INDICE

1. INTRODUCCION .............................................................................................................. 23
  1.1. OBJETIVOS .................................................................................................................. 24
  1.2. HIPOTESIS PROPUESTAS .......................................................................................... 25

2. ANTECEDENTES .............................................................................................................. 31
  2.1. EL CAMBIO AMBIENTAL Y LAS OBRAS DE ARTE ...................................................... 38
  2.2. EL OZONO ESTRATOSFÉRICO Y LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA ................. 38
  2.3. COLORIMETRÍA Y CIENCIA DE VISIÓN DE COLOR ...................................................... 42
  2.4. BASTONCILLOS Y CONOS .......................................................................................... 43
  2.5. EL OBSERVADOR STANDARD DE LA CIE ................................................................... 45
  2.6. ESPECTROSCOPIA ...................................................................................................... 47
  2.7. LA MEDIACIÓN DE LA LUZ ....................................................................................... 47
  2.8. LA RADIACIÓN SOLAR .............................................................................................. 48
  2.9. PROPIEDADES ESPECTRALES .................................................................................... 49

3. METODOLOGÍA .................................................................................................................. 51
  3.1. MÉTODOS Y DATOS .................................................................................................... 51
  3.2. INSTRUMENTOS .......................................................................................................... 57

4. DESARROLLO ...................................................................................................................... 63
  4.1. REFLECTIVIDAD RELATIVA DE LA IMPRIMACIÓN ..................................................... 63
  4.2. MEDICIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA DEL COLOR .................................................... 64
    4.2.1. REFLECTIVIDAD DE LAS CATAS AL ÓLEO ............................................................... 64
    4.2.2. REFLECTIVIDAD DE LAS CATAS AL TEMPLE ......................................................... 78
    4.2.3. ABSORBANCIA O DENSIDAD ÓPTICA DE LAS CATAS ........................................... 92
    4.2.4. AJUSTANDO LOS MODELOS .................................................................................. 103

5. DISCUSION ....................................................................................................................... 117
  5.1. CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO ....................................................................................... 117
  5.2. PREDICCIÓN DEL DAÑO ............................................................................................ 128

6. CONCLUSIONES ............................................................................................................... 131

7. APLICACIONES ................................................................................................................ 135
  7.1 ESPECTROSCOPIA DE LA COLORIMETRÍA DE MUNSELL ......................................... 136
  7.2. LOS FRESCOS DE LA CATEDRAL DE VALENCIA ......................................................... 154
  7.3. POMPEYA: LA CASA DE ARIADNA .............................................................................. 175
  7.4. ILUMINACIÓN EN EL MUSÉE DES ARTS DÉCORATIFS DE PARÍS .............................. 179
  7.5. ILUMINACIÓN DEL DEPÓSITO DE LA COLECCIÓN DIOR - GALIANO EN RICHELIEU ..... 183

8. BIBLIOGRAFÍA ................................................................................................................... 188
LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1 Espectro de la irradiancia solar el 30 de noviembre de 2007 .................. 27
Figura 1.2 Cantidad de energía por fotón ............................................................. 28
Figura 2.1 Salida de aire del túnel del viento de NASA Ames ............................. 33
Figura 2.2 El experimento con alfalfa a los 90 días ........................................ 33
Figura 2.3 Lectura instrumentos ER-2 ................................................................. 40
Figura 2.4 Diagrama de Cromaticidad de CIE 1931 ......................................... 44
Figura 2.5 La comparación de colores con el Observador Estándar de la CIE ...... 46
Figura 3.1 Experimento de las catas ................................................................. 52
Figura 3.2 Oleos realizados por el autor de esta tesis ...................................... 54
Figura 3.3 Interior espectrómetro ........................................................................ 60
Figura 3.4 Espectrómetro para las mediciones .................................................. 62
Figura 3.5 Espectrómetro realizando mediciones a través de una fibra óptica ..... 62
Figura 4.1 Reflectividad relativa de la imprimación .......................................... 64
Figura 4.2 Reflectividad relativa del Aceite de Linaza ........................................ 65
Figura 4.3 Detalle de Aceite de Linaza ............................................................... 65
Figura 4.4 Reflectividad relativa del Blanco de Titanio ..................................... 66
Figura 4.5 Detalle de Blanco de Titanio .............................................................. 66
Figura 4.6 Reflectividad relativa del Amarillo de Cadmio ............................... 67
Figura 4.7 Detalle de Amarillo de Cadmio ......................................................... 67
Figura 4.8 Reflectividad relativa del Naranja de Cadmio ................................... 68
Figura 4.9 Detalle de Naranja de Cadmio ......................................................... 68
Figura 4.10 Reflectividad relativa del Bermellón .............................................. 69
Figura 4.11 Detalle de Bermellón ....................................................................... 69
Figura 4.12 Reflectividad relativa del Ocre-amarillo WN ................................. 70
Figura 4.13 Detalle de Ocre-amarillo WN .......................................................... 70
Figura 4.14 Reflectividad relativa del Siena ....................................................... 71
Figura 4.15 Detalle de Siena Tostado ................................................................. 71
Figura 4.16 Reflectividad relativa del Azul Ultramar ........................................ 72
Figura 4.17 Detalle de Azul Ultramar ............................................................... 72
Figura 4.18 Reflectividad relativa del Azul Cobalto .......................................... 73
Figura 4.19 Detalle de Azul Cobalto .................................................................. 73
Figura 4.20 Reflectividad relativa del Azul Ultramar Temple WN .................... 74
Figura 4.21 Detalle de Azul Ultramar Temple WN .......................................... 74
Figura 4.22 Reflectividad relativa del Negro Vegetal de Sennelier .................... 75
Figura 4.23 Detalle de Negro Vegetal de Sennelier .......................................... 75
Figura 4.24 Reflectividad relativa del Negro Marfil .......................................... 76
Figura 4.25 Detalle reflectividad relativa del Negro Marfil ............................... 76
Figura 4.26 Reflectividad relativa del Carmín .................................................... 77
Figura 4.27 Detalle de Carmín ........................................................................... 77
<table>
<thead>
<tr>
<th>Figura</th>
<th>Descripción</th>
<th>Página</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>4.28</td>
<td>Reflectividad relativa del temple</td>
<td>79</td>
</tr>
<tr>
<td>4.29</td>
<td>Detalle de del aglutinante del temple</td>
<td>79</td>
</tr>
<tr>
<td>4.30</td>
<td>Reflectividad relativa del Blanco de Titanio</td>
<td>80</td>
</tr>
<tr>
<td>4.31</td>
<td>Detalle de Blanco de Titanio Temple</td>
<td>80</td>
</tr>
<tr>
<td>4.32</td>
<td>Reflectividad relativa del Amarillo Limón</td>
<td>81</td>
</tr>
<tr>
<td>4.33</td>
<td>Detalle de Amarillo Limón</td>
<td>81</td>
</tr>
<tr>
<td>4.34</td>
<td>Reflectividad relativa del Naranja</td>
<td>82</td>
</tr>
<tr>
<td>4.35</td>
<td>Detalle de Naranja Temple</td>
<td>82</td>
</tr>
<tr>
<td>4.36</td>
<td>Reflectividad relativa del Rojo Escarlata</td>
<td>83</td>
</tr>
<tr>
<td>4.37</td>
<td>Detalle de Rojo Escarlata</td>
<td>83</td>
</tr>
<tr>
<td>4.38</td>
<td>Reflectividad relativa del Ocre Amarillo</td>
<td>84</td>
</tr>
<tr>
<td>4.39</td>
<td>Detalle de Ocre Amarillo</td>
<td>84</td>
</tr>
<tr>
<td>4.40</td>
<td>Reflectividad relativa del Siena Tostado</td>
<td>85</td>
</tr>
<tr>
<td>4.41</td>
<td>Detalle de Siena Tostado</td>
<td>85</td>
</tr>
<tr>
<td>4.42</td>
<td>Reflectividad relativa del Azul Ultramar Kremer</td>
<td>86</td>
</tr>
<tr>
<td>4.43</td>
<td>Detalle de Azul Ultramar Kremer</td>
<td>86</td>
</tr>
<tr>
<td>4.44</td>
<td>Reflectividad relativa del Verde</td>
<td>87</td>
</tr>
<tr>
<td>4.45</td>
<td>Detalle de del Verde</td>
<td>87</td>
</tr>
<tr>
<td>4.46</td>
<td>Reflectividad relativa del Azul Cerúleo</td>
<td>88</td>
</tr>
<tr>
<td>4.47</td>
<td>Detalle de Azul Cerúleo</td>
<td>88</td>
</tr>
<tr>
<td>4.48</td>
<td>Reflectividad relativa del Negro Marfil 1</td>
<td>89</td>
</tr>
<tr>
<td>4.49</td>
<td>Detalle de del Negro Marfil 1</td>
<td>89</td>
</tr>
<tr>
<td>4.50</td>
<td>Reflectividad relativa del Negro Marfil 2</td>
<td>90</td>
</tr>
<tr>
<td>4.51</td>
<td>Detalle reflectividad relativa del Negro Marfil 2</td>
<td>90</td>
</tr>
<tr>
<td>4.52</td>
<td>Reflectividad relativa del Carmín</td>
<td>91</td>
</tr>
<tr>
<td>4.53</td>
<td>Detalle del Carmín</td>
<td>91</td>
</tr>
<tr>
<td>4.54</td>
<td>Agrupamiento de colores por espectro de absorción</td>
<td>93</td>
</tr>
<tr>
<td>4.55</td>
<td>Absorbancia del Grupo 1</td>
<td>95</td>
</tr>
<tr>
<td>4.56</td>
<td>Absorbancia del Grupo 2</td>
<td>96</td>
</tr>
<tr>
<td>4.57</td>
<td>Absorbancia del Grupo 3</td>
<td>97</td>
</tr>
<tr>
<td>4.58</td>
<td>Absorbancia del Grupo 4</td>
<td>98</td>
</tr>
<tr>
<td>4.59</td>
<td>Absorbancia del Grupo 5</td>
<td>99</td>
</tr>
<tr>
<td>4.60</td>
<td>Absorbancia del Grupo 6</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>4.61</td>
<td>Absorbancia del Grupo 7</td>
<td>101</td>
</tr>
<tr>
<td>4.62</td>
<td>Absorbancia del Grupo 8</td>
<td>102</td>
</tr>
<tr>
<td>4.63</td>
<td>Espectroscopia del Blanco de Titanio</td>
<td>107</td>
</tr>
<tr>
<td>4.64</td>
<td>Predicción del daño del Blanco de Titanio</td>
<td>108</td>
</tr>
<tr>
<td>4.65</td>
<td>Espectroscopia del Amarillo de Cadmio</td>
<td>109</td>
</tr>
<tr>
<td>4.66</td>
<td>Predicción del daño del Amarillo de Cadmio</td>
<td>110</td>
</tr>
<tr>
<td>4.67</td>
<td>Espectroscopia del Bermellón</td>
<td>111</td>
</tr>
<tr>
<td>4.68</td>
<td>Predicción del daño del Bermellon</td>
<td>112</td>
</tr>
<tr>
<td>4.69</td>
<td>Espectroscopia del Ocre Amarillo</td>
<td>113</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Figura 4.70 Predicción del daño del Ocre Amarillo .................................................. 114
Figura 4.71 Espectroscopía del Negro Vegetal .......................................................... 115
Figura 4.72 Predicción del daño del Negro Vegetal ......................................................... 116
Figura 5.1 Agrupamiento de los daños de las catas al óleo ......................................... 118
Figura 5.2 Daño en los colores del Grupo 1 ................................................................. 119
Figura 5.3 Daño en los colores del Grupo 2 ................................................................. 120
Figura 5.4 Daño en los colores del Grupo 3 ................................................................. 121
Figura 5.5 Daño en el Grupo 4 ....................................................................................... 122
Figura 5.6 Agrupamiento de los daños de las catas al temple .................................... 123
Figura 5.7 Daño en las catas al temple del Grupo 1 ....................................................... 124
Figura 5.8 Daño en las catas al temple del Grupo 2 ....................................................... 125
Figura 5.9 Daño de las catas en el Grupo 3 .................................................................... 126
Figura 5.10 Detalle del daño producido en las pinturas al temple del grupo 3 .... 126
Figura 5.11 Daño en las pinturas al temple del Grupo 4 ................................................. 127
Figura 5.12 Detalle del daño producido en las pinturas al temple del grupo 4 .... 127
Figura 5.13 Modelo generado con los datos originales ................................................. 129
Figura 5.14 Predicción del modelo original con los datos de la cata filtrada .... 130
Figura 5.15 Predicción del modelo original con los datos de la cata expuesta .... 130
Figura 7.1.1 Sistema tridimensional de Munsell .......................................................... 138
Figura 7.1.2 Gráfica del tono de Munsell Rojo (SR) ....................................................... 140
Figura 7.1.3 Gráfica del tono de Munsell Amarillo – Rojo (SYR) ................................. 140
Figura 7.1.4 Gráfica del tono de Munsell Amarillo (SY) .............................................. 141
Figura 7.1.5 Gráfica del tono de Munsell Verde – Amarillo (5GY) ............................... 141
Figura 7.1.6 Gráfica del tono de Munsell Verde (5G) .................................................... 142
Figura 7.1.7 Gráfica del tono de Munsell Azul – Verde (5BG) ...................................... 142
Figura 7.1.8 Gráfica del tono de Munsell Azul (5B) ....................................................... 143
Figura 7.1.9 Gráfica del tono de Munsell Purpura - Azul (5PB) .................................... 143
Figura 7.1.10 Gráfica del tono de Munsell Purpura (5P) .............................................. 144
Figura 7.1.11 Gráfica del tono de Munsell Rojo - Purpura (5RP) ................................. 144
Figura 7.1.12 Gráfica del cromo de Munsell Croma 2 ................................................. 145
Figura 7.1.13 Gráfica del cromo de Munsell Croma 4 ................................................... 145
Figura 7.1.14 Gráfica del cromo de Munsell Croma 6 ................................................... 146
Figura 7.1.15 Gráfica del cromo de Munsell Croma 8 ................................................... 146
Figura 7.1.16 Gráfica del cromo de Munsell Croma 10 ............................................... 147
Figura 7.1.17 Gráfica del cromo de Munsell Croma 12 ............................................... 148
Figura 7.1.18 Gráfica de claridad de Munsell Valor 2 ................................................... 149
Figura 7.1.19 Gráfica de claridad de Munsell Valor 3 ................................................... 150
Figura 7.1.20 Gráfica de claridad de Munsell Valor 4 ................................................... 150
Figura 7.1.21 Gráfica de claridad de Munsell Valor 5 ................................................... 151
Figura 7.1.22 Gráfica de claridad de Munsell Valor 6 ................................................... 151
Figura 7.1.23 Gráfica de claridad de Munsell Valor 7 ................................................... 152
Figura 7.1.24 Gráfica de claridad de Munsell Valor 8 ................................................... 152
Figura 7.1.25 Gráfica de claridad de Munsell Valor 9 ........................................ 153
Figura 7.2.1 Fotografía Cúpula de la Catedral de Valencia .................................. 154
Figura 7.2.2 Fotografía ángeles músicos detalle plumas ........................................ 156
Figura 7.2.3 Fotografía ángeles músicos detalle túnica ............................................ 157
Figura 7.2.4 Fotografía ángeles músicos detalle nube ............................................. 158
Figura 7.2.5 Fotografía ángeles músicos detalle ropajes ........................................ 159
Figura 7.2.6 Fotografía ángeles músicos detalle laúd ............................................... 160
Figura 7.2.7 Fotografía de la medición en el vitral de la ojiva ................................. 162
Figura 7.2.8 Reflectancia de los colores en la Paleta de San Leocadio y Pagano .... 163
Figura 7.2.9 Grupos de colores formados por su similitud espectroscópica .......... 165
Figura 7.2.10 Comparación de la reflectividad % en la región del UV .................. 166
Figura 7.2.11 Irradiancia solar en el exterior y en el interior de la Catedral ......... 167
Figura 7.2.12 Detalle de la radiación solar que pasa por el vitral de la ojiva ...... 168
Figura 7.2.13 Fotografía 1 de los LED instalados en la catedral ......................... 169
Figura 7.2.14 Fotografía 2 de los LED instalados en la catedral ......................... 170
Figura 7.2.15 Fotografía 3 de los LED instalados en la catedral ......................... 171
Figura 7.2.16 Emisiones de las lamparillas LED ................................................... 171
Figura 7.2.17 LEDs y halógenos en el Reconditorio de la Catedral ...................... 172
Figura 7.2.18 Gráfica de la atenuación de la irradiancia con diferentes filtros .... 173
Figura 7.2.19 Fotografía de la radiación solar que incide en los frescos .......... 174
Figura 7.3.1 La Casa de Ariadna en Pompeya con el filtro de policarbonato ...... 175
Figura 7.3.2 Medición de la irradiancia solar absoluta ........................................... 176
Figura 7.3.3 Irradiancia solar en el rango de 280 a 750 nm al mediodía .............. 176
Figura 7.3.4 Efectividad de los filtros comparados con la irradiancia solar ...... 177
Figura 7.3.5 Fotografía en la casa de Ariadna en Pompeya .................................. 178
Figura 7.4.1 Fotografía de luces fluorescentes ...................................................... 180
Figura 7.4.2 Espectro de la luz fluorescente ......................................................... 180
Figura 7.4.3 Fotografía de la Diagonal Libensky ................................................... 181
Figura 7.4.4 Emisión de las luces dicroicas halógenas ......................................... 181
Figura 7.5.1 Las bolsas conteniendo los modelos de ropa colgados ................. 184
Figura 7.5.2 Uno de los vestidos fuera de la funda en que se los guarda .......... 185
Figura 7.5.3 Fotografía con cámara regulada para la luz del día ....................... 186
Figura 7.5.4 Espectro de la luz fluorescente utilizada en el depósito ................. 187
LISTA DE CUADROS

Tabla 3.1 Colores expuestos en el experimento de las catas ........................................ 53
Tabla 4.1 Correspondencia entre los grupos del espectro de absorción......................... 94
Tabla 4.2 Ejemplo de modelo correspondiente al Blanco de Titanio Old Holland .... 105
Tabla 7.2.1 Los colores de los Frescos ........................................................................ 164