica de las baterías para la mejora del diseño del generador fotovoltaico



La batería solar monoblock de Blackbull está compuesta por una combinación de plomo-ácido y por gruesas placas que le permiten disponer de una larga vida útil, una baja auto descarga, y un alto número de ciclos de uso. Estas baterías generan un voltaje a 12V, por lo que, si se quiere usar en instalaciones fotovoltaicas a 24v, se deberán conectar en serie con otra batería.

### **Batería solar monoblock Blackbull 250Ah 12V**

La mayor capacidad en batería solar monoblock..

**Código del producto:** da1530

Características:

- Medidas: 516 x 271 x 238 mm.
- Peso: 62 Kg.
- Voltaje: 12V.
- Tipo de batería: Solar monoblock.
- Fabricadas con tecnología de Ácido abierto.
- Requiere mantenimiento.
- Capacidad de carga en C100: 250Ah. Y en C20: 220Ah.
- Fabricadas de acuerdo con la certificación ISO 9002 y cumpliendo las normativas CE y UL.
- Recipiente de material Polipropileno ABS resistente al fuego.
- Garantía de 2 años.

La batería solar monoblock blackbull de tipo ácido abierto ha sido fabricada con tecnología de fibra de vidrio y con plomo y antimonio con el objetivo de mejorar la resistencia de sus placas ante la corrosión y para alargar su vida. Su diseño proporciona resultados excelentes ante aplicaciones con continuados ciclos de descarga y de alta resistencia ante descargas profundas. Su vida también se ha mejorado gracias al uso de placas de mayor grosor y a sus soldaduras reforzadas ante movimientos bruscos o choques. Es decir, se han fabricado del mejor modo posible para que tengas el resultado esperado en tu instalación solar.