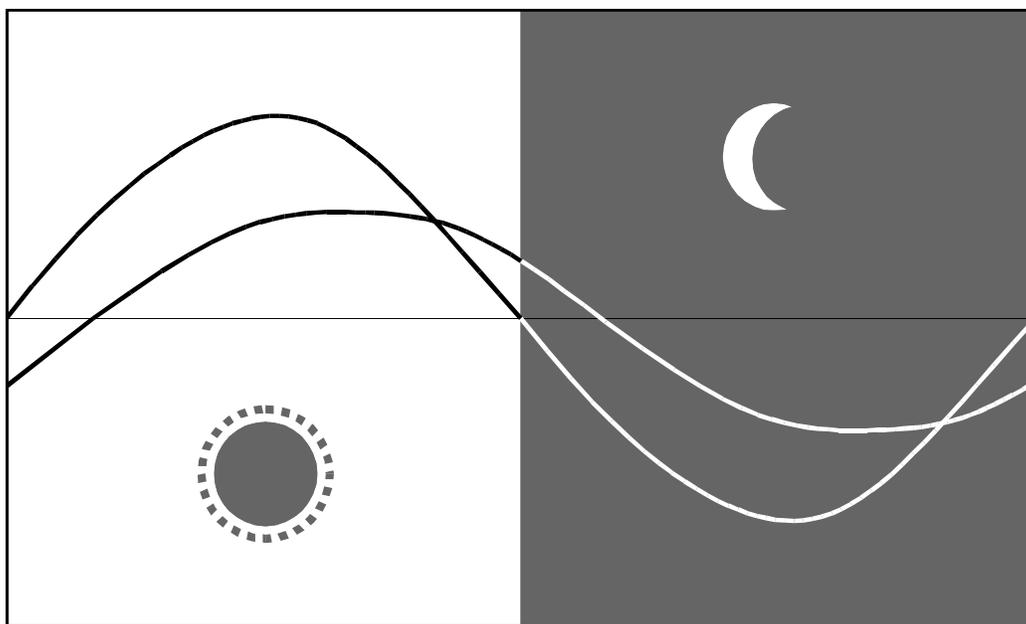


RESPUESTAS TÉRMICAS DINÁMICAS EN EDIFICIOS: Control térmico a través de la climatización natural.

IRENE MARINCIC



**RESPUESTAS TÉRMICAS DINÁMICAS
EN EDIFICIOS:
Control térmico a través de la climatización
natural.**

Tesis doctoral presentada por:
IRENE MARINCIC

Para obtener el título de:
**Doctora en Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos.**

Dirigida por:
Dr. Antoni Isalgué.

Tutor:
Dr. Rafael Serra.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona
Departament de Construccions Arquitectòniques I

Barcelona, junio de 1999.

AGRADECIMIENTOS.

Quisiera expresar mi agradecimiento a las siguientes personas, que hicieron posible, o facilitaron mi tarea, para que esta tesis pudiera realizarse:

- Al Dr. Rafael Serra y a su grupo de investigación, que facilitaron tanto los medios como el lugar para desarrollar el presente trabajo.
- Al Dr. Antoni Isalgué, por su constante apoyo, por su inagotable predisposición, y por las enseñanzas transmitidas.
- A Gianni Scudo, por la valiosa información suministrada.
- A Jaume Roset, por su apoyo humano y moral, y por su orientación,
- y a Manuel Ochoa, simplemente por TODO.

ÍNDICE GENERAL.

INTRODUCCIÓN.	INTRO.·1
1. BASES PARA EL ESTUDIO	
1.1. EL EDIFICIO Y SU FUNCIÓN DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO.	CAP.1· 3
1.1.1. El comportamiento térmico de los edificios desde el punto de vista global.	CAP.1· 3
1.1.2. La arquitectura en su enfoque medio-ambiental.	CAP.1· 5
1.1.3. Análisis de captación y transformación de energía en edificios.	CAP.1· 9
1.2. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS.	CAP.1·13
1.2.1. Algunas definiciones sobre sistemas físicos.	CAP.1·13
1.2.2. Función de transferencia de sistemas dinámicos.	CAP.1·16
Transformada de Fourier y espectros de frecuencia.	CAP.1·16
Espectro de energía.	CAP.1·18
Obtención de la función de transferencia.	CAP.1·18
Obtención de la función de transferencia experimental.	CAP.1·21
1.2.3. Modelización de edificios como sistemas dinámicos.	CAP.1·22
Red eléctrica equivalente.	CAP.1·25
Ecuaciones diferenciales.	CAP.1·27
Análisis modal.	CAP.1·28
Modelos ARMA.	CAP.1·29
Análisis de Fourier (para relacionar coeficientes y parámetros físicos).	CAP.1·30
1.2.4. Principios de control de sistemas dinámicos.	CAP.1·31
1.3. CONTROL DE SISTEMAS DINÁMICOS EN ARQUITECTURA.	CAP.1·37
1.3.1. Finalidad del control en arquitectura.	CAP.1·37
1.3.2. Tipos de sistemas a controlar.	CAP.1·37
1.3.3. Control en sistemas de climatización.	CAP.1·38
Tipo de medios de control.	CAP.1·39
Tipo de diagrama de control.	CAP.1·40
1.3.4. Control global en arquitectura.	CAP.1·42
1.4. REFERENCIAS.	CAP.1·44

2.	CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL EDIFICIO COMO SISTEMA DINÁMICO	
2.1.	MODELO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DINÁMICO DE UN EDIFICIO.	CAP.2· 3
2.2.	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA BASADA EN LA ANALOGÍA TERMO ELÉCTRICA.	CAP.2· 6
2.3.	DEDUCCIÓN DE LA FUNCIÓN CAPACIDAD CALORÍFICA EFECTIVA $C(\omega)$.	CAP.2· 9
2.3.1.	Incidencia de la capacidad calorífica en la dinámica térmica del edificio.	CAP.2· 9
2.3.2.	Evolución de la temperatura en el interior de un muro homogéneo sometido a una excitación térmica sinusoidal.	CAP.2·10
2.3.3.	Balance de flujos térmicos en la superficie de un muro.	CAP.2·16
2.3.4.	Capacidad calorífica efectiva $C(\omega)$ y rango de validez.	CAP.2·18
2.4.	OBTENCIÓN DE LA CURVA T.F. EXPERIMENTAL.	CAP.2·21
2.4.1.	Obtención de las transformadas de Fourier de las variables ambientales.	CAP.2·21
2.4.2.	Obtención de la T. F. de efectos a largo plazo.	CAP.2·23
2.4.3.	Comparación de la curva T.F. teórica con la T.F. experimental.	CAP.2·24
2.4.4.	Obtención de la T.F. experimental de efectos a corto plazo.	CAP.2·27
2.4.5.	Obtención de la T.F. de múltiples efectos ambientales exteriores.	CAP.2·28
2.5.	VALIDACIÓN DEL MODELO.	CAP.2·34
2.6.	REFERENCIAS.	CAP.2·38

3.	ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y FENOMENOLÓGICO DE RESPUESTAS TÉRMICAS EN EDIFICIOS.	
3.1.	INTRODUCCIÓN.	CAP.3- 3
3.2.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RESPUESTA TÉRMICA.	CAP.3- 5
3.2.1.	Estratificación.	CAP.3- 5
3.2.2.	Distribución en profundidad respecto al exterior.	CAP.3-10
3.3.2.	Relación entre la variación de temperatura interior y la distribución de luz natural.	CAP.3-17
3.3.	RESPUESTA TÉRMICA SEGÚN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS DEL EDIFICIO.	CAP.3-26
3.3.1.	Generalidades.	CAP.3-26
3.3.2.	Efectos del uso de persianas como protección a la radiación solar.	CAP.3-27
3.3.3.	Efectos de cambios en las propiedades de los materiales del interior del edificio.	CAP.3-34
3.4.	EFFECTOS DE LA VENTILACIÓN SOBRE LA RESPUESTA TÉRMICA.	CAP.3-37
3.4.1.	Ventilación de invierno.	CAP.3-41
3.4.2.	Ventilación de verano.	CAP.3-42
3.4.3.	Comparación de situaciones con diferente grado de ventilación.	CAP.3-45
3.5.	EFFECTOS DE LA OCUPACIÓN SOBRE LA RESPUESTA TÉRMICA.	CAP.3-48
3.6.	INFLUENCIA DE LA CALEFACCIÓN ELÉCTRICA SOBRE LA RESPUESTA TÉRMICA.	CAP.3-52
3.7.	RESPUESTA TÉRMICA EN AMBIENTES MUY AISLADOS.	CAP.3-56
3.8.	CONCLUSIONES SOBRE LAS VARIACIONES EN LA RESPUESTA TÉRMICA.	CAP.3-60
3.9.	REFERENCIAS.	CAP.3-62

4.	APLICACIÓN DEL ANÁLISIS AL DISEÑO Y CONTROL TÉRMICO.	
4.1.	INTRODUCCIÓN.	CAP.4 ·3
4.2.	COMPORTAMIENTO TÉRMICO COMPARADO DE ALGUNOS CASOS ANALIZADOS.	CAP.4· 4
4.3.	ALGUNAS INDICACIONES DE DISEÑO Y CONTROL TÉRMICO.	CAP.4-14
4.3.1.	El proceso de diseño térmico.	CAP.4-15
4.3.2.	Indicaciones para el diseño térmico.	CAP.4-18
4.3.3.	Estrategias de control térmico.	CAP.4-21
	Control térmico según diferentes bandas de frecuencia.	CAP.4-22
	Control a frecuencias bajas.	CAP.4-23
	Control a frecuencias medias.	CAP.4-24
	Control a frecuencias altas.	CAP.4-25
4.3.4.	Control térmico global.	CAP.4-29
4.4.	REFERENCIAS.	CAP.4-32
5.	CONCLUSIONES GENERALES Y DESARROLLO FUTURO.	
5.1.	CONCLUSIONES GENERALES.	CONCLU.·2
5.2.	DESARROLLO FUTURO.	CONCLU.·5
	BIBLIOGRAFÍA.	BIB.·1

ANEXO A.**INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA Y RADIACIÓN SOLAR.**

A.1. INTRODUCCIÓN Y CRITERIOS GENERALES PARA EL MONITOREO.	ANE.A- 3
A.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	ANE.A- 5
A.2.1. Sensores de temperatura.	ANE.A- 6
A.2.2. Sensores de radiación solar.	ANE.A- 8
A.2.3. Ordenador, tarjeta y software.	ANE.A-10
A.3. PUESTA A PUNTO DE LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.	ANE.A-12
A.3.1. Calibración.	ANE.A-12
Temperatura.	ANE.A-12
Radiación solar .	ANE.A-12
A.3.2. Medidas preliminares.	ANE.A-15
A.3.3. Controles periódicos.	ANE.A-16
A.4. ESTIMACIÓN DE ERRORES DE MEDICIÓN.	ANE.A-17
A.4.1. Errores debidos al ruido de la red eléctrica.	ANE.A-17
A.4.2. Errores de la tarjeta de adquisición de datos.	ANE.A-17
A.4.3. Temperatura.	ANE.A-18
Errores debidos a los sensores de temperatura.	ANE.A-18
Errores debido a la resistencia asociada.	ANE.A-19
Errores que se evidencian en los resultados.	ANE.A-20
A.4.4. Radiación solar.	ANE.A-21
Errores debido a la resistencia asociada.	ANE.A-21
Errores que se evidencian en los resultados.	ANE.A-21
A.5. ESTIMACIÓN DE ERRORES DE CÁLCULO.	ANE.A-23
A.5.1. Errores por redondeo.	ANE.A-23
A.5.2. Errores debidos al procedimiento de cálculo.	ANE.A-24
A.6. REFERENCIAS.	ANE.A-26

ANEXO B.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN CALORÍMETRO DE CONDUCCIÓN.

B.1. INTRODUCCIÓN.	ANE.B-3
B.2. CARACTERÍSTICAS DEL CALORÍMETRO.	ANE.B-3
B.3. MODELO TÉRMICO Y RESULTADOS.	ANE.B-4
B.4. CONCLUSIONES.	ANE.B-6
B.5. REFERENCIAS.	ANE.B-9

ANEXO C.

SISTEMAS TÉRMICOS Y CONSTANTES DE TIEMPO.

C.1. TRANSMISIÓN DEL CALOR. SISTEMAS CONTINUOS Y DISCRETOS.	ANE.C-3
C.2. SOLUCIÓN DE UN MODELO TÉRMICO DISCRETO BASADO EN LA ANALOGÍA RC.	ANE.C-4
C.3. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL SISTEMA.	ANE.C-7
C.4. REFERENCIAS.	ANE.C-8

ANEXO D.

ALGUNOS EJEMPLOS ADICIONALES DE RESPUESTAS TÉRMICAS EN EDIFICIOS.

D.1. EDIFICIO CON CAPTACIÓN SOLAR DIRECTA Y VENTILACIÓN AUTOMÁTICA.	ANE.D-3
D.2. EDIFICIO CON SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR Y DISTRIBUCIÓN POR CONVECCIÓN NATURAL (BARRA-COSTANTINI).	ANE.D-6
D.3. REFERENCIAS.	ANE.D-8