



Facultad de Ingeniería Industrial y Mecánica

Carrera profesional de Ingeniería Mecánica

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero
Mecánico**

**“Diseño de un sistema de climatización
para evitar la contaminación cruzada en
un laboratorio de producción de
radioisótopos”**

Bachiller:

Zapata Carmona, Fernando Eloy Eduardo

Lima – Perú

2016

DEDICATORIA

A mi madre, esposa e hijos por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Luis Castillo Martínez, por sus consejos y orientación.

A todos mis profesores universitarios por su paciencia y dedicación.

ÍNDICE

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación del problema	16
1.2.1. Problema general.....	16
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. Antecedentes del problema	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. Justificación e importancia	19
1.6. Limitaciones	19
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Los radioisótopos y sus aplicaciones	22
2.2. Sistemas de aire acondicionado	23
2.2.1. Climatización	23
2.2.1. Sistemas de aire acondicionado	24
2.3. Fundamentos de refrigeración	29
2.3.1. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	29
2.3.2. Psicrometría	30
2.4. Determinación de las cargas térmicas.....	32
2.4.1. Generalidades	33
2.4.2. Cálculo de la carga térmica en invierno	34
2.4.3. Cálculo de la carga térmica en verano	44
2.5. Dimensionamiento de ductos.....	80
2.6. Normas para el diseño de sistemas de aire acondicionado	82
2.6.1. Temperatura y humedad	83
2.6.2. Niveles de filtrado	83
2.6.3. Contención para evitar la contaminación cruzada	87

2.6.4. Cambios de aire por hora	89
CAPÍTULO III.....	90
METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN	90
3.1. Generalidades	91
3.2. Hipótesis de investigación	92
3.2.1. Hipótesis general	92
3.2.2. Hipótesis específicas	93
3.3. Variables.....	93
3.3.1. Variable independiente	93
3.3.2. Variable dependiente	93
3.4. Indicadores	94
3.5. Dimensión	94
3.6. Matriz de consistencia	95
3.7. Operacionalización de variables	96
3.8. Etapas para el diseño del sistema de climatización	97
3.8.1. Definición del sistema más apropiado	97
3.8.2. Cálculo de la carga térmica, cálculos de flujo de aire y balance	98
CAPÍTULO IV	100
ANÁLISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS	100
4.1. Metodología de cálculo	101
4.2. Cálculo de carga térmica.....	101
4.3. Cálculo de la ventilación por el número de cambios de aire recomendado.....	104
4.4. Cálculo de caudal de aire necesario para la generación de la presión positiva en el ambiente	105
4.5. Interpretación de los resultados y definición de la capacidad del equipo.....	106
4.6. Cálculo de la ventilación complementaria	109
4.7. Presentación y contenido de los planos.....	112
4.8. Selección de componentes del proyecto	113
CAPÍTULO V	115
ANÁLISIS ECONOMICO	115
5.1. Costos fijos	116
5.1.1. Costos administrativos.....	116
5.1.2. Costos de mantenimiento	116
5.1.3. Costos operativos.....	116

5.1.3.1. Costos de funcionamiento.....	116
5.1.3.2. Costos por reposición de filtros.....	117
5.2. Costos variables	117
5.2.1. Costos de montaje	117
5.2.2. Costos de instalación	117
5.2.3. Costos de equipamiento	117
5.1.3.1. Costos de equipamiento de aire acondicionado	117
5.1.3.2. Costos de equipamiento de ventilación.....	118
5.3. Costo total de proyecto	118
5.4. Utilidad del proyecto	118
CONCLUSIONES	119
SUGERENCIAS.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	121
ANEXOS.....	123
PLANOS MECÁNICOS.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Aplicaciones de los radioisótopos.	23
Figura 2.2. Ciclo ideal de refrigeración por compresión.	30
Figura 2.3. Carta Psicrométrica.	32
Figura 2.4. Flujo de calor radiante y convectivo en una superficie acristalada.	47
Figura 2.5. Carga real de refrigeración, carga instantánea de calor radiante.	48
Figura 2.6. Carga real de refrigeración, construcción ligera media y pesada.	48
Figura 2.7. Carga real de refrigeración con 16 horas de funcionamiento.	49
Figura 2.8. Distribución de temperatura en pared con radiación, flujos de calor.	59
Figura 2.9. Ganancias debidas al calentamiento de conductos de insuflación.	72
Figura 2.10. Ángulos solares.	76
Figura 2.11. Sombras producidas por los salientes.	77
Figura 2.12. Ejemplo de diferencial de presión en ambientes.	88
Figura 3.1. Centro de producción de radioisótopos Hospital Negreiros Callao Perú.	99
Figura 3.2. Planta parcial.	99
Figura 4.1. Planta de distribución de equipos.	107
Figura 4.2. Planta techo.	108
Figura 4.3. Instalaciones efectuadas en el techo del laboratorio.	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Condiciones interiores para aplicaciones industriales	36
Tabla 2.2. Resistencia térmica de materiales de construcción y de aislamiento	38
Tabla 2.3. Resistencia térmica de materiales de construcción	39
Tabla 2.4. Suplemento a la pérdida de calor	40
Tabla 2.5. Infiltraciones por las puertas y ventanas en invierno	42
Tabla 2.6. Infiltraciones por las puertas y ventanas en invierno	43
Tabla 2.7. Máximas aportaciones solares a través de un cristal sencillo.	50
Tabla 2.8. Factores totales de sombra.	52
Tabla 2.9. Factores de almacenamiento sobre carga térmica de 24 horas diarias, con elementos de sombra interiores.....	53
Tabla 2.10. Factores de almacenamiento sobre carga térmica de 24 horas diarias, con elementos de sombra externos.	54
Tabla 2.11. Factores de almacenamiento sobre carga térmica de 16 horas diarias, con elementos de sombra interiores.....	55
Tabla 2.12. Factores de almacenamiento sobre carga térmica de 16 horas diarias, con elementos de sombra externos.	56
Tabla 2.13. Factores de almacenamiento sobre carga térmica de 12 horas diarias.....	57
Tabla 2.14. Diferencia equivalente de temperatura en muros soleados.	60
Tabla 2.15. Diferencia equivalente de temperatura en techo soleado.....	61
Tabla 2.16. Factor de corrección de las diferencias equivalentes de temperatura.	62
Tabla 2.17. Orientación en el hemisferio Sur y Norte.....	63
Tabla 2.18. Ganancia debido a los ocupantes.	65
Tabla 2.19. Área estimada por personas.....	66
Tabla 2.20. Ganancia sensible debido a la iluminación.	66
Tabla 2.21. Factores de almacenamiento de la ganancia de calor debidas al alumbrado.	67
Tabla 2.22. Potencia nominal de iluminación y potencia media de las lámparas.....	68
Tabla 2.23. Potencia de motor en Kcal/hr.....	69
Tabla 2.24. Ganancia de calor debido a los motores eléctricos.	70
Tabla 2.25. Ganancias debidas al ventilador de insuflación.	74
Tabla 2.26. Altura y azimut del sol.....	79
Tabla 2.27. Concentración máxima de partículas por metro cúbico.....	85
Tabla 2.28. Concentración máxima de partículas por pie cúbico.....	86
Tabla 2.29. Tipos de filtros.....	87
Tabla 3.1. Matriz de consistencia.	96
Tabla 3.2. Operacionalización de variables.	96
Tabla 4.1. Cuadro de características de equipos de aire acondicionado.	1077
Tabla 4.2. Cuadro de equipos inyectores de aire.....	110
Tabla 4.3. Cuadro de equipos extractores de aire.	111

LISTA DE SIMBOLOS Y UNIDADES

Área del elemento	A
Área total del local incluido techo y piso	A_{total}
British termal unit por hora	BTU/hr
Calor latente	Q_l
Calor rechazado por una máquina térmica	Q_o
Calor sensible	Q_s
Coefficiente de color	b
Coefficiente de corrección	a
Coefficiente de transmisión de calor exterior	h_e
Coefficiente de transmisión de calor interior	h_i
Coefficiente de transmisión global de transmisión de calor	U
Conductividad térmica de los materiales de construcción	K
Diferencia equivalente de temperatura	Δt_e
Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la pared a la sombra	Δt_{es}
Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la pared soleada	Δt_{em}
Distancia a la zona neutra desde una ventana situada por debajo de ella	b
Distancia a la zona neutra desde una ventana situada por encima de ella	a
Espesor de los materiales de construcción	e
Flujo de calor por convección y radiación de la superficie externa del vidrio al exterior	\dot{q}_{CRE}

Flujo de calor por convección y radiación de la superficie interna del vidrio al local	\dot{q}_{CRL}
Flujo de masa del aire exterior	\dot{m}_e
Flujo instantáneo de calor	\dot{q}
Grados Celsius	$^{\circ}C$
Grados Fahrenheit	$^{\circ}F$
Humedad específica de sala	W_s
Humedad específica exterior	W_e
Kilocaloría por hora	Kcal/hr
Kilocaloría por hora-metro cuadrado	Kcal/hr-m ²
Kilocaloría por hora-metro cuadrado-grados Celsius	kcal/hr-m ² - $^{\circ}C$
Kilogramo de vapor de agua por kilogramo de aire	Kg H ₂ O/Kg
Kilogramo por hora	kg/hr
Kilowatts	kW
Máxima insolación	R_s
Máxima radiación solar	R_m
Metro	m
Metro cuadrado	m ²
Metro cuadrado-grados Celsius-hora por kilocaloría	m ² - $^{\circ}C$ -hr/kcal
Metro cúbico	m ³
Metros por segundo	m/seg
Milímetros de columna de agua	mm c.a.
Pérdida de calor	Q_t
Pie cuadrado	pie ²
Pie cúbico por minuto	CFM
Pies por minuto	pies/m
Potencia útil	P

Radiación solar	I_t
Rendimiento	η
Resistencia de las capas de aire	$\frac{1}{\lambda}$
Resistencias térmicas de materiales de construcción	R_i
Suplemento que toma en consideración la orientación	Z_h
Suplemento por interrupción de la calefacción y por paredes exteriores frías	Z_d
Temperatura del ambiente	t_s
Temperatura exterior	t_e
Tonelada de refrigeración	ton
Velocidad de viento en la región considerado	V
Velocidad equivalente del viento	V_e
Watts	W
Watts por metro cuadrado	W/m^2

RESUMEN

En la presente tesis se detalla el diseño de un sistema de climatización para un laboratorio de producción de radioisótopos, para su aplicación con fines medicinales. En su momento este laboratorio fue construido en el local del Hospital Negreiros en la provincia constitucional del Callao. El edificio cuenta con dos plantas, en la primera planta se ubican los ambientes de trabajo y en la segunda planta las oficinas administrativas. Este trabajo presenta una solución tanto para la generación del confort de las personas así como su protección a través del control de la contaminación cruzada, este trabajo muestra también cómo se complementan los cálculos y el diseño de las instalaciones para cumplir con estos dos requerimientos.

Para una mejor presentación y facilidad de comprensión del lector, el trabajo se ha dividido en cinco capítulos. En el primer capítulo se describe el problema, los objetivos, la justificación e importancia de este trabajo. En el segundo capítulo se presentan los fundamentos teóricos que soportan la solución propuesta y también las normas técnicas que por consenso internacional fijan las pautas que deben ser consideradas en el diseño de la solución. En el tercer capítulo presentamos la metodología usada para el diseño del planteamiento de la solución. En el capítulo cuatro se muestra el desarrollo de los cálculos efectuados de las cargas térmicas, de las necesidades de ventilación, de sobrepresión de los ambientes, el análisis e interpretación de los resultados, así como los planos de planta y de detalle que conforman parte del expediente técnico, que en su momento serviría de guía a la empresa contratista encargada de la implementación de esta obra. En el capítulo cinco se presenta el análisis económico del costo de la obra. Finalmente las conclusiones y sugerencias.