

o. ÍNDICES.

o.1. Índice general.

o. ÍNDICES. _____	1
o.1. Índice general. _____	1
o.2. Índice de figuras. _____	2
1. INTRODUCCION. _____	7
1.1. Antecedentes. _____	7
1.2. Conservación preventiva de las pinturas murales (frescos) mediante monitorización del microclima. _____	15
1.3. Breve reseña histórica sobre los frescos renacentistas de la Catedral de Valencia. _____	16
1.4. Remodelación de la terraza situada por encima de la bóveda. _____	17
1.5. Restauración de los frescos. _____	20
1.6. Instalación del sistema de monitorización de temperatura y HR. _____	25
2. OBJETIVOS. _____	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS. _____	29
3.1. Propósito general del sistema. _____	29
3.2. Descripción del hardware del sistema. _____	30
3.3. Descripción del software del sistema. _____	42
4. Aplicación del sistema en los frescos renacentistas de la Catedral de Valencia. _	65
4.1. Antecedentes _____	65
4.2. Resultados obtenidos en 2008 y discusión. _____	70
4.3. Resultados obtenidos en 2010 y discusión. _____	122
4.4. Datos recogidos en 2011. _____	128
5. Estudio de los datos mediante Análisis de Componentes Principales (PCA). ____	131
5.1. Generalidades. _____	131
5.2. Aspectos cuantitativos de los datos de HR obtenidos. _____	131
5.3. Justificación del método de análisis empleado. _____	135
5.4. Metodología para la realización de los PCA. _____	135
5.5. PCA de los datos de 2008 y 2010. _____	137
5.6. Estudio de las componentes principales más relevantes. _____	139
6. Utilización de los modelos obtenidos para explicar los problemas de conservación. _____	149
6.1. Sensores de las pinturas en la “zona correcta” del modelo. _____	152
6.2. Sensores de las pinturas en la “zona con problemas” del modelo. _____	157
7. Conclusiones. _____	167
7.1. Obtención de datos sobre el microclima de la obra. _____	167

7.2. Almacenamiento y gestión de los datos obtenidos. _____	168
7.3. Detección temprana de situaciones de emergencia. _____	170
7.4. Análisis estadístico de los datos y obtención de modelos. _____	170
7.5. Conclusiones finales: idoneidad de la ubicación de la obra desde el punto de vista ambiental. _____	172
08. Bibliografía y referencias _____	173
09. Notas finales. _____	189

0.2. Índice de figuras.

Figura 1.1. Perspectiva de la parte superior del ápside y la terraza sobre los frescos. _____	18
Figura 1.2.A. Estado inicial de los frescos. _____	22
Figura 1.2.B. Restauración de los frescos y de la cúpula barroca. _____	23
Figura 1.2.C. Frescos después del trabajo de restauración. _____	24
Figura 3.1.A: Dibujo esquemático de la distribución actual de la instalación _____	32
Figura 3.1.B: Esquema actual de la instalación. _____	33
Figura 3.2.A. Sensor de encharcamiento. _____	34
Figura 3.2.B. Sensor de humedad HIH4000, sensor de temperatura/conversor A/D DS2438 y regulador de tensión L7805. _____	35
Figura 3.3.A. Topografía lineal. _____	36
Figura 3.3.B. Topografía ramificada. _____	37
Figura 3.3.C. Topografía estrellada. _____	37
Figura 3.4.A: Placa Arduino con el chip ATmega168. _____	38
Figura 3.4.B: Plataforma Arduino (a la izquierda) y ampliación de hardware similar a la utilizada en el sistema de la Catedral. _____	39
Figura 3.4.C: Detalle de como se inserta la ampliación de hardware en la placa Arduino. _____	40
Figura 3.4.D: Esquema de la ampliación para la plataforma Arduino que utiliza el sistema de monitorización de la Catedral. _____	41
Figura 3.5: Pantalla principal. _____	44
Figura 3.6: Crear un nuevo tipo de sensor. _____	45
Figura 3.7: Rango de valores máximo y mínimo. _____	46
Figura 3.8: Creación de un nuevo tipo de sensor. _____	47
Figura 3.9: Pantalla sobre los tipos de sensores creados. _____	48
Figura 3.10: Listado de sensores del proyecto en blanco. _____	49
Figura 3.11: Añadiendo sensores. _____	49
Figura 3.12: Listado de sensores completado. _____	50
Figura 3.13: Preparación del fichero txt en Excel. _____	51
Figura 3.14: Apertura de un fichero CSV de datos. _____	52

Figura 3.15: Lectura del fichero CSV. Paso 1. _____	53
Figura 3.16: Lectura del fichero CSV. Paso 2. _____	53
Figura 3.17: Lectura del fichero CSV. Paso 3. _____	54
Figura 3.18: Pantalla para la generación de consultas. _____	55
Figura 3.19: Resultados de la consulta. _____	57
Figura 3.20: Gráfico de datos desglosados. _____	58
Figura 3.21: Datos desglosados. _____	58
Figura 3.22: Resultados de la consulta en columnas. _____	59
Figura 3.23: Gráfico de resultados de la consulta. _____	60
Figura 3.24: Menú contextual al pulsar sobre un registro del gráfico. _____	61
Figura 3.25: Gráfico donde se han dibujado líneas y rectángulos. Se han dejado sólo dos series ocultando el resto. _____	61
Figura 3.26: Botón de exportar a Excel desde la pantalla de resultados de la consulta en forma de tabla. _____	62
Figura 3.27: Datos exportados a Excel. _____	63
Figura 4.1: Tubo poroso con los sensores en su interior. _____	66
Figura 4.2.A: Distribución de los sensores. _____	67
Figura 4.2.B: Distribución de los sensores, con indicación de las distintas líneas. _____	68
Figura 4.3: Gráfico de T y HR externas. _____	72
Figura 4.4: Variación media diaria de HR en el exterior del templo. _____	73
Figura 4.5: Variación media diaria de Temperatura en el exterior del templo. _____	74
Figura 4.6: Gráfico comparativo de HR, exterior e interior. _____	75
Figura 4.7: Gráfico comparativo de temperatura, exterior e interior. _____	77
Figura 4.8: Variación HR horaria. Semana de invierno. _____	80
Figura 4.9: Variación T ^a horaria. Semana de invierno. _____	80
Figura 4.10: Variación HR horaria. Semana de primavera. _____	81
Figura 4.11: Variación T ^a horaria. Semana de primavera. _____	82
Figura 4.12: Variación HR horaria. Semana de verano. _____	83
Figura 4.13: Variación T ^a horaria. Semana de verano. _____	83
Figura 4.14: Variación HR horaria. Semana de otoño. _____	84
Figura 4.15: Variación T ^a horaria. Semana de otoño. _____	85
Figura 4.16: Media diaria HR. Primer trimestre 2008. _____	88
Figura 4.17: Variación diaria HR. Primer trimestre. _____	89
Figura 4.18: Media diaria T ^a . Primer trimestre 2008. _____	89
Figura 4.19: Variación diaria T ^a . Primer trimestre. _____	90
Figura 4.20: Media diaria HR. Segundo trimestre. _____	93
Figura 4.21: Variación diaria HR. Segundo trimestre. _____	93
Figura 4.22: Media diaria T ^a . Segundo trimestre. _____	94
Figura 4.23: Variación diaria T ^a . Segundo trimestre. _____	94

Figura 4.24: Media diaria HR. Tercer trimestre. _____	97
Figura 4.25: Variación diaria HR. Tercer trimestre. _____	97
Figura 4.26: Media diaria T ^a . Tercer trimestre. _____	98
Figura 4.27: Variación diaria T ^a . Tercer trimestre. _____	98
Figura 4.28: Media diaria HR. Cuarto trimestre. _____	101
Figura 4.29: Variación diaria HR. Cuarto trimestre. _____	101
Figura 4.30: Media diaria T ^a . Cuarto trimestre. _____	102
Figura 4.31: Variación diaria T ^a . Cuarto trimestre. _____	102
Figura 4.32: HR media mensual entre líneas. _____	105
Figura 4.33: T ^a medias mensuales para todos los sensores y la media por líneas. _____	108
Figura 4.34: HR media mensual. Todos los sensores. _____	109
Figura 4.35: HR media mensual. Sensores que miden el aire a la altura de la cornisa. _____	110
Figura 4.36: HR media anual. Sensores que miden la HR del aire a la altura de los nervios. _____	111
Figura 4.37: HR media mensual. Sensores del interior de las pinturas. _____	112
Figura 4.38: Diferencias de humedad entre cada sensor de la línea del interior de los frescos con la media de la línea del aire a la altura de los nervios. _____	113
Figura 4.39: HR media mensual de los sensores del interior de las paredes. _____	114
Figura 4.40: Diferencias entre cada sensor de la línea del interior de las paredes con la media de la línea del aire. _____	115
Figura 4.41: Diagrama de humedades. Enero 2008. _____	116
Figura 4.42: Diagrama de humedades. Febrero 2008. _____	116
Figura 4.43: Diagrama de humedades. Marzo 2008. _____	117
Figura 4.44: Diagrama de humedades. Abril 2008. _____	117
Figura 4.45: Diagrama de humedades. Mayo 2008. _____	118
Figura 4.46: Diagrama de humedades. Junio 2008. _____	118
Figura 4.47: Diagrama de humedades. Julio 2008. _____	119
Figura 4.48: Diagrama de humedades. Agosto 2008. _____	119
Figura 4.49: Diagrama de humedades. Septiembre 2008. _____	120
Figura 4.50: Diagrama de humedades. Octubre 2008. _____	120
Figura 4.51: Diagrama de humedades. Noviembre 2008. _____	121
Figura 4.52: Diagrama de humedades. Diciembre 2008. _____	121
Figura 4.53: HR media diaria. Año 2010. _____	123
Figura 4.54: T ^a media diaria. Año 2010. _____	124
Figura 4.55: T ^a media mensual. Año 2010. _____	124
Figura 4.56: HR media mensual. Año 2010. _____	125
Figura 4.57: HR % de los sensores de la línea de cornisa. Año 2010. _____	126
Figura 4.58: HR % de los sensores de la línea de nervios. Año 2010. _____	126

Figura 4.59: HR % de los sensores de la línea de pinturas. Año 2010.	127
Figura 4.60: HR % de los sensores de la línea de paredes. Año 2010.	127
Figura 5.1. Datos simulados de HR para aplicar PCA.	136
Figura 5.2: p[1] frente a p[2] de los años 2007, 2008 y 2010.	138
Figura 5.3: RH media frente a p[2] de los años 2007, 2008 y 2010.	140
Figura 5.4: Evolución de HR frente al tiempo para los sensores de HR 3 y 23.	144
Figura 5.5: Interpretación física de p[2] ($-DMV-0,12 \cdot RH$) frente a HR promedio para los años 2007, 2008 y 2010. El punto para 2010 del sensor 29 está fuera del gráfico, en la intersección de las dos rectas.	145
Figura 5.6: Puntos para estudiar en el gráfico de interpretación física de p[2] frente a HR promedio.	146
Figura 5.7: Gráfica HR promedio horaria (%) frente a tiempo en horas de cada uno de los puntos de la figura 5.5. Punto A = Sensor HUMO17, Punto B = Sensor HUMO22, Punto C = Sensor HUMO25 y Punto D = Sensor HUMO23.	147
Figura 6.1: Gráfico de la interpretación física de p[2] frente a la HR promedio.	149
Figura 6.2.A: Modelo con el código de colores.	151
Figura 6.2.B: Cúpula con código de colores.	151
Figura 6.3.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 5. Año 2010.	153
Figura 6.3.B. Zona del sensor 5. Foto tomada en Abril de 2011.	153
Figura 6.4.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 11. Año 2010.	154
Figura 6.4.B. Zona del sensor 11. Foto tomada en Abril de 2011.	154
Figura 6.5.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 16. Año 2010.	155
Figura 6.5.B. Zona del sensor 16. Foto tomada en Abril de 2011.	155
Figura 6.6.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 21. Año 2010.	156
Figura 6.6.B. Zona del sensor 21. Foto tomada en Abril de 2011.	156
Figura 6.7.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 8. Año 2008.	157
Figura 6.7.B. Zona del sensor 8. Fotografía tomada en Abril de 2011.	158
Figura 6.8.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 19. Año 2010.	159
Figura 6.8.B. Zona del sensor 19. Fotografía tomada en Abril de 2011.	159
Figura 6.9.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 24. Año 2010.	160
Figura 6.9.B. Zona del sensor 24. Fotografía tomada en Abril de 2011.	160

Figura 6.10.A. Gráfica HR promedio diario frente al tiempo para el sensor 26. Año 2010.	161
Figura 6.10.B. Zona del sensor 26. Fotografía tomada en Abril de 2011.	161
Figura 6.11.A: Gráfica HR promedio diario (%) frente a tiempo para el sensor 29. Año 2008.	162
Figura 6.11.B: Gráfica HR promedio diario (%) frente a tiempo para el sensor 29. Año 2010.	163
Figura 6.11.C: Fotografía del estado de los frescos en abril de 2007 en la zona del sensor 29.	164
Figura 6.11.D: Fotografía del estado de los frescos en marzo de 2011, en la zona del sensor 29.	165