



**UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

---

**TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO  
PARA LA MITIGACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO EN ÁREAS CON  
EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE ALTA DENSIDAD TÉRMICA**

---

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero  
Industrial

**Autor(a)**

Almendariz Llanos Mauricio Roberto

**Tutor(a)**

Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

QUITO – ECUADOR

2026

## **AUTORIZACIÓN**

### **AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Almendariz Llanos Mauricio Roberto, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “DISEÑO DE UN SISEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA MITIGACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO EN ÁREAS CON EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE ALTA DENSIDAD TÉRMICA”, como requisito para optar al grado de Ingeniería Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 22 días del mes de febrero del 2026, firmo conforme:

Autor: Almendariz Llanos Mauricio Roberto  
Firma:  
Número de Cédula: 1715391346  
Dirección: – Quito – Ecuador  
Correo Electrónico: [mauroeim@gmail.com](mailto:mauroeim@gmail.com)  
Teléfono: 0995220987

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA MITIGACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO EN ÁREAS CON EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE ALTA DENSIDAD TÉRMICA” presentado por Almendariz Llanos Mauricio Roberto para optar por el Título de Ingeniero Industrial.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte de los lectores que se designe.

Quito, 24 de febrero del 2026

Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

1708520265

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniería Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 24 días del mes de febrero del 2026

.....  
Almendariz Llanos Mauricio Roberto

C.I. 1715391346

## **APROBACIÓN DE PAR LECTOR**

El trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA MITIGACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO EN ÁREAS CON EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE ALTA DENSIDAD TÉRMICA**, previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito a 24 días del mes de febrero del 2026

.....

Ing. Fabián Sarmiento Ortiz M.Sc.

LECTOR 1

.....

Ing. Joel Segura D'Rouville M.Sc.

LECTOR 2

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con profundo amor a mi madre, pilar inquebrantable de mi vida, cuya fe en mis capacidades nunca flaqueó, incluso cuando mis propias fuerzas desfallecieron; su ejemplo de perseverancia ha sido la inspiración para este logro. A mi hermano, por ser mi apoyo incondicional, mi referente personal y un profesional a quien admiro profundamente. A la memoria de mi padre, quien desde la eternidad me acompaña; espero que este peldaño alcanzado sea motivo de orgullo para él.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más profunda gratitud a los docentes que, con su guía y conocimientos, han contribuido a mi formación como un profesional íntegro, competitivo y ético. De manera especial, extendo un sincero reconocimiento a mi tutor, el Ing. Pablo Ron, cuya orientación técnica y constante motivación han sido pilares fundamentales no solo en la culminación de este trabajo de investigación, sino a lo largo de toda mi trayectoria universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN .....	i
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE PAR LECTOR.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I .....	1
Introducción .....	1
Antecedentes .....	2
Justificación .....	4
Objetivos .....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
Ingeniería del Proyecto .....	6
Situación actual de la empresa.....	6
Evaluación del Estrés Térmico .....	6
Equipo de Medición y Evaluación.....	11
Desarrollo de la evaluación de estrés térmico.....	12

Resultados de la evaluación .....	15
Herramienta de Ingeniería.....	17
Diagrama de Ishikawa.....	17
Diagrama de Pareto.....	18
Área de Estudio.....	21
Modelo Operativo .....	22
Desarrollo del modelo operativo.....	23
Diseño de la HVAC para evitar el stress térmico .....	23
Evaluación de carga térmica .....	23
Calculo de carga térmica real.....	23
Análisis de cumplimiento de sonido y vibración (NC-15 a NC-20).....	23
Selección de tipo de equipo HVAC .....	24
Análisis de factibilidad técnica y económica .....	24
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>25</b>
Propuesta y resultados esperados.....	25
Presentación de la propuesta.....	25
Diseño de sistema HVAC para mitigación del estrés térmico .....	25
Parámetros iniciales y psicométricos .....	27
Estimación de Carga Térmica por Equipos Electrónicos de Alta Densidad Térmica .....	28
Estimación de Carga Térmica.....	29
Carga Térmica por Ocupantes .....	31

Carga térmica por áreas. ....	32
Carga por Ventilación (Qv) .....	34
Carga Térmica Total (Q <sub>T</sub> ) .....	35
Factor de Corrección por Altitud (Derating) .....	36
Selección de equipo .....	38
Resultados esperados .....	40
Datos medidos utilizando un equipo HVAC tipo portátil de 12000 BTU/h.....	41
Cronograma de implementación de la propuesta.....	43
Gestión y Aprobación de la Propuesta Técnica .....	43
Proceso de Adquisición.....	43
Ejecución Técnica e Instalación.....	43
Pruebas de Funcionamiento y Acústica .....	43
Socialización .....	44
Entrega de Informe Final .....	44
Análisis de costos.....	45
Costo de Equipo Split Dual Inverter LG 12000 BTU/h y Materiales.....	46
Mano de obra .....	46
Costo Total de Implementación de la Propuesta.....	47
Cálculo del VAN y TIR .....	48
Calculo del Van.....	50
Curva de costo beneficio.....	51

CAPÍTULO IV.....	53
Conclusiones y Recomendaciones.....	53
Conclusiones.....	53
Recomendaciones.....	54
Bibliografía.....	56
ANEXOS.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Valores de Ajuste por Vestimenta (CAV) para el Índice WBGT</i> .....	9
<b>Tabla 2</b> <i>Clasificación de Niveles de Actividad (ISO 7243:2017)</i> .....	9
<b>Tabla 3</b> <i>Valores de Referencia del Índice WBGT</i> .....	10
<b>Tabla 4</b> <i>Comparativa de especificaciones técnicas: Equipo BTMETER BT-881W vs. ISO 7243:2017</i> .....	11
<b>Tabla 5</b> <i>Mediciones realizadas dentro de la cabina de radio con instrumento BT METER modelo BT881</i> .....	13
<b>Tabla 6</b> <i>Análisis de causas del estrés térmico en cabina de radio</i> .....	19
<b>Tabla 7</b> <i>Área de Estudio</i> .....	21
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados de Análisis de Entalpia</i> .....	26
<b>Tabla 9</b> <i>Equipos y Carga Térmica (BTU/h)</i> .....	28
<b>Tabla 10</b> <i>Factores de corrección por altitud para equipos de expansión directa LG</i> .....	36
<b>Tabla 11</b> <i>Matriz de Decisión: Unidad Centralizada vs. Split Inverter</i> .....	39
<b>Tabla 12</b> <i>Condiciones higrométricas medidas en la cabina de radio usando un Aire Acondicionado Portátil modelo SP12F 12K BTU/h marca Electrolux</i> .....	41
<b>Tabla 13</b> <i>Costos de instalación de equipo HVAC LG 12000 BTU/h</i> .....	46
<b>Tabla 14</b> <i>Costos de mano de obra</i> .....	47
<b>Tabla 15</b> <i>Costos totales de Implementación de equipo HVAC en cabina de radio</i> .....	48
<b>Tabla 16</b> <i>Costos de Mantenimiento Equipos Electrónicos Cabina de Radio año 2025</i> .....	49
<b>Tabla 17</b> <i>Valores estimados de flujo para cálculo de TIR y VAN</i> .....	49
<b>Tabla 18</b> <i>Valores del VAN proyectados según la tasa de actualización</i> .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Horas de trabajo pérdidas por estrés térmico por subregión.....</i>	1
<b>Figura 2</b> <i>Medidor de estrés térmico BT-881W.....</i>	11
<b>Figura 3</b> <i>Diagrama de Ishikawa sobre las causas del estrés térmico en la cabina de radio .</i>	17
<b>Figura 4</b> <i>Diagrama de Pareto de los factores contribuyentes al estrés térmico .....</i>	20
<b>Figura 5</b> <i>Modelo operativo para el diseño del sistema de aire acondicionado para la mitigación de estrés térmico .....</i>	22
<b>Figura 6</b> <i>Cronograma de implementación para la instalación de equipo Split Inverter 12000 BTU/h.....</i>	44
<b>Figura 7</b> <i>Diagrama de Gantt.....</i>	45
<b>Figura 8</b> <i>Perfil del Valor Actual Neto y determinación de la Tasa Interna de Retorno .....</i>	52

## ANEXOS

<b>Anexo 1</b> <i>Especificaciones técnicas de la tira LED SMD5050</i> .....	58
<b>Anexo 2</b> <i>Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación Mean Well serie LRS-100</i> .59	
<b>Anexo 3</b> <i>Tasas Representativas de Calor y Humedad por Seres Humanos en Diferentes Estados de</i> .....	60
<b>Anexo 4</b> <i>Factores de transmisión térmica (Valor U) para diferentes productos de fenestración</i> .....	61
<b>Anexo 5</b> <i>Materiales de construcción y aislamiento</i> .....	62
<b>Anexo 6</b> <i>Pautas de diseño para el sonido de fondo relacionado con sistemas HVAC en recintos</i> .....	62
<b>Anexo 7</b> <i>Especificaciones técnicas de equipos de aire acondicionado LG Dual Inverter</i> .....	63
<b>Anexo 8</b> <i>Presupuesto detallado para la adquisición e instalación del sistema de climatización</i> .....	64
<b>Anexo 9</b> <i>Salarios mínimos sectoriales y tarifas 2025 para la Comisión Sectorial No. 8 "Metalmecánica"</i> .....	65
<b>Anexo 10</b> <i>Aprobación Abstract Departamento de Idiomas.</i> .....	66

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

#### TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA LA MITIGACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO EN ÁREAS CON EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE ALTA DENSIDAD TÉRMICA

**AUTOR:** Almendariz Llanos Mauricio Roberto

**TUTOR:** Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc

#### RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación aborda el análisis del estrés térmico en una cabina de transmisión radial en Riobamba, donde el uso de lana de vidrio como aislamiento acústico provoca una acumulación crítica del calor generado por equipos electrónicos de alta densidad térmica debido a que este material también es un aislante térmico. La falta de renovación de aire y el casi nulo intercambio de calor con el interior de la cabina generan condiciones de discomfort como sudoración excesiva en los operadores y riesgo de fallas en los circuitos electrónicos debido a la humedad ambiental, afectando la salud ocupacional y la operatividad técnica. Con el objetivo de verificar la existencia de estrés térmico se utiliza la metodología descrita en la norma ISO 7243:2017 recolectando datos higrométricos diarios con ayuda de un monitor de estrés térmico BT-881W. Los resultados confirmaron la existencia de estrés térmico al registrarse un índice WBGT (Índice de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo) de 34,73 °C superior al límite permisible de 30 °C que consta en la norma para trabajos considerados de baja actividad. Ante este hallazgo se procedió con una solución de ingeniería como es el diseño de un sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) realizando el cálculo de cargas térmicas totales (11604,96 BTU/h) bajo estándares de la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Como conclusión se seleccionó un equipo Split Inverter de capacidad comercial 12000 BTU/h, el cual garantiza las condiciones de confort óptimas descritas en el manual de fundamentos de ASHRAE de 22 °C de temperatura y humedad relativa de 50% además del criterio de ruido límite NC-25 exigido para entornos de transmisiones radiales.

**Palabras claves:** Estrés Térmico, Renovación de Aire, Equipos Electrónicos, Calor.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTY OF ENGINEERING, INDUSTRY AND PRODUCTION**

**INDUSTRIAL ENGINEERING CAREER**

**SUBJECT: DESIGN OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM FOR THE  
MITIGATION OF THERMAL STRESS IN AREAS WITH HIGH-DENSITY  
THERMAL ELECTRONIC EQUIPMENT.**

**AUTHOR:** Almendariz Llanos Mauricio Roberto

**TUTOR:** Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

### **ABSTRACT**

This research addresses the analysis of thermal stress in a radio transmission cabin in Riobamba, where the use of fiberglass wool as acoustic insulation leads to critical heat accumulation from high thermal density electronic equipment, as this material also acts as a thermal insulator. The lack of air renewal and the nearly null heat exchange within the cabin create discomfort conditions such as excessive operator sweating and risks of electronic circuit failures due to ambient humidity, impacting occupational health and technical operability. To verify the presence of thermal stress, the methodology outlined in ISO 7243:2017 was applied, collecting daily hygrometric data using a BT-881W thermal stress monitor. Results confirmed thermal stress, with a WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index of 34.73 °C exceeding the permissible limit of 30 °C specified in the standard for low-activity work. In response, an engineering solution was developed: the design of an HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) system, including calculations of total thermal loads (11,604.96 BTU/h) based on standards from the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). In conclusion, a 12,000 BTU/h Split Inverter unit was selected, ensuring optimal comfort conditions as per the ASHRAE Fundamentals Handbook—22 °C temperature and 50% relative humidity—along with the NC-25 noise criterion required for radio transmission environments.

**Keywords:** Heat Stress, Air Renewal, Electronic Equipment, Heat.

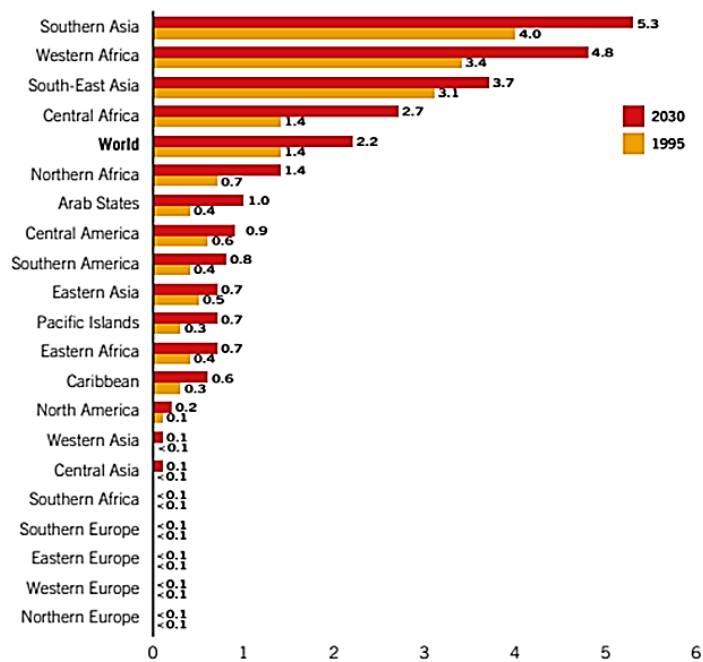
# CAPÍTULO I

## Introducción

El estrés térmico en puestos de trabajo se ha consolidado como uno de los riesgos más críticos a nivel mundial para las organizaciones encargadas de velar por la salud ocupacional debido a los efectos del calentamiento global que se prevé llegara a un incremento de 1.5 °C para finales del siglo. Según estudios realizados el estrés térmico reducirá la productividad laboral mundial en aproximadamente un 2% para el año 2030 debido al calor excesivo (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2019), lo cual equivaldría a pérdidas de alrededor de 2400 millones de dólares para el sector industrial. Véase **Figura 1**.

**Figura 1**

*Horas de trabajo pérdidas por estrés térmico por subregión.*



*Nota.* Adaptado de Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work (p. 45), por Organización Internacional del Trabajo, 2019.

Según Parsons (2014) en su trabajo Human Thermal Enviroments demuestra que en sitios de trabajo con alta densidad térmica interna provocada por equipos electrónicos la ventilación natural es insuficiente causando el incremento de la fatiga y disminuyendo la productividad de los trabajadores.

En Ecuador en el Decreto Ejecutivo CD255 (Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores), en su Art. 54 se establece la obligación de del empleador de proporcionar ambientes que cumplan con condiciones seguras y saludables para los trabajadores incluyendo en los requerimientos el uso de sistemas de climatización y ventilación de ser requeridos. En la Norma Técnica de Seguridad e Higiene del Trabajo del Ministerio del Trabajo (2024), en su Art. 8 establece las medidas a implementar para prevenir los riesgos físicos producto de la exposición a ambientes de estrés térmico así como los métodos de evaluación que deben seguir normas internacionales reconocidas en ausencia de normativa nacional, así como también los parámetros a considerar como límites de exposición.

En el ámbito local no existe un estudio comparativo realizado en cabinas de transmisión de radio con revestimiento acústico. El material usado como aislante acústico es la lana de vidrio la cual tiene propiedades aislantes térmicas y que aunado al uso de equipos electrónicos de alta densidad térmica genera un ambiente extremo de calor llegando a temperaturas que inciden en la comodidad del personal perjudicando su productividad y salud con índices WBGT que exceden los límites estipulados por la norma técnica en seguridad e higiene del trabajo incluso para ambientes de trabajo livianos y por lo cual arriesga a la empresa radial en la cual se realiza el estudio a ser sancionada bajo la legislación nacional.

### ***Antecedentes***

La cabina de transmisión objeto de estudio pertenece a una radio con una trayectoria de más de 30 años dentro del ámbito de la radiodifusión ecuatoriana, debido a un cambio de

administración en el 2025 se decidió renovar tanto la infraestructura como los equipos. Uno de estos cambios, por decisión técnica, fue el revestimiento de las paredes de la cabina de transmisión con lana de vidrio lo cual garantiza un sonido más nítido y profesional en sus transmisiones al aire ya que elimina reverberaciones y evita que el ruido externo ingrese a la cabina.

Según la investigación realizada por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2012 en su boletín técnico bajo la denominación High altitude impact on IT equipment cooling. ASHRAE Technical Committee 9.9 definió un punto clave para el diseño HVAC al concluir que lugares ubicados a mayor altitud se reduce la densidad del aire y la presión atmosférica haciendo más complicado que los sistemas de aire acondicionado disipen el calor y perjudicando el rendimiento de estos.

Recuero López, M. (2020), en su obra técnica "Acústica de estudios para grabación sonora", publicada por el Instituto Oficial de Radio y Televisión en Madrid, analiza la física de los estudios de radio. El autor explica técnicamente cómo los materiales porosos como la lana de vidrio son excelentes absorbentes acústicos, pero actúan como aislantes térmicos que retienen el calor generado por equipos y personas.

Vanegas Cruz, L. B., y García Mora, A. S. (2023), en su estudio "Diseño del acondicionamiento acústico del auditorio de la FIMCP", desarrollado en la Escuela Politécnica del Litoral, realizaron el rediseño de un sistema de climatización en un lugar con acondicionamiento acústico (lana de vidrio), mediante el uso de software de simulación predijeron el comportamiento del aire en ambientes aislados donde la lana de vidrio hace que las paredes se transformen en casi adiabáticas ya que el intercambio de calor entre la cabina y el exterior es casi nulo debido a sus propiedades como aislante térmico. Los autores concluyen que para

mantener el silencio y el confort térmico al mismo tiempo, es necesario utilizar equipos que compensen la falta de ventilación natural.

### ***Justificación***

El presente trabajo es muy **importante** porque contribuye al objetivo de la empresa de radiodifusión de poseer instalaciones más acordes al mundo moderno, mejorando la calidad de sus transmisiones, contribuyendo al ambiente o ecosistema y garantizando ambientes de confort para sus colaboradores.

Al tener un ambiente adecuado de trabajo los locutores que laboran en la cabina de transmisión en la radio genera un **impacto** positivo a la productividad evitando los malestares físicos provocados por la fatiga térmica, evitando además el mal uso de la misma ya que ante la evidente molestia causada por la acumulación de calor; algunos locutores han optado por trabajar con la puerta parcialmente abierta generando el ingreso de ruidos externos que es lo que se deseaba evitar con el revestimiento de las paredes con aislante acústico y perjudicando la calidad de las transmisiones.

Además al diseñar un sistema HVAC para la cabina de transmisión de la radio tiene una **utilidad** significativa ya que no solo se garantiza mitigar los riesgos ergonómicos producidos por el estrés térmico sino también que contribuye al incremento de la vida útil de los equipos electrónicos de alta densidad térmica que al estar fabricados con circuitos sensibles a la humedad ambiental se pueden ver afectados por la transpiración de los operadores o por el ingreso de bebidas para hidratación a la cabina.

El presente proyecto de titulación es **factible** porque garantiza que los equipos electrónicos al trabajar en una cabina con un microclima controlado reducirán los costos por mantenimientos correctivos previniendo la degradación de sus componentes debido a las condiciones ambientales extremas.

Los **beneficiarios** directos de este trabajo son los locutores quienes estarán en un confort térmico adecuado que beneficia a su salud, de igual manera será un beneficio para sus propietarios por cuanto generan un bienestar del entorno laboral y no habrán ausentismos por enfermedades de sus colaboradores y mejoran la productividad de la radio.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Diseñar un sistema de aire acondicionado que cumpla con los estándares de la normativa ASHRAE para la mitigación del estrés térmico en la cabina de transmisión de una radio en Riobamba, mediante la evaluación del índice WBGT y el cálculo de cargas térmicas producidas por equipos electrónicos de alta densidad térmica.

### ***Objetivos Específicos***

- Diagnosticar el nivel de estrés térmico actual en la cabina de transmisión mediante la recolección de datos primarios y la medición de índice WBGT por medio del uso de un medidor de estrés térmico, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 7243 y el decreto ejecutivo CD 255.
- Determinar la carga térmica total del lugar de estudio, cuantificando el calor sensible generado por los equipos electrónicos de alta densidad y la transferencia de calor a través de los materiales aislantes (fibra de vidrio).
- Dimensionar los componentes del sistema de climatización y renovación de aire, garantizando el cumplimiento de los parámetros de confort térmico y calidad de aire interior siguiendo los parámetros definidos en la norma técnica ASHRAE.

## **CAPÍTULO II**

### **Ingeniería del Proyecto**

#### **Situación actual de la empresa**

La empresa de radiodifusión en la cual se realizó el presente estudio es una institución con más de 30 años de trayectoria se ha convertido en un referente dentro del ámbito de la comunicación en Riobamba. En 2024 tras un cambio de administración, la organización inició un ambicioso proceso de modernización para poder competir con las exigencias del mercado actual. En este proyecto de renovación se identificó la necesidad del mejoramiento de su infraestructura y equipamiento técnico, destacando la transformación total de su cabina de transmisión. Actualmente, la emisora realiza sus transmisiones desde una renovada estación de trabajo que integra consolas digitales de última generación dentro de una cabina con paneles de lana de vidrio que mejoran la acústica y aíslan el sonido exterior.

Debido a este cambio en la cabina de transmisión los locutores han manifestado molestias debido al evidente aumento de la temperatura como sudoración, sed constante, fatiga entre otros efectos que disminuyen su rendimiento. Por esta razón han decidido trabajar con la puerta de la cabina abierta invalidando la función del aislamiento acústico al permitir la filtración de ruido externo y generando un conflicto administrativo, ya que la dirección exige el cierre de la puerta para preservar la integridad del diseño acústico original.

#### **Evaluación del Estrés Térmico**

Se procede a realizar la evaluación de estrés térmico dentro de la cabina siguiendo los lineamientos planteados en la norma ISO 7243 y el decreto ejecutivo CD 255. En las normas antes mencionadas se plantea el uso del índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature o Temperatura de Bulbo Húmedo) para verificar si existe riesgo de estrés térmico dentro de un

puesto de trabajo. La norma indica que para realizar la evaluación se debe medir 3 parámetros básicos como son:

- Temperatura de bulbo húmedo natural ( $t_{nw}$ ): Sirve para medir la capacidad del cuerpo para disminuir la temperatura a través de la evaporación de sudor.
- Temperatura de globo ( $t_g$ ): Permite evaluar el calor radiante que es emitido por el sol, equipos electrónicos o mecánicos o cualquier superficie que emita calor.
- Temperatura del aire o bulbo seco ( $t_a$ ): Es la temperatura ambiental medida por un termómetro común.

Para obtener el valor del índice WBGT la norma considera dos tipos de ambientes, para interiores o exteriores sin carga solar se aplica la ecuación (1) y para exteriores con carga solar directa se aplica la ecuación (2).

$$WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.3 t_g. \quad (1)$$

$$WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.2 t_g + 0.1 t_a \quad (2)$$

Según las especificaciones de medición en la norma ISO 7243 se debe tomar 3 medidas a diferentes alturas considerando que la cabina de radio es un ambiente de trabajo no homogéneo, es decir las variables a considerar de temperatura y humedad relativa no varían de forma constante alrededor del trabajador debido a la presencia de equipos electrónicos de alta densidad térmica que se encuentran en este caso de estudio más cercanos a la altura del abdomen. La norma establece que para personas sentadas como los locutores se debe tomar medidas a 1.10 metros sobre el suelo (cabeza), 0.6 metros sobre el suelo (abdomen) y 0.1 metros sobre el suelo (tobillos). Para obtener un valor a ser comparado con el límite WBGT máximo permitido según la norma, se debe obtener el valor WBGT ponderado vertical (alturas) mediante la ecuación (3):

$$\overline{WBGT} = \frac{WBGT_{cabeza} + (2xWBGT_{abdomen}) + WBGT_{tobillos}}{4} \quad (3)$$

La norma considera además que los valores de WBGT deben ser medidos en periodos de máximo estrés térmico y aunque no se especifica la cantidad de medidas a tomar durante el día, afirma que deben ser representativos en el tiempo, es decir deben ser en horarios en los que se estime que los trabajadores van a estar expuestos a temperaturas más altas. Debido a esto se decide tomar los valores en la mañana, medio día y tarde considerando que la carga térmica es acumulativa debido a la presencia de lana de vidrio en las paredes de la cabina que impide el intercambio de calor del interior con el exterior.

Posterior a la medición del índice WBGT y el cálculo del WBGT ponderado la norma indica que se debe realizar el cálculo del WBGT efectivo ( $WBGT_{eff}$ ) que es el valor corregido del índice considerando el valor de ajuste por vestimenta (CAV), véase **Tabla 1**, valor que se debe añadir considerando que el tipo de material de la vestimenta puede dificultar la evaporación del sudor aumentando así el estrés térmico. Para su cálculo se aplica la ecuación (4).

$$WBGT_{eff} = WBGT_{medido} + CAV \quad (4)$$

**Tabla 1**

Valores de Ajuste por Vestimenta (CAV) para el Índice WBGT

Conjunto	Comentario	CAV [°C-WBGT]
Ropa de trabajo	La ropa de trabajo hecha de tela tejida es el conjunto de referencia.	0
Overoles de tela	Tejido tejido que incluye algodón tratado.	0
Overoles SMS no tejidos como una sola capa	Un proceso no patentado para fabricar telas no tejidas a partir de polipropileno.	0
Overol de poliolefina no tejido como una sola capa	Un tejido patentado hecho de polietileno.	2
Delantal con barrera de vapor con mangas largas y overoles de tela largos	La configuración del faldón envolvente fue diseñada para proteger el frente y los costados del cuerpo contra derrames de agentes químicos.	4
Doble capa de ropa tejida	Generalmente se considera overoles sobre ropa de trabajo.	3
Overoles con barrera de vapor como una sola capa, sin capucha	El efecto real depende del nivel de humedad y en muchos casos el efecto es menor.	10
Overoles con barrera de vapor con capucha como una sola capa	El efecto real depende del nivel de humedad y en muchos casos el efecto es menor.	11
Barrera de vapor sobre overoles de tela, con capucha	-----	12
capucha	Usar una capucha de cualquier tela con cualquier conjunto de ropa.	+1
Los CAV se suman al WBGT medido para obtener WBGT <sub>eff</sub> . NOTA Para la ropa de alta resistencia al vapor, existe una dependencia de la humedad relativa. Los CAV representan el valor alto probable. Este valor se suma al CAV del conjunto sin capucha ni respirador.		

*Nota.* Los valores de ajuste se añaden al índice WBGT medido para obtener el WBGT efectivo. Adaptado de Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index (Anexo D, Tabla D1), por International Organization for Standardization, 2017

Los valores de WBGT límites permisibles presentados por la norma dependen también del gasto metabólico, véase **Tabla 2**, este valor se proporciona en tablas y está basado en la ocupación o tipo de actividad que el operario realice.

**Tabla 2**

Clasificación de Niveles de Actividad (ISO 7243:2017)

Clase	Nivel de Actividad	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m <sup>2</sup> )	Ejemplos de actividades
0	Descanso	115	65	Reposo, sentado tranquilamente.
1	Baja	190	105	Trabajo sentado (escribir, conducir), trabajo de pie con herramientas ligeras.

Clase	Nivel de Actividad	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m <sup>2</sup> )	Ejemplos de actividades
2	Moderada	300	165	Caminar (3.5–5.5 km/h), trabajo sostenido con manos y brazos (clavar, fregar).
3	Alta	415	230	Caminar rápido (5.5–7 km/h), palear intensamente, trabajo pesado con herramientas.
4	Muy Alta	520	290	Trabajo muy intenso a ritmo máximo, subir escaleras cargando peso.
5	Extrema	>520	>290	Actividad física extenuante prolongada.

*Nota:* Adaptado de ISO 7243:2017, Anexo E, Tabla E.1. La tasa metabólica de referencia se basa en un "hombre promedio" con un área de superficie corporal de 1.8 m<sup>2</sup>.

El índice WBGT<sub>eff</sub> calculado debe ser comparado con los rangos de índice WBGT proporcionados por la norma dependiendo de la clasificación del tipo de trabajo realizado, véase **Tabla 3**

**Tabla 3**

*Valores de Referencia del Índice WBGT*

Clase de Tasa Metabólica	Descripción de la Actividad	Metabolismo (M) [W]	Persona Aclimatada [WBGT en °C]	Persona NO Aclimatada [WBGT en °C]
Clase 0	Reposo (Sentado, descansando)	$M \leq 115$	33 °C	32 °C
Clase 1	Ligera (Escribir, locución, manejo de consola)	$115 < M \leq 235$	30 °C	28 °C
Clase 2	Moderada (Caminar, trabajo sostenido de manos/brazos)	$235 < M \leq 360$	28 °C	26 °C
Clase 3	Intensa (Caminar rápido, cargar pesos moderados)	$360 < M \leq 465$	25 °C*	22 °C*
Clase 4	Muy Intensa (Actividad física máxima)	$M > 465$	23 °C*	18 °C*

*Nota.* Adaptado de ISO 7243:2017, Anexo A, Tabla A.1.

## Equipo de Medición y Evaluación

Para la toma de datos se utilizará un equipo medidor de estrés térmico modelo BT-881W, véase **Figura 2**, que permite obtener por medida directa los valores de WGBT, temperatura ambiente y humedad relativa.

### Figura 2

Medidor de estrés térmico BT-881W



*Nota.* Fotografía del equipo Heat Stress Meter BT 881 W utilizado tomada por el autor, 2025.

Se debe verificar que el equipo Heat Stress Meter BT 881 W cumple con los parámetros definidos en la norma ISO 7243 especificados en el **Anexo A** (Especificaciones para sensores e instrumentos). Para comprobar el cumplimiento de los parámetros para el equipo de medición véase la **Tabla 4**.

**Tabla 4**

*Comparativa de especificaciones técnicas: Equipo BTMETER BT-881W vs. ISO 7243:2017*

Características	Requisito ISO 7243	Medidor de estrés térmico BT-881 W	¿Cumple?
Precisión de Temperatura	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Si

<b>Características</b>	<b>Requisito ISO 7243</b>	<b>Medidor de estrés térmico BT-881 W</b>	<b>¿Cumple?</b>
Tiempo de Estabilización	Sugerido 15-20 min	15-20 min (Typical)	Sí
Rango de Medición	Debe cubrir hasta 50°C	0 a 50°C	Sí
Resolución	0.1°C	0.1°C	Sí

*Nota.* Elaboración propia (2026), basada en la norma ISO 7243:2017 y el manual de especificaciones de BTMETER *BT-881W*.

### ***Desarrollo de la evaluación de estrés térmico***

Previo al desarrollo de la evaluación de estrés térmico es importante conocer la definición de los parámetros a ser medidos y el por qué se utilizan para dicha evaluación.

El índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) es el valor más importante por considerar, debido a que sirve para determinar la existencia de estrés térmico al compararlo con los valores bases definidos en la norma, representa la carga térmica real a la que está expuesta una persona en un lugar específico. Su valor representa la combinación de la temperatura del aire, velocidad del viento, humedad y radiación solar o la emitida por fuentes de calor, equipos electrónicos en este caso de estudio, en un solo valor numérico.

La temperatura ambiente o de bulbo seco nos ayuda a visualizar en qué dirección y a qué velocidad se mueve el calor entre el cuerpo humano y el ambiente que lo rodea, ya que en termodinámica el calor siempre viaja del punto caliente hacia un punto frío. La humedad relativa representa la cantidad de vapor que contiene el aire, por lo tanto, un puesto de trabajo con una humedad relativa alta indica que el aire ya está saturado e impide que el cuerpo humano libere calor al no poder evaporar el sudor como mecanismo de termorregulación para enfriarse.

Luego de tener claro estas definiciones se procede a realizar la toma de datos primarios según la norma ISO 7243:2017, se realiza la evaluación desde el 17 hasta el 21 de noviembre

de 2025, utilizando un medidor de estrés térmico BT METER modelo BT-881W que permite obtener datos de índice WBGT (Wet Bulb Glob Temperature), humedad relativa y temperatura ambiente o de bulbo seco.

Al tomar las medidas de la forma descrita anteriormente con la guía de las normas, se obtuvo los valores de la **Tabla 5**.

**Tabla 5**

*Mediciones realizadas dentro de la cabina de radio con instrumento BT METER modelo BT881*

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Temperatura Aire (°C)</b>	<b>Humedad (RH%)</b>	<b>WBGT (°C)</b>	<b>WBGT ponderado (°C)</b>
<b>17/11/2025</b>	10:00 a. m.	110	34.5	54	29.8	28.475
		60	33	60	28.5	
		10	31.5	64	27.1	
	02:00 p. m.	110	36.5	49	31.2	29.9
		60	35	54	30.1	
		10	32.5	59	28.2	
	05:00 p. m.	110	35.8	48	31.5	30.65
		60	34.8	52	30.8	
		10	33.5	55	29.5	
<b>18/11/2025</b>	10:00 a. m.	110	30.5	67	25.8	24.3
		60	29	73	24.3	
		10	27.5	78	22.8	
	02:00 p. m.	110	34	53	29.2	27.575
		60	32.5	57	27.8	
		10	30.5	63	25.5	
	05:00 p. m.	110	33.5	55	30.5	29.125
		60	32	63	29.1	
		10	31	67	27.8	
<b>19/11/2025</b>	10:00 a. m.	110	34.5	53	28.9	27.175
		60	32.8	59	27.2	
		10	31	64	25.4	
	02:00 p. m.	110	37.8	44	32.1	28.65
		60	32.8	57	27.2	
		10	33.5	52	28.1	
	05:00 p. m.	110	37	47	33.4	31.8
		60	35	53	31.8	

Fecha	Hora	Altura (cm)	Temperatura Aire (°C)	Humedad (RH%)	WBGT (°C)	WBGT ponderado (°C)	
20/11/2025	10:00 a. m.	10	33.8	55	30.2	29	
		110	37	49	29.4		
		60	35.2	52	29.4		
	02:00 p. m.	10	33.5	55	27.8	31.325	
		110	38.5	42	33.2		
		60	38	46	31.5		
	05:00 p. m.	10	35.5	50	29.1	33.65	
		110	39.5	40	35.1		
		60	37.2	47	33.8		
	21/11/2025	10:00 a. m.	10	35.8	50	31.9	29.825
			110	37.5	45	31.5	
			60	35.8	46	29.8	
02:00 p. m.		10	34	52	28.2	32.15	
		110	38.8	42	34.2		
		60	36.5	44	32.1		
05:00 p. m.		10	36	47	30.2	34.73	
		110	39.8	40	36.5		
		60	37.8	43	34.8		
		10	36.5	48	32.8		

*Nota.* Elaboración propia (2026), monitoreo de WBGT basado en la norma ISO 7243:2017 usando instrumento BT METER modelo BT-881W.

La toma de datos primarios se llevó a cabo durante un periodo de cinco días consecutivos para capturar la variabilidad climática y poder tener una muestra significativa que permita una mejor visualización del problema. Para el análisis de cumplimiento con la ISO 7243:2017 se incluye además en la tabla el resultado del cálculo de los valores ponderados para cada hora del día según ecuación (1)

Para la evaluación del riesgo, se ha optado por el criterio del peor escenario, razón por la cual se procede a tomar el valor ponderado más alto obtenido (34.73°C) dentro del periodo de monitoreo de cinco días. Esta decisión metodológica se fundamenta en la naturaleza del

riesgo térmico, donde los picos de temperatura de globo y humedad representan una amenaza inmediata a la salud y bienestar del trabajador.

Además del valor de WBGT para la comprobación de existencia de estrés térmico se requiere evaluar la clase de trabajo según la **Tabla 2**. Al ser un trabajo sentado, en el cual se manipula las consolas y también se habla corresponde a una clase 1 considerado de nivel de actividad baja con tasa metabólica de 190 W y 105 W/m<sup>2</sup>.

Para poder verificar la existencia de estrés térmico se debe calcular el valor de WBGT efectivo aplicando la ecuación (4). El valor de ajuste de vestimenta CAV = 0, véase **Tabla 1**, debido a que los locutores utilizan pantalones y camisas ligeras.

$$WBGT_{eff} = 34.73 + 0$$

$$WBGT_{eff} = 34.73 \text{ °C} > 30 \text{ °C}$$

### ***Resultados de la evaluación***

Se procede a comparar los valores obtenidos de la evaluación (WBGT = 34,73 °C y M = de 190 W) con los valores de referencia de índice WBGT de la **Tabla 3** comprobamos la existencia de estrés térmico **34.73°C > 30 °C** que es el valor máximo permitido para personas aclimatadas considerando que los locutores que laboran en la cabina superan el tiempo considerado por la norma para estar adaptados al ambiente, entre 7 a 14 días, en un trabajo clasificado como de baja actividad.

Un valor WBGT de 34.73°C está incluso por encima del límite para una persona en reposo absoluto (33°C). En una cabina de radio donde la ventilación es evidentemente limitada por el aislamiento acústico (lana de vidrio), este valor indica que el cuerpo no está en capacidad de disipar el calor metabólico generado elevando la temperatura interna rápidamente y generando una condición de riesgo para los ocupantes de la cabina.

De acuerdo con la Cláusula 6.2 de la norma ISO 7243:2017 en caso de que se supere los valores de referencia de WBGT se debe implementar de forma imperativa medidas de mitigación del estrés térmico. La norma establece que la acción prioritaria debe ser la reducción del riesgo mediante el control de los parámetros ambientales (reducir la temperatura del aire y la humedad relativa) o la realización de un análisis detallado de la sobrecarga térmica fisiológica basado en la norma ISO 7933 que mide la sudoración requerida y el límite de tiempo de exposición.

Siguiendo la guía de la norma para el análisis y la toma de decisiones frente al riesgo por estrés térmico en sus cláusulas 6 y 7 se verifica la necesidad de tomar acciones correctivas inmediatas. La norma proporciona en su Anexo A un orden jerárquico de medidas de control para enfrentar el riesgo:

- 1) Controles de Ingeniería (Técnicos): Reducir la temperatura del aire, la humedad o la radiación térmica.
- 2) Controles Administrativos (Organizativos): Gestión del tiempo de exposición.
- 3) Aclimatación: La norma hace una distinción crítica entre personal "aclimatado" y "no aclimatado", indicando que para los segundos se deben aplicar medidas mucho más estrictas mientras su cuerpo se adapta.

Ante la necesidad de una solución inmediata y siguiendo el orden jerárquico de la norma se decide aplicar una solución de ingeniería que ataque el problema de estrés térmico de raíz por lo que se procede al diseño de un sistema HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) para mitigarlo y garantizar que los locutores trabajen en un ambiente de confort.

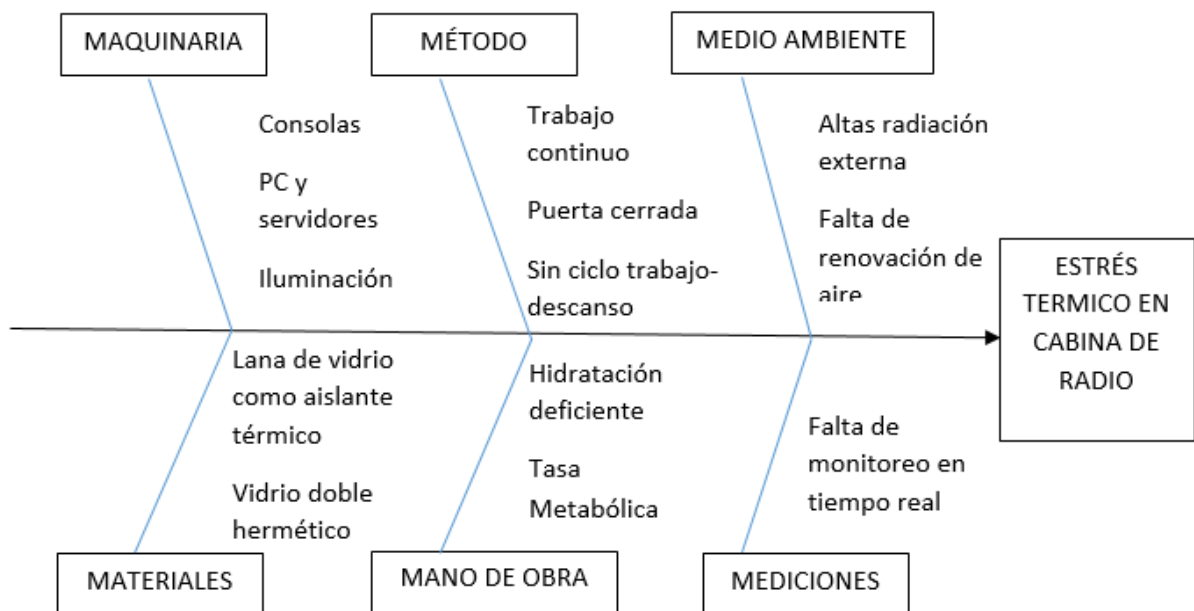
## Herramienta de Ingeniería

### Diagrama de Ishikawa

La **Figura 3** muestra el Diagrama de Ishikawa utilizado para identificar las fuentes contribuyentes al estrés térmico. Se observa que la coincidencia de aislantes acústicos y la carga térmica procedente de los equipos electrónicos, sumada al trabajo a puerta cerrada, son factores determinantes para superar los límites máximos permisibles definidos en la norma ISO 7243.

### Figura 3

Diagrama de Ishikawa sobre las causas del estrés térmico en la cabina de radio



*Nota.* El diagrama identifica los factores ambientales, técnicos y humanos que producen el incremento del índice WBGT por encima de los 30 °C. Elaboración propia (2026)

### ***Diagrama de Pareto***

Basándose en los resultados obtenidos se procede a asignar valores de importancia para crear una matriz para elaborar un diagrama de Pareto, véase **Figura 3**, se realiza una ponderación técnica basada en la física del problema que presenta una cabina cerrada con equipos electrónicos de alta densidad térmica y aislamiento térmico que impide la disipación del calor generando estrés térmico. Para realizar la transición del análisis cualitativo (Diagrama de Ishikawa) hacia la cuantificación del diagrama de Pareto de la **Figura 4** se emplea una técnica de ponderación lineal basada en la evaluación de impacto y frecuencia. La asignación de valores en una escala del 1 al 10 (donde 10 representa un impacto crítico y constante y 1 un impacto esporádico) se fundamenta en la observación directa en campo y el análisis de las especificaciones técnicas de la cabina. Se consideraron dos variables principales que son la gravedad que representa el grado en que el factor eleva la temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH) y la frecuencia que considera la persistencia del factor durante la jornada de transmisión. De esta forma las categorías se detallan de la siguiente manera:

**Materiales (10):** Se considera como la principal causa de la acumulación de calor dentro de la cabina, debido a que la presencia de lana de vidrio en las paredes que la constituyen impide el intercambio de calor con el exterior.

**Maquinaria (9):** La presencia de equipos electrónicos que operan al 100% de su capacidad durante las transmisiones genera calor que se acumula de forma exponencial a medida que transcurre el tiempo haciendo que el aporte de los equipos a la carga térmica interna sea casi tan crítico como la ganancia de calor por materiales.

**Medio Ambiente (8):** Este valor responde a la falta de renovación de aire (ACH - Air Changes per Hour) debido a que se trabaja en un ambiente completamente cerrado para evitar

el ruido exterior con paredes con aislación acústica (lana de vidrio), que también posee características de aislamiento térmico lo que impide el intercambio de calor con el exterior.

Método (6): El trabajo continuo con puertas cerradas (por razones acústicas) impide la ventilación natural agravando el estrés térmico.

Mano de obra (3): El aporte de los operadores a la carga térmica total es bajo en comparación a la generada por materiales y maquinaria, en este caso dos locutores producen según ASHRAE una carga térmica de 130 W por tasa metabólica cada uno.

Mediciones (2): La falta de un equipo que permita visualizar los datos higrométricos dentro de la cabina no aporta en la acumulación de calor.

Véase la **Tabla 6** para visualizar el análisis de la ponderación.

**Tabla 6**

*Análisis de causas del estrés térmico en cabina de radio*

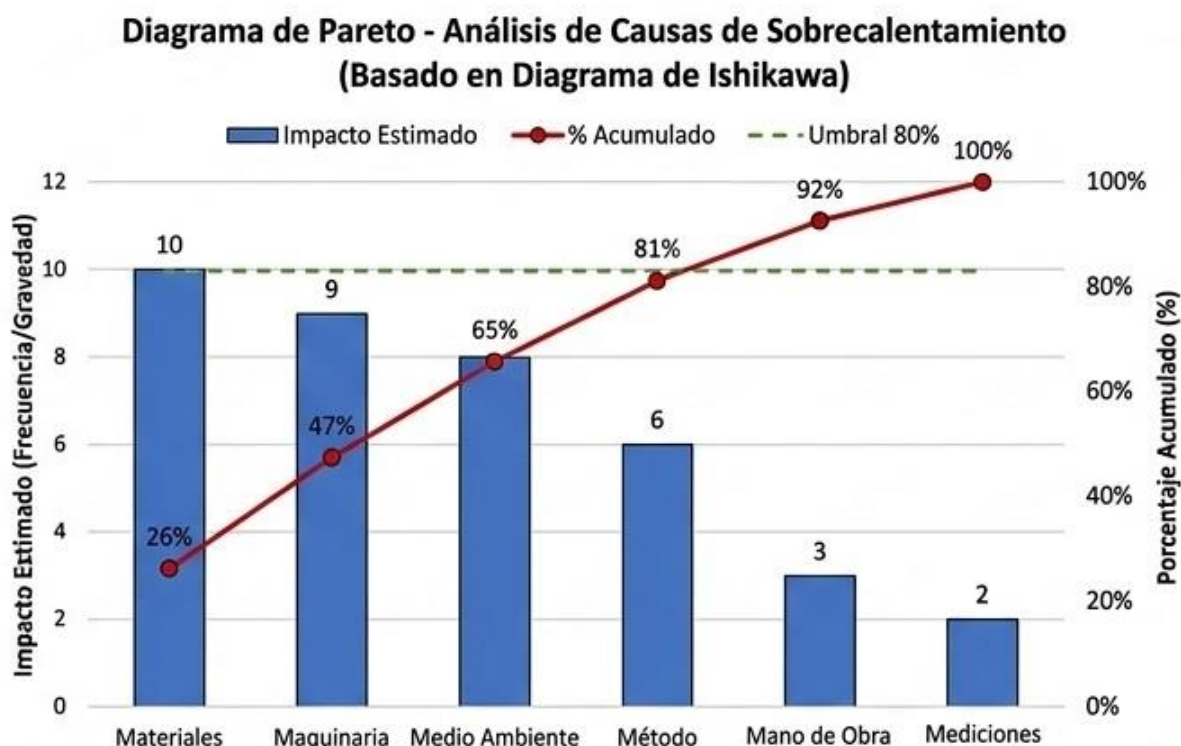
Categoría de Causa (del Ishikawa)	Factores Específicos Incluidos	Impacto Estimado (Frecuencia/Gravedad)	Porcentaje Relativo	Porcentaje Acumulado
Materiales	Lana de vidrio como aislante térmico, Vidrio doble hermético	10	26%	26%
Maquinaria	PC y servidores, Consolas, Iluminación	9	21%	47%
Medio Ambiente	Falta de renovación de aire, Altas radiación externa	8	18%	65%
Método	Trabajo continuo, Puerta cerrada, Sin ciclo trabajo-descanso	6	16%	81%
Mano de Obra	Hidratación deficiente, Tasa Metabólica	3	8%	100%

Categoría de Causa (del Ishikawa)	Factores Específicos Incluidos	Impacto Estimado (Frecuencia/Gravedad)	Porcentaje Relativo	Porcentaje Acumulado
Mediciones	Falta de monitoreo en tiempo real	2	11%	92%
Total			100%	

*Nota.* Elaboración propia a partir del diagrama de Ishikawa. Los valores de impacto se basan en la carga térmica de equipos y el coeficiente de aislamiento de la lana de vidrio.

**Figura 4**

*Diagrama de Pareto de los factores contribuyentes al estrés térmico*



*Nota.* Diagrama de Pareto a partir del diagrama de Ishikawa realizado en la fase de diagnóstico. El gráfico identifica los factores críticos que contribuyen al estrés térmico. Elaboración propia en Microsoft Excel (2026).

En el diagrama de Pareto se alcanza el umbral del 80% al final de la categoría Método, esto indica que cualquier esfuerzo invertido en Mediciones o Mano de Obra como podrían ser

capacitación o puntos de hidratación, tendrá un retorno muy bajo sino se resuelven primero los problemas estructurales de materiales y ventilación ya que solo representan el 19% restante de la causa del problema.

*Área de Estudio*

**Tabla 7**

*Área de Estudio*

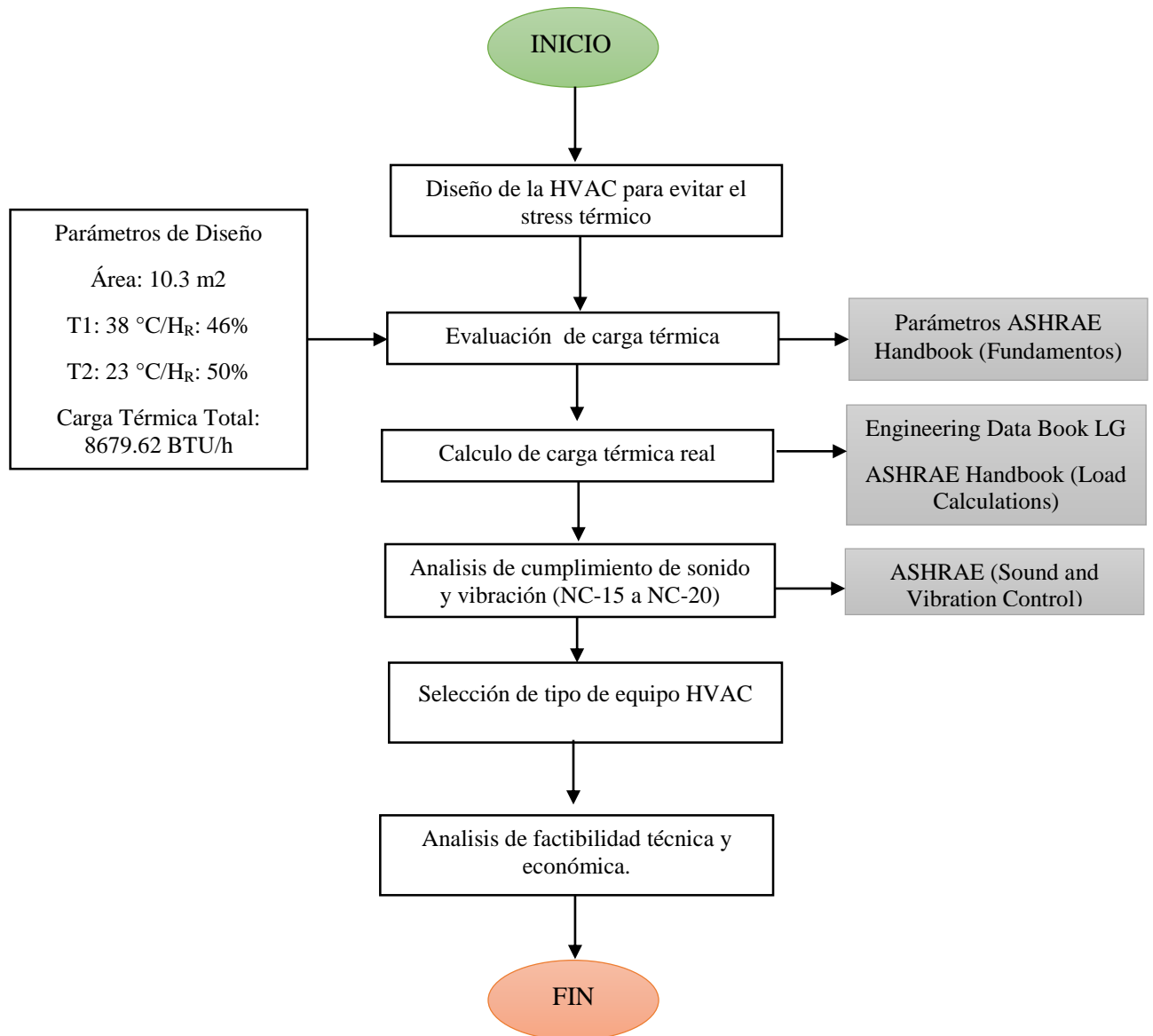
<b>Dominio</b>	<b>Tecnología y Sociedad</b>
<b>Línea de Investigación</b>	Seguridad, Salud y Ambiente
<b>Campo</b>	Ingeniería Industrial
<b>Área</b>	Higiene Industrial y Climatización
<b>Aspectos</b>	Mitigación de estrés térmico mediante sistemas HVAC
<b>Objeto de estudio</b>	Diseño de un sistema de aire acondicionado para la mitigación del estrés térmico en áreas con equipos electrónicos de alta densidad térmica
<b>Periodo de Análisis</b>	Octubre 2025 – Febrero 2026

*Nota.* Adaptado de *Guía para la elaboración de trabajos de titulación*, por Universidad Tecnológica Indoamérica 2026. Elaboración propia.

## Modelo Operativo

Figura 5

Modelo operativo para el diseño del sistema de aire acondicionado para la mitigación de estrés térmico



Nota. Modelo operativo. Elaboración propia (2026).

## **Desarrollo del modelo operativo**

Tomando como guía el modelo operativo de la **Figura 5** se realiza el proceso descrito para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto.

### ***Diseño de la HVAC para evitar el stress térmico***

Mediante el uso del Manual de Fundamentos de ASHRAE (2017) se procede a realizar los cálculos necesarios para el diseño del sistema HVAC con los parámetros estructurales de la cabina y los datos higrométricos medidos dentro de la misma.

### ***Evaluación de carga térmica***

Se realiza el cálculo de la carga térmica total mediante la suma del calor latente y el calor sensible generados dentro de la cabina siguiendo los procedimientos descritos en el Capítulo 18 del Manual de Fundamentos de ASHRAE titulado Nonresidential Cooling and Heating: Load Calculations

### ***Calculo de carga térmica real***

Considerando que los equipos HVAC están diseñados para su funcionamiento a nivel del mar se procede a calcular el factor de corrección de altura (derating) para obtener la capacidad real del equipo considerando que estos pierden potencia a medida que aumenta la altura y disminuye la presión atmosférica. Se utiliza la tabla de factores de corrección por altitud para equipos de expansión directa del Engineering Data Book de LG.

### ***Analisis de cumplimiento de sonido y vibración (NC-15 a NC-20)***

Se verifica el cumplimiento de las condiciones de sonido recomendadas por el manual de fundamentos de ASHRAE capítulo 8 Sound and Vibration que estipula que para cabinas de

transmisión de radio los equipos de aire acondicionado deben trabajar en el rango de 20 a 30 decibeles para no producir reverberación en los micrófonos.

### ***Selección de tipo de equipo HVAC***

A través de un análisis de opciones con criterios ponderados se procede a elegir la opción de equipo HVAC más factible que cumpla tanto con los factores técnicos como económicos.

### ***Análisis de factibilidad técnica y económica.***

Se analiza los costos del equipo e instalación así como también el costo de consumo eléctrico para verificar la factibilidad de la propuesta.

## CAPÍTULO III

### Propuesta y resultados esperados

#### Presentación de la propuesta

Tras comprobar la existencia de estrés térmico dentro de la cabina de transmisión de radio objeto de estudio, se procede a realizar los cálculos requeridos para el diseño y selección de la capacidad adecuada de equipo HVAC necesaria que permita mitigar el riesgo higiénico de exposición a temperaturas altas en los locutores de la radio.

#### *Diseño de sistema HVAC para mitigación del estrés térmico*

Primero se debe definir los parámetros de temperatura de bulbo seco y humedad relativa que se debe utilizar para el cálculo del equipo. Según ASHRAE en su Manual de Fundamentos, Capítulo 18: "Cálculos de carga de calefacción y refrigeración no residencia" especifica que los cálculos para dimensionar el sistema se deben realizar en el punto de mayor carga total. Al ser la entalpía (h) por definición la suma del calor sensible y el calor latente se puede determinar físicamente que el punto en el que se debe realizar el diseño es el que tiene la mayor entalpía.

Para determinar los valores de entalpía se empleó la calculadora de Cálculos Psicométricos de Herramientas de Ingeniería. Este programa en línea permite ajustar la presión atmosférica a **73.1kPa** correspondiente a la altura de Riobamba, asegurando que los cálculos reflejen las condiciones específicas de la zona. Los valores obtenidos mediante el uso de la calculadora de entalpías se pueden apreciar en la **Tabla 8**.

**Tabla 8***Resultados de Análisis de Entalpia*

<b>Temperatura Aire (°C)</b>	<b>Humedad (RH%)</b>	<b>Entalpia especifica (kJ/kg aire)</b>
34.5	54	102.1
33	60	102.1
31.5	64	99.1
36.5	49	105.1
35	54	104.7
32.5	59	98.4
35.8	48	101
34.8	52	100.4
33.5	55	98.5
30.5	67	97.3
29	73	95.7
27.5	78	92.6
34	53	98.5
32.5	57	96.1
30.5	63	93.1
33.5	55	98.5
32	63	100.5
31	67	99.8
34.5	53	100.9
32.8	59	99.9
31	64	96.6
37.8	44	103.9
32.8	57	97.6
33.5	52	94.9
37	49	107.7
35	53	103.3
33.8	55	99.9
37	49	107.7
35.2	52	102.9
33.5	55	98.53
38.5	42	104.1
<b>38</b>	<b>46</b>	<b>108.1</b>
35.5	50	101.7
39.5	40	105.5
37.2	47	105.7
35.8	50	103.2

<b>Temperatura Aire (°C)</b>	<b>Humedad (RH%)</b>	<b>Entalpia especifica (kJ/kg aire)</b>
37.5	45	104.1
35.8	46	97.59
34	52	97.2
38.8	42	105.6
36.5	44	97.9
36	47	99.9
39.8	40	106.9
37.8	43	102.4
36.5	48	103.7

*Nota.* Los valores de temperatura y humedad fueron obtenidos de las mediciones de campo. Las entalpías fueron obtenidas mediante la calculadora de Cálculos Psicométricos de Herramientas Ingeniería (s.f.) a una altura de 2700 msnm y presión atmosférica de 73.1kPa. Cálculos Psicométricos [Calculadora en línea]. <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>.

Se verifica que la entalpia más alta de 108.1 kJ/kg se encuentra en el punto correspondiente a una temperatura de bulbo seco de 38 °C y humedad relativa de 46% por lo que se procede a realizar los cálculos con estos parámetros cumpliendo lo estipulado en el manual de fundamentos de ASHRAE.

### ***Parámetros iniciales y psicométricos***

Altura: 2700 msnm (Riobamba-Ecuador)

Presión 73.1 kPa

Estado 1 (actual):

T = 38 °C

H<sub>R</sub>= 46%

Estado 2 (confort):

T = 23 °C

H<sub>R</sub>= 50%

### ***Estimación de Carga Térmica por Equipos Electrónicos de Alta Densidad Térmica***

Para calcular la carga térmica de los equipos electrónicos que se encuentra en el interior de la cabina se procede según el Manual de Fundamentos de ASHRAE que en su capítulo 18 define que ningún equipo electrónico realiza trabajo mecánico externo, justificando así que la totalidad de la potencia eléctrica consumida por el equipo se disipa en calor sensible. Por esta razón se procede a calcular la carga térmica por medio de la revisión de las placas de características técnicas de cada equipo para verificar su potencia (W) para transformarla en carga térmica (BTU/h) a través del uso del factor de conversión  $1 \text{ watt} = 3.412 \text{ BTU/h}$ . Véase **Tabla 9** para listado de equipos y carga térmica generada.

**Tabla 9**

*Equipos y Carga Térmica (BTU/h)*

Equipo	Cantidad	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Carga Térmica (BTU/h)
Consola Broadcast Oxygen 3	1	30	30	102,36
Mackie ProFX16 V2	1	45	45	153,54
Pioneer DJ DDJ-REV1 (Alimentada por USB)	1	5	5	17,06
Optimod FM 8200 Digital	1	50	50	170,6
Modems Huawei (aprox. 10W c/u)	2	10	20	68,24
Top Pro Music Gear MX 2612FX	1	35	35	119,42
Monitores LG 32"	2	35	70	238,84

Equipo	Cantidad	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Carga Térmica (BTU/h)
8. 1 Laptop de 15" (uso promedio)	1	50	50	170,6
<b>TOTAL ESTIMADO</b>			<b>305</b>	<b>1040,66</b>

*Nota.* Elaboración propia bajo norma ASHRAE Hándbook—Fundamentals (Cap. 18).

### *Estimación de Carga Térmica*

Para la iluminación de la cabina se utiliza una cinta de luz tipo led de alta intensidad que cubre una área del techo que corresponde a 3.1 m x 3.4 m. Para calcular la longitud de la cinta de luz led se debe calcular el perímetro. Véase ecuación (5)

$$L = 2x(l + l) \quad (5)$$

$$L = 2x(3,2 + 3,2)m$$

$$L = 13 m$$

Según especificación del fabricante en el catálogo mostrado en el **Anexo 1** para cintas led SMD5050 el valor de consumo es de 14.4 W/m. Bajo la especificación de ASHRAE para calcular la ganancia de calor instantánea se debe utilizar la ecuación (6)

$$q_{el} = Wx F_{ul} x F_{sa} \quad (6)$$

Los factores de uso y de provisión especial según ASHRAE en “Instantaneous Heat Gain from Lighting” sugiere que  $F_{ul}$  toma un valor de 1.0 ya que las luces se encuentran encendidas totalmente durante la operación y  $F_{sa}$  sugiere que para el consumo del transformador de 110 V a 24 V también genera calor residual y por tanto sugiere valores de entre 1,10 y 1,20. Para mayor exactitud calcularemos el factor  $F_{sa}$  utilizando la eficiencia del transformador (driver) considerando que es un Mean Well modelo LRS-100-12 con una eficiencia del 88%, valor obtenido del catálogo del equipo mostrando en **Anexo 2**. Según

ASHRAE Handbook—Fundamentals (Cap. 18), el Special Allowance Factor ( $F_{sa}$ ) se calcula a través de la ecuación (7):

$$F_{sa} = \frac{\text{Potencia entrada (W)}}{\text{Potencia salida (W)}} \quad (7)$$

Considerando que la eficiencia de cualquier transformador se puede calcular a través de la ecuación (8) procedemos a reemplazar (8) en (7) para obtener una fórmula que nos permita obtener el  $F_{sa}$  a partir de la eficiencia del transformador que obtenemos de catálogo.

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad (8)$$

Despejando la potencia de entrada  $P_e$  obtenemos:

$$P_e = \frac{P_s}{\eta}$$

Reemplazamos en (7)

$$F_{sa} = \frac{P_s}{\frac{P_s}{\eta}}$$

$$F_{sa} = \frac{1}{\eta}$$

$$F_{sa} = \frac{1}{0,88} = 1,14$$

Analizando el valor obtenido 1.14 se encuentra dentro del rango recomendado por el manual de ASHRAE de entre 1,10 y 1,20. Para el cálculo además se requiere conocer la potencia nominal de la cinta de iluminación led, según la ley ohm y aplicando el concepto de carga lineal que define que la potencia total de cualquier sistema eléctrico es la suma de las potencias individuales. Para el cálculo de esta potencia se aplica la ecuación (9).

$$W_{total}=LxP_{lineal} \quad (9)$$

Aplicando la ecuación (9) tenemos que:

$$W_{total}=13m \times 14.4 \text{ W/m}$$

$$W_{total}=187,2 \text{ W}$$

Reemplazamos el valor calculado de W en la ecuación (6) para obtener la ganancia de calor instantánea producto de la luz led.

$$q_{el} = 187,2 \text{ W} \times 1 \times 1.14$$

$$q_{el} = 213,41 \text{ W}$$

Transformamos a unidades BTU/h

$$Q = 213,41 \text{ W} \times 3,412$$

$$Q = 728,14 \text{ BTU/h}$$

### ***Carga Térmica por Ocupantes***

Para el cálculo de la carga térmica generada por los 2 locutores que se encuentran en la cabina se debe remitir a la Tabla 1 titulada “Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity”, véase **Anexo 3**, en la cual podemos seleccionar el trabajo de los locutores como sentado, actividad muy ligera para el cual nos da un valor de ganancia total de 130 W que corresponden a 70 W de calor sensible y 60 W de calor latente por cada operador. Para calcular la carga térmica de ocupantes se debe reemplazar los valores obtenidos de la tabla en la ecuación (10).

$$Q_p = N (q_s + q_l) \quad (10)$$

$$Q_p = 2 (70 + 60) \text{ W}$$

$$Q_p = 260 \text{ W} \times 3,412$$

$$Q_p = \mathbf{887,12 \text{ BTU/h}}$$

### *Carga térmica por áreas.*

Según el ASHRAE Handbook Fundamentals en sus capítulos 17, 18 y 25 define los parámetros para el análisis de la transmisión por cerramientos para calcular el calor que atraviesa el piso, techo y paredes en el sitio donde se realiza el análisis y que se produce por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Algo fundamental a recordar es que el calor siempre viaja en dirección del punto de menos temperatura al de mayor temperatura. Este cálculo se rige por la ley de Fourier y se aplica la ecuación (11).

$$Q = UxAx\Delta T \quad (11)$$

En donde U es el coeficiente Global de Transmisión Térmica ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) que corresponde a la constante inversa de la Resistencia Térmica Total (R). Se procede a calcular el calor generado en las paredes y en el vidrio que componen el área de la cabina. Se elige el valor de  $5.91 \text{ W/m}^2\text{K}$  como Coeficiente Global de Transmisión Térmica (U) debido a que es un vidrio simple de 3.2 mm de espesor. Valor obtenido en **Anexo 4**.

En el caso de la lana de vidrio se debe proceder al cálculo del Coeficiente Global de Transmisión Térmica (U) debido a que en la Tabla 1 que corresponde a Materiales de construcción y aislamiento valores de diseño del capítulo 26 de ASHRAE Handbook Fundamentals solo se proporciona el valor de conductividad térmica que para la lana de vidrio (mineral wool) tiene un valor de  $0,040 \text{ W/mK}$  (véase **Anexo 5**). Para el cálculo utilizamos la fórmula de la resistencia térmica que es igual al cociente entre el espesor de la lana de vidrio

y el valor de la conductividad térmica. Véase la ecuación (12). Considerando que se trabaja con lana de vidrio de 3 pulgadas de espesor procedemos a reemplazar los valores.

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad (12)$$

$$R = \frac{0,0762 \text{ m}}{0,040 \text{ W/mK}}$$

$$R = 1,905 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Considerando que el coeficiente Global de Transmisión Térmica (U) corresponde a la constante inversa de la Resistencia Térmica Total (R) se calcula la inversa de R.

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{1,905 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$U = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Procedemos a calcular el gradiente de temperatura necesario para reemplazar en la ecuación (11).

$$\Delta T = (31,5 - 23)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 8,5^\circ\text{C}$$

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

Paredes (Lana de vidrio 3")

$$A_P = 27,42 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{lana}} = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = 0,52 \times 27,42 \times 8,5$$

Vidrio (Laminado 8mm)

$$A_v = 1,98 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{vidrio}} = 5,91 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = 5,91 \times 1,98 \times 8,5$$

$$Q = 121,19 W$$

$$Q = 99,47 W$$

$$Q = 413,52 BTU/h$$

$$Q = 339,38 BTU/h$$

### ***Carga por Ventilación ( $Q_v$ )***

Para el cálculo de la carga de ventilación utilizamos la ecuación (13) que en termodinámica se aplica para sistemas de flujo abierto.

$$Q = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (13)$$

En Aire Acondicionado los equipos se miden por flujo volumétrico en CFM o m<sup>3</sup>/h porque son las unidades utilizadas para ventiladores. Para pasar de volumen a masa se necesita una ecuación que use la densidad. Véase ecuación (14).

$$\dot{m} = Vx\rho \quad (14)$$

Reemplazando la ecuación (14) en (13) tenemos:

$$Q = Vx\rho(h_1 - h_2) \quad (15)$$

En el boletín técnico de ASHRAE 62.1 indica que para estudios de grabación se requieren al menos 15 CFM por persona teniendo un total de 30 CFM producto de los dos locutores. Se requiere además calcular la densidad del aire en Riobamba considerando que tiene una diferente presión atmosférica que la que se encuentra a nivel del mar. Para esto utilizamos la ley de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Reemplazamos que el número de moles es igual a la masa (m) dividida por la masa molar (M)

$$PV = \left(\frac{m}{M}\right) RT$$

$$P = \left(\frac{m}{V}\right) \frac{RT}{M}$$

$$P = \rho \frac{RT}{M}$$

$$\rho = \frac{PM}{RT}$$

Se reemplazan los valores de presión atmosférica 73,1 kPa y temperatura promedio 15 °C (288 °K) obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2024) dato extraído del anuario meteorológico correspondiente a la estación [Riobamba-ESPOCH].

$$\rho = \frac{73.1 \text{ kPa} \times 28.97 \text{ kg/kmol}}{8.31447 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \text{ } ^\circ\text{K} \times 288 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 0,884 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 0.884 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2.205 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.3147 \text{ ft}^3}$$

$$\rho = 0,055 \text{ lb/ft}^3$$

Reemplazamos los valores en la ecuación (15):

$$Q = Vx\rho(h_1 - h_2)$$

$$Q = 30 \times (60 \times 0.055) \times (108.1 - 54.25)$$

$$\mathbf{Qv = 5331,15 \text{ BTU/h}}$$

**Carga Térmica Total ( $Q_T$ )**

$$Q_{total} = Q_{eq} + Q_{el} + Q_p + Q_{areas} + Q_v$$

$$Q_T = 1040,66 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 728,14 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 887,12 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 413,52 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 339,38 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 5331,15 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_T = 8739.97 \frac{BTU}{h}$$

### ***Factor de Corrección por Altitud (Derating)***

Los equipos de aire acondicionado son diseñados bajo parámetros que les permiten trabajar a su máxima capacidad a nivel del mar, para zonas con alturas superiores se debe considerar un factor de corrección que los fabricantes como Carrier o York llaman “Derating” o de reducción de potencia. Esta reducción de potencia se debe a la diferencia de presión atmosférica que a nivel del mar es 101.32 kPa, valor que a mayor altitud disminuye, razón por la cual en Riobamba a 2700 msnm tiene un valor de 71.3 kPa, lo cual equivale a que exista menor cantidad de masa de aire por unidad de volumen. Esta reducción en la densidad del aire provoca que existan menos partículas de aire que atraviesan el serpentín interno del equipo que actúa similar a una esponja que absorbe el calor de dichas partículas.

Para el cálculo utilizamos los Factores de Corrección por Altitud que LG utiliza para sus sistemas de expansión directa (Single Split, Multi F y Multi V) que proporciona en su Engineering Data Book, véase la **Tabla 10**.

**Tabla 10**

*Factores de corrección por altitud para equipos de expansión directa LG*

<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Presión Atmosférica (kPa)</b>	<b>Factor de Capacidad (Total)</b>	<b>Factor de Capacidad (Sensible)</b>
0 (Nivel del mar)	101.3	1	1
600	94.3	0.97	0.96
1,200	87.7	0.94	0.92
1,800	81.5	0.91	0.88
2,400	75.6	0.88	0.84
3,000	70.1	0.85	0.8

Nota. Adaptado de Engineering Data Book: Single Split Series Air Conditioning, por LG Electronics, 2024.

Considerando que no existen valores para la altura de Riobamba debemos realizar una interpolación lineal utilizando la ecuación (16).

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \times (x - x_1) \quad (16)$$

Para el cálculo se deben tomar los límites inferior y superior cercanos a los 2700 msnm y reemplazarlos en la ecuación (15).

$$X_1 = 2400 \text{ msnm}$$

$$X_2 = 3000 \text{ msnm}$$

$$F_T = 0.88$$

$$F_T = 0.85$$

$$F_S = 0.84$$

$$F_S = 0.80$$

Factor de Capacidad Total ( $F_T$ )

$$F_T = 0.88 + \frac{(0.85 - 0.88)}{(3000 - 2400)} \times (2700 - 2400)$$

$$F_T = 0.865$$

Factor de Capacidad Total ( $F_S$ )

$$F_S = 0.84 + \frac{(0.80 - 0.84)}{(3000 - 2400)} \times (2700 - 2400)$$

$$F_T = 0.82$$

Para el cálculo de la capacidad del equipo que cumpla con los requerimientos de la cabina se procede a utilizar el valor del factor de capacidad sensible considerando que la mayor carga térmica calculada es la sensible procedente de los equipos electrónicos de alta densidad

térmica y considerando además el criterio de ingeniería que nos permite diseñar para el escenario más crítico garantizando así que el equipo cumplirá con su trabajo incluso en las peores condiciones climáticas.

Para el cálculo final consideramos un factor de seguridad de 1.1 que es el especificado por ASHRAE en su capítulo Load Calculation del Manual de Fundamentos para el diseño de sistemas HVAC considerando que en el campo de la refrigeración se debe evitar el sobredimensionamiento de equipos que pueda provocar que estos lleguen al setpoint muy pronto provocando que el equipo se apague y se encienda en más ocasiones lo que provocaría desgaste de los componentes y mayor consumo energético. Además, el factor de seguridad nos permite cubrir futuras adiciones o cambio de equipos. Finalmente, la ecuación para el cálculo del equipo adecuado para las instalaciones se presenta en la ecuación (17).

$$Capacidad\ real = \frac{Q_T \times Factor\ de\ seguridad}{Factor\ de\ correccion} \quad (17)$$

Reemplazando los valores obtenidos producto de la carga térmica total con los respectivos factores de corrección por altitud y el factor de seguridad tenemos:

$$Capacidad\ real = \frac{8739.97 \frac{BTU}{h} \times 1.1}{0.82}$$

$$Capacidad\ real = 11724.35\ BTU/h$$

$$Capacidad\ comercial = 12000\ BTU/h$$

### ***Selección de equipo***

Tras el cálculo de la capacidad real para cumplir con los requerimientos de confort térmico dentro de la cabina de transmisión de radio se debe además asegurar que el funcionamiento del equipo de aire acondicionado no interfiera con la acústica dentro de la

misma cumpliendo con el manual ASHRAE, específicamente con el Capítulo 49 (Sound and Vibration Control).

Por esta razón se procede a revisar en manuales de fabricante las opciones de equipos de aire acondicionado que cumplen con los niveles de ruido según las curvas NC (Noise Criteria), que definen los niveles máximos de presión sonora permitidos según el tipo de instalación y que según la Tabla 1 Design Guidelines for HVAC-Related Background Sound in Rooms (véase **Anexo 6**) en el manual ASHRAE capítulo 49 titulado Sound and Vibration Control, define para áreas de radiodifusión sonora o cabinas de grabación un rango de NC - 15 a NC – 25. Para el cumplimiento de lo estipulado en cuanto a ruido se consideran dos opciones de equipos de 12000 BTU/h que cumplen con el rango de ruido recomendado de entre 20 a 30 dB(A) siendo la una un equipo centralizado con ductos y la otra un equipo tipo Split Inverter para lo cual se realiza una comparación utilizando criterios ponderados que se muestran en la **Tabla 11**.

**Tabla 11**

*Matriz de Decisión: Unidad Centralizada vs. Split Inverter*

<b>Valoración Cualitativa</b>	<b>Valoración Cuantitativa</b>
Muy satisfecho	3
Satisfecho	2
Poco Satisfecho	1

<b>Criterio</b>	<b>Peso</b>	<b>Opción 1: Centralizado</b>	<b>Puntaje (1-3)</b>	<b>Opción 2: Split Inverter</b>	<b>Puntaje (1-3)</b>
Generación de Ruido	35%	Motor fuera	1.05	Vibración/Flujo aire	0.7
Eficiencia Energética	20%	Pérdidas en ducto	0.2	Tecnología Inverter	0.6
Costo de Instalación	15%	Obra civil/Ductos	0.15	Económico/Rápido	0.45
Facilidad de Instalación	10%	Requiere espacio	0.1	Instalación simple	0.3

<b>Criterio</b>	<b>Peso</b>	<b>Opción 1: Centralizado</b>	<b>Puntaje (1-3)</b>	<b>Opción 2: Split Inverter</b>	<b>Puntaje (1-3)</b>
Frecuencia/Costo Mant.	10%	Limpieza de ductos	0.1	Filtros accesibles	0.3
Duración Estimada	10%	Equipo robusto	0.3	Electrónica sensible	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>1.9</b>		<b>2.55</b>

*Nota.* Elaboración propia utilizando el criterio de análisis de opciones con criterios ponderados.

Como resultado del análisis se obtiene que la mejor opción 2 es la seleccionada para el diseño y corresponde a la instalación de un aire acondicionado Split Inverter de 12000 BTU/h. El equipo seleccionado bajo criterios de ingeniería es un aire acondicionado tipo Split Estándar Plus marca LG modelo VP122CR, al revisar el catálogo del equipo **Anexo 7** se comprueba que el equipo genera entre 20 a 41 decibeles entre sus modos de operación Sleep/Silent, Low, Mid y High. Considerando que para cumplir lo estipulado por el NOISE CRITERIA en el manual de ASHRAE para operación en cabinas de transmisión de radio se recomienda un rango de NC -15 a NC – 20 que corresponde a entre 25 – 30 dB(A) el equipo debe ser programado para funcionar en modo Sleep a 20 db(A) y modo Low que alcanza hasta 27 db(A) lo cual es factible considerando que el equipo se calculó con un factor de diseño de 1.10 que equivale a que el equipo esta dimensionado con un 10% de capacidad superior a lo requerido. Adicional el equipo será instalado en la pared posterior alejada de los micrófonos lo que garantiza evitar reverberaciones.

### **Resultados esperados**

Una vez que se realizó el diseño y selección del HVAC se procede a colocar un aire acondicionado tipo portátil de la misma capacidad calculada 12000 BTU/h para tomar nuevamente datos higrométricos, véase **Tabla 12**, esto permite validar la implementación de esta medida correctiva en el ambiente laboral de los locutores de la radio.

*Datos medidos utilizando un equipo HVAC tipo portátil de 12000 BTU/h*

**Tabla 12**

*Condiciones higrométricas medidas en la cabina de radio usando un Aire Acondicionado*

*Portátil modelo SP12F 12K BTU/h marca Electrolux*

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Temperatura Aire (°C)</b>	<b>Humedad (RH%)</b>	<b>WBGT (°C)</b>
<b>Día 1</b>	10:00:00	110	22.4	50	17.8
		60	22	52	17.6
		10	21.6	54	17.4
	14:00:00	110	22.9	47	17.9
		60	22.5	49	17.7
		10	22.1	48	17.6
	17:00:00	110	22.8	48	17.9
		60	22.4	50	17.8
		10	22	52	17.6
<b>Día 2</b>	10:00:00	110	22.1	53	17.8
		60	21.7	55	17.6
		10	21.3	57	17.4
	14:00:00	110	22.7	49	17.9
		60	22.3	51	17.8
		10	21.9	53	17.6
17:00:00	110	22.6	50	17.9	
	60	22.2	52	17.8	
	10	21.8	54	17.6	
<b>Día 3</b>	10:00:00	110	22.5	50	17.8
		60	22.1	52	17.7
		10	21.7	54	17.5
	14:00:00	110	22.9	46	17.8
		60	22.5	48	17.6
		10	22.1	50	17.5
17:00:00	110	22.9	47	17.9	
	60	22.5	49	17.7	
	10	22.1	51	17.6	
<b>Día 4</b>	10:00:00	110	22.8	48	17.9
		60	22.4	50	17.8
		10	22	52	17.6

Fecha	Hora	Altura (cm)	Temperatura Aire (°C)	Humedad (RH%)	WBGT (°C)
		110	22.2	45	18
	14:00:00	60	22.8	47	17.8
		10	22.4	49	17.7
		110	22.3	44	17.9
	17:00:00	60	22.9	46	17.8
		10	22.5	48	17.6
		110	22.9	47	17.9
	10:00:00	60	22.5	49	17.7
		10	22.1	51	17.6
		110	22.3	44	17.9
<b>Día 5</b>	14:00:00	60	22.9	46	17.8
		10	22.5	48	17.6
		110	22.4	43	17.9
	17:00:00	60	22	45	17.8
		10	22.6	47	17.6
		110	22.9	47	17.9

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos recolectados en la cabina de radio utilizando un aire acondicionado portátil modelo SP12F de 12K BTU/h de capacidad marca Electrolux para estimar el funcionamiento del equipo calculado tipo Split Inverter previa su instalación.

Como se puede visualizar en la **Tabla 12** los niveles del índice WBGT pasaron de promedios de 28°C - 30°C (zona de peligro/fatiga) a un rango de valores de 17°C a 18 °C lo cual es ideal para mejorar el confort dentro del ambiente de trabajo con temperaturas de bulbo seco de entre 21,6 a 22,9 °C y humedades relativas que oscilan alrededor del 50% verificando el cumplimiento de las condiciones de confort estipuladas por el manual de ASHRAE verificando además que la capacidad del equipo seleccionado a través del cálculo de la carga térmica total es el adecuado.

## **Cronograma de implementación de la propuesta**

### ***Gestión y Aprobación de la Propuesta Técnica***

Presentación a la gerencia de la radio de documentos técnicos que justifican la instalación del equipo HVAC con tecnología Inverter exponiendo el costo-beneficio para obtener la aprobación del presupuesto necesario para la implementación del proyecto. Se estima que esta actividad tomara 1 día y se espera una decisión en 2 días posteriores a la solicitud de aprobación.

### ***Proceso de Adquisición***

Contactar al menos a 3 proveedores de equipos HVAC, utilizar empresas que incluyan servicio de instalación y mantenimiento para asegurar la garantía del equipo. Esta actividad tomara 8 días hasta seleccionar la mejor opción y que los equipos sean entregados.

### ***Ejecución Técnica e Instalación***

Se inicia con la perforación de muros y sellado acústico (obra civil) además de la adecuación de instalaciones eléctricas independientes para el equipo. Se instala el equipo Split con el montaje de la unidad evaporadora en el interior de la cabina y la condensadora en el patio exterior que se encuentra tras las instalaciones. El tiempo estimado para esta actividad es de 4 días.

### ***Pruebas de Funcionamiento y Acústica***

Se procede nuevamente a medir la temperatura e índice WBGT para verificar que el equipo cumple con su función de garantizar un ambiente de confort bajo los parámetros de ASHRAE. Se analiza además el cumplimiento de la norma técnica de ruido midiendo los decibeles dentro de la cabina con el quipo en funcionamiento. El tiempo estimado para esta

actividad es de 5 días para mantener el protocolo de mediciones realizadas para verificar la existencia de estrés térmico utilizado según la norma técnica ISO 7243:2017.

### ***Socialización***

Capacitación del personal dentro de la cabina sobre el uso del equipo, control remoto, limpieza de filtros y forma de trabajo de los equipos Inverter para evitar que se realiza encendidos y apagados manuales. Esta actividad se realizara en 2 días.

### ***Entrega de Informe Final***

Entrega de informe de resultados a la gerencia de la radio con nuevos datos higrométricos para verificación de la efectividad de la propuesta, adicional se entrega un manual de usuario y mantenimiento recomendado. Esta actividad tomara 1 día.

Para visualizar las fases del proceso de implementación del sistema HVAC véase las

**Figura 6 y Figura 7.**

### **Figura 6**

*Cronograma de implementación para la instalación de equipo Split Inverter 12000 BTU/h*

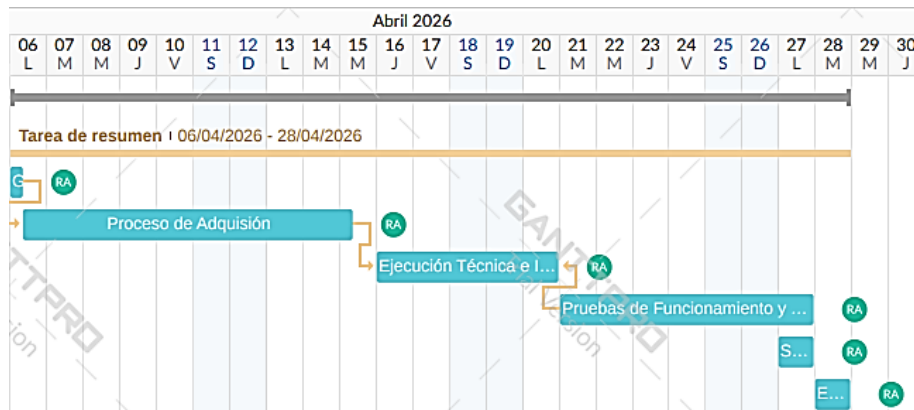
Universidad Indoamerica | Instalación de Equipo Split Inverter12000 BTU/h

Nombre de tarea	Asignado	Estado	Duración	03 V	04 S
<b>1</b> <input type="checkbox"/> Tarea de resumen					
1.1 Gestión y Aprobación...	RA Rober...	● Abierto	3		
1.2 Proceso de Adquisición	RA Rober...	● Abierto	8		
1.3 Ejecución Técnica e In...	RA Rober...	● Abierto	4		
1.4 Pruebas de Funciona...	RA Rober...	● Abierto	5		
1.5 Socialización	RA Rober...	● Abierto	2		
1.6 Entrega de Informe Fi...	RA Rober...	● Abierto	1		

Nota. Elaboración propia a través del software GanttPRO (2024). Los tiempos están expresados en días según la planificación establecida.

## Figura 7

Diagrama de Gantt



Nota. Elaboración propia mediante el software Gantt PRO.

El diagrama detalla la planificación del proyecto desde su inicio el 06 de abril hasta su culminación estimada para el día 28 de abril de 2026 con la entrega del informe final y un manual de usuario a la Gerencia de la radio además de la terminación de la fase de pruebas. Las fases de mayor duración corresponden al proceso de adquisición con una duración de 8 días, la implementación se estima a ser realizada en un tiempo total de 17 días laborables.

## Análisis de costos

Se considera los costos de implementación del equipo HVAC de 12000 BTU/h que implican costo de equipo, costo de obra civil y técnica de instalación además de los costos de socialización.

### ***Costo de Equipo Split Dual Inverter LG 12000 BTU/h y Materiales***

Incluye los costos de instalación del equipo HVAC Dual Inverter LG modelo VP122CR detallados en Proforma No 10003012 obtenida de Corporación Megafrio S.A y visible en el **Anexo 8**, valores resumidos en la **Tabla 13**.

**Tabla 13**

*Costos de instalación de equipo HVAC LG 12000 BTU/h.*

<b>Actividad</b>	<b>Costo</b>
Aire Acondicionado Dual Inverter LG modelo VP122CR	\$283,33
Obra Civil (perforación de muro, resane y sellado acústico)	\$50,00
Instalación eléctrica (Cableado, breaker independiente y canaletas).	\$50,00
Materiales Técnicos (kit de tubería de cobre, aislante térmico rubatex y soportes)	\$60,00
<b>Total costos de instalación</b>	<b>\$443,33</b>

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos proporcionados por proveedor (2026).

### ***Mano de obra***

Gastos asociados al personal necesario para la instalación del equipo de aire acondicionado según valores proporcionados por el Ministerio de Trabajo en el Anexo 1 de Salarios Mínimos Sectoriales para el sector metalmecánica en función del tiempo requerido para la instalación

para obtener el valor por hora según la base de 240 horas que se requiere al mes. Véase **Anexo**

**9.** Para costos de mano de obra calculados véase **Tabla 14.**

**Tabla 14**

*Costos de mano de obra*

<b>Cargo</b>	<b>Sueldo</b>	<b>Personal</b>	<b>Costo/hora</b>	<b>Días</b>	<b>Horas</b>	<b>Costo</b>
	<b>Mínimo</b>			<b>requeridos</b>	<b>requeridas</b>	<b>Total</b>
	<b>Sectorial</b>					
Técnico	\$ 487,71	2	\$2,03	4	32	\$129,92
Mecánico						
<b>Total</b>		<b>2</b>				<b>\$129,92</b>

*Nota.* Valores de Sueldo Mínimo Sectorial tomados del Anexo 1 de Salarios Mínimos Sectoriales para el sector Metalmecánica según Ministerio del Trabajo (2026).

***Costo Total de Implementación de la Propuesta***

Posterior al cálculo de los costos del equipo, materiales necesarios para la instalación y costo de mano de obra se procede a obtener los costos totales de implementación de la propuesta. Véase la **Tabla 15.**

**Tabla 15**

*Costos totales de Implementación de equipo HVAC en cabina de radio*

Costos de instalación de equipo HVAC	\$443,33
12000 BTU/h	
Costo de mano de obra	\$129,92
<b>Costos Totales de Implementación</b>	<b>\$573.25</b>

*Nota.* Elaboración Propia (2026).

### ***Cálculo del VAN y TIR***

Mediante el cálculo del VAN y el TIR se verifica la factibilidad de la propuesta a través del análisis de los costos asociados a la implementación y los beneficios económicos resultado de la misma. Debido a que no existe un sistema HVAC actualmente dentro de la cabina no se puede proceder a calcular el ahorro sobre el costo de energía eléctrica así que se procede a realizar el cálculo en base a la evitación de pérdidas y el valor de protección de los equipos. Para esto procedemos a revisar los costos estimados tanto de mantenimientos preventivos como correctivos debido al deterioro más acelerado de partes de equipos debido a su funcionamiento en temperaturas más altas de las ideales recomendadas por fabricantes (23 °C) para alargar su vida útil. Para el análisis económico de la propuesta se debe estimar el costo de inversión inicial del proyecto, su vida útil, tasa de descuento, beneficio anual bruto y los costos operativos añadidos. Para la estimación del beneficio anual bruto se considerara el ahorro en gastos tanto de mantenimiento correctivo como preventivo en los que ha incurrido la administración de la radio en el año 2025. Véase **Tabla 16**

**Tabla 16***Costos de Mantenimiento Equipos Electrónicos Cabina de Radio año 2025*

Mantenimiento Preventivo	\$ 120
Mantenimiento Correctivo	\$350
<b>Costo Total Estimado</b>	<b>\$470</b>

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la administración de la radio (2025).

Los costos de mantenimiento preventivo son producto de limpieza profunda de ventiladores y cambio de pastas térmicas, el mantenimiento correctivo incluye los costos de reemplazo de fuentes de poder, capacitores hinchados por resecaamiento en las consolas (Mackie y Optimod) y cambio de baterías de equipos por deterioro de carga.

El costo de la inversión inicial se obtiene de los cálculos anteriores de costo de implementación del equipo HVAC cuyo resultado total fue de \$573,25. Con estos valores procedemos a definir los flujos basados en los cálculos anteriores (véase **Tabla 17**)

**Tabla 17***Valores estimados de flujo para cálculo de TIR y VAN*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Inversión Inicial (I <sub>0</sub> )	\$573,25
Vida útil del proyecto (n)	5 años
Tasa de Descuento (r)	12%
Beneficio Anual Bruto	\$470,00
Costos Operativos Añadidos	\$301,00
Flujo de Caja Neto Anual	\$169,00

*Nota.* Elaboración propia con datos del proyecto.

### Calculo del Van

El VAN nos ayuda a determinar si la implementación del proyecto es rentable al compararla con la tasa de rentabilidad exigida (12%). Para su cálculo véase la Ecuación (18).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE}{(1+r)^t} \quad (18)$$

$$VAN = -573.25 + \frac{169}{(1+0.12)^1} + \frac{169}{(1+0.12)^2} + \frac{169}{(1+0.12)^3} + \frac{169}{(1+0.12)^4} + \frac{169}{(1+0.12)^5}$$

$$VAN = -\$573.25 + \$150.89 + \$134.72 + \$120.29 + \$107.40 + \$95.89$$

$$VAN = \$35.94$$

Debido a que el cálculo del VAN > 0 demuestra que el proyecto es financieramente factible ya que la inversión del proyecto recupera el capital inicial y cubre los gastos operativos generados con la implementación satisfaciendo la tasa de oportunidad del 12%.

### Calculo del TIR

Para calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) se debe encontrar la tasa de interés (i) que iguale la inversión inicial con el valor de los flujos futuros, es decir donde el VAN es igual a 0. Utilizamos el método del tanteo para encontrar el valor de i que haga que el VAN = 0.

Probamos primeramente con i=14%

$$VAN = -573.25 + \frac{169}{(1+0.14)^1} + \frac{169}{(1+0.14)^2} + \frac{169}{(1+0.14)^3} + \frac{169}{(1+0.14)^4} + \frac{169}{(1+0.14)^5}$$

$$VAN = +6,95$$

Probamos con i=15%

$$VAN = -573.25 + \frac{169}{(1+0.15)^1} + \frac{169}{(1+0.15)^2} + \frac{169}{(1+0.15)^3} + \frac{169}{(1+0.15)^4} + \frac{169}{(1+0.15)^5}$$

$$VAN = -6,73$$

Al calcular para valores de  $i=14$  e  $i=15$  notamos un cambio de signo lo que significa que al graficar la curva en el algún momento tuvo que cortar el eje X (valor cero) en un punto intermedio. Ese punto de corte del eje X es la TIR. Por este motivo realizamos una interpolación lineal entre estos valores.

$$P1 (0.14; 6.95)$$

$$P2 (0.15; -6.73)$$

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

$$y = 0.14 + \frac{(0 - 6.95)(0.15 - 0.14)}{-6.73 - 6.95}$$

$$y = 0,1451$$

$$i = 14,51\%$$

Como el valor de  $i > r$  verificamos que el proyecto tiene un rendimiento superior a la tasa de descuento lo cual hace al proyecto viable.

### ***Curva de costo beneficio***

La curva Costo-Beneficio permite visualizar como varia el VAN en función de diferentes tasas de descuento además de marcar el punto exacto donde se halla la TIR que es el punto donde la gráfica corta el eje de las X. Para esto procedemos a generar una tabla de valores asignando distintas tasas de descuento y calculando el VAN correspondiente. Véase **Tabla 18**. Con estos valores se genera la curva Costo-Beneficio en la **Figura 6**.

**Tabla 18**

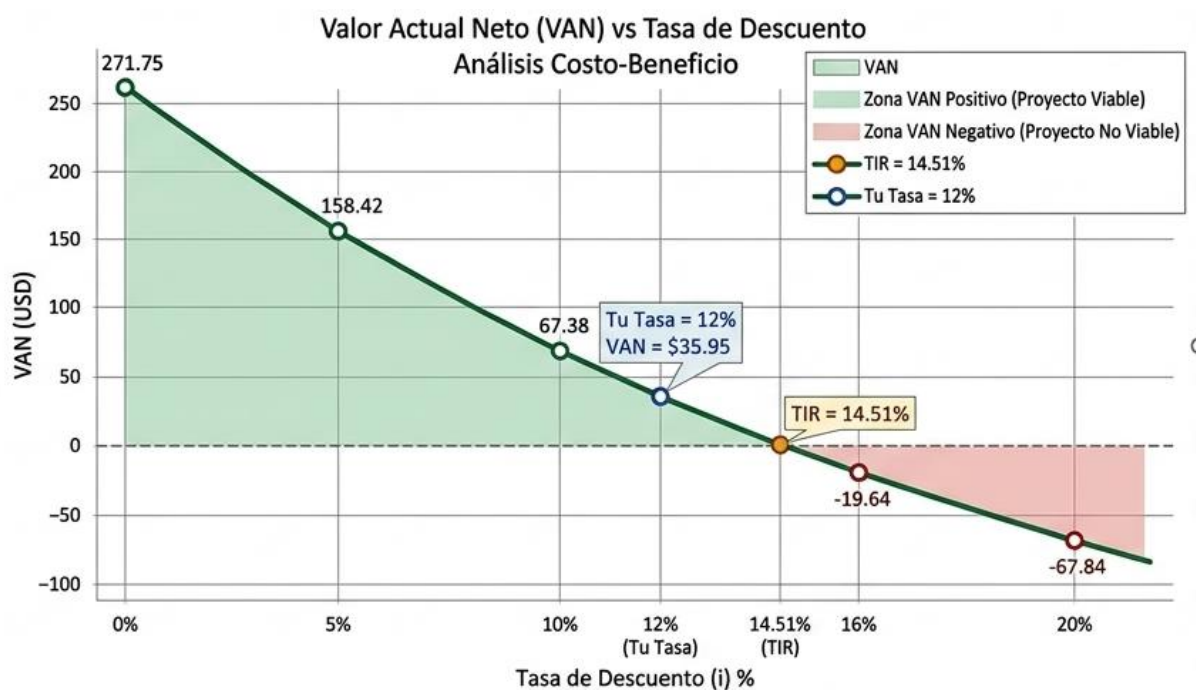
Valores del VAN proyectados según la tasa de actualización

Tasa de Descuento (i)	Tasa de Descuento (i)	VAN (USD)
0% (Suma simple)	0.00	271.75
5%	0.05	158.42
10%	0.10	67.38
12% (Tu Tasa)	0.12	35.95
14.51% (TIR)	0.15	0
16%	0.16	-19.64
20%	0.20	-67.84

Nota. Cálculos realizados mediante Microsoft Excel. La tasa del 12% representa el costo de oportunidad definido para el proyecto.

**Figura 8**

Perfil del Valor Actual Neto y determinación de la Tasa Interna de Retorno



Nota. Curva Costo-Beneficio. El punto de intersección con el eje horizontal (x) identifica la TIR en 14,53%. Elaboración propia en Microsoft Excel (2026).

## CAPÍTULO IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

A través del análisis de los datos higrométricos actuales dentro de la cabina de transmisión de radio se obtuvo un valor  $WBGT_{eff} = 34,73$  °C el cual supera el límite establecido tanto en la norma ISO 7243 como en el decreto CD 255 para trabajos ligeros Clase 1 ( $WBGT=30^\circ$ ). De esta forma se evidencia el riesgo de estrés térmico al cual está expuesto el personal que labora en la cabina producto de la falta de un sistema de renovación de aire adicional a la acumulación de calor metabólico y ambiental producto de la presencia de lana de vidrio como aislante acústico que impide el intercambio de calor con el exterior al ser también un aislante térmico. Expuestos estos aspectos se justifica la necesidad de una solución inmediata con el diseño de un sistema HVAC que permita un sitio de trabajo que cumpla con la normativa de confort térmico.

El cálculo de la carga térmica determino una clara predominancia del calor sensible lo cual se evidencia en la **Tabla 5** con temperaturas de bulbo seco que alcanzan hasta los 39.8 °C lo cual también justifica que el valor más alto obtenido de carga térmica sea el producido por ventilación (5234,22 BTU/h) aún por encima de la carga térmica generada por los equipos electrónicos (1040,66 BTU/h), lo cual solo sucede en zona costeras o tropicales debido a la alta temperatura que provoca que el aire tenga mayor energía acumulada lo cual sucede en la cabina debido al aislamiento con lana de vidrio que impide el intercambio de calor con el exterior generando un microclima similar al de dichas zonas. El uso de la metodología descrita en el manual de fundamentos de ASHRAE permitió el cálculo preciso de la carga térmica total para el dimensionamiento del equipo HVAC con una capacidad de enfriamiento de 12000 BTU/h que permita estabilizar la temperatura operativa dentro de la cabina.

El sistema HVAC dimensionado no solo garantiza que el ambiente de trabajo se mantendrá dentro de los parámetros de confort de ASHRAE sino también el cumplimiento de los parámetros de ruido para estudios de transmisión de radio según el capítulo 49 del manual de fundamentos de ASHRAE Sound and Vibration que especifica que estas instalaciones deben trabajar en un rango de NC - 15 a NC - 25 lo que corresponde a entre 25 a 30 dB por lo que se eligió un equipo LG Split Dual Inverter que permite la regulación de 4 modos de trabajo (Sleep/Low/Mid/High) a través de un sistema de control inteligente denominada THINKQ regulando así que el equipo trabaje dentro del rango de ruido recomendado sin interferir con las transmisiones de la radio.

### **Recomendaciones**

Se debe cumplir con el programa de cambio de filtros recomendado en el informe final entregado a la gerencia, en el cual según criterios de mantenimiento preventivo se recomienda hacerlo cada 30 a 45 días para los Pre filtros (MERV 14) y 3 a 4 meses para los filtros de pliegues de alta eficiencia (MERV 8). Con esto se evita que el polvo introducido por el alto caudal de ventilación se infiltre en los componentes electrónicos de los equipos causando un aumento en la temperatura de los mismos.

Para garantizar que el equipo trabaje dentro de los estándares de ruido (25 a 30 dB) debe ser encendido 60 minutos antes del inicio de actividades, de esta forma el equipo alcanzara el setpoint antes del ingreso del personal lo cual permitirá que el equipo opere en modo de carga parcial con baja velocidad de ventilación evitando la interferencia en los micrófonos durante la transmisión.

El equipo debe ser programado para trabajar en un setpoint de 23 °C según recomendación de ASHRAE, no se debe manipular para trabajar en temperaturas inferiores a lo recomendado ya que según Energy Star, programa internacional que etiqueta productos de

alta eficiencia energética, por cada grado que se baja de la temperatura recomendado el consumo de energía aumenta entre un 5% a un 8%. Se debe considerar además que el bajar la temperatura del aire por debajo de lo recomendado no enfriara la cabina más rápido ya que el aire se expulsa a la misma temperatura constante de entre 12 °C a 15 °C hasta alcanzar la temperatura solicitada por el usuario lo cual significa que al poner una temperatura más baja obligara a que el compresor trabaje más tiempo sin detenerse a su máxima capacidad consumiendo más energía eléctrica y generando más gastos.

## **Bibliografía**

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2021). 2021 ASHRAE Handbook—Fundamentals. ASHRAE. ASHRAE. (2020). Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

International Organization for Standardization. (2017). Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index (ISO Standard No. 7243:2017). <https://www.iso.org/standard/62137.html>

Budd, G. M. (2008). Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(1), 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.07.003>

Parsons, K. (2014). *Human thermal environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance* (3.<sup>a</sup> ed.). CRC Press.

Recuero López, M. (2020). *Acústica de estudios para grabación sonora*. Instituto Oficial de Radio y Televisión.

Vanegas Cruz, L. B., y García Mora, A. S. (2023). *Diseño del acondicionamiento acústico del auditorio de la FIMCP* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. DSpace en ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58347>

LG Electronics. (2024). *Engineering Data Book: Single Split Series Air Conditioning* [Manual técnico]. LG Air Conditioning & Energy Solution Company.

Organización Internacional Del Trabajo. (2019). *Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work*.

[https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms\\_711202.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_711202.pdf)

Presidencia de la República del Ecuador. (2024). Decreto Ejecutivo 255: Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Ministerio del Trabajo. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/DECRETO-EJECUTIVO-255-REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-Y-SALUD-DE-LOS-TRABAJADORES.pdf>

Ministerio del Trabajo. (2024). Anexo 3: Norma Técnica de Seguridad e Higiene del Trabajo. [https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/11/Anexo-3\\_Norma-Tecnica-de-Seguridad-e-Higiene-del-Trabajo-signed-signed-signed-signed.pdf](https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/11/Anexo-3_Norma-Tecnica-de-Seguridad-e-Higiene-del-Trabajo-signed-signed-signed-signed.pdf)

Herramientas Ingeniería. (s.f.). Calculadora psicométrica online. Recuperado el 2 de marzo de 2026, de <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2024). Anuario Meteorológico N° 61 - 2021. Servicios INAMHI. <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Especificaciones técnicas de la tira LED SMD5050



TIRA 12V PRO 14,4W/M 60LED/M SMD5050  
IP67 CCT BLANCO FRIO-CALIDO  
3000-6000K 1M

SKU: 12-325

Categorías: [Tiras LED](#), [Tiras LED 12V](#)



#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

La Tira LED 12V de 1 metro con 60 LEDs por metro y tecnología SMD5050 te brinda la posibilidad de ajustar entre blanco frío (6000K) y blanco cálido (3000K) con facilidad. Con una potencia de 14,4W/m y clasificación IP67, está preparada para entornos exteriores donde la exposición a polvo y agua es común. Además de ser regulable, ofrece una alta reproducción cromática con CRI >80. Incluye 3 años de garantía, asegurando durabilidad incluso en condiciones adversas.

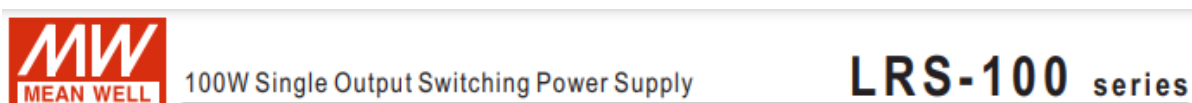
#### Especificaciones clave

- 3 años de garantía: asegura un producto confiable y duradero.
- 12V: adecuado para aplicaciones que requieren baja tensión.
- 14,4W/m: proporciona una iluminación eficiente.
- 60 LEDs/m: distribución de luz uniforme.

*Nota.* El catálogo detalla las características de la tira LED de 12V, incluyendo su potencia de 14,4W/m, protección IP67 y los 60 LEDs por metro. Adaptado de Tira 12V Pro 14,4W/M 60LED/M SMD5050 IP67 CCT Blanco Frio-Calido 3000-6000K 1M (SKU: 12-325), por BJP Lighting, s.f.

## Anexo 2

### Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación Mean Well serie LRS-100



#### SPECIFICATION

MODEL	LRS-100-3.3	LRS-100-5	LRS-100-12	LRS-100-15	LRS-100-24	LRS-100-36	LRS-100-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	3.3V	5V	12V	15V	24V	36V	48V
	RATED CURRENT	20A	18A	8.5A	7A	4.5A	2.8A	2.3A
	CURRENT RANGE	0 ~ 20A	0 ~ 18A	0 ~ 8.5A	0 ~ 7A	0 ~ 4.5A	0 ~ 2.8A	0 ~ 2.3A
	RATED POWER	66W	90W	102W	105W	108W	100.8W	110.4W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	100mVp-p	100mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	2.97 ~ 3.6V	4.5 ~ 5.5V	10.2 ~ 13.8V	13.5 ~ 18V	21.6 ~ 28.8V	32.4 ~ 39.6V	43.2 ~ 52.8V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±3.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION Note.4	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION Note.5	±2.0%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	500ms, 30ms/230VAC    500ms,30ms/115VAC at full load						
HOLD UP TIME (Typ.)	55ms/230VAC    10ms/115VAC at full load							
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 ~ 264VAC    120 ~ 373VDC (Withstand 300VAC surge for 5sec. Without damage)						
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz						
	EFFICIENCY (Typ.)	84.5%	86%	88%	88.5%	90%	90.5%	91%
	AC CURRENT (Typ.)	1.9A/115VAC    1.2A/230VAC						
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 50A/230VAC						
LEAKAGE CURRENT	<0.75mA / 240VAC							

*Nota.* La tabla presenta las especificaciones de entrada y salida para los modelos de la serie LRS-100, destacando una eficiencia de hasta el 91% y un rango de voltaje de entrada de 85 a 264 VAC. Adaptado de LRS-100 series: 100W Single Output Switching Power Supply [Ficha técnica], por Mean Well, s.f.

### Anexo 3

*Tasas Representativas de Calor y Humedad por Seres Humanos en Diferentes Estados de Actividad.*

Grado de Actividad	Estado de Aplicación Representativo	Calor Total (W)	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)
[cite: 1]	Sentado, en reposo (ej. Teatro, Auditorio)	115	70	45
[cite: 2]	Sentado, actividad muy ligera (ej. Oficinas, Hoteles)	130	70	60
[cite: 3]	Sentado, comiendo (ej. Restaurante)	145	70	75
[cite: 4]	De pie, actividad ligera (ej. Tiendas, Bancos)	145	70	75
[cite: 5]	Actividad de oficina moderada (ej. Trabajo de pie, caminar poco)	160	75	85
[cite: 6]	Caminar ligero (ej. Fábrica de industria ligera)	235	90	145
[cite: 7]	Caminar moderado (ej. Bailar, ejercicio ligero)	265	100	165
[cite: 8]	Caminar rápido (ej. Bowling, trabajo pesado)	440	170	270
[cite: 9]	Ejercicio intenso (ej. Gimnasio)	525	210	315

*\*Nota.* Los valores se basan en una temperatura ambiente de bulbo seco de aproximadamente 24°C (75°F). Adaptado de *ASHRAE Handbook—Fundamentals*.\*

*Nota.* Adaptado de 2021 ASHRAE Hándbook—Fundamentals (Cap. 18), por ASHRAE, 2021.

## Anexo 4

### Factores de transmisión térmica (Valor U) para diferentes productos de fenestración

**Table 4 U-Factors for Various Fenestration Products in W/(m<sup>2</sup>·K)<sup>i</sup>**

Product Type		Glass Only		Vertical Installation									
				Operable (including sliding and swinging glass doors)					Fixed				
ID	Glazing Type	Center of Glass	Edge of Glass	Aluminum	Aluminum	Reinforced	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl	Aluminum	Aluminum	Reinforced	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl
				Without Thermal Break	With Thermal Break	Vinyl/ Aluminum Clad Wood			Without Thermal Break	With Thermal Break	Vinyl/ Aluminum Clad Wood		
<b>Single Glazing</b>													
1	3.2 mm glass	5.91	5.91	7.01	6.08	5.27	5.20	4.83	6.38	6.06	5.58	5.58	5.40
2	6 mm acrylic/polycarb	5.00	5.00	6.23	5.35	4.59	4.52	4.18	5.55	5.23	4.77	4.77	4.61
3	3.2 mm acrylic/polycarb	5.45	5.45	6.62	5.72	4.93	4.86	4.51	5.96	5.64	5.18	5.18	5.01
<b>Double Glazing</b>													
4	6 mm airspace	3.12	3.63	4.62	3.61	3.24	3.14	2.84	3.88	3.52	3.18	3.16	3.04
5	13 mm airspace	2.73	3.36	4.30	3.31	2.96	2.86	2.58	3.54	3.18	2.85	2.83	2.72
6	6 mm argon space	2.90	3.48	4.43	3.44	3.08	2.98	2.69	3.68	3.33	3.00	2.98	2.86
7	13 mm argon space	2.56	3.24	4.16	3.18	2.84	2.74	2.46	3.39	3.04	2.71	2.69	2.58
<b>Double Glazing, e = 0.60 on surface 2 or 3</b>													
8	6 mm airspace	2.95	3.52	4.48	3.48	3.12	3.02	2.73	3.73	3.38	3.04	3.02	2.90
9	13 mm airspace	2.50	3.20	4.11	3.14	2.80	2.70	2.42	3.34	2.99	2.67	2.65	2.53
10	6 mm argon space	2.67	3.32	4.25	3.27	2.92	2.82	2.54	3.49	3.13	2.81	2.79	2.67
11	13 mm argon space	2.33	3.08	3.98	3.01	2.68	2.58	2.31	3.20	2.84	2.52	2.50	2.39
<b>Double Glazing, e = 0.40 on surface 2 or 3</b>													
12	6 mm airspace	2.78	3.40	4.34	3.35	3.00	2.90	2.61	3.59	3.23	2.90	2.88	2.77
13	13 mm airspace	2.27	3.04	3.93	2.96	2.64	2.54	2.27	3.15	2.79	2.48	2.46	2.35
14	6 mm argon space	2.44	3.16	4.07	3.09	2.76	2.66	2.38	3.30	2.94	2.62	2.60	2.49
15	13 mm argon space	2.04	2.88	3.75	2.79	2.48	2.38	2.11	2.95	2.60	2.29	2.27	2.16
<b>Double Glazing, e = 0.20 on surface 2 or 3</b>													
16	6 mm airspace	2.56	3.24	4.16	3.18	2.84	2.74	2.46	3.39	3.04	2.71	2.69	2.58
17	13 mm airspace	1.99	2.83	3.70	2.75	2.44	2.34	2.07	2.91	2.55	2.24	2.22	2.12
18	6 mm argon space	2.16	2.96	3.84	2.88	2.56	2.46	2.19	3.05	2.70	2.38	2.36	2.26
19	13 mm argon space	1.70	2.62	3.47	2.53	2.24	2.14	1.88	2.66	2.30	2.00	1.98	1.88
<b>Double Glazing, e = 0.10 on surface 2 or 3</b>													
20	6 mm airspace	2.39	3.12	4.02	3.05	2.72	2.62	2.34	3.25	2.89	2.57	2.55	2.44
21	13 mm airspace	1.82	2.71	3.56	2.62	2.32	2.22	1.96	2.76	2.40	2.10	2.08	1.98
22	6 mm argon space	1.99	2.83	3.70	2.75	2.44	2.34	2.07	2.91	2.55	2.24	2.22	2.12
23	13 mm argon space	1.53	2.49	3.33	2.40	2.12	2.02	1.76	2.51	2.16	1.86	1.84	1.74
<b>Double Glazing, e = 0.05 on surface 2 or 3</b>													
24	6 mm airspace	2.33	3.08	3.98	3.01	2.68	2.58	2.31	3.20	2.84	2.52	2.50	2.39

*Nota.* La tabla presenta los coeficientes de transferencia de calor para el centro del vidrio, el borde y diferentes tipos de marcos en instalaciones verticales. Adaptado de 2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI Edition) (p. 15.10), por ASHRAE, 2017.

## Anexo 5

### Materiales de construcción y aislamiento

**Table 1 Building and Insulating Materials: Design Values<sup>a</sup>**

Description	Density, kg/m <sup>3</sup>	Conductivity <sup>b</sup> <i>k</i> , W/(m·K)	Resistance <i>R</i> , (m <sup>2</sup> ·K)/W	Specific Heat, kJ/(kg·K)	Reference <sup>c</sup>
<b>Insulating Materials</b>					
<i>Blanket and batt</i> <sup>c,d</sup>					
Glass-fiber batts.....	7.5 to 8.2	0.046 to 0.048	—	0.8	Kumaran (2002)
	9.8 to 12	0.040 to 0.043	—	—	Four manufacturers (2011)
	13 to 14	0.037 to 0.039	—	—	Four manufacturers (2011)
	22	0.033	—	—	Four manufacturers (2011)
Rock and slag wool batts.....	—	—	—	0.8	Kumaran (1996)
	32 to 37	0.036 to 0.037	—	—	One manufacturer (2011)
	45	0.033 to 0.035	—	—	One manufacturer (2011)
Mineral wool, felted.....	16 to 48	0.040	—	—	CIBSE (2006), NIST (2000)
	16 to 130	0.035	—	—	NIST (2000)
<i>Board and slabs</i>					
Cellular glass.....	120	0.042	—	0.8	One manufacturer (2011)
Cement fiber slabs, shredded wood with Portland cement binder.....	400 to 430	0.072 to 0.076	—	—	—
with magnesia oxysulfide binder.....	350	0.082	—	1.3	—
Glass fiber board.....	—	—	—	0.8	Kumaran (1996)
	24 to 96	0.033 to 0.035	—	—	One manufacturer (2011)
Expanded rubber (rigid).....	64	0.029	—	1.7	Nottage (1947)
Extruded polystyrene, smooth skin.....	—	—	—	1.5	Kumaran (1996)
aged per CAN/ULC <i>Standard S770-2003</i> .....	22 to 58	0.026 to 0.029	—	—	Four manufacturers (2011)
aged 180 days.....	22 to 58	0.029	—	—	One manufacturer (2011)
European product.....	30	0.030	—	—	One manufacturer (2011)
aged 5 years at 24°C.....	32 to 35	0.030	—	—	One manufacturer (2011)
blown with low global warming potential (GWP) (<5) blowing agent.....	—	0.035 to 0.036	—	—	One manufacturer (2011)
Expanded polystyrene, molded beads.....	—	—	—	1.5	Kumaran (1996)
	16 to 24	0.035 to 0.037	—	—	Independent test reports (2008)
	29	0.033	—	—	Independent test reports (2008)
Mineral fiberboard, wet felted.....	160	0.037	—	0.8	Kumaran (1996)

*Nota.* Adaptado de 2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI Edition) (p. 15.10), por ASHRAE, 2017.

## Anexo 6

### Pautas de diseño para el sonido de fondo relacionado con sistemas HVAC en recintos

**Table 1: Design Guidelines for HVAC-Related Background Sound in Rooms**

Room Type	RC(N) / NC Range	Approx. dBA	Approx. dBC
<b>Recording/Broadcast Studios</b>	<b>15-20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
Performing Arts Spaces (Drama Theaters)	20	25	50
Concert Halls, Recital Halls	15-18	20-23	45-48
Music Teaching Studios	25	30	55
Offices (Private)	30-35	35-40	60-65
Hospitals (Patient Rooms)	30	35	60
Gimnasiums	40-50	45-55	70-80

\*Values are for design guidelines. Check specific project requirements.\*

ASHRAE Handbook—HVAC Applications, Chapter 49, Table 1

*Nota.* La tabla detalla los niveles de presión sonora recomendados para diferentes aplicaciones.

Adaptado de 2023 ASHRAE Handbook—HVAC Applications (Cap. 49, Tabla 1), por ASHRAE, 2023.

## Anexo 7

### Especificaciones técnicas de equipos de aire acondicionado LG Dual Inverter



#### • Combinación Única

MODELO		VP122CR	VP122HR	VP182CR	VP182HR	VP242CR	VP242HR	
Capacidad de Enfriamiento	kW	3.52	3.52	5.28	5.28	6.45	6.45	
	Btu/h	12,000	12,000	18,000	18,000	22,000	22,000	
Capacidad de Calefacción	kW	-	3.52	-	5.42	-	6.45	
	Btu/h	-	12,000	-	18,500	-	22,000	
Potencia de Entrada	Enfriamiento / Calefacción	W	1,025	1,085 / 975	1,540	1,640 / 1,500	1,880	2,010 / 1,890
Corriente	Enfriamiento / Calefacción	A	4.7	6.0 / 5.5	7.0	7.4 / 6.82	8.2	9.6 / 9.1
Corriente Máxima	Enfriamiento / Calefacción	A	6.5	7.2 / 7.2	8.1	8.1 / 8.52	10.5	11.5 / 11.8
EER	W/W	3.43	3.24	3.43	3.22	3.43	3.21	
	Btu/Wh	11.71	11.06	11.69	10.98	11.70	10.95	
COP	W/W	-	-	-	-	-	-	
SEER		20.70	17.50	19.50	17.50	20.00	17.10	
Suministro de Potencia	Ø, V, Hz	1, 220, 60	1, 220, 60	1, 220, 60	1, 220, 60	1, 220, 60	1, 220, 60	
Nivel de Ruido	Unidad Interior	dB(A)	41 / 35 / 27 / 20 (+1dB)	42 / 36 / 28 / 21	43 / 41 / 36 / 30 (+1dB)	45 / 43 / 38 / 32	46 / 41 / 37 / 30 (+1dB)	48 / 43 / 38 / 32
	Unidad Exterior	dB(A)	50 (+1dB)	51 / 53	53 (+1dB)	54 / 56	54 (+1dB)	56 / 58
Compresor	Tipo	Compresor Dual	Compresor Dual	Compresor Dual	Compresor Dual	Compresor Dual	Compresor Dual	
Ventilador (Interior)	Tipo de Motor	BLDC	BLDC	BLDC	BLDC	BLDC	BLDC	

*Nota.* La tabla presenta los datos técnicos de rendimiento, capacidad de enfriamiento, potencia de entrada y niveles de ruido para los modelos de la serie VP. Adaptado de Catálogo de soluciones de aire acondicionado: Combinación única [Ficha técnica], por LG Electronics, s.f.

## Anexo 8

### Presupuesto detallado para la adquisición e instalación del sistema de climatización



CLIENTE: L006149 ALMENDARIZ LLANOS MAURICIO ROBERTO

CONTACTO: Tel:

Email:

CI - RUC: 1715391346

DIRECCIÓN:

FECHA: 26/02/2026

U/O: OSWALDO GUAYASAMIN SN Y GASPAR DE CARVAJAL / LOCAL 2 / A LADO DE PBX: (02) 5004 600

MEGAFRIO SA  
RUC: 1791408381001  
Cont. Esp. 00636  
Nro. de Resolución: NAC-DGERCGC25-00000011

**PROFORMA N°  
10003012**

CÓDIGO	DESCRIPCION /// MARCA /// MODELO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	DESCUENTO	VALOR TOTAL
010102016	A/A Split Estándar Plus marca LG modelo VP122CR Dual Inverter	1,00	\$ 283,33	\$ 79,50	\$ 246,33
020101001	Obra Civil	1,00	\$ 50,00	\$ 0,00	\$ 43,50
020101002	Instalación Eléctrica	1,00			
020101003	Materiales de instalación	1,00			
SUBTOTAL:					\$ 385,50
DESCUENTO:					\$ 0,00
SUBTOTAL ARTICULOS:					\$ 443,33
SERVICIO LOGISTICA:					\$ 0,00
SERVICIO INSTALACION:					\$ 0,00
SERVICIO PERFILERA:					\$ 0,00
ELAB. CAJA VENTILADOR:					\$ 0,00
SUBTOTAL:					\$ 385,50
IVA 15%:					\$ 57,83
VALOR TOTAL:					\$ 443,33

**CONDICIONES DE LA OFERTA:**  
 Validez de la oferta: 30 días  
**PRODUCTOS DE IMPORTACIÓN:**  
 de 4 a 12 semanas según el producto  
**TRABAJAMOS CON:** PlacetoPay  
 Todas las TC diferido hasta 24 meses

Envíos a nivel nacional

\* Aplican restricciones.

TUM - Jefferson Solano  
 Celular: 0889357050  
 ventast1@megafrios.com

*Nota.* La proforma detalla los costos de inversión para un equipo LG Dual Inverter de 12,000 BTU, incluyendo rubros de obra civil, materiales e instalación eléctrica. Adaptado de Proforma Nro. 10003012, por Megafrio S.A., 2026.

## Anexo 9

### Salarios mínimos sectoriales y tarifas 2025 para la Comisión Sectorial No. 8

#### "Metalmecánica"

ANEXO 1: SALARIOS MÍNIMOS SECTORIALES Y TARIFAS 2025				
COMISIÓN SECTORIAL No. 8 "METALMECÁNICA"				
RAMAS DE ACTIVIDAD ECONÓMICA:		1.- INDUSTRIAS BÁSICAS DEL HIERRO, ACERO Y METALES NO FERROSOS		
		2.- FABRICACIÓN DE MUEBLES Y ACCESORIOS METÁLICOS		
		3.- FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS METÁLICOS (ENVASES, RECIPIENTES, UTENSILLOS DE USO DOMÉSTICO, PRODUCTOS DE TORNILLERÍA, CLAVOS, TIJERAS ADICIONALES DE ALAMBRE), EXCEPTO MAQUINARIA Y EQUIPOS		
		4.- FABRICACIÓN DE PRODUCTOS METÁLICOS ESTRUCTURALES		
CARGO / ACTIVIDAD	ESTRUCTOR A OCUPACION	COMENTARIOS / DETALLES DEL CARGO O ACTIVIDAD	CÓDIGO IESS	SALARIO MÍNIMO SECTORIAL
JEFE DE PRIMER NIVEL DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	B1	INCLUYE: JEFE DE MANTENIMIENTO, JEFE DE DISTRIBUCIÓN Y LOGÍSTICA, JEFE DE CONTROL DE CALIDAD, JEFE DE RECURSOS HUMANOS, JEFE DE PRODUCCIÓN, JEFE DE BODEGA, JEFE DE PLANTA, JEFE	0810000000001	488.18
JEFE / COORDINADOR DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	B2	INCLUYE: JEFE DE SECCIÓN, JEFE DE INSTALACIÓN, JEFE DE TALLER, JEFE DE ENDEZADOR, JEFE DE MAESTRANZA, JEFE DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, JEFE DE MATRICEROS INCLUYE RODILLOS Y CAJAS DE LAMINACIÓN, JEFE DE TALLERES DE REPETIDORES, JEFE	0804289300002	488.02
ANALISTA / ESPECIALISTA / INSPECTOR / SUPERVISOR DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	B3	INCLUYE: SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN, SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO MECÁNICO, SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO, SUPERVISOR DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, SUPERVISOR DE PATIOS Y MOVIMIENTO, SUPERVISOR DE ENDEZADORA, SUPERVISOR DE BODEGA, SUPERVISOR DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA, INSPECTOR DE CONTROL DE CALIDAD, INSPECTOR DE PALANQUILLA, INSPECTOR MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PREVENTIVO.	0830000000003	487.84
TÉCNICOS DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	C1	INCLUYE: OPERADOR OXICORTE DIGITAL, OPERADOR BAROLADORA DIGITAL, ELECTROMECAÁNICO, ELECTRÓNICO, OPERADOR DE CORTE DE HILO, OPERADOR DE MÁQUINAS DE ELECTROEROSIÓN, PREPARADOR DE COLORES, OPERADOR DE SECCIÓN, TORNERO, SOLDADOR ESPECIALIZADO, ELECTRICISTA ESPECIALIZADO,	0820000000006	487.71

*Nota.* La tabla detalla la estructura ocupacional, los cargos específicos y el salario mínimo sectorial para los trabajadores del sector de la metalmecánica en Ecuador para el año 2025. Se destacan los salarios para jefes de primer nivel, coordinadores, analistas y técnicos del sector. Adaptado de Anexo 1: Salarios mínimos sectoriales y tarifas 2025, por el Ministerio del Trabajo, 2025.

## Anexo 10

*Aprobación Abstract Departamento de Idiomas.*

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**Industrial Engineering**

**AUTHOR:** ALMENDARIZ LLANOS MAURICIO ROBERTO

**TUTOR:** RON VALENZUELA PABLO ELICIO

### **THEME**

Design of an Air Conditioning System for Mitigating Thermal Stress in Areas with High Thermal Density Electronic Equipment

### **ABSTRACT**

This research addresses the analysis of thermal stress in a radio transmission cabin in Riobamba, where the use of fiberglass wool as acoustic insulation leads to critical heat accumulation from high thermal density electronic equipment, as this material also acts as a thermal insulator. The lack of air renewal and the nearly null heat exchange within the cabin create discomfort conditions such as excessive operator sweating and risks of electronic circuit failures due to ambient humidity, impacting occupational health and technical operability. To verify the presence of thermal stress, the methodology outlined in ISO 7243:2017 was applied, collecting daily hygrometric data using a BT-881W thermal stress monitor. Results confirmed thermal stress, with a WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index of 34.73 °C exceeding the permissible limit of 30 °C specified in the standard for low-activity work. In response, an engineering solution was developed: the design of an HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) system, including calculations of total thermal loads (11,604.96 BTU/h) based on standards from the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). In conclusion, a 12,000 BTU/h Split Inverter unit was selected, ensuring optimal comfort conditions as per the ASHRAE Fundamentals Handbook—22 °C temperature and 50% relative humidity—along with the NC-25 noise criterion required for radio transmission environments.

**KEYWORDS:** Heat Stress, Air Renewal, Electronic Equipment, Heat

