

Tabla de Contenido

1.	Introducción	7
1.1.	Motivación	7
1.2.	Objetivos	7
1.2.1.	Objetivos Generales	7
1.2.2.	Objetivos Específicos	8
1.3.	Alcances de la Memoria	8
2.	Estado del Arte	9
2.1.	Gestión de la Demanda en Edificios Comerciales	9
2.1.1.	Estrategias de Gestión de Demanda	9
2.1.2.	Términos y Conceptos para Estrategias RD	11
2.2.	Respuesta de Demanda en Sistemas HVAC	13
2.2.1.	Sistemas HVAC	13
2.2.2.	Estrategias de Respuesta de Demanda en Sistemas HVAC	16
2.3.	Condiciones de Confort	19
2.3.1.	Índice de Valor Medio (PMV)	20
2.4.	Modelamiento de Cargas Térmicas	22
2.4.1.	Almacenamiento de Calor	23
2.4.2.	Transferencia de Calor	23
2.5.	Circuito Térmico Equivalente	27
2.5.1.	Resistencia Térmica	27
2.5.2.	Potencial Térmico	28
2.5.3.	Capacitancia Térmica	28
3.	Antecedentes	30
3.1.	Proyecto Bicentenario Beauchef Poniente	30
3.1.1.	Características Constructivas	30
3.1.2.	Características Internas	33
3.1.3.	Sistema HVAC	35
3.1.4.	Tarifa Eléctrica	38
3.1.5.	Sistema de control automático digital (CAD)	38
4.	Propuesta Metodológica	43
4.1.	Estrategias de Control de Cargas	44
4.1.1.	Recuperación Lenta	45
4.2.	Costo Energía	46
4.3.	Escenarios Meteorológicos	47
4.4.	Cálculo de PMV	48

5.	Modelamiento de la Planta.....	51
5.1.	Resistencias y Capacitancias.....	51
5.2.	Ecuaciones de Balance Térmico.....	53
5.2.1.	Muros Exteriores.....	53
5.2.2.	Particiones de tabiquería.....	55
5.2.3.	Termopanel.....	56
5.2.4.	Cristal interior.....	57
5.2.5.	Piso.....	57
5.2.6.	Espacios.....	59
5.2.7.	Formulación en el Espacio Estado.....	61
5.3.	Control de Climatización y Ventilación.....	64
6.	Resultados y Análisis.....	67
6.1.	Resultados.....	67
6.1.1.	Resultados Caso Base.....	67
6.1.2.	Resultados Caso 1: Control de Cargas Actual.....	73
6.1.3.	Resultados Caso 2: Recuperación Lenta de Temperatura.....	77
6.2.	Discusión.....	81
6.2.1.	Desempeño del Modelo.....	82
6.2.2.	Desempeño Térmico del Edificio.....	83
6.2.3.	Estrategias de Control de Cargas.....	85
7.	Conclusiones.....	88
8.	Bibliografía.....	90
	ANEXO A. Horarios de Ocupación del edificio.....	92
	ANEXO B. Horarios de Operación de Equipos HVAC.....	93
	ANEXO C. Área de Ventanas en Muros y Particiones.....	94
	ANEXO D. Condiciones Climáticas.....	97
	Temperatura Exterior Bulbo Seco.....	97
	Nubosidad Opaca Mensual.....	98
	ANEXO E. Factores de Ángulo.....	99
	ANEXO F. Resultados Simulaciones.....	100
	Caso Base.....	100
	Temperatura Interior Bulbo Seco.....	100
	Temperatura Radiante Media.....	101
	Caso 1.....	102
	Temperatura Interior Bulbo Seco.....	102
	Temperatura Radiante Media.....	103
	Caso 2.....	104

Temperatura Interior Bulbo Seco	104
Temperatura Radiante Media	104

Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de estrategia para control de cargas [4].	10
Figura 2. Diagrama bomba de calor. Fuente: http://www.tecnologia-industrial.es .	14
Figura 3. Árbol de decisión para estrategia de RD en HVAC [4].	17
Figura 4. Diagrama conceptual de ahorro de demanda por GTA [4].	18
Figura 5. Porcentaje de personas disconformes	21
Figura 6. Mecanismos de transmisión del calor	23
Figura 7. Transferencia de calor a través de un muro plano. Distribución de la temperatura y circuito térmico equivalente [15].	28
Figura 8. Cuarto piso edificio Beauchef Poniente PBBP (modelo utilizado por el IDIEM)	30
Figura 9. Horario días hábiles	33
Figura 10. Horario de equipos HVAC e iluminación	34
Figura 11. Diagrama de propuesta metodológica	43
Figura 12. Diagrama de recuperación lenta	45
Figura 13. <i>Setpoint</i> de temperatura de calefacción temprana	45
Figura 14. Temperatura exterior promedio. Detalle en Anexos 0.	47
Figura 15. Irradiancia verano e invierno modelo Perrin de Brichambaut	48
Figura 16. Porcentaje de nubosidad opaca verano e invierno	48
Figura 17. Factor de proyección. [19]	50
Figura 18. Modelo de muro externo. Muro poniente de la oficina 23.	53
Figura 19. Modelo partición tabiquería. Partición entre oficina 23 y oficina 24.	55
Figura 20. Modelo termopanel. Ventana poniente oficina 23.	56
Figura 21. Modelo cristal interior. Separación entre oficina 25 y tránsito 34.	57
Figura 22. Modelo piso	57
Figura 23. Modelo de espacio	60
Figura 24. Diagrama de decisiones de control <i>fancoil</i> y MMA	65
Figura 25. Control de CO ₂ modelo térmico	66
Figura 26. Plano del 4º piso de PBBP ala poniente	67
Figura 27. Curva de demanda eléctrica escenario verano punta caso base	69
Figura 28. Curva de potencia de enfriamiento escenario verano caso base	69
Figura 29. Curva de demanda caso base	70
Figura 30. Potencia de calefacción escenario invierno caso base	70
Figura 31. PMV verano promedio caso base	71
Figura 32. PPD verano punta caso base	72
Figura 33. PMV invierno promedio caso base	72
Figura 34. PMV invierno punta caso base	73
Figura 35. Curva de demanda caso 1	74
Figura 36. Consignas de control caso 1	75
Figura 37. Potencia de calefacción escenario invierno caso 1	75
Figura 38. PMV escenario invierno promedio caso 1	76
Figura 39. PMV escenario invierno punta caso 1	77
Figura 40. Curva de demanda caso 2	78
Figura 41. Consignas de control caso 2	79
Figura 42. Potencia de calefacción escenario invierno caso 2	80
Figura 43. PMV escenario invierno promedio caso 2	81
Figura 44. PMV escenario invierno promedio caso 2	81
Figura 45. Temperaturas interiores bulbo seco verano promedio caso base	100
Figura 46. Temperaturas interiores bulbo seco verano punta caso base	100
Figura 47. Temperaturas interiores bulbo seco invierno promedio caso base	100

Figura 48. Temperaturas interiores bulbo seco invierno punta caso base	101
Figura 49. Temperaturas radiantes medias verano promedio caso base	101
Figura 50. Temperaturas radiantes medias verano punta caso base.....	101
Figura 51. Temperaturas radiantes medias invierno promedio caso base	102
Figura 52. Temperaturas radiantes medias invierno punta caso base	102
Figura 53. Temperaturas interiores bulbo seco invierno promedio caso 1.....	102
Figura 54. Temperaturas interiores bulbo seco invierno punta caso 1	103
Figura 55. Temperaturas radiantes medias invierno promedio caso 1	103
Figura 56. Temperaturas radiantes medias invierno punta caso 1.....	103
Figura 57. Temperaturas interiores bulbo seco invierno promedio caso 2.....	104
Figura 58. Temperaturas interiores bulbo seco invierno punta caso 2	104
Figura 59. Temperaturas radiantes medias invierno promedio caso 2	104
Figura 60. Temperaturas radiantes medias invierno punta caso 2.....	105

Índice de Tablas

Tabla 1. Eficiencia mínima de enfriamiento para prescindir de <i>economizer</i> [7].....	15
Tabla 2. Estrategias de respuesta de la demanda para HVAC	16
Tabla 3. Tasa de variación de temperatura. ASHRAE 55-2004, Sección 5.2.5.2.....	17
Tabla 4. Constantes de Perrin de Brichambaut	27
Tabla 5. Espacios a simular.....	31
Tabla 6. Construcción superficies opacas envolvente térmica.....	31
Tabla 7. Cristales envolvente térmica	32
Tabla 8. Ocupación de prototipo por espacio.....	33
Tabla 9. <i>Setpoint</i> de temperatura.....	34
Tabla 10. Iluminancia por tipo de espacio	34
Tabla 11. Datos de bombas de calor	35
Tabla 12. Bomba de calor para modelo.....	35
Tabla 13. Características de <i>chiller</i>	35
Tabla 14. Características chiller para modelo	36
Tabla 15. Especificaciones de bombas de agua	36
Tabla 16. Características fancoil y MMA	36
Tabla 17. Equipos por espacio	37
Tabla 18. Propiedades de climatización por espacio.....	37
Tabla 19. Caudales de equipos VAV	37
Tabla 20. Presión de vapor para cálculo de PMV	49
Tabla 21. Resistividades modelo térmico	51
Tabla 22. Coeficientes de convección modelo térmico.....	52
Tabla 23. Coeficientes de radiación modelo	52
Tabla 24. Correlaciones de temperatura de espacios	63
Tabla 25. Resumen resultados energía caso base.....	68
Tabla 26. Tarifa eléctrica caso base	68
Tabla 27. Confort higrotérmico promedio caso base	71
Tabla 28. Resumen resultados energía caso 1	73
Tabla 29. Tarifa eléctrica caso 1	73
Tabla 30. Confort higrotérmico promedio caso 1	76
Tabla 31. Resumen resultados energía caso 1	77
Tabla 32. Tarifa eléctrica caso 1	77
Tabla 33. Confort higrotérmico promedio caso 2	80
Tabla 34. Resumen de cargos por energía para distintos casos.....	85
Tabla 35. Ahorro en energía durante los meses de invierno	85
Tabla 36. Cargos por potencia en hora punta durante los meses de invierno	86
Tabla 37. Ahorro energético de caso 1 y caso2 respecto del caso base	86
Tabla 38. Reducción de consumo energético de caso 1 y caso 2 respecto del caso base.....	86
Tabla 39. Envolvente por espacio	94
Tabla 40. Temperatura bulbo seco promedio mensual.....	97
Tabla 41. Nubosidad opaca promedio mensual.....	98