

Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa



**La Escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques:
Estudio y metodología de conservación – restauración de una escultura
de hormigón armado**

Volumen I

por

Pablo Andrés General Toro

Mestrado em Conservação e Restauro de Bens Culturais
Especialização em Escultura / Talha

2016

Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa



**La Escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques:
Estudio y metodología de conservación – restauración de una escultura
de hormigón armado**

por

Pablo Andrés General Toro

**Mestrado em Conservação e Restauro de Bens Culturais
Especialização em Escultura / Talha**

Orientador: Prof. Doutora Eduarda Vieira

Co-orientador: Doutor José Carlos Frade

Co-orientador: Doutor Engenheiro Manuel Vieira

PORTO

2016

A Ivis General

Gracias por tu cariño y sabiduría

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todos quienes apoyaron directa o indirectamente a la consecución de este trabajo.

A la Dra. Claudia Garradas, por confiar y promover que la conservación y restauración de “Ternura” fuese realizada en el contexto de un trabajo académico por parte de la UCP.

A mi orientadora Profesora Doctora Eduarda Vieira y a mis co orientadores, Doctor José Carlos Frade (UCP) y al Doctor Ingeniero Manuel Vieira (LNEC), por todo el apoyo e interés dedicados a este trabajo.

Mi agradecimiento especial a la Doctora Patrícia Moreira (*Escola Superior de Biotecnologia UCP- Centro Regional do Porto*), por su continuo apoyo en el análisis microbiológico de las especies que colonizaban la escultura.

A la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, propietaria de “Ternura”, por permitirme intervenir la obra. Al Doctor José Carlos de Paiva, director de la FBAUP y al Doctor Francisco Laranjo, antiguo director. Al Dr. Luís Nunes, del *Serviço de Gestão de Espaços Expositivos e Museológicos* de la facultad. Al Doctor Rui Ferro, por la información otorgada sobre las técnicas de modelado, moldeado y positivado utilizadas en la escultura “Ternura”. Al profesor de Escultura Norberto Jorge y a los técnicos del taller de Escultura Carlos Lima y Tiago Cruz, por el apoyo técnico en el montaje de la estructura de protección y sus consejos en técnicas escultóricas y manejo de herramientas. A la biblioteca y Archivo de la FBAUP, al alumno João Batista por permitirme fotografiar sus obras y al cuerpo de funcionarios del Pabellón Carlos Ramos.

Al Laboratorio del CACTI de la Universidad de Vigo y al Doctor Eugenio Solla, por la realización de los análisis de Microscopía SEM-EDS.

Al Laboratorio HERCULES de la *Universidade de Évora* y al Prof. Doutor António Candeias, por la realización de los análisis de Micro-DRX.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

A SIKA Portugal, por la donación de productos para su análisis y utilización en la intervención de conservación – restauración.

A Sonia Tortajada, conservadora – restauradora del Museo Nacional del Prado, por los consejos técnicos otorgados para la creación de la peana donde se exhibe actualmente “Ternura”.

A Fred Macdonald, de *The Charles Macdonald Concrete Museum*, por la atención de enviar información sobre la restauración de la escultura *Woman Washes her hair*.

A mis colegas de máster María João Araújo, Patrícia Monteiro, Alexandra Santos, José Luís Silva, Andrea Lier y a las alumnas Guilhermina Cadeco y Joana Lencastre por la colaboración técnica en las diferentes etapas de la restauración de “Ternura”.

A mi familia, por sus oraciones y buenos deseos a la distancia. A Alberto, por su apoyo incondicional.

RESUMEN

La obra de estudio de esta disertación corresponde a la escultura denominada “Ternura”, del escultor portugués Lagoa Henriques y pertenece a la colección del Museo de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto. Tras 58 años expuesta en el jardín de la facultad, rodeada de especies arbóreas, la obra sufrió importantes alteraciones estructurales, las cuales fueron causadas principalmente por el tiempo, la contaminación ambiental y la temperatura y la humedad. Estos factores produjeron en la escultura un nivel de degradación que podría haber llevado a su colapso y ruina.

El objetivo de la intervención de conservación y restauración de la obra fue recuperar su coherencia material para garantizar su estabilidad y conseguir la restitución formal de las zonas degradadas para obtener una correcta interpretación artística. Para ello fue necesario estudiar los materiales que integran “Ternura”, analizar sus alteraciones y la causa de ellas, para luego ejecutar adecuadamente la restauración. En el estudio de la obra colaboró un equipo interdisciplinar integrado por profesionales de Física y Química, Microbiología, Ingeniería Civil y Conservación y Restauración. Todos ellos aportaron su experiencia para lograr un resultado satisfactorio desde el punto de vista teórico, práctico y ético.

Para obtener información sobre la escultura y las alteraciones de sus materiales, se realizaron análisis de Microscopía Óptica (MO), Microscopía Electrónica de Barrido con Emisión de Campo y Detector de Rayos X (FE-SEM/EDS), Micro difracción de Rayos X (Micro DRX), así como cultivos de algas y hongos para análisis de especies microbiológicas colonizadoras y también ensayos sobre el hormigón según normas de Ingeniería Civil. Las conclusiones obtenidas condujeron a la creación de un protocolo que facilitó la resolución de situaciones que, de otro modo, podrían haber producido una intervención errónea en la obra de arte. Asimismo, de estas conclusiones y de la conservación y restauración de “Ternura”, se obtuvieron orientaciones para la intervención y preservación de esculturas de hormigón armado, las cuales pueden ser en el futuro un apoyo para el desafío de intervenir una obra de estas características materiales.

Palabras clave: Lagoa Henriques, escultura “Ternura”, hormigón armado, corrosión, carbonatación.

ABSTRACT

The case study of this dissertation is “Ternura”, an art work by Lagoa Henriques, a remarkable Portuguese sculptor of the XXth century. This artwork belongs to the Fine Arts Faculty Museum, integrated in the Faculty of Fine Arts of the University of Oporto.

The sculpture has experienced important structural alterations, during its exhibition outdoor in the faculty garden for 58 years, mainly due by ageing environmental contamination, temperature and moisture. These deterioration agents led “Ternura” to a worrisome condition putting its stability in a risk level which could have caused the collapse and total loss of the artwork.

The aim of our conservation work aimed to recover its material –consistency to guarantee its stability and carry out the restitution of the lacunae towards its proper artistic fruition. In order to achieve these goals, a study of the material alterations of “Ternura” was made to the correct framework of the conservation work. A multidisciplinary team of professionals of Physics and Chemistry, Microbiology, Civil Engineering and Conservation of Sculpture was gathered to accomplish the best outcomes from a theoretical, practical and ethic point of view.

To obtain information about “Ternura” and its alterations, some techniques were useful: Optical Microscopy (MO), Field Emission Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray (FE-SEM-EDX), Micro X-Ray Diffraction (micro XRD), algae and fungi cultures for analyses of biological samples; some essays of the concrete under Civil Engineering’s standards were also necessary. The results of all these analyses led to the establishment of a protocol suitable for the conservation of the sculpture. Furthermore these protocols and the acquired experience with Ternura’s intervention made possible the achievement of general guidelines the intervention and preservation of reinforced concrete sculptures, which we hope, can be a valuable support in the future -conservators-restorers with the treatment of this kind of artworks.

Keywords: Lagoa Henriques, sculpture “Ternura”, reinforced concrete, corrosion, carbonation.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Estructura de la disertación	3
1. HORMIGÓN ARMADO: CONTEXTUALIZACIÓN	7
1.1 Historia y técnica de elaboración del hormigón armado	7
1.1.1 Antigüedad	7
1.1.2 Invención del cemento artificial	9
1.1.3 El Cemento Portland	10
1.1.4 Composición del Cemento Portland	10
1.1.5 Composición del acero	11
1.1.6 El hormigón armado	12
1.2 Degradación del hormigón armado	12
1.2.1 Proceso de corrosión de la armadura metálica	13
1.2.2 Corrosión por ataque de cloruros	15
1.2.3 Corrosión por carbonatación	16
1.3 Utilización del hormigón armado en escultura	17
2. LA OBRA ESCULTÓRICA “TERNURA” DEL MAESTRO	19
LAGOA HENRIQUES	
2.1. Contexto histórico – artístico	19
2.1.1. El Arte de Postguerra en Europa y Portugal: Su influencia en ... Lagoa Henriques	19

2.1.2. Lagoa Henriques y “Ternura” en la ESBAP	21
2.2. Trayectoria profesional de Lagoa Henriques	23
2.3 Descripción material de la Escultura “Ternura”	25
2.4. Técnica constructiva de la Escultura “Ternura”	27
3. ANÁLISIS DE LA OBRA. ESTUDIO MATERIAL Y TÉCNICO	33
3.1 Metodología y equipamiento	33
3.1.1 Análisis organoléptico y registro fotográfico con luz visible	33
3.1.2 Análisis del hormigón	34
3.1.2.1 Determinación de la masa volumétrica del hormigón .	34
3.1.2.2 Nivel de residuo insoluble en el cemento	34
3.1.2.3 Ratio volumétrico cemento – arena	35
3.1.2.4 Niveles de concentración de cloruros en el hormigón .	35
3.1.3 Análisis sobre la capa cromática	35
3.1.4 Análisis de microorganismos	37
3.1.5 Pruebas con biocidas	41
3.2 Resultados y conclusión de exámenes y análisis	42
3.2.1 Análisis organoléptico y registro fotográfico con luz visible	42
3.2.2. Análisis del hormigón	44
3.2.2.1 Determinación de la masa volumétrica	44
3.2.2.2 Determinación de residuo insoluble en el hormigón	44
3.2.2.3 Ratio volumétrico cemento-arena	45
3.2.2.4 Concentración de cloruros en el hormigón	45
3.2.3 Análisis de la capa cromática	46
3.2.3.1 Análisis con microscopía óptica con luz reflejada (MO) .	46
3.2.3.2 Análisis con Microscopía Electrónica FE-SEM-EDS	47

3.2.3.3	Análisis por Micro DRX	50
3.2.4	Análisis de microorganismos	55
3.2.5	Pruebas con biocidas	59
4.	DIAGNÓSTICO Y ESTADO DE CONSERVACIÓN	63
4.1	Estado de conservación de la obra	65
4.1.1	Estado de conservación de la superficie	65
4.1.2	Estado de conservación estructural de la obra	66
4.1.2.1	Estado de conservación de la zona superior de la obra ...	67
4.1.2.2	Estado de conservación de la zona inferior de la obra ...	68
4.2	Causas de degradación de los materiales componentes de la escultura “Ternura”	71
4.3	Registro de intervenciones posteriores de conservación - restauración	73
5.	INTERVENCIÓN DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN	77
5.1	Propuesta de tratamiento de Conservación – Restauración	77
5.1.1	Primera propuesta de tratamiento	77
5.1.2	Propuesta definitiva	77
5.2	Intervención de conservación – restauración	78
5.2.1	Limpieza de la superficie	78
5.2.2	Tratamiento de soporte	82
5.2.2.1	Análisis de superficies dañadas	83
5.2.2.2	Primera fase de eliminación de corrosión	83

y limpieza del metal visible	
5.2.2.3 Extracción de fragmentos afectados por levantamiento.. del sustrato de hormigón.	84
5.2.2.4 Segunda Fase de eliminación de corrosión y limpieza .. del metal visible.	86
5.2.2.5 Refuerzo estructural: Instalación de varas de sustento ..	86
5.2.3 Reintegración formal	92
5.2.3.1 Reintegración de fragmentos	92
5.2.3.2 Relleno del interior de la estructura y reintegración..... formal	94
5.2.4 Aplicación de Biocida	96
5.2.5 Revestimiento cromático	97
6. PROPUESTA DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA	101
6.1 Control de humedad relativa	102
6.2 Control de agentes biológicos	109
6.3 Manipulación de la escultura	111
7. CASO DE ESTUDIO: “TERNURA” Y LOS CRITERIOS	115
DE CONSERVACIÓN – RESTAURACIÓN DEL ARTE CONTEMPORÁNEO	
7.1 El caso de la escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques	119
7.1.1 Criterios de conservación y restauración de la escultura	120
“Ternura”	
7.2 Otros casos de conservación de escultura en hormigón armado	124
7.2.1 Esculturas Nigerianas de Cemento	124
Colección Etnográfica del Museo y Jardines Horniman, Londres	

7.2.1.1 Escultura “Seated Male figure”	125
7.2.1.2 Escultura “The Lion”	126
7.2.1.3 Escultura “Woman washing her hair”	127
7.2.1.4 “Watts Towers”. The Watts Towers Arts Center, Los Ángeles Estados Unidos	129
CONCLUSIÓN	133
REFERENCIA PRIMERA	135
BIBLIOGRAFÍA	135
FUENTES ELECTRÓNICAS	141
REFERENCIAS DE IMÁGENES	146
APÉNDICE I	149
APÉNDICE II (DVD)	

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1, pág 8	Fig. 29, pág.48	Fig. 57, pág. 64	Fig. 85, pág. 85
Fig. 2, pág. 9	Fig. 30, pág. 48	Fig. 58, pág. 64	Fig. 86, pág. 85
Fig. 3, pág. 18	Fig. 31, pág. 48	Fig. 59, pág. 65	Fig. 87, pág. 85
Fig. 4, pág. 25	Fig. 32, pág. 49	Fig. 60, pág. 65	Fig. 88, pág. 85
Fig. 5, pág. 25	Fig. 33, pág. 49	Fig. 61, pág. 66	Fig. 89, pág. 86
Fig. 6, pág. 26	Fig. 34, pág. 49	Fig. 62, pág. 66	Fig. 90, pág. 86
Fig. 7, pág. 26	Fig. 35, pág. 49	Fig. 63, pág. 67	Fig. 91, pág. 88
Fig. 8, pág. 27	Fig. 36, pág. 49	Fig. 64, pág. 68	Fig. 92, pág. 88
Fig. 9, pág. 28	Fig. 37, pág. 50	Fig. 65, pág. 68	Fig. 93, pág. 90
Fig. 10, pág. 29	Fig. 38, pág. 50	Fig. 66, pág. 69	Fig. 94, pág. 90
Fig. 11, pág. 30	Fig. 39, pág. 50	Fig. 67, pág. 69	Fig. 95, pág. 90
Fig. 12, pág. 30	Fig. 40, pág. 50	Fig. 68, pág. 70	Fig. 96, pág. 91
Fig. 13, pág. 39	Fig. 41, pág. 51	Fig. 69, pág. 70	Fig. 97, pág. 91
Fig. 14, pág. 40	Fig. 42, pág. 56	Fig. 70, pág. 74	Fig. 98, pág. 92
Fig. 15, pág. 42	Fig. 43, pág. 56	Fig. 71, pág. 74	Fig. 99, pág. 92
Fig. 16, pág. 42	Fig. 44, pág. 56	Fig. 72, pág. 74	Fig. 100, p. 93
Fig. 17, pág. 42	Fig. 45, pág. 56	Fig. 73, pág. 74	Fig. 101, p. 93
Fig. 18, pág. 42	Fig. 46, pág. 56	Fig. 74, pág. 74	Fig. 102, p. 93
Fig. 19, pág. 43	Fig. 47, pág. 56	Fig. 75, pág. 75	Fig. 103, p. 93
Fig. 20, pág. 46	Fig. 48, pág. 57	Fig. 76, pág. 75	Fig. 104, p. 93
Fig. 21, pág. 46	Fig. 49, pág. 58	Fig. 77, pág. 79	Fig. 105, p. 94
Fig. 22, pág. 47	Fig. 50, pág. 60	Fig. 78, pág. 79	Fig. 106, p. 94
Fig. 23, pág. 47	Fig. 51, pág. 60	Fig. 79, pág. 79	Fig. 107, p. 94
Fig. 24, pág. 48	Fig. 52, pág. 60	Fig. 80, pág. 82	Fig. 108, p. 96
Fig. 25, pág. 48	Fig. 53, pág. 60	Fig. 81, pág. 84	Fig. 109, p. 96
Fig. 26, pág. 48	Fig. 54, pág. 60	Fig. 82, pág. 84	Fig. 110, p. 96
Fig. 27, pág. 48	Fig. 55, pág. 60	Fig. 83, pág. 84	Fig. 111, p. 97
Fig. 28, pág. 48	Fig. 56, pág. 60	Fig. 84, pág. 85	Fig. 112, p. 97

Fig. 113 , p. 98	Fig. 118 , p. 107	Fig. 123 , p. 112	Fig. 128 , p. 123
Fig. 114 , p. 98	Fig. 119 , p. 107	Fig. 124 , p. 112	Fig. 129 , p. 126
Fig. 115 , p. 99	Fig. 120 , p. 108	Fig. 125 , p. 120	Fig. 130 , p. 127
Fig. 116 , p. 105	Fig. 121 , p. 111	Fig. 126 , p. 120	Fig. 131 , p. 129
Fig. 117 , p. 107	Fig. 122 , p. 112	Fig. 127 , p. 123	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 , pág. 51	Análisis de Micro DRX en la muestra 1, puntos 1, 2 y 3. Argamasa pigmentada de restauración posterior.
Tabla 2 , pág. 52	Análisis de Micro DRX de la muestra 1, puntos 4 y 5. Argamasa pigmentada original.
Tabla 3 , pág. 52	Análisis de DRX de la muestra 1, puntos 7 y 8, cemento de reintegración posterior.
Tabla 4 , pág. 52	Análisis de DRX de la muestra 2, polvo de cemento de reintegración.
Tabla 5 , pág. 80	Test de agente limpiador sobre la superficie de la escultura.
Tabla 6 , pág. 88	Pruebas de resina epoxi para adhesión de varas de hormigón y unión de fragmentos.
Tabla 7 , pág. 95	Test de aglutinante para la reintegración formal.
Tabla 8 , pág. 105	Registro de humedad relativa (HR), temperatura (T°) y punto de rocío (PR), mayor variación de HR en menor tiempo y HR media durante la recogida de datos.

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

MO: Microscopía Óptica.

FE-SEM-EDS: Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopía Dispersiva de Rayos X.

Micro-DRX: Micro Difracción de Rayos X.

CACTI: Centro de Apoio Científico-Tecnológico á Investigación.

ESBAP: Escola Superior de Belas Artes do Porto.

FBAUP: Faculdade de Belas Artes Universidade do Porto

HERCULES: Herança cultural, estudos e salvaguarda.

ESBAL: Escola Superior de Belas Artes de Lisboa.

SNI: Secretariado Nacional de Informação.

OHM: Optimal Haematococcus Médium.

PDB: Potato Dextrose Broth.

UCP: Universidade Católica Portuguesa.

LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

HR: Humedad relativa.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado del Máster de Conservación y Restauración realizado en la *Universidade Católica Portuguesa*, en la especialidad de Escultura y Talla. Está englobado en el estudio y restauración de la escultura “Ternura” del maestro escultor António Augusto Lagoa Henriques. Los aspectos implicados han sido: el estudio técnico y artístico del artista y su obra, la investigación de los materiales que componen la escultura, la tecnología de estos, las alteraciones y sus causas. Además de esto, se incluye el registro del proceso de intervención de conservación y restauración de la escultura, finalizando con un análisis sobre la teoría de la conservación de arte contemporáneo, sus directrices y los criterios adecuados tanto para la intervención de restauración como para la conservación preventiva de “Ternura”.

La invitación por parte de la coordinadora del Máster, Profesora Doctora Eduarda Vieira, constituyó todo un desafío que fue abordado con gran entusiasmo, considerando la naturaleza inorgánica del material, el tipo de piedra artificial y el uso artístico otorgado tanto en “Ternura” como en otras obras de arte. Esto nos ha conducido a que los resultados del estudio e intervención de esta escultura, sean sólo una parte de un proceso más profundo encaminado a apoyar directrices de conservación y restauración de obras realizadas en hormigón armado.

La escultura “Ternura”, actualmente localizada en el Pabellón Carlos Ramos de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, es una de las piezas clave de la colección del museo de esta institución. Posee un gran valor artístico y documental, ya que se trata de una de las primeras creaciones dentro de la fructífera carrera del escultor, el cual es considerado como uno de los principales exponentes de la escultura portuguesa del siglo XX. El prestigioso escritor José Augusto França sitúa a Lagoa Henriques, entre los integrantes de la *Terceira Geração* de escultores modernos, que despuntaron en el ambiente artístico portugués a lo largo de tres décadas, a partir de 1940¹.

¹ El autor identificaba tres generaciones de artistas: la *Primeira Geração*, donde se encontraban, entre otros, los artistas Dordio Gomes, Diogo de Macedo y António de Acevedo. La *Segunda Geração*, con

Desde su creación en 1953, hasta el año 2012, la escultura “Ternura” estuvo situada en los jardines de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, antiguo *Palacete Braguinha*, el cual cuenta con especies arbóreas tropicales únicas en Portugal. El edificio se encuentra en el centro de la ciudad de Oporto, rodeado de zonas residenciales, comerciales e industriales con un alto flujo automovilístico a lo que hay que añadir la cercanía al Rio Duero a 400 metros de distancia aproximadamente.

La escultura “Ternura” estuvo expuesta en los Jardines de la Facultad durante 58 años. Está fabricada en hormigón armado y con una capa cromática de color rosa en su superficie. Debido a la agresión climática y a los procesos de combustión doméstica, industrial y automovilística, propios de la evolución de una gran ciudad, se liberaron partículas y compuestos gaseosos tales como CO₂, NO₂, SO₂, CH y Pb a la atmósfera. Además de ser fuente de polución, estas partículas podrían provocar la reducción del ratio de pluviometría de una ciudad como Oporto (Monteiro, 2001, págs. 73 - 75), acentuando los niveles de concentración de contaminación en el medio ambiente.

Como resultado de lo antes mencionado y unido a factores relacionados con la tecnología de fabricación de la escultura, dicha obra sufrió alteraciones de tipo físico, químico y biológico, que desembocaron en el agrietamiento y desprendimiento de una importante proporción del sustrato de hormigón que daba forma a las piernas derechas de ambas figuras y a la muñeca derecha de la figura masculina.

Estas alteraciones se produjeron por la carbonatación que afectó al hormigón que cubría y protegía el acero de refuerzo en las áreas referidas en el párrafo anterior. Todo esto provocó la pérdida del estado de pasivación, causando la corrosión y la consiguiente expansión del metal. Estas alteraciones pusieron en peligro el equilibrio físico y químico de los materiales, derivando en la pérdida de estabilidad de la escultura, ya que las regiones afectadas proveían de sustento estructural a toda la obra.

Canto da Maia, Leopoldo de Almeida, Barata Feyo y Sara Afonso, entre otros. Junto a Lagoa Henriques, J.A. França situaba también en la “Terceira Geração” a los artistas Julio Resende, Paula Rego, Arlindo Rocha, Joaquim Rodrigo, Gustavo Bastos y otros (França, A., 1985, pág. 432).

Estructura de la disertación

En el capítulo 1 se realiza un encuadramiento del hormigón armado como material de construcción, su invención y utilización a lo largo de la historia, su composición y los procesos de degradación tanto del hormigón como de la armadura metálica. Para finalizar, se ejemplifican tanto el uso del material en la creación escultórica como obras relevantes de grandes artistas que experimentaron con este material, especialmente en la primera mitad del siglo XX.

En el capítulo 2 se efectúa un encuadramiento histórico artístico tanto del Maestro Lagoa Henriques, como de su obra “Ternura” y creaciones posteriores. Las comparaciones entre su primera obra de gran formato² y las posteriores realizadas en su carrera, muestran que, aunque el artista evoluciona y madura a través del tiempo, siempre mantiene en su creación la frescura de sus inicios. Al hacerse posible, con el paso de los años, el obtener mayores referencias bibliográficas del artista, se hace patente que el objeto de inspiración más importante de Lagoa Henriques sea quizás la literatura, en especial la poesía de los grandes autores portugueses (Pereira, 2005, pág. 336). Ante nuestra necesidad de percibir el método de creación de la escultura, hemos buscado símiles entre la escultura “Ternura” y los métodos actuales de creación de esculturas de hormigón armado en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, en la profesores y alumnos son herederos de las técnicas en las que también fue formado el maestro Lagoa Henriques.

Para la conservación y restauración de “Ternura” se formó un grupo interdisciplinar especializado en diferentes áreas: ingeniería civil, física y química, microbiología y conservación – restauración. La colaboración de este grupo de personas ha sido muy importante en la discusión sobre criterios técnicos y éticos de intervención para llevar a cabo un proceso de restauración y posterior conservación adecuado a la individualidad de la obra y los materiales que la componen.

² El autor, sobre las esculturas de gran formato presentadas para la II *Exposição Magna* de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, realizada en octubre de 1953. “*As peças de esta página foram estudadas para satisfazer o tema de um Concurso de Grande Composição que deixava aos alunos a faculdade de as situar em qualquer recanto dos jardins da Escola*” (Bairrada & Cunha, 1954, pág. 34).

En el capítulo 3 se detallan los análisis realizados sobre el sustrato de hormigón (según las normas reguladas de métodos de ensayo de cementos) así como los análisis de la capa cromática [Microscopía Óptica (MO), Microscopía Electrónica de Barrido y Energía Dispersiva de Rayos X (FE-SEM-EDS) y Micro Difracción de Rayos X (Micro-DRX)] y análisis biológicos para la detección y caracterización de seres vivos colonizadores de la obra. Hay que añadir a esto, los tests de biocidas adecuados para la eliminación de la biocolonización de la superficie de la escultura.

El capítulo 4 se centra en el diagnóstico del estado de conservación de “Ternura”, teniendo en cuenta las etapas y las dos localizaciones en las que ha estado. Se tuvo en cuenta la Nota Técnica preparada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto (Costa & Paupério, 2012) como indicador bibliográfico del estado de conservación de la obra mientras estuvo en su emplazamiento original. A este registro se añadieron dos reconocimientos del estado de conservación de la escultura luego de ser trasladada al Pabellón Carlos Ramos, dentro de la misma facultad: el primero en marzo de 2013 y el segundo, en junio de 2014, al comenzar la restauración y a causa de que la obra sufrió nuevas alteraciones estructurales.

La escasez de información bibliográfica a la hora de encontrar paralelismos en intervención íntegra de conservación y restauración de esculturas de características semejantes, llevó a la necesidad de crear protocolos de estudio y análisis para reconocer las causas de alteración de “Ternura”. Con los resultados obtenidos, se llegó a conclusiones para su aplicación en el momento de intervenir la obra.

En el Capítulo 5, se detallan la intervención de conservación-restauración de la obra. Este proceso se centra en la búsqueda y uso de materiales innovadores fácilmente reversibles compatibles con los materiales originales de la pieza. Se comprobó que, ante la particularidad de los materiales que componen la escultura “Ternura”, se hacía necesaria la utilización de materiales de restauración novedosos, alejados de los usualmente utilizados en restauración tradicional, lo cual era válido y conveniente para la estabilidad de la obra.

En el capítulo 6 se aborda la conservación preventiva de “Ternura”, las cuestiones surgidas ante la exigencia de mantener la obra en un espacio hostil para su conservación y las medidas a seguir para asegurar su estabilidad y preservarla en el tiempo. También

se abordan las cuestiones planteadas para atender las necesidades de los propietarios de la obra y, al mismo tiempo, cumplir los requerimientos mínimos para su adecuada conservación. En este capítulo se incluyen, además, algunos ejemplos de obras semejantes restauradas por otras instituciones. Estas comparaciones ayudan a crear un punto de vista amplio sobre los conocimientos de conservación de obras de arte en hormigón armado y aportan datos ante la necesidad de la creación de un protocolo a este efecto.

El estudio de caso de esta disertación, reflejada en el capítulo 7, se aproxima a la teoría de la conservación y restauración de una obra de arte contemporáneo. “Ternura” es un caso de escultura de factura académica, realizada con material innovador para la época de su creación y encuadrada cronológicamente en lo que llamamos Arte Contemporáneo. Estos aspectos obligan a plantear una teoría diferente de la restauración tradicional, con la finalidad de enfrentarse al desafío de conservar una obra que se encuentra fuera de la zona de confort tradicional del restaurador, que por formación académica, generalmente se especializa en piezas de patrimonio clásico.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

1. EL HORMIGÓN ARMADO: CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 Historia y técnica de elaboración del hormigón armado

1.1.1 Antigüedad

El hormigón es un material compuesto de un aglomerante, en la actualidad generalmente representado por cemento, y un aglomerado, caracterizado por diferentes tipos de áridos. Este material ya era utilizado por los egipcios y los romanos, siendo estos últimos los creadores del *Opus Caementicium*. Hasta la actualidad se han conservado grandes obras de ingeniería realizadas durante el Imperio Romano en las que fue utilizado este material. Junto al cemento natural romano se utilizaba la Puzolana, llamado así debido a que procedía de la localidad de Pozzuoli, en la provincia de Nápoles.

Según estudios de la Universidad de Berkeley, el hormigón romano se compone de un compuesto extraordinariamente estable de calcio, aluminio y silicato hidratado (CASH); en otras palabras, cal apagada, arena y puzolana. Estas características otorgarían a la mezcla resistencia similar a la del hormigón que se utiliza actualmente, fabricado a base de cemento Portland. Además, para la puzolana se requerían sólo dos tercios de la temperatura necesaria para crear el cemento actual, por lo cual la huella de carbono de la puzolana es inferior (Yang, 2013).

La descripción del hormigón romano y sus propiedades han llegado hasta nuestros días a través de *Los diez libros de la Arquitectura (De Architectura)* de Marco Vitruvio Polión³, escrito hacia el año 27 a.C. En el Libro Segundo, capítulo 6, en que habla sobre el polvo de puzol se puede leer:

“Encontramos también una clase de polvo que encierra verdaderas maravillas, de un modo natural. Se da en la región de Bayas, en las comarcas de los municipios situados cerca del volcán Vesubio. Mezclado con cal y piedra tosca, ofrece una

³ Arquitecto y tratadista. Trabajó para los emperadores Julio César (100 a.C. – 44 a.C.) y César Augusto (63 a.C. – 14 d.C.)

gran solidez a los edificios e incluso en las construcciones que se hacen bajo el mar, pues se consolida bajo el agua. Parece que esta particularidad se debe a que, bajo las montañas, hay tierras ardientes y abundante agua caliente, que no se darían si no hubiera en las profundidades magma en grandes cantidades, que arde o bien por el azufre, o bien por el alumbre, o por el betún. Así, al permanecer el fuego en la profundidad, el calor de sus llamas va abrasando los intersticios telúricos configurando una tierra ligera y la toba, que surge aquí, no contiene nada de agua. Por tanto, como estos tres factores, originados por una causa similar como es la fuerza del fuego, coinciden en una sola mezcla, al absorber agua a la vez, se unen formando un todo compacto y endurecido, que adquiere mayor solidez por causa del agua, y ni las olas ni el ímpetu del mar pueden deshacerlos o disolverlos.

[...]Por consiguiente, a partir de elementos tan desiguales y distintos agrupados en una sola sustancia natural, al resolver el agua la ausencia cálida de humedad, se calienta en sus elementos comunes mediante un calor oculto y de forma violenta logra que se mezclen, adquiriendo una extraordinaria virtualidad de solidez.”
(Vitruvio, 1997, págs. 62 - 63).

Con la caída del Imperio Romano desapareció la información sobre la formulación del *Opus caementicium*. A pesar de esto, se mantienen hasta nuestros días importantes construcciones como el Panteón (118 - 125 d.C.), cuya cúpula es de hormigón aligerado con piedra pómez (Fig. 1), o el Coliseo (70 – 80 d.C.), en los cuales el hormigón fue utilizado como aglomerante y como ladrillo. En las construcciones monumentales, el hormigón siempre era cubierto con materiales nobles, generalmente mármol (Rodá, 2007, pág. 41).



Fig. 1 Cúpula del Panteón de Roma, realizado en hormigón.

1.1.2 Invención del cemento artificial

La invención del cemento artificial se atribuye al francés Louis Vicat (1786 – 1861). En 1812, recién egresado de la *École Polytechnique* en Ingeniería Avanzada en Puentes y Caminos, recibió el encargo de construir un puente sobre el río Dordogne, frente a la comuna de Souillac, en el Departamento de Lot en la región de Midi-Pyrénées en Francia. Para este trabajo, Vicat realizó una cuidadosa investigación, a raíz de la cual creó un cemento artificial mezclando cal y polvo de arcilla el cual se fijaría siendo sumergido en agua durante varios días⁴.

En 1818, Vicat publicó *Recherches Experimentales*, en las cuales sus investigaciones y descubrimientos fueron presentados a la Academia de Ciencias, la cual validó el nuevo cemento artificial. En 1828 publicó *Mortiers et Ciments Calcaires*, en el cual indica la fabricación y proporción del cemento creado por él⁵. El puente de Souillac, actualmente llamado Pont Louis – Vicat, finalizado en 1824, se considera el primer puente fabricado con cemento artificial, en el cual se redujeron notablemente los costes de construcción y material.



Fig. 2 Puente Louis - Vicat en Souillac, Francia.

Vicat dedicó su vida a la investigación y mejora del cemento inventado por él. Tras lo cual, y a través del descubrimiento del principio de hidraulicidad de los cementos lentos,

⁴ Recuperado de <http://www.vicat.com/en/Vicat-Group/Introducing-the-Vicat-Group/Louis-Vicat-inventor-of-artificial-cement>. [Acceso el 03-07-2015]

⁵ Recuperado de https://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5. [Acceso el 02-07-2015]

también conocidos como Portland se obtuvo el Clinker, que resulta de la cocción de una mezcla de 75 % de cal y 25 % de sílice a 1450 °C⁶.

1.1.3 El Cemento Portland

El constructor Joseph Apsdin (1788 – 1855), originario de Leeds (Yorkshire, Inglaterra) formuló y patentó el cemento al que dio el nombre de Portland, debido a su aspecto gris oscuro azulado parecido a las rocas de la Isla de Portland, en la región de Dorset. Para la formulación del Portland se basó en las primeras publicaciones de Louis Vicat y las investigaciones del ingeniero inglés John Smeaton, el cual en 1750 intentó producir un cemento hidráulico utilizando margas calizas del condado de Clamorgan, obteniendo una cal hidráulica parecida al cemento Portland de fraguado lento.

A pesar de que Apsdin en su solicitud describió vagamente el proceso de creación del cemento, recibió la patente británica N° 5022, publicada el 21 de octubre de 1824⁷. El Cemento Portland se utiliza en la mayoría de construcciones actuales.

1.1.4 Composición del Cemento Portland

El cemento Portland es un conglomerante hidráulico utilizado en la fabricación de distintos tipos de hormigones y morteros, ya que permite la adquisición de resistencia elevada a corto y medio plazo al entrar en contacto con agua (Doménech, 2012, pág. 344). Es un cemento de fraguado lento, que se caracteriza por tener una mayor resistencia que el cemento de fraguado natural o romano, lo cual facilita su aplicación, además de permitir un mayor volumen de árido (Balbás *et al.*, 2009, pág. 118).

El producto principal de cemento Portland es el Clinker Portland, el cual se obtiene de la calcinación de cal u óxido de calcio, sílice, alúmina, hierro y yeso, a temperaturas entre 1400 – 1500 °C.

El resultado de la calcinación, el clinker Portland, se compone de silicato tricálcico (C₃S o alita) de 40 a 60 %, silicato dicálcico (Ca₂Si o velita) de 20 a 30 %, aluminato tricálcico (C₃A o celita) de 7 a 14 % y ferrito aluminato tetracálcico (C₄AF o felita) de 7 a 12 %.

⁶ Recuperado de <http://www.enpc.fr/node/1580>. [Acceso el 3-07-2015]

⁷ Obtenido de http://todayinsci.com/A/Aspdin_Joseph/AspdinJoseph-Cement.htm [Acceso el 03-07-2015]

El clinker pasa por un proceso de molido, y debido que el aluminato tricálcico acelera el fraguado del cemento, se añade a éste una pequeña cantidad de yeso para controlar la velocidad del proceso.

Una vez obtenido el cemento Portland, este se mezcla con una cantidad controlada de agua. Al hidratarse, los compuestos del cemento reaccionan generando Portlandita (CH), aluminatos de calcio hidratados y un gel formado por silicatos de calcio hidratados. El endurecimiento o curado posterior es bastante rápido, pero al prolongarse en el tiempo mejora sus propiedades mecánicas del cemento (Balbás *et al.*, 2009, pág. 119).

1.1.5 Composición del acero

El acero es una aleación que se compone principalmente de hierro y carbono, además de otros elementos entre los que destacan el manganeso, tungsteno, cobalto, níquel y vanadio, los cuales aportan propiedades especiales a la aleación que conforma el acero, como por ejemplo la dureza (Carvajal, Tussel, & Díaz, 2011, pág. 256). En el caso del nivel de carbono contenido en el acero, este se encuentra entre el 0,15 % y 0,30 % para asegurar una fuerza y ductilidad adecuadas, puesto que si se sobrepasa el nivel de porcentaje superior mencionado, el acero gana fuerza y pierde ductilidad, al contrario de lo que ocurriría si la cantidad de carbono en la aleación fuese menor a 0,15 %. En el caso del manganeso, este se encuentra en el acero en una proporción de 0.50 % a 1.75 %. Tiene propiedades protectoras del acero y es necesario para la laminación en caliente del metal, en combinación con oxígeno y azufre (MIT Department of Civil and Environmental Engineering, 1999, pág. 1).

El acero es un producto de alta resistencia mecánica y alto nivel de elasticidad. Es uno de los materiales más utilizados en la construcción por su facilidad de soldadura, y su trabajabilidad, además de ser muy dúctil y forjable. Por otra parte el acero posee una alta capacidad de oxidación ante la exposición al aire y al agua, y es sensible a la corrosión ante fuentes salinas⁸.

⁸ Recuperado de <http://www.arqhys.com/construccion/acero-caracteristicas.html>. [Acceso el 5-07-2015]

1.1.6 El hormigón armado

El hormigón es una piedra artificial y está compuesto de cemento Portland al que se añade un árido. Los dos son hidratados con agua para proceder al fraguado.

La estructura del hormigón armado contiene, incrustada en su interior, una armadura metálica, la cual contribuye a reforzar el sustrato de hormigón para subsanar la escasa resistencia del hormigón a la tracción, así como a su flexión⁹. Al contrario del hormigón simple (sin metal de refuerzo), el hormigón armado resiste a esfuerzos compuestos (en compresión y tracción), como viento o vibraciones, ya que la resistencia a la compresión del hormigón y la resistencia a la tracción del acero forman un enlace fuerte para resistir a estas tensiones¹⁰.

El primer diseño de hormigón armado fue realizado por el francés Jean-Louis Lambot (1814 – 1887). Esta estructura fue, paradójicamente, una barca de almacén de hierro y alambres embebidos en hormigón. Lambot patentó su invento con la designación de *fercement*, siendo considerado el antecesor del hormigón armado¹¹.

Posteriormente Joseph Monier (1823 – 1906), a quien se considera el inventor del hormigón armado, realizó experimentos semejantes a los de Lambot, creando macetas y productos de horticultura con metales insertos dentro del hormigón. Monier exhibió sus inventos en la Exposición de París y obtuvo su primera patente en julio de 1867. Posteriormente investigó el uso de hormigón armado en distintos objetos, desde tuberías hasta puentes y edificios, patentando todos sus descubrimientos¹².

1.2 Degradación del hormigón armado

El deterioro del hormigón armado responde a la pérdida de las propiedades de los materiales que lo componen, reduciendo su durabilidad y afectando a su expectativa de

⁹ Recuperado de http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Armado. [Acceso el 03-07-2015]

¹⁰ Recuperado de http://www.world-housing.net/major-construction-types/reinforced-concrete-introduction_. [Acceso el 04-07-2015]

¹¹ Recuperado de <http://victoryepes.blogs.upv.es>. [Acceso el 04-07-2015]

¹² Recuperado de <http://www.architetto-contemporaneo.it/en/dossier/the-contemporary-architect-the-gardener-who-invented-reinforced-concrete-joseph-monier>. [Acceso el 04-07-2015]

vida útil. Esto puede producirse por diferentes procesos físicos y químicos, los cuales provocarán una respuesta débil del material ante ataques futuros que irán afectando cada vez más al material, provocando finalmente el desmoronamiento de la estructura. En este trabajo sólo serán descritos los procesos de degradación asociados a la corrosión de las armaduras.

1.2.1 Proceso de corrosión de la armadura metálica

Para describir el proceso de corrosión de la armadura metálica, es importante reconocer primeramente por qué el acero se mantiene en estado pasivo (sin corrosión) mientras está contenido dentro del hormigón que lo recubre.

Se conoce que el acero conservado en un ambiente alcalino se encuentra protegido de la corrosión, y es el hormigón el que proporciona este medio de alcalinidad.

Los poros del hormigón contienen altas concentraciones de calcio soluble (Ca), óxido de sodio (Na_2O) y óxido de potasio (K_2O). Estos elementos, en conjunto, forman hidróxidos, los cuales tienen un alto nivel de alcalinidad cuando hay agua presente (Broomfield, 2007, pág. 6). Esta alcalinidad de los hidróxidos eleva el pH del hormigón a 12 – 13 el cual es considerado ideal para la conservación del metal.

La alta alcalinidad del hormigón permite que se forme en el acero una capa pasiva de óxido, estabilizada por la cal contenida en los poros del hormigón (Taylor, 1990, pág. 383). Esta capa es muy densa y cuenta con una alta adhesión y estabilidad, además de un muy bajo nivel de oxidación (Broomfield, 2007, pág. 6). El mismo autor anteriormente citado, establece que el film pasivo formado en el metal de refuerzo del hormigón es, probablemente, óxido/hidróxido proveniente del metal y pasta mineral proveniente del cemento. Sobre esta última, Taylor menciona que en análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) realizado a especímenes de muestra, se encontraron depósitos sustanciales de portlandita¹³, hidróxido de calcio (CH), en la interfaz entre la pasta de cemento Portland y el acero de la armadura (Taylor, 1990, pág. 382).

¹³ Producto común de la hidratación del cemento Portland. También se puede encontrar como mineral natural en Irlanda (CaOH_2), el cual fue llamado Portlandita por su relación con el producto de la hidrólisis del cemento Portland. De manera natural se produce por la alteración de los silicatos de calcio por contacto metamórfico, como es el caso de la Portlandita de Irlanda del Norte. También es posible encontrarlo en tobas volcánicas, como precipitado de materiales alcalinos derivados de rocas ultramáficas y depósitos

En el caso de que el hormigón reduzca su alto nivel de alcalinidad (y por lo tanto su pH), se desestabilizará el film pasivo que protege el acero de la armadura, con lo cual se desencadenará un proceso de aceleración de la corrosión del acero. Esta desestabilización de la capa pasiva del acero, puede provocar que la velocidad de corrosión pase rápidamente de menos de $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ a valores superiores a $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (Araújo F. , 2009, pág. 9).

La corrosión del acero se produce por un proceso electroquímico en el cual algunas áreas del metal tienen carga positiva y otras tienen carga negativa, creándose células eléctricas. Para que se active el proceso de corrosión es necesaria la presencia de oxígeno y agua. Este proceso electroquímico tiene dos reacciones principales: reacción anódica y reacción catódica, las cuales se producirán sin necesidad de una carga eléctrica externa.

En la reacción anódica el ánodo se reduce produciendo electrones que viajan hasta el cátodo provocando una reacción de oxidación del hierro (1.2.1.a), mientras que en la reacción catódica el cátodo consume los electrones producidos por el ánodo, con lo cual se produce la reducción del oxígeno y la formación de grupos hidroxilos en el cátodo (1.2.1.b).

Por su parte el ánodo recibirá iones hidroxilos (OH^-) del cátodo. Estos hidroxilos reaccionan químicamente con los iones de hierro presentes en el ánodo, dando lugar a la corrosión (1.2.1.c)



Si el acero de refuerzo está recubierto con hormigón alcalino con un nivel de pH menor a 11, el avance de la corrosión se producirá a mayor velocidad, lo cual provocará la formación de productos con un volumen superior al del acero inicial. Según Araújo (2009) estos productos pueden incrementar entre 2 y 6 veces el volumen del metal

sedimentarios expuestos a altas temperaturas. Mineralogical Society of America. Recuperado de <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/portlandite.pdf>. [Acceso el 09-01-16]

original, mientras que Broomfield (2007) afirma que este aumento es entre 6 y 10 veces. Esta expansión del metal puede provocar tensiones internas graves, estando estas por sobre 15 MPa (Helene (1993), citado por Araújo, 2009, p. 9), que provocarán el agrietamiento y posterior desprendimiento del recubrimiento de hormigón.

La exposición del acero en oxidación a causa de la pérdida de sustrato de hormigón, permite la entrada de mayores niveles de oxígeno y agua, agentes de corrosión mencionados anteriormente, con lo cual el proceso de depasivación del metal se extiende y acelera.

En la degradación de la armadura del hormigón, las dos causas principales que se contemplan son corrosión por ataque de cloruros y corrosión por carbonatación.

1.2.2 Corrosión por ataque de cloruros

La corrosión por ataque de cloruros implica la presencia de una sal que promueve ese mismo ataque. El origen de estas sales es generalmente el agua de mar, sales dispersas en el aire en forma de spray, sales utilizadas para deshielo en zonas propensas a nevadas o sales contenidas en ciertos tipos de agregados.

La penetración de cloruros se produce principalmente cuando estos agentes se encuentran diluidos en agua y en zonas altamente permeables, o bien por microfisuras presentes en la superficie del hormigón. El transporte de estas sales sucede por capilaridad, a no ser que la pasta de hormigón se encuentre totalmente saturada, con lo cual no permitiría el paso de estos agentes (Taylor, 1990, pág. 386). Estas sales, al contacto con el acero en estado pasivo, provocan desestabilizaciones puntuales en esta película.

Según Broomfield (2007, pág. 38), la corrosión por iones cloruro se presenta de manera puntual sobre el metal con forma de picaduras (pitting), además de no producir en su ataque un descenso de los niveles de pH en el hormigón.

El mismo autor apunta que los cloruros actúan como catalizadores de la corrosión, puesto que aunque no se consumen en el proceso de ataque (ya que se reciclan), cooperan en la destrucción de la película de pasivación del acero, acelerando el proceso de corrosión del mismo.

1.2.3 Corrosión por carbonatación

La corrosión por carbonatación es el resultado de la interacción del dióxido de carbono presente en la atmósfera con los silicatos alcalinos, además de con los hidróxidos alcalinos de la composición del hormigón: hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) (Schröder & Smolczyk (1969) citado por Figueiredo, 2013, p, 8.). Esta situación se presenta de la siguiente manera en la principal reacción, que es la carbonatación del hidróxido de calcio:



El dióxido de carbono se diluye en el agua contenida en los poros del hormigón formando ácido carbónico el cual se mezcla con el hidróxido de carbono disuelto en el agua (1.2.3.a), que mantiene el nivel alcalino del hormigón en pH 12-13. La reacción entre los dos citados provoca la precipitación de carbonato cálcico (1.2.3.b) que ocupará el interior de los poros y neutralizará los álcalis presentes en el agua de los poros del hormigón (Broomfield, 2007, pág. 17).

La carbonatación de los poros del hormigón puede reducir la alcalinidad del material hasta el nivel de pH 8, lo cual no implica problema alguno si el hormigón es macizo o no tiene armadura interior. En obras y esculturas que no tengan una capa de hormigón de una densidad suficiente para impedir que la reducción de alcalinidad afecte al acero de refuerzo, la reducción del pH resulta inadecuada para la conservación de la capa pasiva de la superficie metálica. Por lo tanto en esta situación la capa pasiva comenzará a ser destruida en las zonas en que comience a acelerar los niveles de corrosión.

La formación de óxido en un metal que se encuentre en el interior de una estructura de hormigón, obedece a ciertos factores, como por ejemplo el grosor insuficiente del recubrimiento de hormigón, la presencia de grietas que permitan la entrada de dióxido de carbono o una baja reserva alcalina dentro de los poros.

La carbonatación se produce desde el exterior hacia el interior de la estructura. Como se mencionó anteriormente, la velocidad de difusión de la carbonatación depende del acceso del dióxido de carbono a los poros del hormigón, así como del oxígeno al metal de

sustento. El acceso y posterior corrosión del acero dependerá a su vez de la interconexión de los poros, del nivel de humedad relativa en el poro y de la resistividad del hormigón (Figueiredo & Meira, 2013, pág. 20).

El proceso de carbonatación del hormigón es inevitable en la vida del material. Debido a esto, es necesario un continuo monitoreo de la estructura de hormigón armado, ya que este fenómeno acarrea un nivel de degradación en los materiales que puede llevar al colapso y la ruina de una obra realizada en este material.

1.3 Utilización del hormigón armado en escultura

Aunque el hormigón armado ya era conocido y utilizado en obras escultóricas desde la década de 1920 ya que era bien considerado por su potencial y características semejantes a la piedra en cuanto al tallado y por superar a otros materiales en la trabajabilidad¹⁴ y el moldeado (Ward, 2008, pág. 122) (por ejemplo el *Cristo Redentor* de Río de Janeiro (1931)¹⁵ o la *Cabeza de Mujer* presentada por Pablo Picasso en la Exposición Internacional de París de 1937), no era un material apreciado por los escultores, que se decantaban más por la piedra y el bronce. El hormigón se mantuvo como un material de utilización poco frecuente en escultura hasta después de la Segunda Guerra Mundial (pág. 122).

Otro de los artistas que utilizó hormigón para sus creaciones fue Henry Moore, entre los años 1926 y 1934, en una etapa en la que se interesó por la investigación de nuevos materiales y la mezcla de estos con otros clásicos como piedra o madera. Henry Moore consideró el hormigón como un material adecuado para los encargos que recibía de esculturas adosadas a nuevos edificios. Posiblemente, otra de las razones para utilizar el

¹⁴ Santiago Reyes afirma: “El concepto de trabajabilidad del hormigón no responde a una definición precisa. Este engloba varias propiedades interdependientes como la consistencia, la cohesión (adherencia interna), la tendencia a la homogeneidad, la plasticidad y la tixotropía”. Recuperado de <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/313-constituyentes-hormigon?start=6>. [Acceso 04-12-2015]

¹⁵ La escultura de 38 metros de altura, fue construida como un verdadero proyecto de ingeniería y arquitectura a gran escala.

hormigón, además de los mencionados en el párrafo anterior, fuese el bajo coste de este y la facilidad a la hora de adquirirlo (Collins, 2015).

Las esculturas en relieve adosados a los nuevos edificios, como los realizados por Moore, fueron los precursores de la escultura moderna en hormigón, especialmente en las obras expuestas en espacios públicos.

El hormigón armado se usa principalmente en obras escultóricas de gran formato, que se pueden encontrar la mayoría de las ciudades del mundo. Dada la versatilidad del material, con la debida orientación de artistas especializados, arquitectos e ingenieros, se pueden encontrar obras de grandes autores expuestas en espacios públicos. Ejemplo relevante son las obras que realizaron en colaboración Pablo Picasso y el artista noruego Carl Nesjar, entre las que destaca *Bust of Sylvette* de 1967, ubicada en Nueva York y realizada con 60 toneladas de hormigón armado. Otro ejemplo son las esculturas de Eduardo Chillida, que utilizó el hormigón armado en muchas de sus obras, como en el *Monumento a la Tolerancia* de 1992 en Sevilla (Andalucía, España), o el *Elogio del Horizonte*, de 1990 en Gijón (Asturias, España), realizado con la técnica de encofrado.

Actualmente el hormigón es apreciado, además de las características expresadas anteriormente, por la posibilidad de escoger su textura, el color del árido, y la técnica de trabajo. El escultor puede mantener la textura superficial lisa del hormigón o eliminarla antes del secado para dar un aspecto pétreo. Al árido que ejerce de aglomerado se le añadido metal, cristales, pintado con poliuretano y agregando pigmentos como el caso de “Ternura” (Molina, 1996, pág. 36). Estas características proporcionan al escultor la libertad técnica y creativa para poder llevar a cabo proyectos sin importar el tamaño ni la localización de la obra escultórica, particularidad que hacen del hormigón un material ideal en el plano artístico.



Fig. 3 Escultura de Michael Heizer, realizada en hormigón modificado y acero. Colección Patrizio Bertelli y Miuccia Prada

2. LA OBRA ESCULTÓRICA “TERNURA” DEL MAESTRO LAGOA HENRIQUES

2.1. Contexto histórico – artístico

2.1.1. El Arte de Postguerra en Europa y Portugal: Su influencia en Lagoa Henriques

Desde finales de la década de 1940 y hasta mediados de la de 1950, surgió en la Europa de Postguerra y Estados Unidos lo que se podría calificar como una fuerte corriente de movimiento migratorio artístico. Esto abarcaba tanto a personajes notables de las Artes Plásticas retornados a Francia como a emigrados a Estados Unidos, así como a jóvenes principiantes provenientes de todo el mundo en busca de la inspiración, aprendizaje, contactos y éxito en el medio artístico.

El arte de postguerra se alimentó inicialmente de la fuente del Impresionismo y evolucionó hacia el arte de vanguardia de entreguerras, etapa que finalizó al estallar la II Guerra Mundial (Azcárate, Pérez, & Ramírez, 1981, pág. 838). Los creadores abarcaban todas las especialidades artísticas en las que rompe definitivamente con el modelo academicista imperante y en muchos casos impuesto, abriendo el criterio y los gustos a nuevas formas de experimentación de la belleza en el arte y alterando sus valores, pasando a dar mayor importancia a la innovación, la abstracción y a lo efímero y a menudo mercantilista.

La fuente de inspiración de los nuevos creadores de postguerra, en el campo de la escultura son los consagrados escultores Aristide Maillol, Marino Marini, Antoine Bourdelle, Henry Moore, Alberto Giacometti y Constantin Brancusi, entre otros, los cuales, al igual que Lagoa Henriques, se declaraban grandes admiradores y seguidores de Auguste Rodin (Araújo B. , 2012, pág. 201).

En Portugal el ambiente artístico difiere totalmente de lo europeo. Se mantuvo un estilo escultórico monumental, alimentado por el régimen de la época, el Estado Novo, gobierno del Primer Ministro António Salazar, representado por el *Secretariado Nacional de*

Informação (SNI)¹⁶ que dirigía António Ferro. Dicho gobierno era el principal demandante de obras, con lo cual se erigía como el sostenedor del mercado del arte en el país. La naturaleza de las obras escultóricas que se creaban en Portugal en esta época se centraba en un programa de estatuaria pública, que representaba personajes de relevancia, gestas históricas y alegorías como la Justicia. Estas esculturas y monumentos se caracterizan por un estilo artístico conservador (Matos, 2003, pág. 275), más cercano al Romanticismo europeo (primera mitad del siglo XIX) que a las vanguardias del siglo XX. El Modernismo portugués de finales de la primera mitad del siglo XX se basa en una producción escultórica con dos funciones: conmemorativa y decorativa. Esta tendencia llevó a que algunos jóvenes escultores, que destacaban en los inicios de la segunda mitad del siglo XX, siguieran los caminos abiertos por sus predecesores. Según José Augusto França (1985, pág. 432), Lagoa Henriques continuó con este legado en sus inicios como docente, en su participación en las *Exposições Gerais*¹⁷, en la obtención de premios del SNI, además de con la creación de la escultura conmemorativa de Ferreira Borges en el Palacio de Justicia de Oporto. Incluso en esta situación relativamente restrictiva que tuvo que asumir el arte portugués para conseguir la protección del Estado, hay que tener en cuenta la acción del director del SNI, António Ferro, a la hora de permitir el acceso al arte moderno a un país en el que la sociedad, como sus gobernantes, aún conservaba un gusto “provinciano decimonónico” (França J.A., 1985, pág. 99).

A pesar de seguir el camino de la estatuaria por las razones ya justificadas, se aprecia en la impronta de Lagoa Henriques la influencia inspiradora de los grandes artistas europeos y portugueses que destacaron en las vanguardias de la escultura. En una entrevista realizada en 2004, el artista considera como referentes importantes de su carrera, a Auguste Rodin, Antoine Bourdelle y Aristide Maillol, a sus profesores Barata Feyo y Dordio Gomes, Henry Moore y su maestro Marino Marini (Araújo B., 2012, pág. 142).

¹⁶ El SNI (Secretariado Nacional de Informação) se encargaba de la dirección y difusión de la propaganda nacional, coordinando la información de todos los Ministerios del *Estado Novo* portugués.

¹⁷ Las *Exposições Gerais* fueron organizadas entre 1946 y 1956 en la *Sociedade Nacional de Belas Artes*. Era organizada por la rama de artistas plásticos de la Comisión de periodistas, escritores y artistas del *Movimento de Unidade Democrática* (MUD)

2.1.2. Lagoa Henriques y “Ternura” en la ESBAP

La escultura “Ternura” se encuadra dentro de un estilo artístico modernista, siguiendo la línea estilística y formativa de la *Escola Superior de Belas Artes do Porto* (ESBAP) en la década de 1950, promovida por el docente de escultura Salvador Barata Feyo y el Director de la ESBAP Carlos Ramos¹⁸. Desde su originaria Lisboa, Lagoa Henriques se trasladó en 1948¹⁹ a la ESBAP, motivado por la fama de apertura a las nuevas técnicas y corrientes artísticas de la escuela y por su especial admiración por el escultor Barata Feyo. Este último formaba parte del cuerpo docente de la ESBAP (Matos, 2003, pág. 297) y Lagoa Henriques le conocía por su obra escultórica y de las exposiciones del SNI. El paso de la *Escola Superior de Belas Artes de Lisboa* (ESBAL) a la ESBAP supuso un cambio importante desde una formación academicista a una educación más vanguardista.

Según Gonçalo Moniz (2011, pág. 215), el paso de la ESBAP de una metodología de enseñanza de las Bellas Artes tradicional a un sistema más cercano a las vanguardias de la época comienza en 1939 con la llegada del director Aarão de Lacerda y alcanza su culmen en 1968, siendo director de la Escuela el arquitecto Carlos Ramos. En estos años se crean nuevas asignaturas y se realizan concursos para la integración de nuevos profesores al plantel, lo cual consolida en la institución un cuerpo docente de calidad. Después de años de gestiones, se concretan nuevos espacios arquitectónicos para la enseñanza de las diferentes especialidades que se concentraban en la Escuela, siendo edificadas entre 1950 y 1954 los pabellones de Dibujo, Pintura y Escultura, Arquitectura y el Pabellón de Exposiciones (Moniz, 2011, pág. 297).

Esta evolución de la ESBAP llevó a una apertura ante la sociedad y daba a sus alumnos la oportunidad de desarrollarse en los aspectos críticos del arte y las técnicas artísticas. Se potenciaron actividades extracurriculares como publicaciones, conferencias y exposiciones. Entre estas destacaron las *Exposições Magnas* realizadas entre 1952 y 1968. Lagoa Henriques participó en la segunda edición, realizada en 1953, presentando

¹⁸. Según Lúcia Almeida Matos (2003, págs. 274, 276, 277), Salvador Barata Feyo sucedió como docente de Escultura a Pinto do Couto en el año 1948, mientras que el mismo año el arquitecto Carlos Ramos ocupaba a plaza de profesor efectivo. En el año 1952, Carlos Ramos es nombrado Director de la ESBAP.

¹⁹ En el archivo *Processo do aluno*, documento 7, oficio N° 129 L° 16 del 12 de Octubre de 1948.

Indica que se le comunica al director de la ESBAP, la autorización de transferencia de Lagoa Henriques de la Escuela de Lisboa a la Escuela de Porto. Firmado el 16 de octubre de 1948.

ocho obras²⁰ entre ellas “Ternura”, la cual se presentó en el apartado de *Grande Composição* (Bairrada & Cunha, 1954, pág. 34).

Según Moniz (2011), como contrapunto a la ESBAP, la ESBAL se mantenía orientada al Academicismo, a pesar de que los alumnos solicitaban un cambio en la metodología docente. A finales de la década de 1940, el cuerpo docente de la ESBAL se ve reducido, tanto por la salida o fallecimiento de algunos profesores como por la imposibilidad de abrir concursos para integrar nuevos docentes, cosa que no ocurrió hasta 1957. Durante la dirección de Paulino Montez (1946 – 1957), la ESBAL no reorientó su sistema pedagógico, manteniéndose dentro de las directrices de la legislación del Ministerio de Educación. Esto provocó que mientras la ESBAP se transformaba en una institución innovadora, la ESBAL se mantuviera como una escuela conservadora respecto a las vanguardias del arte y a la evolución crítica y filosófica que estas proponían. La gran diferencia entre el sistema pedagógico de la ESBAL y la ESBAP motivó el traslado de algunos alumnos a esta última, entre ellos Lagoa Henriques.

Como alumno de la ESBAP, Lagoa Henriques participó en la *II Bienal del Museo de Arte Moderna de São Paulo*, realizada entre diciembre de 1953 y febrero de 1954 formando parte de la delegación portuguesa, presentando la escultura “Cabeça”, del año 1952 (Museu de Arte Moderna de São Paulo, 1953, pág. 286). Dentro de la delegación se presentaban autores como Sara Afonso, Dordio Gomes, Julio Pomar, Salvador Barata Feyo, Francisco Franco y Canto da Maia, entre otros. Para demostrar la relevancia de esta Bienal desde sus inicios, es importante recalcar la presencia de obras del artista Pablo Picasso, entre las que destacaba “Guernica” de 1937 (pág. 179), pieza que produjo grandes expectativas en la exposición. Además se presentaron obras de Moore, Calder, Klee, Holder y del movimiento “Der Stijl” (pág. XVI). En esta II Bienal de São Paulo, Lagoa Henriques recibió el Premio del *Real Gabinete de Leitura*, dotado con la cantidad de 30000 cruzeiros²¹.

²⁰ Estas obras fueron: *Estudo de Panejamento*, Academia, *Grande Composição* (“Ternura”) Retrato, Beethoven y tres máscaras sin título.

²¹ Este era uno de los premios especiales entregados por la *Câmara Portuguesa de Comércio de São Paulo* a la Delegación de Portugal. Fue otorgado el 22 de enero de 1954, en el Parque Ibirapuera de São Paulo. Fundação Bienal de São Paulo – Arquivo Histórico Wanda Svevo. “*II Bienal de Arte Moderna de São Paulo. Prêmios especiais instituídos para artistas da delegação de Portugal*”.

2.2. Trayectoria profesional de Lagoa Henriques

En 1955, finalizados sus estudios en la ESBAP, Lagoa Henriques consigue una beca de formación del antiguo *Instituto de Alta Cultura*, actual *Instituto Camões*, el cual le lleva a recorrer durante tres años buena parte de Europa y Egipto. En esta experiencia, toma contacto con la vanguardia escultórica de la época en el taller del escultor Marino Marini en Milán donde permanece un año lectivo. También es destacable su paso por la *Scuola di Marmo* en la *Accademia delle Belle Arti di Roma* (Araújo B. , 2012).

Según el Archivo Docente de Lagoa Henriques en la ESBAP, el artista ocupó desde 1959 el cargo de docente de escultura en esta Escuela como 2º Asistente de Escultura del Sexto grupo²². El 3 de octubre de 1963 tomó posesión de la plaza de profesor del Séptimo Grupo de la ESBAP²³, consiguiendo posteriormente el puesto de profesor de Dibujo, donde permaneció hasta 1966²⁴. Este mismo año Lagoa Henriques se trasladó a Lisboa como profesor del Séptimo Grupo de la ESBAL (Moniz, 2011, pág. 163), cargo del que tomó posesión el 14 de febrero. El 6 de junio de 1981 asumió el cargo del Consejo Científico y Pedagógico de la ESBAL, en el que se mantuvo como docente hasta 1986, año de su jubilación. Entre 1982 y 1984, ejerció como coordinador de divulgación del patrimonio en el *Instituto Português de Património Cultural*.

El 3 de julio de 1972, los talleres donde Lagoa Henriques y otros artistas trabajaban sufrieron un grave incendio. Estos espacios fueron edificados para la *Exposição do Mundo Português* de 1940 en Lisboa y en el momento del incendio eran utilizados como ateliers. Las pérdidas provocadas por el incendio borraron 40 años de creación artística de Lagoa Henriques, entre los que se encontraban esculturas, dibujos, bocetos, primeras ediciones bibliográficas, libros firmados por sus autores, entre ellos algunas publicaciones autografiadas por Fernando Pessoa (Araújo B. , 2012, págs. 40, 283), etc.

²² Se expresa en el Documento 1. Diploma de Funções Públicas. Despacho ministerial del 20 de enero de 1959, publicado en el *Diário do Governo n.º 28 Primeira Serie* del 3 de febrero de 1959.

²³ Recuperado de <http://www.lagoahenriques.arte.com.pt> [Acceso el 13-11-13]

²⁴ Como se expresa en el Documento 2. Oficio N.º 782 enviado al Jefe de Servicio de la Caixa Geral de Depósitos. Escola Superior de Belas Artes do Porto - *Processo Individual Docente* António Augusto Lagoa Henriques.

Lagoa Henriques fue formador de varias generaciones de profesionales de artes plásticas y dibujo, participando en su renovación de los cursos de estas áreas después de la Revolución del 25 de abril de 1974 (pág. 335). En la década de 1980 se destaca como divulgador con documentales televisivos, tales como *Portugal, Passado e Presente* (1987) en el cual presenta pasajes del patrimonio portugués desde el punto de vista artístico, histórico y monumental.

A lo largo de su vida, Lagoa Henriques tuvo una destacada trayectoria como escultor y docente. Fue vocal de la Academia Nacional de Bellas Artes y recibió varios premios, entre los que resaltan el Premio Soares dos Reis (1958), el Premio Diogo de Macedo (1963) y el Primer Premio de Escultura en la II Exposición de Artes Plásticas de la Fundación Calouste Gulbenkian (1961) (Pereira, 2005, pág. 335). Es autor de obras expuestas en Portugal continental e insular, Brasil y Macao, manteniendo la influencia de sus maestros Barata Feyo y Marino Marini, en las cuales depura su arte hasta llevarlo a lo esencial. Además de los artistas que le influyen en las Artes Plásticas, Lagoa Henriques recibe profundas influencias de la literatura. José Pereira (2005, pág. 336) lo considera como el único escultor que se inspira primordialmente en la poesía. De esta inspiración surgen monumentos dedicados a grandes poetas y escritores portugueses como Camões, Guerra Junqueiro y Fernando Pessoa.

El estilo escultórico de Lagoa Henriques es calificado como contemporáneo neofigurativo de largo sentido de simplificación y de elipsis (Pamplona, 2000, pág. 110). Su obra guarda similitudes con la de sus comienzos con “Ternura”: formas limpias y estilizadas, redondeadas y serenas, en las que priman las figuras de rasgos juveniles en los que se puede apreciar la influencia de sus maestros, especialmente de Barata Feyo. Un ejemplo de esto es la obra escultórica *O Segredo*, localizada en el Jardín Amália Rodrigues de Lisboa, que recibió el 1º Premio de Escultura en la Segunda Exposición de Artes Plásticas de la Fundación Calouste Gulbenkian en 1961.

La influencia que ejerció la poesía en Lagoa Henriques se observa en las obras que ocupan espacios públicos en todo el país. Ejemplos de ello son la *Ilha dos Amores*, inspirada en los Cantos IX y X de Os Lusíadas, situada en la *Vila de Constância* y *O Lis e O Lena*, alegoría del río Lis y su afluente Lena, en la ciudad de Leiria.

Posiblemente la obra más conocida del artista sea la escultura de Fernando Pessoa, ubicada frente al café A Brasileira en Lisboa. Se trata de uno de los reclamos turísticos de la ciudad, que se funde con el entorno sin ser absorbido por este. Este aspecto es otra

de las características de las obras del autor: piezas a ras de suelo o elevadas en peanas de baja altura, facilitando la contemplación del espectador y formando parte del entorno, al que enriquecen estéticamente acrecentando su valor patrimonial.

Otras obras importantes del artista son: *Monumento aos Tripeiros*, Oporto (1960); *Escultura de Ferreira Borges* en el Palacio de Justicia de Oporto (1961); *Monumento a Guerra Junqueiro*, Lisboa (1968); *Monumento a Camões*, Constância (1981); *Monumento às Varinas*, Furadouro – Ovar (1989); *Escultura de António Aleixo*, Loulé (1996), *Escultura da Imperatriz Sissi*, Funchal (2000).

En cuanto a los materiales utilizados por el artista, el vaciado en bronce es el utilizado en casi la totalidad de su obra. Otras piezas, como la Escultura de Ferreira Borges, fueron realizadas en piedra. Después de realizar su escultura Ternura, Lagoa Henriques no volvió a utilizar el hormigón armado como material artístico.

2.3 Descripción material de la Escultura “Ternura”



Fig. 4 Escultura "Ternura" antes del inicio del proceso de conservación - restauración.

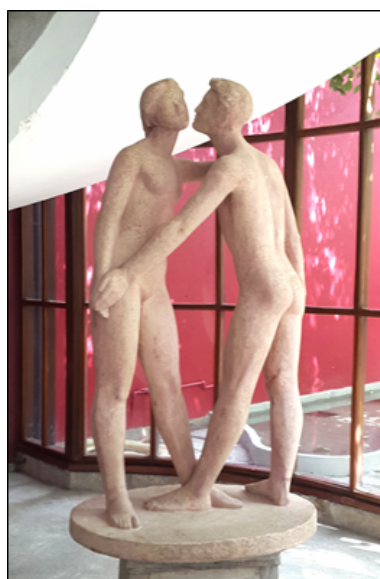


Fig. 5 Escultura "Ternura" después de la intervención de conservación - restauración

“Ternura” es una obra de hormigón armado pigmentado en su superficie. Se compone de dos figuras humanas que se asientan sobre una base. Las efigies, un hombre y una mujer desnudos, se presentan en actitud de enamorados. La figura masculina está en ademán de acercarse y besar el rostro de la mujer, mientras que la figura femenina acerca el rostro

en actitud expectante. Las figuras en su conjunto miden 176 cm x 96 cm x 45 cm, mientras que la base mide 8 cm x 94 cm x 74,5 cm.

La obra se encontraba originalmente en los jardines de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto desde el año 1954 (Fig. 6), y fue trasladada al hall de Pabellón Carlos Ramos de la misma facultad en el año 2012 debido a su deficiente estado de conservación.

Según el *Boletim da Escola Superior de Belas Artes do Porto N° 2 y 3*, la escultura formó parte del Concurso de *Grande Composição* de la facultad. La participación en este concurso permitía a los alumnos situar sus obras en los jardines de la ESBAP, por lo cual "Ternura" fue ubicada en este espacio. En el boletín antes mencionado, aparece la que quizás es la primera imagen de "Ternura" en su localización original al poco tiempo de haber sido creada (Bairrada & Cunha, 1954, pág. 34) (Fig. 7).

Aunque no se conserva documentación sobre la realización de la escultura, se asume por su composición y por la información del el profesor de escultura de la FBAUP, Rui Ferro, que la obra fue realizada con la técnica de modelado en barro, siendo posteriormente positivada con molde perdido de yeso con diversas piezas, utilizándose como material definitivo el hormigón armado, cuya superficie fue pigmentada.



Fig. 6 Localización original de "Ternura" en los jardines de la FBAUP.



Fig. 7 Primera imagen conocida de "Ternura" en los jardines de la FBAUP.

El hormigón armado es actualmente un material muy utilizado en la producción de obras de arte de gran formato, caracterizado especialmente por su bajo coste y facilidad de

adquisición y empleo. En la década de 1950, por el contrario, no se encontraba entre los materiales considerados para una obra final, aunque algunos artistas de ya habían experimentado con este. Pablo Picasso utilizó hormigón armado en la *Cabeza de Mujer de Boisegoloup* (1931), obra presentada en el Pabellón español de la Exposición Internacional de París de 1937²⁵. En cuanto a la utilización de este material en las obras de la Universidad de Oporto, es de destacar la obra del artista Fernando Fernandes da Silva *A lógica e o Silogismo*, primera pieza abstracta presentada en prueba escolar en la ESBAP en el año 1953²⁶. Esta escultura fue luego presentada en la *II Bienal do Museu de Arte Moderna* de São Paulo, en la que también participó la escultura *Cabeça* del maestro Lagoa Henriques²⁷.

2.4. Técnica constructiva de la Escultura “Ternura”

La totalidad de la escultura “Ternura” es de hormigón armado, pero fue creada con dos composiciones distintas de hormigón en las que se ha modificado el grosor del árido de la mezcla: en interior de la obra se encuentra una pasta de cemento con un árido de grano más grueso, el cual confiere una consistencia basta, muy semejante a la que se puede encontrar en los edificios de construcción civil. En el exterior de la obra, en cambio, fue aplicada una pasta de cemento con árido más fino, otorgó a la superficie de “Ternura” un acabado liso y homogéneo, dándole un aspecto final delicado (Fig. 8).

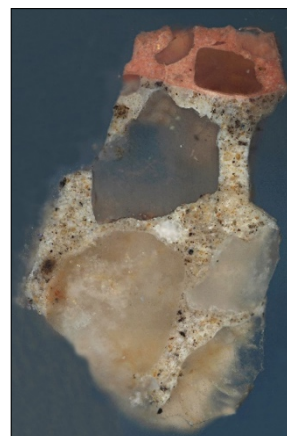


Fig. 8 Imagen obtenida por Microscopía Óptica (100x) del sustrato superficial (rosa) e interior (gris) del hormigón de "Ternura".

²⁵ http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/pabellon-espanol-en-la-exposicion-internacional-de-paris-1937--0/html/0003a762-82b2-11df-acc7-002185ce6064_1.html. [Acceso el 17-05-2015]

²⁶ https://sigarra.up.pt/up/pt/web_base.gera_pagina?p_pagina=antigos%20estudantes%20ilustres%20%20fernando%20fernandes. [Acceso el 16-08-2015]

²⁷ Fundação Bienal de São Paulo – Arquivo Histórico Wanda Svevo “*II Bienal do Museu de Arte Moderna de São Paulo. Fichas de inscrição da Delegação de Portugal*”. 1ra y 2da folha complementar.

Según el Doctor Rui Ferro²⁸, el material exterior fue coloreado con pigmento de color rojizo para crear la capa cromática del conjunto escultórico. Según la costumbre de la Facultad de Bellas Artes, el pigmento utilizado fue el “Rosa Rey”, a base de óxido de hierro.

Aunque carecemos de documentación sobre la creación de la obra, “Ternura”, fue probablemente concebida mediante la técnica de “molde perdido”, que consiste en obtener la pieza escultórica final a través del positivado de un molde, generalmente de yeso, el cual se destruye al ser liberada la figura definitiva. Esta técnica busca conseguir una obra en un material duradero. En el caso de “Ternura” se utilizó hormigón armado, pero en otras obras suele utilizarse el yeso, el bronce o diferentes tipos de polímeros como material definitivo.

Los pasos para la creación de una escultura de hormigón armado son los siguientes:

1. Modelado de la escultura con barro sobre un soporte de madera y metal adecuado al volumen y escala de los elementos de la composición, que sea capaz de soportar el peso de la masa de barro.
2. Una vez finalizado el modelado, se realiza un negativo de la obra en yeso, que permita la copia total de la superficie y de todos los recodos de la escultura, garantizando que el molde será extraíble y utilizable. Para ello es necesario crear divisiones para formar distintas piezas, ya que, como se observa en la escultura “Ternura”, las formas profusas que esta tiene, crean contrasalidas y prisiones que imposibilitan el positivado de la misma desde un molde único. Las piezas mencionadas, son subdivisiones del molde, permitiendo resolver tanto el problema para formar la escultura definitiva como el de liberarla del molde cuando haya secado. En el proceso tradicional se realizan divisiones de las piezas por medio de barreras de barro (Fig. 9). Este barro delimita el perímetro de la pieza, que será rellena



Fig. 9 Ejemplo de divisiones con barreras de barro realizadas en una escultura modelada en el mismo material.

²⁸ Entrevista con el Profesor Rui Ferro, 13 de febrero de 2014.

con yeso. Al tener que adosar las piezas unas a otras, la pared de la pieza anterior sirve de barrera para la siguiente, siendo su superficie aislada con agua de barro. También es posible utilizar finas chapas de metal como separadores, lo cual permite realizar varias piezas al mismo tiempo, manteniendo las chapas entre ellas. La diferencia entre estos dos procesos es que en el primer caso la línea de división es menos perceptible, pero la ejecución es más lenta que en el segundo caso.

3. En moldes con muchas piezas divididas, como el caso de la “Ternura”, se necesita un contramolde para encajar correctamente las piezas, o, en su defecto, una pieza de mayor tamaño que hace de guía para orientar con precisión al resto (Fig. 10). Estos elementos son importantes, ya que, al remontar las piezas que forman la escultura, si estas no se orientan a un contramolde o pieza principal, hay una alta probabilidad de que se sumen pequeños errores durante el ensamble, que no permitan el cierre correcto de la reproducción, deformando el positivado de la escultura en relación al modelo.



Fig. 10 Ejemplo de molde realizado con piezas divididas por medio de barreras de barro (izquierda) y contramolde para encajar las piezas y mantenerlas orientadas (derecha).

4. Para reforzar el molde y contramolde, estos se cubren con yeso pigmentado y sobre este un yeso de textura gruesa y basta. El yeso pigmentado se aplica para ejercer de testigo de la cercanía del contramolde y las piezas, como de la escultura positivada si esta ha sido realizada a molde perdido, caso de la escultura “Ternura” (Fig. 11).



Fig. 11 Ejemplo de molde perdido. Después de que el material definitivo del interior haya secado, se libra el positivado destruyendo el molde. El yeso coloreado se utiliza para advertir de la cercanía de la escultura que está a ser liberada.

5. Se acoplan piezas de madera en zonas estratégicas, que se unen al molde por medio de tiras de esparto mojadas en yeso, las cuales se atan entre sí, a las maderas y al molde (Fig. 12), evitando el agrietamiento y fractura de este último, además de permitir que la fuerza que se aplique a la madera durante la apertura del molde se distribuya por toda la obra.



Fig. 12 Ejemplo de molde con trozos de esparto para dar cohesión al yeso, y piezas de madera para controlar la distribución de la fuerza en la apertura del molde.

6. Secado el yeso, se separan con precaución las piezas por la zona de separación predeterminada y se elimina el barro a mano. Los trozos más pequeños de barro o los que queden presos en recodos de la escultura son retirados por medio de tamponado con trozos mayores de arcilla con el mismo nivel de humedad, lo cual permite optimizar la extracción por medio de una leve presión sobre el trozo de barro atrapado. Eventualmente, el molde puede necesitar ser lavado; este proceso se realiza con agua corriente con poca presión para no dañar la superficie.

7. Para obras de tamaño mayor como la “Ternura” realizadas en molde perdido, se utiliza agua y jabón como desmoldante para el positivado. En su aplicación es necesario abarcar todas las zonas del negativo y evitar la creación de burbujas de aire, ya que, al no poder penetrar el material definitivo en esa zona, provocaría imperfecciones en la reproducción.
8. En los resultados de los análisis realizados al hormigón de la escultura, detallados en el capítulo 3 de este trabajo, se demuestra que en la obra fueron utilizados dos tipos diferentes de mezcla de cemento. El primer tipo de sustrato que se aplicó fue de hormigón pigmentado con óxido de hierro, el cual tiene una cantidad menor de aglomerado y es de una calidad más fina. Esta capa de sustrato hace de registro del molde, por lo cual la composición mencionada favorece que penetre en todos los rincones del negativo. La segunda capa aplicada tiene mayor contenido de aglomerante, el cual también es más grueso que el utilizado en la primera capa.
9. A causa del tamaño de la obra y al material utilizado, se utilizaron, para la cohesión y sustento de la escultura, alambres y perfiles de acero, los cuales fueron insertados con las posteriores aplicaciones de hormigón en el molde.
10. Se deduce, por la presencia de diferentes piezas, debido a la profusión de los volúmenes de la escultura, que esta no fue vaciada de una sola vez, lo cual podría llevar a pensar que las piezas fueron rellenas con cemento y reforzadas con alambres de metal, siendo posteriormente unidas unas a otras por medio de piezas de acero y cemento hasta garantizar su correcta postura. A estas uniones se agregaron más piezas de alambre metálico para aumentar la resistencia de la obra.

Debido a su dificultad, la labor de positivado de la escultura, debe ser realizada en el mismo día, controlando continuamente la humedad y el secado del hormigón, para que del curado resulte una masa homogénea, sin fisuras y que permita, al mismo tiempo, la manipulación de las piezas.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

3. ANÁLISIS DE LA OBRA. ESTUDIO MATERIAL Y TÉCNICO

Para obtener una percepción clara de la obra a intervenir, los materiales que la componen, tanto originales como añadidos en restauraciones posteriores y las alteraciones sufridas, fue necesario realizar una serie de análisis científicos, que permitieron obtener evidencias y conclusiones para desarrollar una intervención de conservación y restauración respetuosa con la obra.

Los análisis llevados a cabo fueron: análisis organoléptico y registro fotográfico con luz visible, análisis sobre el hormigón, Micro Difracción de Rayos X (Micro - DRX), análisis sobre la capa cromática (FE-SEM-EDS y Micro - DRX), análisis de microorganismos (cultivo de algas y hongos) y pruebas de efectividad de biocidas (cultivo de algas).

Para esta obra, hubiese sido deseable realizar análisis de tipo radiográfico para conocer la estructura metálica de la escultura e intuir su estado de conservación. Esto no fue posible debido a una variedad de factores, principalmente por la dificultad de obtener un equipo de Rayos X que atravesase la opacidad del hormigón, así como la imposibilidad de desplazar la obra, debido a su frágil estabilidad estructural, a un ambiente adecuado para su análisis. Incluso en el caso de conseguirse un equipo de Rayos X adecuado que pudiese ser trasladado al emplazamiento de la escultura, la zona no cumplía los parámetros de seguridad relativos a la difusión de radioactividad, por lo cual se descartó el recurso de examen de Rayos X.

3.1 Metodología y equipamiento

3.1.1 Análisis organoléptico y registro fotográfico con luz visible

Previo al inicio de la intervención de la obra, se realizó un análisis organoléptico, con registro fotográfico, el cual se puede encontrar en el apéndice de este trabajo, para determinar y dejar constancia del estado de conservación de la escultura antes de comenzar el proceso de conservación - restauración. También se realizaron fotografías durante todo el proceso de restauración, como testimonio documental para futuras actuaciones de conservación de “Ternura”. Como equipamiento se utilizó una cámara

fotográfica réflex NIKON D-5100.

Se realizó un reconocimiento del estado de conservación de la escultura, tomando como punto inicial los datos otorgados por la Nota Técnica IC147-RVT223-A-NG312 (Costa & Pauperio, 2012), realizada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, en el cual se verificaba el nivel de degradación de los materiales que componen la obra. El seguimiento y documentación de la obra continuó durante las posteriores visitas en su nueva localización y, a lo largo de la intervención de la escultura.

3.1.2 Análisis del hormigón

Ante la necesidad de conocer la composición del sustrato de hormigón para determinar el tipo de corrosión sufrida la armadura metálica de “Ternura”, se realizaron análisis de determinación de masa volumétrica del hormigón, de nivel de residuo insoluble del cemento, del ratio volumétrico cemento – arena y de los niveles de concentración de cloruros en la pasta de cemento. Estos análisis fueron realizados por el *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, LNEC – Lisboa. El objetivo de estas determinaciones fue la de caracterizar lo mejor posible la composición del material existente, para, aunque aproximadamente, esta se pueda reproducir. La determinación de nivel de cloruros pretende valorar las causas de la corrosión de la armadura.

3.1.2.1 Determinación de la masa volumétrica del hormigón

El objetivo de este análisis es determinar la masa volumétrica del hormigón endurecido en tres estados: Como fue recibida la muestra de hormigón, la muestra en estado saturado y la muestra en estado seco en estufa. Para obtener la masa volumétrica en estado seco y en estado saturado del hormigón, se resta el total de la masa volumétrica en estado seco del total de la masa en estado saturado. El resultado de esta resta es el porcentaje de porosidad del hormigón en el volumen de la muestra. Este análisis se realiza según la norma EN 12390 - 7 “Ensayos en hormigón endurecido. Parte 7: Densidad del hormigón endurecido”.

3.1.2.2 Nivel de residuo insoluble en el cemento

Esta prueba determina el porcentaje de cemento en peso que queda sin disolver del total después de realizada la misma. Se realizó según el capítulo 9 de la norma EN 196 – 2.

“Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos”.

El residuo insoluble se determina exponiendo una muestra de cemento a una solución de un ácido. La muestra es atacada por el ácido, produciendo la disolución de los cationes, las sustancias que acompañan al sulfato cálcico, los carbonatos de yeso y algunas sales secundarias del Clinker, mientras que se mantienen insolubles los compuestos silíceos no reactivos. En esta determinación se estudiaron las muestras correspondientes tanto al cemento gris del interior de la estructura como del cemento pigmentado de color rosa de la superficie.

3.1.2.3 Ratio volumétrico cemento – arena

Este ratio define la relación volumétrica de arena utilizada por cada parte de cemento. Se tuvieron en cuenta los valores de masa volumétrica, siendo estos: 2040 kg/m³ de hormigón, 2650 kg/m³ de arena y 3100 kg/m³ de cemento y una relación de agua/cemento en masa de 0.4. De ellos se obtuvieron los ratios volumétricos cemento - arena de las dos muestras del hormigón. El valor de la masa volumétrica fue determinado según la norma EN 12390 - 7 y la relación de agua / cemento en masa se estimó considerando materiales y características semejantes al hormigón.

3.1.2.4 Niveles de concentración de cloruros en la pasta de cemento

Para la determinación de los niveles de concentración de cloruros, se analizaron muestras de la pasta de cemento gris y la pasta de cemento rosa. Para calcular el porcentaje de cloruros, se tuvieron en cuenta los valores utilizados como parámetro en el cálculo de masa volumétrica de cemento mencionado en el apartado 3.1.2.3.

3.1.3 Análisis sobre la capa cromática

La capa cromática se presenta aparentemente compleja, ya que a simple vista no parece tener origen en una pintura industrial y contiene reintegraciones estructurales y cromáticas sin documentar de restauraciones posteriores que añadieron otras películas de color a la escultura. Por ello se hizo evidente la necesidad de analizar la capa superficial de “Ternura” para obtener información de la composición de la misma, reconocer el número de capas pigmentadas y, si hubiese más de una, las características de cada una de esta. Para esto, entre las muestras que se obtuvieron de la escultura, se

incluyeron cuatro muestras de la capa cromática, cuya zona de recogida se expresa en las figuras 13 y 14 (págs. 39 y 40).

Para recabar la máxima información posible, se realizaron tres tipos de análisis. El primer análisis se limitó a establecer la configuración de la capa cromática y la observación a nivel microscópico de esta, para lo cual se recurrió a la observación por Microscopía Óptica con luz reflejada (MO).

Se realizó un segundo análisis para determinar los compuestos de la capa pictórica en función de los elementos de la tabla periódica y su presencia en la muestra, para lo cual se utilizó la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopía Dispersiva de Rayos X (FE-SEM-EDS).

Para la preparación de las muestras, estas fueron insertadas en moldes rectangulares con resina acrílica Technovit 4004 mezclada con su endurecedor correspondiente. Ya polimerizada la resina, las muestras fueron pulidas para optimizar la visualización de su sección transversal, con vistas a obtener la información requerida en el párrafo anterior. Para los análisis se realizaron cuatro muestras: M4, M5, M6, M8, de las que se recogieron imágenes con ampliaciones de 100x y 200x.

Para la visualización y determinación de la configuración de la capa cromática, se analizaron las referidas muestras mediante Microscopía Óptica con luz reflejada, utilizando un Microscopio Óptico Olympus BX-41, el cual lleva acoplada una cámara fotográfica digital ProRes CapturePro 2.7 (Apéndice II, Fig. 29, pág. 7). Este análisis fue realizado en el *Laboratório de Química da Escola das Artes - Universidade Católica Portuguesa | Centro Regional do Porto*.

Con vistas a determinar los compuestos de la capa pictórica y su nivel de presencia en las muestras, estas se analizaron con Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopía Dispersiva de Rayos X (FE-SEM-EDS). Para un correcto análisis, se procuró que las muestras estuviesen secas, tras lo cual fueron insertadas en un portamuestras utilizando un adhesivo conductor (Apéndice II, Fig. 31, pág. 7). Debido a que los fragmentos insertados en las muestras no son conductores de corriente eléctrica, fue preciso bañar estas con una delgada capa de un material conductor, en este caso carbono, para mejorar la visualización en el microscopio. El equipamiento utilizado para el análisis de las muestras fue un Microscopio Electrónico de Barrido Jeol JSM6700F, con un detector de EDS Oxford Inca Energy 300 SEM 7 (Apéndice II, Fig. 30, pág. 7). Los análisis fueron

realizados por el *Centro de Apoio Científico e Tecnológico á Investigación CACTI – Universidade de Vigo*.

El tercer análisis corresponde a Micro – DRX, en el cual se ha analizado una muestra de argamasa (Muestra 1), que contiene fragmentos de cemento pigmentado original, de cemento pigmentado de una restauración posterior, y de cemento utilizado para una restauración posterior. También se analizó una muestra de polvo de cemento de reintegración (Muestra 2), utilizada en la intervención de conservación – restauración que se describe en este trabajo.

Estos análisis fueron realizados por el *Laboratório HERCULES* de la *Universidade de Évora*.

3.1.4 Análisis de microorganismos

Si se da el caso de que ciertas especies de algas se desarrollen en la superficie de una escultura de hormigón armado como en la obra objeto de estudio, estas comienzan a absorber sustancias químicas como calcio, silicio y magnesio. La pérdida de estos elementos puede dejar pequeñas cavidades y microfisuras en el hormigón (Javaherdashti, Nikraz, Borowitzka, Moheimani, & Olivia, 2009, pág. 398).

Para reconocer los microorganismos que habitaban en la escultura “Ternura”, determinar su especie y establecer un nexo entre las comunidades de microorganismos que habitan en los jardines de la Facultad y los que colonizaron la obra de estudio, se recogieron muestras de ocho zonas características de la escultura, las cuales se expresan en las figuras 13 y 14, (págs. 39 y 40). También se recogieron muestras de la peana original de la escultura que aún se conserva en el jardín de la facultad, de una escultura de granito y de un árbol cercano a la localización original de la obra en los jardines de la facultad (Apéndice II, Figs. 120 a 122, pág. 23).

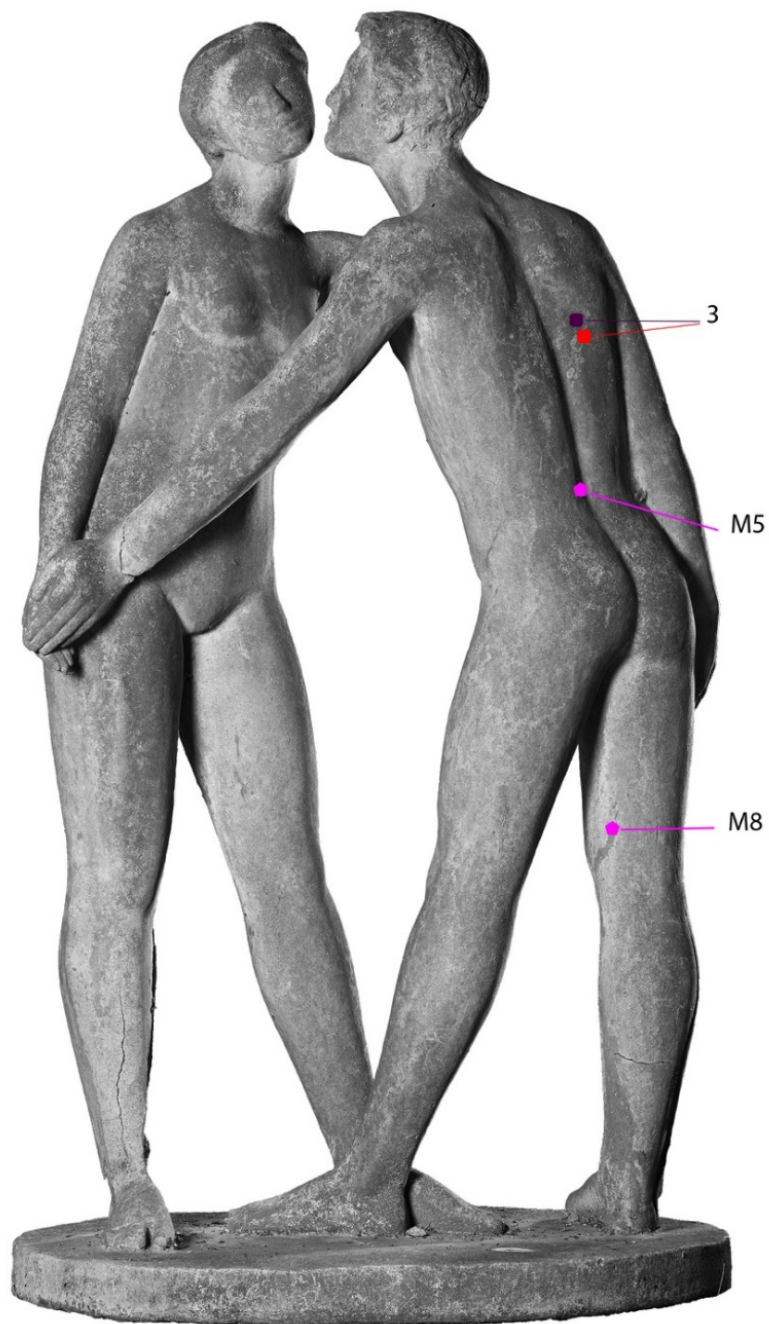
En las zonas antes mencionadas se recogieron once muestras para cultivo de algas en medio OHM (*Optimal Haematococcus Medium*), de las cuales ocho muestras corresponden a zonas de la escultura y tres corresponden a zonas del jardín de la FBAUP cercanas a la localización original de “Ternura”. También fueron recogidas ocho muestras para cultivo de hongos en medio PDB (*Potato Dextrose Broth*), de las cuales seis corresponden a zonas de la escultura y dos a zonas del jardín de la FBAUP. Además de las anteriores, fueron recogidas cuatro muestras sólidas de suciedad en la escultura en

láminas de vidrio y tres muestras en cápsulas de plástico (*Eppendorf*).

Las muestras para cultivo de microorganismos fueron extraídas con un hisopo estéril previamente impregnado con OHM o PDB y frotado con intensidad media sobre un área de 2 cm². Posteriormente los hisopos fueron almacenados en un tubo de ensayo de 5 ml con medio OHM o PDB.

En el laboratorio, los tubos se incubaron a temperatura ambiente (20°C aproximadamente), siendo agitados periódicamente y expuestos a una fuerte intensidad lumínica durante aproximadamente un mes. Estas muestras fueron posteriormente reinoculadas y enriquecidas en el mismo medio que habían sido inoculadas en el momento de recogerlas. Estos cultivos han sido efectuados por el *Laboratório de Microbiologia de - Escola Superior de Biotecnologia – Universidade Católica Portuguesa | Centro Regional do Porto*.

Posteriormente las especies resultantes de este cultivo biológico se observaron con Microscopía Óptica con luz reflejada en el *Laboratório de Química da Escola das Artes - Universidade Católica Portuguesa | Centro Regional do Porto*. Para esto fue utilizado un Microscopio Óptico Olympus BX-41 con cámara fotográfica digital ProRes CapturePro 2.7 acoplada.



- Muestras recogidas en láminas
- Muestras recogidas en OHM
- Muestras recogidas en PDB
- Muestras sólidas
- Muestras de superficie pigmentada

Fig. 13 Mapa de recogida de muestras de colonización biológica de la superficie pigmentada, hormigón y metal de "Ternura" (vista frontal).

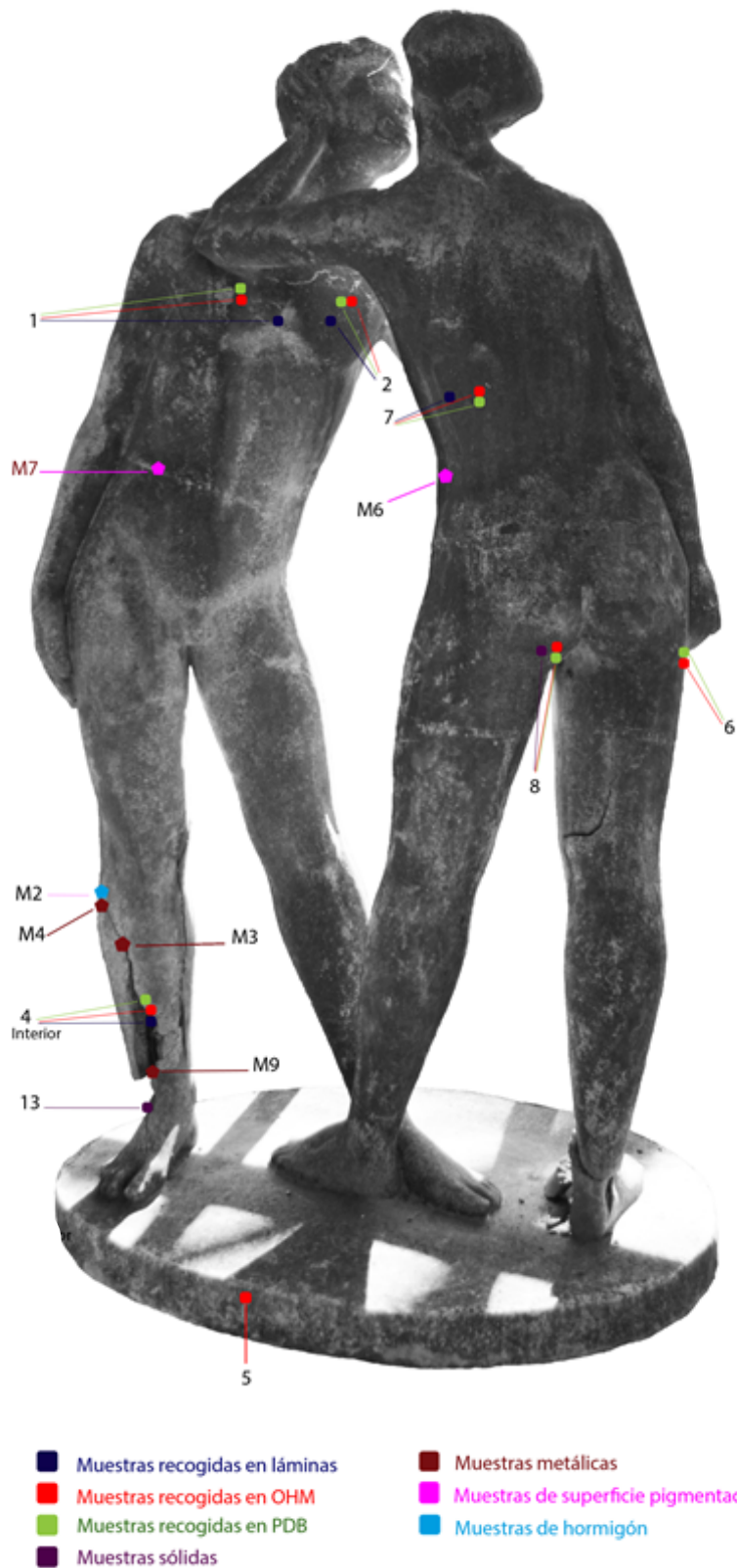


Fig. 14 Mapa de recogida de muestras de colonización biológica de la superficie pigmentada, hormigón y metal de "Ternura" (vista trasera).

3.1.5 Pruebas con biocidas

Para ejercer un control sobre la presencia y el crecimiento de colonización biológica en la escultura “Ternura”, hay que tener en cuenta la necesidad de mantener un nivel de pH alcalino en la obra y limitar el ingreso de cloruros y fosfatos. Estos agentes, según Eklund (2013, pág. 3), en cantidades elevadas serían perjudiciales para la durabilidad del material que constituye la escultura. Considerando la norma EN 206-1 “Hormigón. Parte 1: Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad”, se recomienda un máximo de 0,4% de cloruros y menos del 3% del mismo relativo a la masa del cemento en el hormigón y menos de 200 ml de sulfatos por litro. También se propone para el biocida un nivel de pH neutro o alcalino.

Los requisitos especificados para el biocida tienen como objetivo introducir en la escultura cantidades lo más reducidas posible de cloruros y sulfatos. La especificación de la alcalinidad del biocida está relacionada con el hecho de que los agentes ácidos provocan la corrosión del material de la base del hormigón que constituye la escultura (Cameron, Urquhart, & Young, 1997, pág. 28).

Los biocidas más usados, aprobados por las leyes por su baja toxicidad en humanos, son los formulados a base de compuestos de amonio cuaternario, aminas, clorofenoles, fenóxidos y metales (Eklund, 2013, pág. 6). Entre los empleados en superficies inorgánicas de sustratos pétreos, se realizaron pruebas con dos biocidas:

- Durolith Bioclean L, a base de hidróxido de litio, nivel de pH >13, con nivel de cloruros de 0.02% y sulfatos de 0.02% (muestras D2, D4, D8 y D9).
- CaSoPal Plus, a base de etanol y nanopartículas de cal. No contiene compuestos clorados, sales de amonio cuaternario ni derivados (muestras C2, C4, C8 y C9).

Las catas de biocida miden aproximadamente 1x1 cm y fueron recogidas en cuatro zonas estratégicas de la escultura en y los alrededores de la localización original de la obra: Muestra C2 y D2: pecho izquierdo de figura masculina (Fig. 15); muestras C4 y D4: interior de pierna derecha masculina (zona de pérdida de sustrato) (Fig. 16); muestras C8 y D8: glúteo izquierdo de figura femenina (Fig. 17); muestras C9 y D9: escultura de granito localizada en los jardines de la FBAUP, cercano al emplazamiento original de

“Ternura”(Fig. 18).

Las pruebas, realizadas por el *Laboratório de Microbiologia de - Escola Superior de Biotecnologia – Universidade Católica Portuguesa | Centro Regional do Porto*, consistieron en el cultivo de las muestras citadas para comprobar el posible crecimiento de especies algales en las zonas antes mencionadas donde fueron aplicados los dos tipos de biocidas testados.

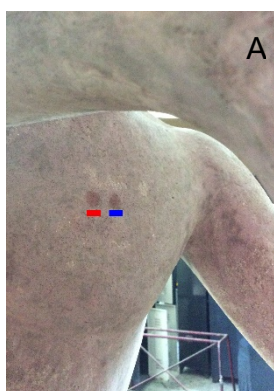


Fig. 15 Cata de biocida en el pecho de la figura masculina.



Fig. 16 Cata de biocida en la pierna de la figura masculina.



Fig. 17 Cata de biocida en el glúteo de la figura femenina.



Fig. 18 Cata de biocida en escultura de granito en los jardines de la FBAUP.

3.2 Resultados y conclusión de exámenes y análisis

3.2.1 Análisis organoléptico y registro fotográfico con luz visible

El análisis organoléptico sobre la escultura, documentada fotográficamente durante la intervención, permite observar que la escultura “Ternura” fue objeto de intervenciones de restauración posteriores a su creación. Esto es relevante por los diferentes tipos de hormigón pigmentado presentes en la superficie. En algunos casos, el hormigón utilizado en intervenciones posteriores penetró en el interior de la obra, siendo fácilmente diferenciable el original de la reintegración.

Además de los estratos de hormigón pigmentado mencionados anteriormente, es posible encontrar restos de otro tipo de mortero en la capa de hormigón gris de la escultura. Estos restos tienen, a simple vista, un aspecto diferente al original.

La documentación gráfica, obtenida durante el estudio de “Ternura”, (Fig. 19), demuestra

que la escultura fue intervenida por lo menos una vez durante la primera mitad de la década de 1990. En el catálogo de la exposición ESBAP-FBAUP (1995, pág. 44), se reconoce el color del pigmento de reintegración utilizado sobre la obra, aunque también se advierten lagunas que muestran un tono más claro, posiblemente del pigmento original. Esto lleva a pensar que podría haberse producido una intervención anterior a la antes mencionada, pero no se puede afirmar con rotundidad, ya que no se conserva documentación sobre ella debido a que estas intervenciones aparentemente fueron realizadas por personal de la Facultad de Bellas Artes, con lo cual, no se produjeron informes de conservación – restauración.

En la imagen también es posible percibir un mortero con un pigmento aún más oscuro que el en la reintegración cromática (dentro de los recuadros negros de la figura 19), el cual fue utilizado para rellenar fisuras producidas aparentemente por el fenómeno de corrosión que ha llevado a la intervención de conservación – restauración que se analiza en este estudio. La situación del mortero pigmentado en la imagen coincide con la de la pasta de cemento que ha penetrado hasta las capas interiores de las piernas afectadas por corrosión, por lo cual se ratifica que corresponden a la misma reintegración estructural.

Desde el punto de vista organoléptico, en "Ternura", las principales concentraciones de microorganismos se encontraron en zonas que se veían favorecidas por escorrentías de agua de lluvia y reducida exposición al sol, como el pecho y costado izquierdo de ambas figuras, zonas interiores de las piernas, nalgas y espalda de la figura femenina. Tanto la colonización microbiológica como la suciedad superficial se concentraban en superficies porosas y estaban prácticamente ausentes en zonas especialmente lisas, como por ejemplo el mortero aplicado para disimular las uniones entre las piezas del molde en el que se positivó la escultura.



Fig. 19 Imagen de la escultura "Ternura" en la primera mitad de la década de 1990.

3.2.2. Análisis del hormigón

3.2.2.1 Determinación de la masa volumétrica

Los análisis para determinar la masa volumétrica del hormigón de la escultura, han revelado los siguientes resultados:

- Masa volumétrica saturada: 2200 kg/m³;
- Masa volumétrica seca: 2040 kg/m³;
- Porosidad de la masa volumétrica: 7,65 %.

Se concluye que la porosidad del hormigón es baja, hecho que se produce principalmente por la argamasa fina de la superficie de la escultura debido a la mayor proporción de cemento en arena que la argamasa gris del interior. Según los análisis, la técnica de fabricación y los materiales que componen la estructura de hormigón de “Ternura” son de buena calidad de la porosidad reducida. Sin embargo, todo esto es insuficiente para soportar 50 años a la intemperie sin alteraciones. Para tener una buena resistencia al tiempo y a los factores de degradación, el hormigón que rodea al metal debería tener como mínimo 3 cm de grosor, lo cual no se cumple en algunas de las zonas más afectadas por la corrosión de la armadura.

3.2.2.2 Determinación de residuo insoluble en el hormigón

Como resultado de los análisis realizados sobre el sustrato de hormigón gris del interior de la escultura y del sustrato de hormigón pigmentado rosa de la superficie del mismo, se determinó el siguiente porcentaje de residuo insoluble:

- Hormigón gris: 60,3 % de residuo insoluble;
- Hormigón rosa: 53,3 % de residuo insoluble.

Estos resultados revelan una mayor presencia de residuo insoluble en el hormigón gris que en el hormigón pigmentado rosa. Una de las causas de este resultado es la mayor proporción de árido silíceo en el hormigón gris, al contrario que en el hormigón rosa, el cual, a causa del pigmento tiene una gran cantidad de componentes solubles en el árido.

3.2.2.3 Ratio volumétrico cemento-arena

Considerando los valores de masa volumétrica como: 2100 kg/m³ cemento, 2650 kg/m³ de arena y 3100 kg/m³ y una relación de agua/cemento en masa de 0,4, se obtiene la siguiente masa volumétrica cemento: arena de las pastas de cemento analizadas:

- Hormigón gris: 1 : 5,2
- Hormigón rosa: 1 : 3,4

El resultado de este análisis confirma que el hormigón gris es más basto, debido que contiene una mayor proporción de arena en el cemento, además de haber sido formulado con un árido de mayor grosor, al contrario que el hormigón pigmentado rosa de la superficie, en el cual la cantidad de arena en el cemento es menor, además de contener los compuestos del pigmento rosa y una gran cantidad de calcio, como se observa en el espectro de EDS (Fig. 24). En un examen organoléptico se observa con facilidad que el hormigón pigmentado de la superficie es más fino que el hormigón gris.

3.2.2.4 Concentración de cloruros en el hormigón

Utilizando muestras de hormigón gris y hormigón rosa y teniendo en cuenta los valores utilizados como parámetro en el cálculo de masa volumétrica cemento - arena mencionado anteriormente, se ha llegado a los siguientes resultados:

- Concentración de cloruros en hormigón gris: 0,10 %
- Concentración de cloruros en hormigón rosa: 0,15 %

El nivel de concentración de cloruro entre la pasta de cemento gris y la pasta de cemento pigmentado rosa se justifica por la exposición de cada una de ellas al medio ambiente. La superficie de hormigón pigmentado de rosa está más expuesta a la penetración de sales y cloruros dispersos en el medio ambiente por su localización en el exterior de la escultura. A pesar de esto, los valores obtenidos tanto en el hormigón gris como en el hormigón rosa son considerados bajos. En consecuencia, la corrosión de la armadura metálica no se debe a la presencia de cloruros, sino a la carbonatación del hormigón debido a la penetración de dióxido de carbono al interior de la escultura. Esto ha reducido el pH de la obra a niveles inferiores a 11, por lo cual se ha acelerado la corrosión del

metal. Esto se corrobora de manera empírica observando el proceso de oxidación que ha sufrido el acero de sustento de la escultura, el cual se ha degradado en forma de delgadas hojas paralelas al largo de la vara de metal.

3.2.3 Análisis de la capa cromática

3.2.3.1 Análisis con microscopía óptica con luz reflejada (MO)

Las muestras M5 (Fig. 20), M6 (Fig. 21) y M8 (Fig. 22) revelan una capa pigmentada de color rosa, la cual contiene granos de color negro, blanco y tonalidades rojizas, aparentemente producto del árido añadido a la mezcla del mortero. En la muestra M8, se observa un grano de tamaño superior al resto, de superficie redondeada y aspecto transparente. En esta misma muestra, se advierte una zona cubierta con una sustancia de color blanco, asentada sobre la capa de suciedad superficial, lo que podría significar que es una materia externa a la composición del hormigón.

En todas las muestras, especialmente la M5 y M8, se observa que la intensidad de la tonalidad rosa de la estratigrafía es más intensa cuanto más se acerca a la superficie. En contraposición, la granulometría del árido de la mezcla va decreciendo en las zonas cercanas al exterior de la muestra.



Fig. 20 Muestra estratigráfica M5 (100x), correspondiente al hormigón pigmentado en la zona centro interior de la espalda de la figura masculina.



Fig. 21 Muestra estratigráfica M6 (200x), correspondiente al costado izquierdo inferior del tronco de la figura femenina.

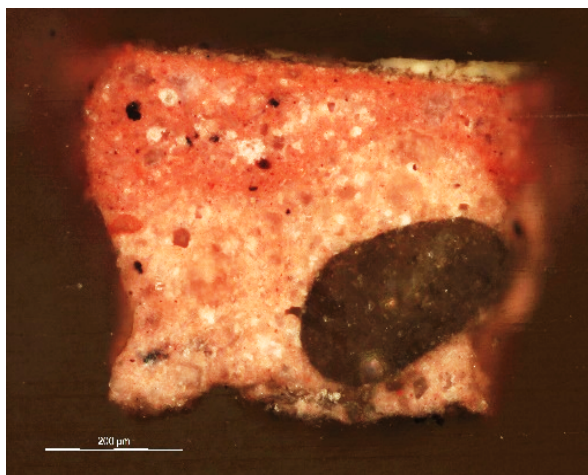


Fig. 22 Muestra estratigráfica M8 (100x), correspondiente a la zona de reintegración de la capa cromática del costado izquierdo de la rodilla derecha de la figura masculina.

3.2.3.2 Análisis con Microscopía Electrónica FE-SEM-EDS

Las muestras revelan en general una mayor presencia de calcio (Ca) y silicio (Si) y, en menor medida, hierro (Fe), azufre (S) y Aluminio.

Tomando como ejemplo la muestra M8 (Fig 23), ya que es la más representativa del estado de la capa cromática, y apoyándose en el espectro de EDS (Fig. 24) para analizar zonas específicas, se obtienen los siguientes resultados:

La muestra está compuesta principalmente de calcio (Ca) (Fig. 25) y silicio (Si) (Fig. 26), los cuales pertenecen a la constitución del cemento. El oxígeno (O) (Fig. 27) está presente en toda la muestra, pero, al igual que el silicio, se concentra especialmente en dos grandes granos de árido. Estos muestran la presencia de cuarzo (SiO_2) en el árido del hormigón como lo demuestra el espectro de EDS (Fig. 28 y 29).

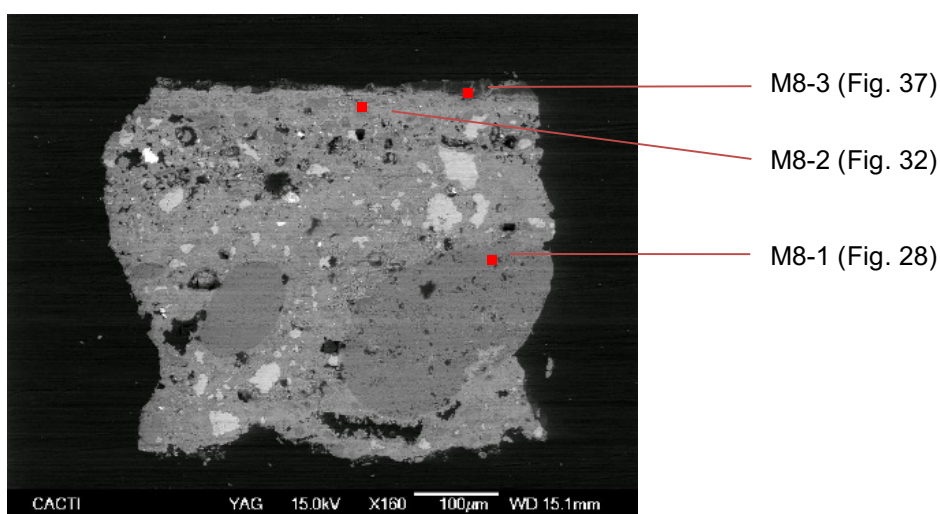


Fig. 23 Imagen de FE-SEM (160x). Muestra M8 (160x) y zonas analizadas en la muestra.

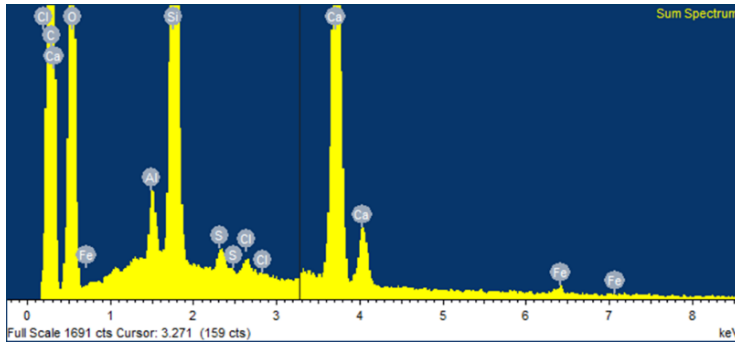


Fig. 24 Espectro de EDS de la muestra M8 (100x).



Fig. 25 Mapa de EDS. Calcio (Ca) en la muestra M8 (160x).

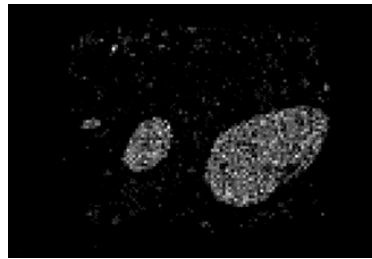


Fig. 26 Mapa de EDS. Silicio (Si) en la muestra M8 (160x).

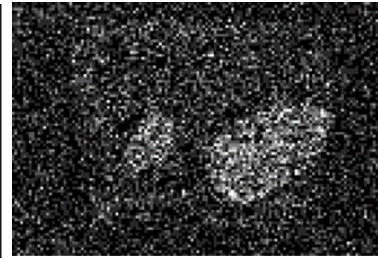


Fig. 27 Mapa de EDS. Oxígeno (O) en la muestra M8 (160x).

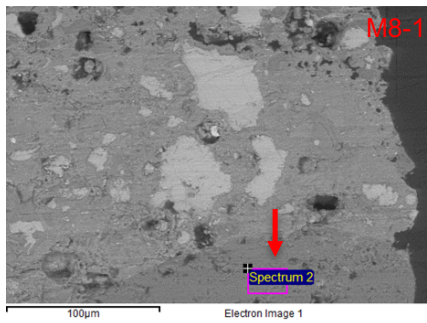


Fig. 28 Zona de muestreo M8-1 (160x) analizada por espectro de EDS.

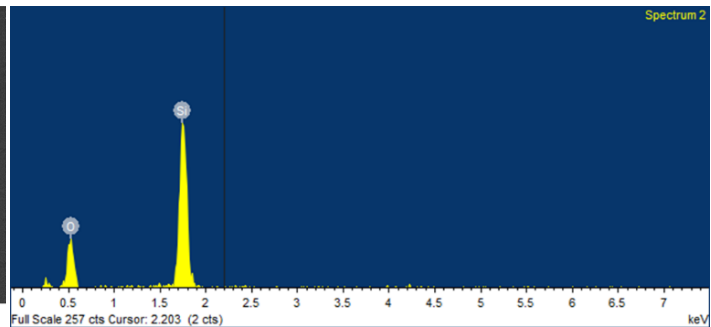


Fig. 29 Espectro de EDS de zona de muestreo M8-1 de la muestra M8. Los picos marcan la presencia de Si y O, confirmando la presencia de mineral cuarzo (SiO_2).

También se observa la presencia de hierro (Fe) (Fig 30), así como aluminio (Al) en la composición de la capa cromática (Fig 31). Esta presencia se confirma en el espectro de EDS (Fig. 32 y 33) y se justifica por la composición del cemento Portland.



Fig. 30 Mapa de EDS. Hierro (Fe) en muestra M8 (160x).



Fig. 31 Mapa de EDS. Aluminio (Al) en muestra M8 (160x).

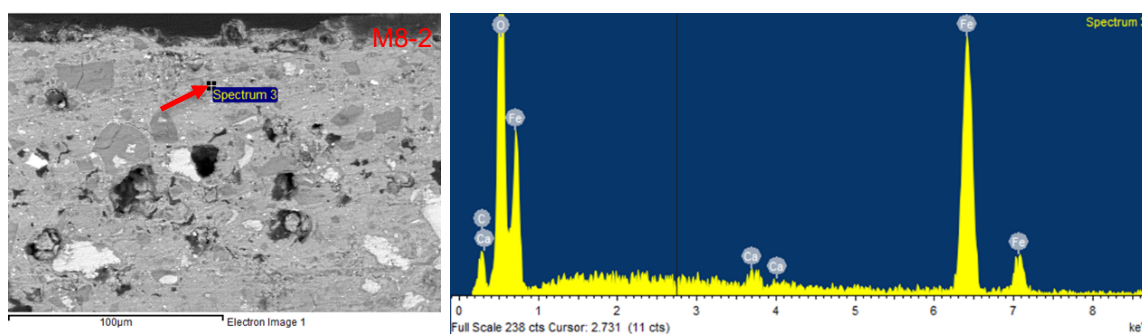


Fig. 32 Zona de muestreo M8-2 (160x), **Fig. 33** Espectro de EDS en zona de muestreo M8-2. Los picos marcan la presencia de Fe y O, confirmado la presencia de tierra de óxido de hierro (Fe_2O_3), utilizado para el pigmento rojo de hierro.

En menor medida se observa la presencia de sodio (Na) (Fig. 34), cloro (Cl) (Fig. 35) y azufre (S) (Fig. 36). El azufre se encuentra presente especialmente en la zona superficial izquierda de la muestra, posiblemente debido a la polución atmosférica depositada en la superficie de la escultura (SO_2) o debido a procesos provocados por la colonización microbiológica presente en la obra. En el espectro de EDS se detecta también la presencia residual de fósforo (P), el cual, junto al azufre, pueden formar parte de un compuesto orgánico de origen animal (Fig. 37 y 38).



Fig. 34 Mapa de EDS. Sodio (Na), **Fig. 35** Mapa de EDS, Cloro (Cl) **Fig. 36** Mapa de EDS. Azufre (S) en la muestra 8 (160x).

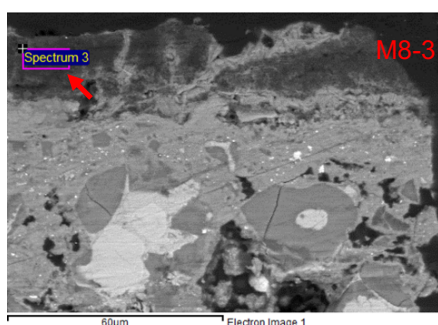


Fig. 37 Zona de muestreo M8-3 (110x), analizada por espectro de EDS.

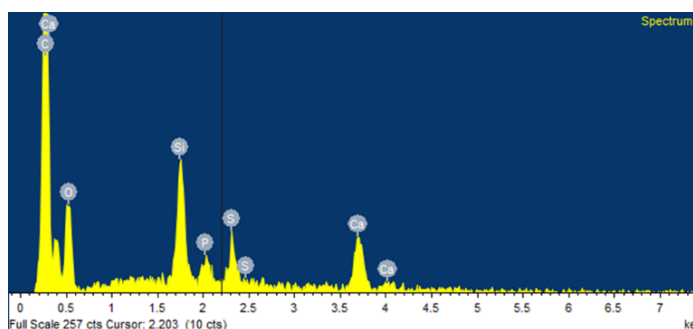


Fig. 38 Espectro de EDS de la zona de muestreo M8-3 de la muestra 8. La presencia de azufre (S) y fósforo (P) muestran la posible presencia de un compuesto orgánico de origen animal.

3.2.3.3 Análisis por Micro DRX

En la muestra 1 se fijaron ocho puntos de análisis correspondientes a tres zonas diferentes (Figs. 39 y 40):

- Argamasa pigmentada de una reintegración posterior: puntos 1, 2 y 3.
- Argamasa pigmentada original: puntos 4 y 5.
- Cemento de una reintegración posterior: puntos 7 y 8.

En la muestra 2 (Fig. 41) se caracteriza los productos compuestos encontrados en el polvo de cemento Sika Monotop 412S® utilizado en la intervención de conservación – restauración en la que se basa este trabajo.



Fig. 39 y 40 Muestra 1. Fragmento de hormigón analizado con Micro EDX.



Fig. 41 Muestra 2. Polvo de cemento de reintegración utilizado en la intervención de conservación – restauración de Ternura.

Los análisis en las argamasas realizados por el *Laboratório Hercules*, demuestran la presencia de los siguientes elementos con la correspondiente abundancia:

Tabla 1. Análisis de Micro DRX en la Muestra 1, puntos 1, 2 y 3. Argamasa pigmentada de restauración posterior

Nombre del compuesto	Formula Química	Abundancia
Calcita	CaCO_3	P.1 +++ P.2 ++++ P.3 +++++
Cuarzo	SiO_2	P.1 +++++ P.2 +
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	P.3 +++
Óxido de hierro - calcio	CaFeO_3	P.1 + P.2 ++
Silicato de hidruro cálcico	$\text{CaH}_4\text{Si}_2\text{O}_7$	P.2 ++
Tobermorita, 9A	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$	P.1 +
Magnesita	MgCO_3	P.2 +
Óxido cálcico	CaO	P.2 +
Hidróxido de silicato cálcico hidratado	$\text{Ca}_4\text{Si}_5\text{O}_{15}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	P.3 +

Tabla 2. Análisis de Micro DRX de la Muestra 1, puntos 4 y 5. Argamasa pigmentada original

Nombre del compuesto	Formula Química	Abundancia
Calcita	CaCO_3	P.4 +++++ P.5 ++
Óxido aluminio cálcico	CaAl_2O_4	P.5 +++++
Hidróxido de silicato cálcico	$\text{Ca}_4\text{Si}_5\text{O}_{13}5(\text{OH})_2$	P.5 +++
Tilleyita	$\text{Ca}_5\text{Si}_2\text{O}_7(\text{CO}_3)_2$	P.5 ++
Alunita	$\text{K}(\text{Al}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2)$	P.5 ++
Silicato cálcico	CaSiO_3	P.4 vestigios

Tabla 3. Análisis de DRX de la muestra 1, cemento de reintegración posterior, puntos 7 y 8.

Nombre del compuesto	Formula Química	Abundancia
Calcita	CaCO_3	P.7 +++++ P.8 +++++
Óxido de aluminato cálcico	CaAl_2O_4	P.7 ++
Hidróxido de silicato cálcico	$\text{Ca}_4\text{Si}_5\text{O}_{13}5(\text{OH})_2$	P.7 +
Tilleyita	$\text{Ca}_5\text{Si}_2\text{O}_7(\text{CO}_3)_2$	P.7 +
Óxido cálcico	CaO	P.7 + P.8 +
Tobermorita, 9A	$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$	P.8 vestigios

Tabla 4. Análisis de DRX de la muestra 2, polvo de cemento de reintegración

Nombre del compuesto	Formula Química	Abundancia
Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	+++++
Óxido de hierro aluminio cálcico	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{FeO}_62\text{O}_5$	++
Óxido de hierro-calcio	$\text{Ca}_4\text{Fe}_{14}\text{O}_{25}$	+
Calcita	CaCO_3	+

Los difractogramas de DRX de las argamasas (Apéndice II, Fig. 105 a 112, págs. 19 a 21) revelan una importante presencia de calcio y silicatos. Los principales componentes del cemento Portland son óxidos de calcio (44 %) y óxidos de silicio (14 – 15 %), los cuales se encuentran dentro de los diferentes compuestos encontrados en la muestra. En menor medida se encuentran compuestos a base de óxido de aluminio (CaAl_2O_4). Cuando algunos compuestos del cemento se hidratan, producirán algunos aluminatos de calcio hidratados y geles formados por silicatos de calcio hidratados (Balbás et al., 2009, pág. 119)

La argamasa de una restauración posterior (puntos 1, 2 y 3) está presente por el óxido de hierro (III) presente en el óxido de hierro calcio, el cual podría aportar la tonalidad rosa intenso que le caracteriza. En la argamasa pigmentada original (puntos 4 y 5), la tonalidad rojiza puede ser dada por la Alunita, que, aunque en estado puro es incoloro, generalmente cuenta con impurezas de hierro y sodio, siendo menos intenso que la argamasa de restauración posterior. El cemento presente en esta argamasa original podría tratarse del mismo tipo que se utilizó para la fabricación del hormigón armado del interior de la obra.

Los compuestos presentes en la muestra 2, del polvo de cemento del reintegración tiene compuestos de base semejantes a las otras argamasas, pero en diferente abundancia, lo cual podría justificar las propiedades de bajo nivel de cloruros y de sulfatos. Por otra parte la cantidad de compuestos es claramente inferior al cemento aplicado en una intervención de restauración posterior (puntos 7 y 8).

Al contrario de lo que se pensaba antes de realizar estos estudios, los análisis de MO y FE-SEM-EDS revelan que la capa pictórica se compone de los mismos elementos que la capa de hormigón gris. Esto descarta la suposición de que las películas aplicadas en intervenciones posteriores fueran realizadas con un tipo de pintura industrial, confirmando que fueron realizadas con una mezcla de cemento con pigmento rosa.

Los resultados de los análisis con Microscopía Óptica llevan a presumir que la capa superficial de la escultura, compuesta de cemento pigmentado, fue aplicada de una sola vez, descartando la hipótesis de una segunda capa. Hay dos razones que justifican esta suposición: en primer lugar, la imposibilidad de aplicar una capa de aproximadamente 200 μm de profundidad, teniendo en cuenta el tamaño de la escultura y la técnica de ejecución de vaciado, detallados en el capítulo 2; en segundo lugar, a raíz de la fabricación, para otro experimento, de unas muestras de hormigón, se comprobó que la

superficie estas que estuvieron unidas al molde durante el secado de las muestras obtuvieron una textura lisa de aspecto homogéneo, en la cual se observó una concentración de partículas de árido y cemento de tamaño reducido. A medida que el cemento se distancia de la zona en contacto con el molde, los granos de árido se tornan más gruesos, dándole un aspecto rugoso y heterogéneo. Por todo esto, se deduce que la capa cromática superficial es más fina y de un color más intenso que la capa interior, debido al arrastre de agua conteniendo granos de menor tamaño tanto de cemento como de árido y pigmento, hacia la superficie de la matriz del molde.

Los resultados de los análisis con FE-SEM-EDS muestran que los componentes principales de la capa cromática de la escultura “Ternura” son sobre todo calcio, silicio y oxígeno, y en menor medida hierro, aluminio, cloro y azufre. A esto se suma la presencia residual de fósforo.

La tonalidad rosa característica de la superficie de “Ternura” es debida un pigmento a base de hierro, probablemente hematita (óxido de hierro III - F_2O_3). En las muestras analizadas con Micro DRX se identificó un compuesto a base de óxido de hierro (III) ($CaFeO_3$). El pigmento óxido de hierro es conocido desde el Paleolítico, siendo utilizado con fines rituales y artísticos (Helwing, 2007, pág. 47).

El óxido de hierro produce una tonalidad rojiza, mientras que otros minerales agregados a la mezcla pueden atenuar o modificar el color final del pigmento. Minerales como el cuarzo o arcillas están a menudo presentes en los pigmentos de óxido de hierro. El tipo de concentración de estos minerales accesorios dependerá del tipo de tierra y del grado de procesamiento de los pigmentos de tierra de óxido (pág. 39).

En el cemento pigmentado de la escultura “Ternura”, el calcio y el aluminio puede que fueran mezclados con el pigmento de óxido de hierro, dando como resultado una tonalidad de color rosa.

La presencia de oxígeno junto al silicio da lugar a cuarzo (SiO_2), presente en toda la superficie de la muestra, especialmente en los dos grandes granos (probablemente de arena) que destacan en la estratigrafía de la muestra M8.

La presencia de azufre en la muestra, es posiblemente debida a la polución atmosférica, y en particular, al dióxido de azufre (SO_2), o a procesos provocados por la colonización microbiológica presente en la obra. Junto al azufre, el cloro también puede estar presente en algunos de los materiales que constituyen la pasta de cemento rosa, o pudieron introducirse en el sustrato, arrastrados por la humedad o las lluvias del entorno donde se

localizaba originalmente la escultura.

El fósforo hallado se explica por la presencia de restos orgánicos de origen biológico presentes en buena parte de la obra. Esto puede ser debido a la presencia de telas de araña, ya observadas en diferentes lugares de la obra durante el examen organoléptico.

3.2.4 Análisis de microorganismos

Se hicieron observaciones macro y microscópicas de todos los tubos inoculados con las muestras biológicas. Después de un mes de cultivo, los tubos presentaron crecimiento autotrófico visible.

Las observaciones de las muestras mediante microscopía óptica permitieron la visualización de los individuos, de los grupos de hifas y estructuras de hongos, así como de algas verdes autótrofas, aisladamente o en grupo.

En una evaluación preliminar, fue posible visualizar individuos que podrían pertenecer al género *Pleurococcus sp.* (Fig. 43), o al género *Chlorella sp.* (Fig. 44). Sin embargo, las observaciones microscópicas (Figs. 42 a 47) permitieron también percibir que en todas las muestras existía una gran variedad de algas verdes, frecuentemente asociadas a hifas de hongos filamentosos. En algunos casos fue posible observar igualmente bacterias, levaduras, y lo que podría reconocerse como cianobacterias filamentosas como *Nostoc sp.* (como en la Fig. 46).

Siendo así, dada la inmensa variedad microbiológica representada en el conjunto de las muestras recogidas, con vistas a obtener una identificación de elevado grado de fiabilidad, sería necesario realizar un conjunto de metodologías de aislamiento ficológico y microbiológico.

Las especies identificadas fueron microalgas ubicuas detectadas frecuentemente en condiciones subaéreas, formando películas verdes en las zonas húmedas de árboles, rocas y tableros húmedos. En las figuras 48 y 49 se presenta un mapa de microorganismos obtenidos de las muestras recogidas y detalladas en la figuras 13 y 14 del apartado 3.1.4.

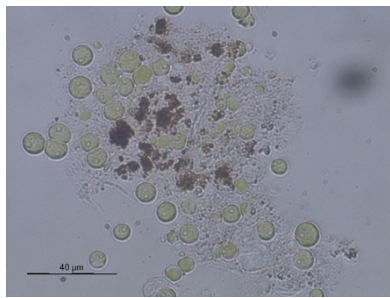


Fig. 42 Imagen de microscopía óptica (50x) de hifas y algas verdes autótrofas.

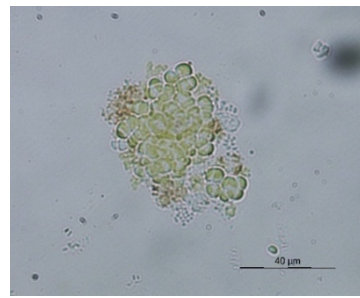


Fig. 43 Imagen de microscopía óptica (50x) de hifas y algas verdes autótrofas.

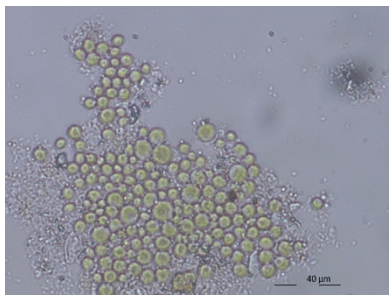


Fig. 44 Imagen de microscopía óptica (50x) de algas verdes, potencialmente *Chlorella sp.*

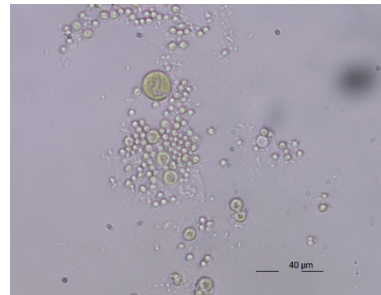


Fig. 45 Imagen de microscopía óptica (50x) de algas verdes autótrofas.

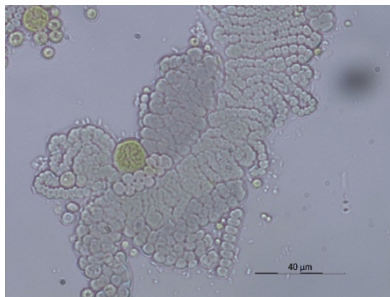


Fig. 46 Imagen de microscopía óptica (50x) de algas verdes y cianobacterias filamentosas.

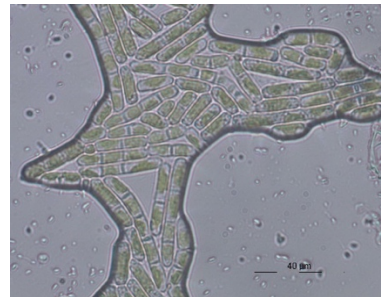


Fig. 47 Imagen de microscopía óptica (50x) de un alga verde de gran dimensión.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

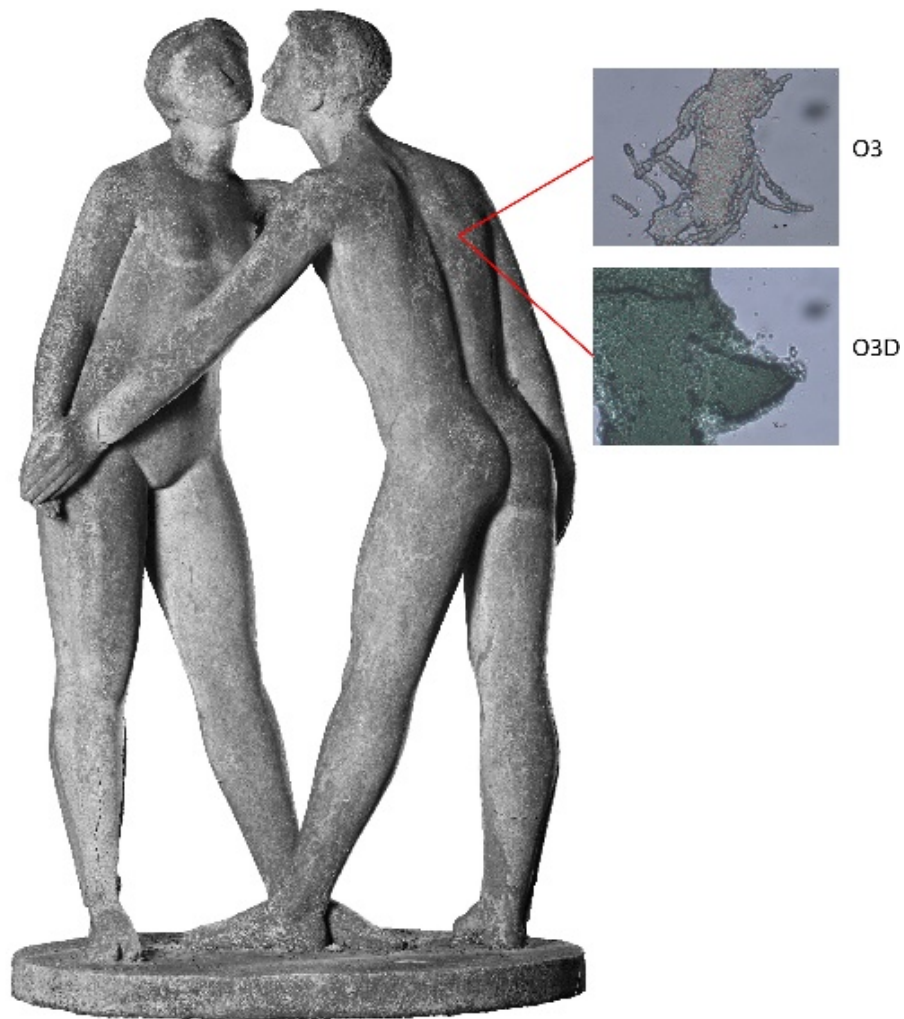


Fig. 48 Mapa de localización de microorganismos en la escultura “Ternura”. Algas (vista frontal de la obra).

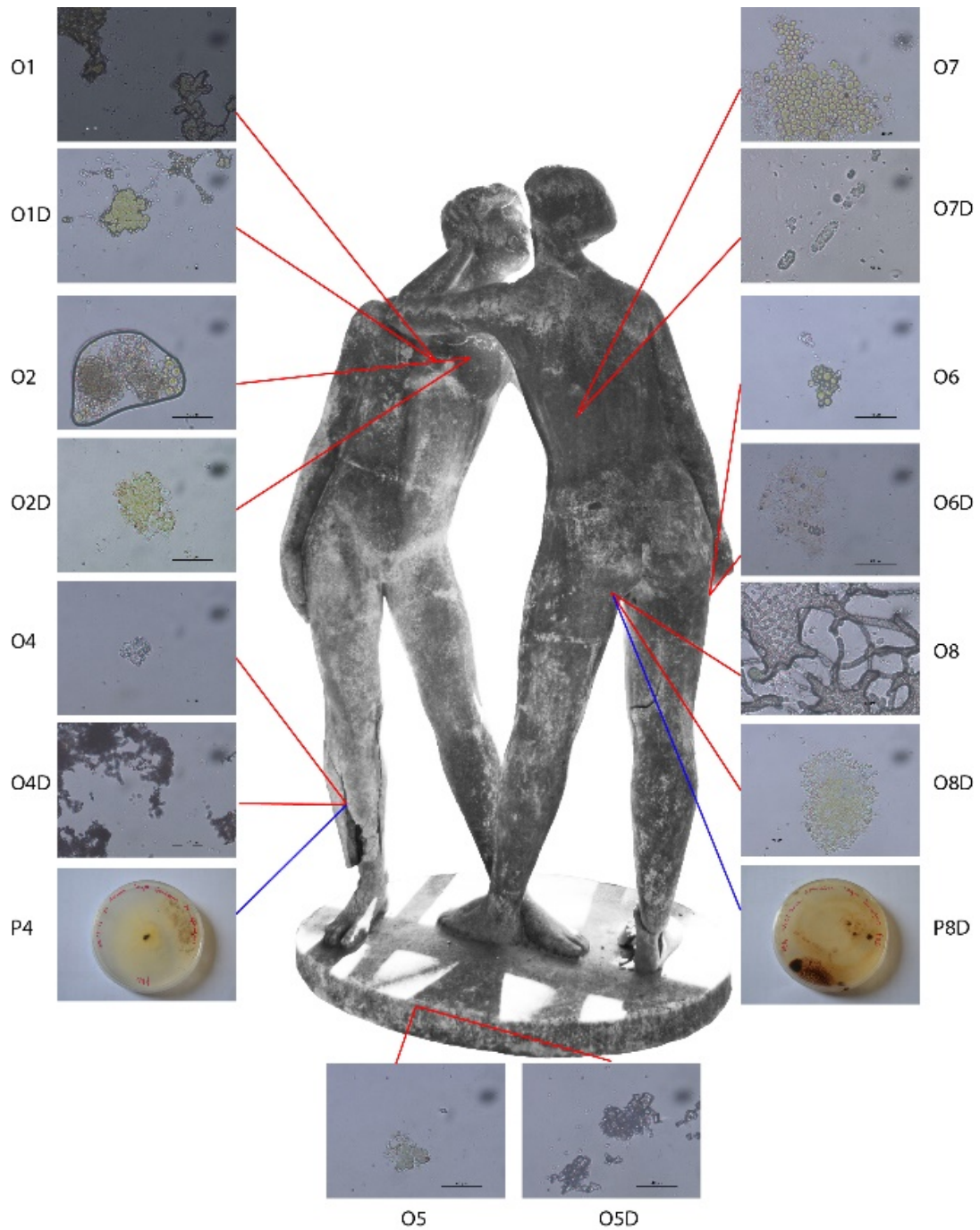


Fig. 49 Mapa de localización de microorganismos en la escultura "Ternura". Algas y hongos (vista trasera de la obra).

Los análisis del biofilm, presente en la superficie de la escultura y del área donde originalmente se localizaba, concluyen que los microorganismos que colonizan la obra son de las mismas especies que se pueden encontrar en el área que circunda a la localización original de la obra. Por lo tanto, se puede afirmar que la causa de esta colonización se debe a la cercanía de vegetación y a la exposición continua a un nivel elevado de luz, humedad relativa, agua de lluvia y polución, circunstancias que favorecen notablemente el crecimiento de microorganismos. La posibilidad de colonización aumenta si, por causa de la carbonatación del hormigón, como efectivamente ha acontecido, se reduce el nivel de pH de la superficie, ya que en el caso de las algas, estas pueden colonizar superficies de cemento con un pH entre 4 y 10 (Gómez, 2008, pág. 143). Las algas *Stichococcus sp.* y *Chlorella sp.* son los géneros más comunes encontrados en edificios, monumentos y estructuras de hormigón armado (Márquez, Sanchez-Silva, & Husserl, 2013, pág. 5).

Las algas pueden atraer a otros organismos, los cuales pueden afectar en mayor grado a la superficie de hormigón. Según los análisis microscópicos y de cultivo, se establecieron pequeñas colonias de hongos que habrían nutrido del polvo acumulado en la superficie de la obra y sobre los restos de algas muertas. En algunos casos podrían aparecer especies por simbiosis, tales como líquenes. Sin embargo, en el caso de “Ternura” no han llegado a invadir hasta un nivel que afectase a la superficie de la obra.

3.2.5 Pruebas con biocidas

Después de mantener a las muestras cultivadas para las pruebas de biocida expuestas al medio ambiente, se pudo comprobar que muestras D2, D4, D8 y D9, realizadas con biocida Durolith Bioclean L, no sufrieron de reaparición de especies microbiológicas (Fig. 50). De las realizadas con biocida CaSoPal Plus (Fig. 51), las muestras C4, C8 y C9, no sufrieron reaparición de especies microbiológicas, mientras que la muestra C2, que corresponde al pecho de la figura masculina, sufrió una recolonización biológica (Fig. 52).

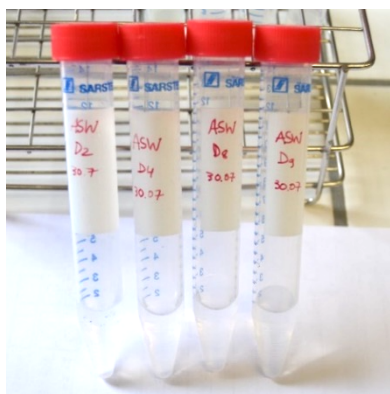


Fig. 50 Muestras biológicas tratadas con biocida Duroolith Bioclean L. De izquierda a derecha: D2, D4, D8 y D9.

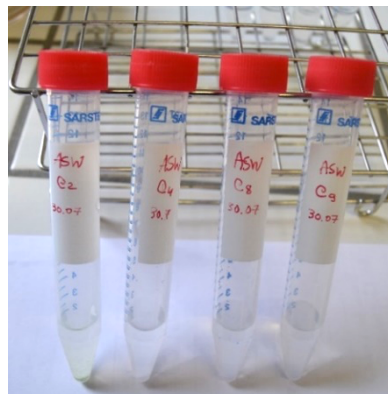


Fig. 51 Muestras biológicas tratadas con CaSoPal Plus. De izquierda a derecha: C2, C4, C8 y C9.

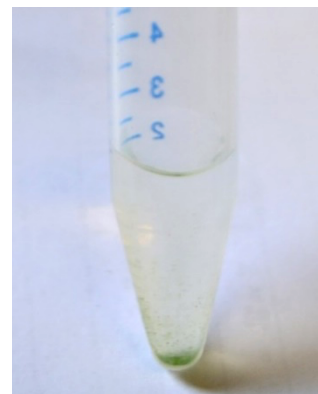


Fig. 52 Detalle de muestra C2, tratada con CaSoPal Plus y afectada con recolonización de microorganismos.

En las zonas donde se aplicaron biocidas no se produjeron nuevas colonizaciones de microorganismos, ni en la escultura “Ternura” ni la obra de granito cercana a la localización original de la misma.

En las zonas de recogida de muestra C2 y C4 (Fig. 53 y 54), se observaron veladuras blanquecinas producto de las nanopartículas de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que conforman el producto biocida CaSoPal Plus. Por otra parte, no fue posible visualizar el estado actual de la zona de muestreo C8-D8 (Fig. 55), ya que fue reintegrada en la intervención de conservación restauración. En la escultura de granito, de la que se recogió la muestra C9 – D9 (Fig. 56), se observa la reaparición de colonización biológica en la muestra C9, mientras que la muestra D9 no muestra rastros de especies biológicas.



Fig. 53 Muestras C2 y D2, recogidas en pecho de la figura masculina.



Fig. 54 Muestras C4 y D4, recogidas en el glúteo de la figura femenina.



Fig. 55 Muestras C8 y D8, recogidas en la pierna derecha de la figura masculina.

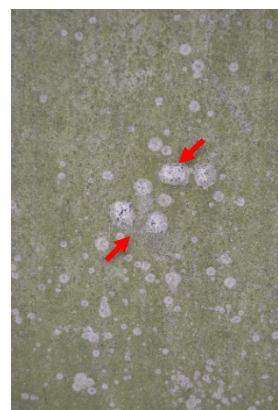


Fig. 56 Muestras C9 y D9, recogidas en la escultura de granito de los jardines de la FBAUP.

Los resultados de la aplicación de biocidas sobre la superficie de la escultura demuestran la efectividad del biocida Duroolith Bioclean L, a base de litio, por encima del biocida CaSoPal Plus®, cuyos componentes son nanopartículas de cal y etanol. La causa de la menor efectividad biocida de CaSoPal Plus® puede estar relacionada con la extrema volatilidad del etanol de su composición, ya que esto reduce drásticamente el tiempo de actuación del biocida.

La muestra aislada en la que se produjo la colonización de microorganismos corresponde al pecho de la figura masculina, superficie que se encontraba especialmente recubierta con biofilm, ya que esta zona era favorecida por escorrentías de agua y recepción media de intensidad solar, lo cual permitió un entorno adecuado para el crecimiento de algas. La identificación de esta zona de la escultura permite utilizarla como patrón a la hora de realizar un seguimiento del crecimiento de especies de microorganismos dentro del plan de conservación preventiva de “Ternura”.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

4. DIAGNÓSTICO Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

Según el informe técnico de la Facultad de Ingeniería de Oporto y como se desarrolló en el capítulo 2, “Ternura” se encontraba emplazada en los jardines de la FBAUP desde el año 1954²⁹. Debido a su deficiente estado de conservación la escultura, fue visitada y analizada el día 16 de abril de 2012 por el Profesor Catedrático de Ingeniería Civil Aníbal Costa y la Ingeniera Civil Esmeralda Paupério, ambos procedentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto (FEUP). De esta visita se redactó la Nota Técnica IC147-RVT223-A-NG312, firmada el 26 de abril de 2012, en la que se detallan los daños sufridos por la obra de estudio mientras estuvo expuesta en su localización original (Costa & Pauperio, 2012, pág. 2). Las alteraciones especificadas por los autores de este documento son:

- Corrosión de las armaduras principales de la escultura.
- Corrosión de las armaduras secundarias de la escultura (alambres y piezas de metal que no constituyen la armadura central de sustento, sino que apoyan a esta).
- Agrietamiento de la argamasa de cemento, levantamiento con pérdida de material, humedad y depósitos biológicos.

Posteriormente, debido a que la Dirección de la FBAUP tomó conciencia del mal estado de conservación de “Ternura”, la escultura fue trasladada al hall de acceso del Pabellón Carlos Ramos, anexo a los jardines de la Facultad de Bellas Artes. Después de la entrega del informe por parte de la FBAUP, la dirección de la FBAUP se puso en contacto con la Directora del Máster de Conservación y Restauración de la *Universidade Católica Portuguesa* (UCP) y orientadora de esta disertación, Profesora Eduarda Vieira, para organizar una visita a la obra por parte de la Universidad.

²⁹ El primer contacto con la escultura “Ternura” por parte de la UCP fue realizada a raíz del contacto de la FBAUP con el Centro de Conservação e Restauo de la UCP. La primera visita a la obra fue realizada el día 9 de marzo de 2011. Después de esta visita se recomendó contactar con la FEUP para conocer el estado de conservación de los materiales de la obra.

En marzo de 2013, el autor de este estudio, junto a la directora de esta disertación, realizaron una visita a la escultura “Ternura”, mediante la cual constataron el estado de conservación observado y redactado en la Nota Técnica antes mencionada, a lo que hay que añadir alteraciones de características estéticas, como reintegraciones posteriores, tanto cromáticas como estructurales, modificaciones de la tonalidad de la capa cromática en la zona de las axilas, así como suciedad superficial (Apéndice II, Figs. 18 a 20, pág. 3).

En noviembre de 2013 se realizó una nueva visita a la escultura para recoger muestras de la superficie policromada. En esta ocasión se comprobó que el proceso de degradación de las armaduras de las piernas de la obra continuaba activo. Esto fue corroborado al observar el desprendimiento de un fragmento de grandes proporciones, correspondiente al lateral exterior de la zona inferior de la pantorrilla de la pierna derecha de la figura masculina (Fig. 57 y 58). Debido a esto, el Museo de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto decidió improvisar una protección de emergencia en las zonas agrietadas que corrían peligro de desprendimiento, disponiendo cintas de algodón alrededor de estas superficies.



Fig. 57 Estado de conservación de la pierna derecha de la figura masculina en marzo de 2013.



Fig. 58 Laguna estructural provocada por el desprendimiento de un fragmento de gran tamaño.

El 2 de junio de 2014, al comenzar la intervención de conservación – restauración, se realizó un nuevo y definitivo análisis organoléptico de la escultura para determinar su estado de conservación, en ella se clasificaron los daños en la obra en dos tipos:

alteraciones de la superficie (incluyendo la capa cromática) y alteraciones del sustrato de hormigón de la obra.

4.1 Estado de conservación de la obra

4.1.1 Estado de conservación de la superficie

La obra presentaba alteraciones en la capa cromática original, ocasionadas por acumulación de polvo, que constituía una capa de suciedad superficial, especialmente gruesa en zonas de la coronilla (Fig. 59) y de los hombros. También había alteración de la capa cromática en la axila izquierda de ambas figuras, producida aparentemente a causa de escorrentía de agua. Estas manchas se extendían hasta parte del costado del tronco de las figuras. Se encontró exfoliación de la capa superficial, con la consiguiente pérdida de capa cromática de intervenciones posteriores (Fig. 60), también colonización biológica, que, junto con el polvo, proporcionaba a la escultura un aspecto gris verdoso, el cual impedía la correcta apreciación del color rosa original de la obra (Fig. 61). También se hallaron grietas de diferente tamaño y profundidad (Fig. 62).

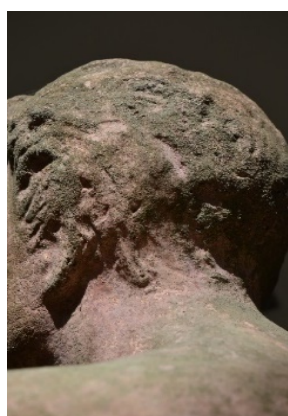


Fig. 59 Suciedad superficial por acumulación de polvo y colonización biológica.



Fig. 60 Exfoliación de la superficie de la obra.



Fig. 61 Colonización biológica.



Fig. 62 Grieta en la pierna derecha de la figura masculina.

La suciedad superficial y la colonización biológica, son alteraciones características de las piezas escultóricas que situadas en zonas exteriores y en este aspecto, “Ternura” no fue la excepción. Pese a que la obra fue anteriormente intervenida mientras estuvo en los jardines de la FBAUP, las distintas especies arbóreas del jardín de la Facultad, localizado dentro del centro urbano y con evidentes niveles de contaminación del tráfico del centro de Oporto (Monteiro, 2001, pág. 76), ocasionaron acumulación de polvo y polución sobre la totalidad de la superficie de la obra, en la cual se asentaron especies de microorganismos.

4.1.2 Estado de conservación estructural de la obra

Desde el punto de vista estructural, no fue posible definir un nivel de estado de conservación general de la obra, ya que las distintas zonas de la misma presentaban niveles de degradación muy diferentes, desde un nivel de estado de conservación bueno a otro muy grave.

Para facilitar la descripción del estado de conservación, se ha dividido imaginariamente la escultura en tres zonas, lo cual se expresa en la Figura 63:

- Zona superior: abarca desde la coronilla de ambas figuras, hasta la zona inferior de los glúteos de las mismas (zona color rojo).
- Zona inferior: desde el inicio de las piernas, debajo de la zona de los glúteos, hasta los pies (zona color azul).
- Base o peana (zona color verde).



Fig. 63 División de la escultura por zonas: Rojo, zona superior; azul, zona inferior; verde, base o peana.

Tanto la zona superior (rojo) como la zona de la base (verde) evidenciaban un estado de conservación bueno. La zona inferior (azul) era la más degradada de la escultura y debió ser estudiada aparte del resto. A continuación se detalla el estado de conservación de cada una de las zonas antes mencionadas.

4.1.2.1 Estado de conservación de la zona superior

En general, el estado de conservación de la zona superior de las dos figuras era bueno, exceptuando el brazo derecho de la figura masculina a la altura de la muñeca. Esta zona experimentaba agrietamiento y levantamiento del recubrimiento de hormigón, lo cual provocó el desprendimiento y pérdida de la zona inferior – posterior del brazo (Fig. 64). Este desprendimiento dejó expuesta la estructura metálica del interior del hormigón, la cual padecía un serio nivel de corrosión que podía comprometer la estabilidad de la zona que protegía. En la superficie anterior de la muñeca, y continuando con la pérdida de sustrato mencionada anteriormente, se observaba agrietamiento y levantamiento del hormigón en forma de V (Fig. 65).



Fig. 64 Pérdida de sustrato en la zona posterior de la muñeca de la figura masculina.



Fig. 65 Agrietamiento y pérdida de sustrato en la zona anterior de la muñeca masculina.

4.1.2.2 Estado de conservación de la zona inferior

El estado de conservación de las piernas izquierdas de ambas figuras era cuestionable. Aunque estas aparentemente no sufrían de corrosión de la armadura, puesto que no había señales de agrietamiento en la superficie, es necesario mencionar una grieta de grosor minúsculo que avanzaba por el centro de la peana, pasando por el pie de la figura femenina a la altura del empeine (Fig. 121, pág 112).

Las piernas derechas de ambas figuras presentaban un estado de conservación deficiente. En ellas se observaba agrietamientos de distinto nivel y gravedad, así como levantamiento, desprendimiento y pérdida del sustrato de hormigón.

En el costado exterior de la pierna derecha de la figura masculina se encontraba una gran laguna de sustrato de hormigón. La extensión de esta zona iba desde la unión del pie con la peana (Fig. 66), a la altura del tobillo, hasta la zona del muslo. Esta zona de pérdida se extendía por el lateral exterior de la pierna y abarcaba aproximadamente 30 centímetros de altura y 13 cm de ancho en la zona más extensa. La zona de pérdida volumétrica dejaba a la vista el metal de la armadura de la escultura, delatando su grave estado de conservación. La corrosión del metal era acentuada y tenía forma de láminas en paralelo a la longitud de la barra metálica. En el pie derecho, se advertía una grieta de aproximadamente 0.3mm de grosor que comenzaba en el centro del empeine y reducía su grosor hasta llegar al costado exterior del dedo pulgar.



Fig. 66 Pérdida de sustrato de hormigón en el pie derecho de la figura masculina.



Fig. 67 Grieta en zona lateral del pie derecho de la figura masculina, provocada por la pérdida de hormigón.

Por el costado interior de la pierna derecha de la figura masculina, se observaba una grieta de aproximadamente 0.2mm que subía por la base del pie a la altura del tobillo. Esta se engrosaba hasta alcanzar entre 0.6 y 0.8mm a la altura de la pantorrilla y se dividía en dos partes a la altura de la rodilla. Una de las grietas subía en línea recta, alcanzando la zona lateral del muslo (Fig. 67), mientras que la otra ascendía en diagonal hacia la zona trasera del muslo, creando un agrietamiento en forma de V. En la parte trasera de la pierna, desde la base hasta el muslo se veía la separación de la capa de hormigón. Esta división era más acusada en la zona de la pantorrilla, como se observa en la zona inferior de la figura 67.

La pierna derecha de la figura femenina presentaba un estado de conservación deficiente. Se observaban zonas de agrietamiento de distinta dimensión y profundidad en diferentes partes de la obra y también levantamiento y desprendimiento con pérdida de fragmentos de superficie volumétrica.

En la zona lateral interior de la pierna se advertía una laguna estructural (Fig. 68), que se traducía en la pérdida de sustrato de hormigón de gran tamaño, que abarcaba desde el lateral de la rodilla hasta la unión del lateral del pie con la peana. Uno de los extremos de la zona de pérdida estructural se unía con la gran grieta antes mencionada. Otro desprendimiento importante se observaba en la zona del talón y el tobillo (Fig. 68).



Fig. 68 Desprendimiento de sustrato en el lateral interior y el tobillo de la pierna derecha femenina.



Fig. 69 Detalle de agrietamiento y levantamiento, pierna derecha de la figura femenina.

Este desprendimiento y pérdida de hormigón, tanto de la superficie como del interior de la escultura, dejó expuesta la armadura de acero de la escultura, pudiendo observarse el mal estado de conservación de la misma. El metal presentaba un alto nivel de corrosión en forma de láminas que presionaban hacia el exterior la estructura de hormigón del gemelo de la pierna de la escultura. Del desprendimiento surgía una grieta de importante grosor que se iniciaba en la zona de los tobillos, y se extendía hasta la zona posterior de los muslos, reduciendo su tamaño y dividiéndose en dos, creando así un agrietamiento en zig zag (Fig. 69). Por esta causa, el gemelo sufría un grave peligro de desprendimiento por un levantamiento que lo mantenía prácticamente suspendido en el aire, sostenido solamente por dos alambres en la zona superior.

Las alteraciones relacionadas con la corrosión de la armadura de acero y el agrietamiento y pérdida de hormigón, no afectaban a una extensión importante de la escultura, pero sí la zona más importante de la obra, cuya estabilidad estructural depende de las piernas exteriores sobre las que descarga toda la obra. En caso de agravarse las alteraciones, la conservación de la pieza corría grave peligro.

4.2 Causas de degradación de los materiales componentes de la escultura "Ternura"

Es esencial, para una adecuada intervención de conservación – restauración, comprender las causas de degradación de los diferentes materiales de la escultura y los motivos de dicha degradación.

Como indica la Nota Técnica, realizada por el Profesor Anibal Costa y la Ingeniera Esmeralda Pauperio, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, mencionada al inicio de este capítulo, la degradación de la escultura "Ternura" se debía a la corrosión de la armadura metálica y al desprendimiento de la capa de hormigón que cubre a la armadura (Costa & Pauperio, 2012, pág. 4). La mayor parte de las alteraciones producidas desde 1953 se debieron a los agentes climáticos y de contaminación medioambiental. A esto es necesario añadir que la escultura, durante su estancia en los jardines de la Facultad, estuvo expuesta sobre una peana de hormigón con ladrillos en el exterior. Estos últimos, a causa de su porosidad, pudieron permitir el ingreso de agua por capilaridad hacia la escultura. A causa de las características del jardín y del medio ambiente, los ladrillos de la peana siempre se han mantenido húmedos, albergando así una importante colonización biológica en su superficie (Fig. 70).



Fig. 70 Peana sobre la que se exponía "Ternura" en los jardines de la FBAUP.

La ciudad de Oporto se caracteriza por la presencia de grandes cantidades de partículas en suspensión, provenientes de la combustión industrial, vehicular y doméstica. De estos, la principal causa de polución es la provocada por la frecuente utilización de vehículos privados con pocos ocupantes (Monteiro, 2001, pág. 73).

Las alteraciones sufridas por la escultura en su primer emplazamiento, pudieron continuar en su destino en el hall del pabellón Carlos Ramos, añadiendo nuevas alteraciones posiblemente a causa de un drástico cambio medioambiental del entorno. El nuevo emplazamiento tiene un nivel de temperatura y humedad relativa que se traduce en un ambiente más seco, al cual debieron adaptarse los materiales de la obra, llevando implícita la posibilidad de sufrir alguna perturbación física o química en el proceso.

El deterioro del hormigón se debe a la pérdida de las propiedades de los materiales que lo componen, reduciendo su durabilidad y afectando a su expectativa de vida útil. Este deterioro puede producirse por diferentes procesos físicos y químicos, los cuales provocarán una respuesta débil del material ante ataques que le afecten en el futuro, provocando finalmente el desmoronamiento de la estructura.

Según los resultados de los análisis realizados sobre los materiales de la escultura y registrados en el capítulo 3 de este trabajo, es posible determinar que la causa de la degradación de la escultura se debió a la corrosión de la armadura metálica que la sustenta, la cual, al oxidarse con rapidez se expandió, empujando la capa de hormigón que la recubría y produciendo los agrietamientos, levantamientos y desprendimientos del sustrato de hormigón ya mencionados.

La corrosión del acero de la armadura se produjo por la carbonatación del hormigón armado, provocada por la interacción del dióxido de carbono presente en la atmósfera y los hidróxidos alcalinos presentes en el interior del hormigón. Este fenómeno que se explica en detalle en el capítulo 1, punto 1.2.3 de este estudio. El proceso de carbonatación disminuyó el pH de la pasta que forma el hormigón, por lo cual su valor alcalino se redujo a niveles inaceptables para la conservación en estado pasivo del acero de la armadura (inferior a pH 11), desestabilizando de esta manera la correspondiente capa pasivante del metal y desencadenando el aceleramiento de la corrosión del acero.

La hipótesis de la corrosión por cloruros fue descartada, ya que este tipo de corrosión tiene características puntuales en forma de picaduras (*pitting*), al contrario del tipo de corrosión que presenta la obra, de distribución general y en forma de folios, que es característica de la corrosión por carbonatación. Además, el resultado del análisis de cloruros realizado en el sustrato de hormigón de la obra muestra un bajo nivel de concentración de cloruros en el cemento pigmentado (0,15%) y en el cemento gris del interior de la obra (0,10%). Todo esto se detalla en el capítulo 3, apartado 3.2.2.4 de este estudio.

El preocupante estado del acero de la armadura, corroída en forma de hojas, hizo imposible su conservación por pérdida de la densidad del metal, que despojó al acero de función de soporte estructural de la obra.

En cuanto a la colonización biológica, los resultados recogidos de los análisis realizados sobre “Ternura” y detallados en el capítulo 3, apartado 3.2.3, muestran que los principales organismos colonizadores fueron algas, cianobacterias y, en menor medida, hongos. Todos ellos, a pesar de no nutrirse especialmente de los materiales que componen el hormigón, sino de los residuos de polvo acumulado y restos de algas muertas, pueden dañar el sustrato de forma indirecta, tanto a través de su metabolismo como por la penetración mecánica al adherirse estos organismos a la superficie de la obra (Caneva, Nugari, & Salvadori, 2000, pág. 15).

Además de los daños antes mencionados, el biofilm producido por los microorganismos alteró la apariencia estética de “Ternura”, dándole de una tonalidad verde, la cual, junto a la gruesa capa de suciedad superficial, otorgó un color verde grisáceo que impedía la correcta fruición estética del color rosa original de la obra.

4.3 Registro de intervenciones posteriores de conservación - restauración

Pese a que no se tienen informes sobre las intervenciones anteriores de “Ternura”, ya que estas no fueron documentadas, se ha llegado a la conclusión, basándose en documentos fotográficos de distintas décadas de que esta fue intervenida por lo menos una vez en la década de 1990. En el catálogo ESBAP-FBAUP (1995, pág. 44), aparece una imagen de la escultura en su localización original en la cual el aspecto de la capa cromática es homogéneo y de un color rosa intenso, exceptuando zonas donde se distingue una capa de un color rosa más oscuro, aparentemente producto de una reintegración formal. Actualmente, estas zonas de tonalidad más oscura coincidían con la localización de grietas de gran tamaño, de levantamiento y de pérdida de sustrato de hormigón.



Fig. 71 "Ternura" en 1954.



Fig. 72 "Ternura" entre 1990 y 1995.



Fig. 73 "Ternura" en 2012.



Fig. 74 "Ternura" en 2014.

A simple vista, es posible determinar que se aplicó una capa de carga y pigmento rosa de mayor intensidad que la original un sobre la superficie de la escultura, a modo de lechada. El pigmento utilizado en el "repinte" es de una tonalidad más oscura que el original. El sustrato pigmentado original, con el paso del tiempo, se ha ido tornando de un tono más blanquecino, probablemente a causa de que la obra ha estado expuesta durante años a los rayos ultravioleta durante su estancia en los jardines de la FBAUP (Fig. 75).

Desde el punto de vista estructural, como fue mencionado anteriormente, se observaban intervenciones en las zonas de agrietamiento y levantamiento de la capa de hormigón. Estas se distinguen por tener un pigmento rosa de una tonalidad mucho más oscura que la original. En la figura 75, las superficies intervenidas aparecen como zonas verticales

gruesas y bien demarcadas, a diferencia del “repinte” mencionado en el párrafo anterior, que se mezcla con la capa cromática original siendo claro que el cemento pigmentado fue utilizado para la reintegración formal. Esta argamasa ha sido aplicada indiscriminadamente en la zona de agrietamiento y levantamiento, ya que ha penetrado a gran profundidad dentro de la escultura, lo cual no ocurre con la capa superficial original, que mantiene un grosor homogéneo.

Tal como se observa en el fragmento de hormigón de la figura 76, se ha podido encontrar una argamasa de cemento (puntos rojos) dentro de ciertos fragmentos de hormigón, las cuales a simple vista se pueden diferenciar de la argamasa de hormigón original. Asimismo, en el fragmento se encuentran restos de cemento pigmentado (punto azul) mencionado en el párrafo anterior y restos de acero corroído (punto amarillo) correspondiente a la armadura de refuerzo de la escultura.



Fig. 75 Pierna masculina. Diferentes tonos de pigmento en la superficie de la obra.

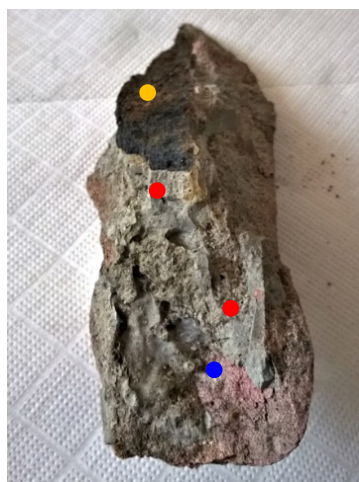


Fig. 76 Diferentes tipos de cemento en un fragmento de la escultura.

Estas intervenciones realizadas a la escultura, permiten suponer que a principios de la década de 1990, la obra ya había sufrido notables alteraciones estructurales, y es de suponer que las causas de estas alteraciones son las mismas que se han tratado durante la intervención de conservación – restauración en la que se basa esta disertación. Es de considerar que las intervenciones realizadas anteriormente en la FBAUP fueron netamente estéticas, con lo cual no supusieron un remedio al problema estructural de “Ternura”.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

5. INTERVENCIÓN DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

5.1 Propuesta de tratamiento de Conservación – Restauración

5.1.1 Primera propuesta de tratamiento

Ya conocidas las posibles causas de su degradación y ante la escasez de trabajos semejantes en los que fuese posible basarse, surgió la idea de realizar un tratamiento fundamentado en los estudios que Bertolini *et al.* hicieron sobre estructuras arquitectónicas de hormigón armado en Italia. Estos estudios proponían la repasivación del acero de la armadura por realcalinización electroquímica, en las que se implanta una corriente eléctrica continua en la obra, formando así un campo eléctrico. Mediante la aplicación de un electrolito (ej.: carbonato de sodio) se provoca una reacción catódica en la superficie, lo que incitará a la formación de iones hidroxilos, los cuales penetrarán por los poros hasta el interior del hormigón (Bertolini, Carsana, & Redaelli, 2008).

Una vez analizada por un experto, co-orientador de este trabajo, en hormigón del *Laboratorio Nacional del Engenharia Civil* (LNEC), de Lisboa, esta primera propuesta fue desechada para evitar posibles efectos secundarios sobre la escultura, tales como disgregación o pérdida de las características mecánicas del hormigón y alteraciones del sustrato en contacto con la armadura de acero que provocarían la disminución de la adherencia del mismo. Este tratamiento disminuiría del pH del hormigón, afectando a la pasivación de la armadura y acelerando el proceso de corrosión del acero.

5.1.2 Propuesta definitiva

Descartado el tratamiento antes citado, se propuso, como alternativa definitiva, una intervención de conservación - restauración basada en el cuidado extremo de la integridad física y material de “Ternura”, evitando en lo posible el desmontaje de las partes de la escultura, excepto en casos estrictamente necesarios.

Se determinaron los siguientes procesos de tratamiento: limpieza de la obra, eliminación de la colonización biológica, restitución de la estabilidad estructural de la escultura tanto

por la eliminación de la corrosión de la armadura de acero como por la aplicación de técnicas y materiales con vistas a este resultado, reintegración formal del sustrato pétreo desprendido de la superficie de la obra, reintegración cromática de las lagunas y, por último, la protección de la superficie de la escultura ante la colonización biológica

En este último apartado, se ha procurado adoptar una metodología equilibrada entre la conservación y la restitución estética y formal de la obra. En la escultura “Ternura” las características estéticas adquieren gran importancia, al ser una pieza perteneciente al patrimonio de la Facultad de Bellas Artes, por lo cual debe ser apreciada y comprendida en su totalidad.

Se analizaron las propiedades de los materiales utilizados en la intervención, con el objetivo de alcanzar la máxima compatibilidad con los originales, además de realizar consultas documentales de otras intervenciones donde materiales fueron utilizados dichos materiales. Se espera de estos que sean compatibles con los materiales originales, buscando también que estos sean reversibles.

La propuesta de intervención se basó en los resultados y conclusiones obtenidos de los análisis realizados y detallados en el capítulo 3.

5.2 Intervención de conservación – restauración

5.2.1 Limpieza de la superficie

Este tratamiento ha sido realizado en dos fases: eliminación suciedad superficial y eliminación de suciedad profunda y colonización biológica.

La eliminación de suciedad superficial que cubría toda la superficie de la escultura fue ejecutada con medios mecánicos (Fig. 77). Se utilizaron brochas para la remoción y eliminación con ayuda del aspirador. En zonas de difícil acceso, como las afectadas por grietas, levantamiento, o pérdida estructural, se utilizó un pincel de cerdas naturales. Posteriormente se utilizó una esponja Wishab®, a base de latex y caucho vulcanizado³⁰, para remover la suciedad incrustada en la superficie de la obra. La utilización de esta esponja es semejante a la de una goma de borrar (Fig. 78). Al aplicar la esponja, esta se

³⁰ Descripción de Esponja Wishab®, Apéndice I, pág. 151

va desmigajando, evitando arrastrar sustrato de la superficie. El pH de la esponja Wishab® es neutro, lo cual impide que afecte al pH propio de la escultura.



Fig. 77 Remoción de suciedad con brocha y aspirador.



Fig. 78 Remoción de suciedad incrustada con esponja Wishab.

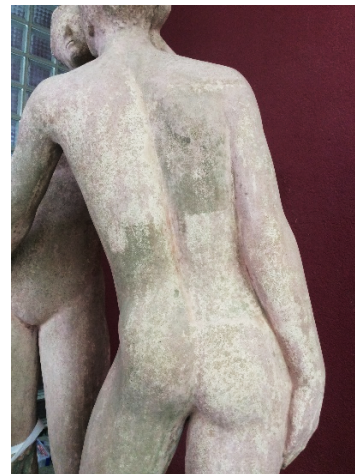


Fig. 79 Testigos de zona limpiada con esponja Wishab en comparación zona sin limpiar.

La eliminación de la suciedad profunda y de la colonización biológica se ejecutó con procedimientos químicos. Debido al estado de conservación de la pieza fue necesario contar con materiales que impidiesen la reducción del estado alcalino del sustrato.

Se realizó un test sobre la superficie para comprobar la polaridad de la capa de suciedad a eliminar químicamente. El primer examen de limpieza se realizó con agua destilada. Como resultado, la capa de suciedad fue arrastrada por completo, confirmando que los enlaces covalentes de las moléculas de la suciedad son polares.

Una vez comprobado que los disolventes adecuados para la limpieza de la superficie tenían de ser polares, se experimentó con agua destilada, solvente etanol 96% vol., solvente acetona y una solución de etanol 96% vol. y agua destilada (1:1). Los resultados de estos test fueron los siguientes:

Tabla 5. Test de agente limpiador sobre superficie de la escultura

Agente limpiador	Resultado
<p>Agua destilada</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza efectiva. Elimina en su totalidad los restos de polvo incrustado y la colonización superficial. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrastra el sustrato superficial de carga y pigmento. • Su nivel de pH no es el más adecuado para la estabilidad alcalina de la obra (pH 5.6 – 7). • Volatilidad: retención alta (Presión de vapor: 17.5 mm Hg 20°C) (Masschelein - Kleiner, 2004, pág. 30) • Migración: muy penetrante en el sustrato. • No hay que olvidar que la humedad producida por el agua es una de las causas de la carbonatación del hormigón y de la aparición de colonización biológica.
<p>Etanol 96% vol. + agua destilada (1:1)</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza efectiva. Elimina en su totalidad los restos de polvo incrustado y la colonización superficial. • Volatilidad: retención media. • Migración: moderada a alta <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrastra el sustrato superficial de carga y pigmento.
<p>Etanol 96% vol.</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza efectiva. Elimina en su totalidad los restos de polvo incrustado y la colonización superficial. • Debido a su característica desinfectante, es posible que además de retirar por barrido la colonización superficial,

	<p>anule cierta cantidad de organismos vivos que crecen en la superficie, por lo cual su efectividad en el tiempo será mayor que el agua destilada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volatilidad: retención media (Presión de vapor: 40 mm Hg 20°C) (Masschelein - Kleiner, 2004, pág. 73). • Migración: poco penetrante. Puede realizarse la limpieza en una aplicación, sin por ello arriesgar una prolongada absorción del producto por parte del hormigón. • Nivel de pH neutro, adecuado para el hormigón. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrastra pequeñas trazas de sustrato superficial, Lo cual se puede controlar con la presión ejercida por el hisopo sobre la superficie de la escultura.
<p>Acetona</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza media. • No arrastra sustrato superficial. • Migración: poco penetrante. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volatilidad: retención débil (presión de vapor: 185 mm Hg 20°C) (Masschelein - Kleiner, 2004, pág. 87), lo cual obliga a más de una aplicación sobre una misma superficie.

Analizados los resultados, se decidió utilizar etanol 96% vol. para la limpieza química. Esta se realizó por barrido sobre la superficie de la escultura, utilizando un hisopo de algodón.

5.2.2 Tratamiento de soporte

Como se menciona en el capítulo 4, apartado 4.1.2.2, el delicado estado de conservación de la escultura implicaba la intervención de las piernas degradadas a causa de la corrosión del acero de la armadura. Esta intervención suponía una gran dificultad debido a que la zona a tratar sustenta el resto de la pieza, lo que hacía necesario una pronta y correcta intervención de conservación – restauración para evitar el desmoronamiento de la escultura.

Después de la limpieza, se procedió a instalar una estructura de protección para la obra (Fig. 80), que, al mismo tiempo, haría de soporte durante la etapa más difícil, es decir, la intervención del sustrato de hormigón interior y de la armadura de metal seriamente corroída³¹.



Fig. 80 Estructura creada para mantener la estabilidad de "Ternura" mientras se realizó la intervención de conservación - restauración.

Con la estructura ya montada y la escultura asegurada, se procedió a la intervención de las zonas dañadas de las piernas. Esta se desarrolló en los siguientes pasos:

³¹ Al no haberse realizado anteriormente una estructura de este tipo, se solicitó la ayuda de un profesor y dos técnicos del taller de Escultura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, quienes amablemente, se ofrecieron a analizar el modelo de estructura diseñado, ofreciendo sus opiniones y propuestas, además de realizar el montaje de la misma.

- 5.2.2.1 Análisis de superficies dañadas.
- 5.2.2.2 Primera fase de eliminación de corrosión y limpieza del metal visible.
- 5.2.2.3 Extracción de fragmentos afectados por levantamiento del sustrato de hormigón.
- 5.2.2.4 Segunda Fase de eliminación de corrosión y limpieza del metal visible.
- 5.2.2.5 Instalación de varas de sustentación reemplazando el metal corroído.

5.2.2.1 Análisis de superficies dañadas

Se observó que las superficies con daño estructural se concentraban en la zona inferior de la escultura, siendo las piernas derechas de ambas figuras las más afectadas por la degradación. Por otra parte, otra zona que sufría de daño por corrosión y pérdida de sustrato de hormigón era la muñeca izquierda de la figura masculina (alteraciones descritas en el apartado 4.1.2.2).

Además de la corrosión del acero, otra de las alteraciones preocupantes que ocurrían en el interior de la escultura era el agrietamiento en pequeñas fisuras de las zonas circundantes al metal corroído, lo que requiere un tratamiento para evitar que estas se sigan extendiendo.

5.2.2.2 Primera fase de eliminación de corrosión y limpieza del metal visible

La eliminación del metal corroído se ejecutó por limpieza mecánica. Como primer paso, se utilizó un escalpelo para eliminar la capa gruesa de corrosión generalizada e irregular (Fig. 81), la cual, al ser eliminada, presentaba un aspecto de folios, característico de la corrosión por carbonatación (Figueiredo & Meira, 2013, pág. 6). Fue necesario eliminar la corrosión con medios mecánicos, con herramientas eléctricas, debido a la densidad de aquella, lo cual dejó visible una superficie cubierta de polvo de óxido de hierro (Fig. 82). Una vez limpia la superficie por medios químicos, con etanol sin cetimida 70% vol.³² (Fig. 83), pudo observarse metal aún en buen estado, el cual se protegió con resina acrílica termoplástica y etilmetacrilato Paraloid B48®³³ al 10% diluida solvente aromático en

³² Descripción etanol sin cetimida 90% vol. Apéndice I, pág. 153

³³ Descripción Paraloid B 48N®. Apéndice I, pág. 154.

tolueno. El etanol sin cetrimida se utiliza para el metal remineralizado, ya que el etanol común produce corrosión.



Fig. 81 Eliminación de corrosión con escalpelo.



Fig. 82 Limpieza mecánica con herramienta eléctrica.



Fig. 83 Limpieza del polvo de óxido de hierro con etanol sin cetrimida 70%.

5.2.2.3 Extracción de fragmentos afectados por levantamiento del sustrato de hormigón.

La corrosión del metal y su consiguiente expansión provocaron el levantamiento de superficies de hormigón. Estas tuvieron que ser extraídas para proceder a la eliminación de la corrosión del acero antes de ser reintegradas.

Para la extracción de las superficies de hormigón se utilizaron dos métodos: 1) ejecución de cortes lisos con una muela de corte de piedra adaptada a una herramienta eléctrica (minitaladro o amoladora profesional); 2) extracción de algunos fragmentos de modo manual por medio de vibración y presión controlada.

Ya que buena parte de los fragmentos sufrían de agrietamiento además de levantamiento, se decidió en la mayoría de los casos provocar la extracción de forma manual por vibración y presión. Este tipo de remoción fue aplicado al pie derecho de la figura masculina (Fig. 84 y 85) y a la zona de los gemelos derechos de las dos figuras.



Fig. 84 Remoción manual del pie derecho de la figura masculina.



Fig. 85 Pierna derecha de la figura masculina luego de la remoción manual del fragmento.

En la zona de la pierna masculina, a la altura de la rodilla derecha, debido al grosor del sustrato de hormigón se realizó un corte parcial con una amoladora profesional (Fig. 87). Se finalizó la extracción del sustrato de hormigón con presión manual y con la ayuda de un martillo de goma. El mismo método se utilizó en la zona superior de la pantorrilla, detrás de la rodilla derecha de la figura masculina. La extracción de estos fragmentos de hormigón permitió el acceso a las zonas más profundas de metal corroído, el cual, al aumentar su volumen, había causado el agrietamiento, levantamiento y deformación del hormigón a su alrededor (Fig. 88).



Fig. 86 Zona demarcada para corte parcial (cuadro rojo) con amoladora. Pierna derecha de la figura masculina.



Fig. 87 Ejecución del corte parcial de la pierna con amoladora y sierra de corte de piedra.



Fig. 88 Resultado del corte realizado en la pierna derecha de la figura masculina.

5.2.2.4 Segunda Fase de eliminación de corrosión y limpieza del metal visible.

Al extraer los fragmentos levantados, se observó con mayor claridad que el nivel de corrosión del acero era muy grave en la zona central de la pierna derecha de ambas figuras. En el caso de la pierna derecha de la figura femenina, la armadura metálica del centro de la pierna colapsó espontáneamente a causa de su total oxidación (Fig. 89). En cuanto a la pierna masculina, el metal, aunque gravemente fragmentado, se encontraba remineralizado y se eliminó de forma mecánica (Fig. 90).

Las zonas corroídas fueron eliminadas con una herramienta de punta de amolar de óxido de aluminio acoplada a un minitaladro. Las zonas no corroídas fueron limpiadas con una solución etanol sin cetrimida al 70%. Las zonas metálicas en buen estado fueron protegidas con resina acrílica Paraloid B48® al 10% diluido en tolueno. Se hizo lo mismo con las fisuras y microfisuras del hormigón que circunda el área del acero.



Fig. 89 Aspecto de la pierna derecha de la figura femenina después del colapso del acero corroído y su posterior limpieza y protección.



Fig. 90 Aspecto de la pierna derecha de la figura masculina después de eliminar el óxido y desprender el fragmento de pierna en peligro de colapso.

5.2.2.5 Refuerzo estructural: Instalación de varas de sustento

Para el reemplazo del metal oxidado extraído de la pierna derecha de ambas figuras, se proyectó la utilización de varas de sustentación, teniendo como alternativa varas de acero inoxidable o varas de fibra de carbono.

Conocidas las propiedades de la fibra de carbono³⁴, y motivados por su estabilidad química y física, elasticidad y fuerza, se decidió utilizar varas de 10mm de diámetro de dicho material.

Para unir las varas de fibra de carbono al hormigón de la escultura se necesitaba un producto de fuerte adhesión, que no supusiese riesgo para la escultura y que fuese reintegrable en caso de requerirlo. Para esto se realizaron pruebas con dos tipos de resina epoxi sobre sustrato de hormigón:

- *Sikadur 30*® (Fig. 91). Producto comercializado por la empresa Sika®³⁵. Adhesivo estructural bicomponente tixotrópico, compuesto por resinas epoxi y cargas seleccionadas. Utilizado para unión de refuerzos estructurales, como laminados de fibra de carbono en hormigón, ladrillo o madera y unión de chapas de acero a hormigón. Es un adhesivo de aspecto grisáceo, de textura arenosa, parecido al cemento mezclado con árido y agua. El componente A es de color blanco y el componente B de color negro. Su proporción de mezcla es 3:1.
- *Epo 121*® (Fig. 92). Producto comercializado por CTS®. Adhesivo epoxi bicomponente tixotrópico, compuesto por la resina Epo 121 ® y endurecedor K-122. Utilizado para encolado estructural de elementos de hormigón, chapeado de hormigón-acero, estucado de fisuras, encolados de nipples (espigos) en mármoles y piedra, ensamblados, reparaciones y fijaciones en general³⁶. Adhesivo de aspecto blanquecino, de textura fina y homogénea. El componente Epo 121® es de color blanco y el componente K-122 es de color beige. Su proporción de mezcla es de 5:1.

³⁴ Descripción de varas de fibra de carbono. Apéndice I, pág. 156.

³⁵ SIKA PORTUGAL fue nuestro mecenas durante la intervención de la escultura Ternura, aportando productos para que estos fuesen testados en la reintegración estructural de la obra.

³⁶ Epo 121®, ficha técnica. Apéndice I, pág. 157.



Fig. 91 Sikadur 30® + endurecedor



Fig. 92 EPO 121® + endurecedor

Para realizar las pruebas se seleccionaron muestras de cemento, en las cuales se aplicó resina en tres formas diferentes: a) un punto de resina aplicado inmediatamente después de mezclar; b) resina aplicada por toda la superficie de la mezcla inmediatamente después de mezclar, c) un punto de resina aplicado 45 minutos después de mezclado.

Los parámetros tomados en cuenta en el examen fueron: penetración de la resina en el sustrato, tiempo de secado, facilidad de separación de las superficies unidas y reversibilidad.

Tabla 6. Pruebas de resina epoxi para adhesión de varas de hormigón y unión de fragmentos.

Adhesivo	Sikadur 30®	Epo 121®
Penetración	Penetra en el sustrato y se extiende sobre el mismo. No es posible aplicar por puntos.	Textura pastosa que no se extiende la superficie. La penetración en el sustrato es mínima.
Tiempo de secado	Aproximadamente 6 horas a 15°C	Aproximadamente 90 minutos a 15°C

<p>Facilidad de separación (a las 24 horas)</p>	<p>Muestra A: Separación sin excesiva presión. En el momento de la separación, la resina arrastra la zona de sustrato donde ha penetrado.</p> <p>Muestra B: Dificultad de separación.</p> <p>Muestra C: Separación fácil, pero arrastra sustrato en el que ha penetrado.</p>	<p>Muestra A: Separación sin excesiva presión. Quedan restos de resina en ambas superficies unidas. Arrastra poco sustrato.</p> <p>Muestra B: Dificultad de separación.</p> <p>Muestra C: Separación fácil, no arrastra sustrato. Aparentemente la unión entre superficies ha sido más débil.</p>
<p>Reversibilidad</p>	<p>No presenta problema al remover con la herramienta de punta de amolar de óxido de aluminio acoplada a minitaladro. Quedan restos de resina en el cemento, que no pueden ser eliminados por otras técnicas.</p>	<p>No presenta problema al remover con la herramienta de punta de amolar de óxido de aluminio acoplada a minitaladro. Quedan restos de resina en el cemento, que pueden ser eliminados con bisturí o escalpelo.</p>

Se decidió utilizar la resina Epo 121® para unir las varas de fibra de carbono y reintegrar los fragmentos desprendidos de la escultura. Dicha resina es un producto referenciado y utilizado en otras intervenciones de conservación y restauración tanto de escultura como de arquitectura como por ejemplo la Cúpula del Duomo de Siena y el Palazzo Ducale de Venecia.

En la pierna derecha de la figura femenina fue acoplada una vara de fibra de carbono de 10mm de grosor y 47cm de largo (Fig. 93).

Debido a irregularidad y fragilidad de la zona del pie elegida para acoplar los extremos de la vara de fibra de carbono, se decidió abrir un espacio entre el sustrato de hormigón y el metal de refuerzo de la zona, creando una superficie cilíndrica y plana donde se

acopló la vara de fibra de carbono (Fig. 94), que luego fue rellenada con cemento de reintegración Sika® Monotop 412S®³⁷.

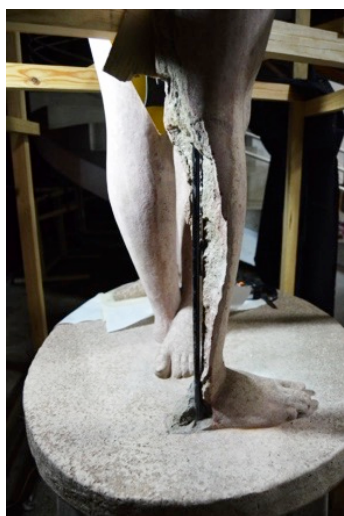


Fig. 93 Vara de fibra de carbono en pierna derecha de la figura femenina.



Fig. 94 Base recta en la pierna femenina para asentar la vara de fibra de carbono.



Fig. 95 Extremo de la vara de fibra de carbono inserto en la pierna derecha de la figura femenina.

Se prefirió el cemento de reintegración Sika® Monotop 412S®, en lugar de otros cementos de la misma empresa, ya que el primero presentaba en su ficha técnica registros de un bajo nivel de retracción, baja permeabilidad a cloruros y resistencia a los sulfatos. A esto hay que agregar la facilidad de manipulación del producto durante la intervención de conservación - restauración.

Para acoplar el extremo superior de la vara de fibra de carbono se realizó un agujero de 10mm de grosor y 15 mm de profundidad con taladro y brocas. Debido a la fragilidad de la zona, especialmente por la alta presencia de fisuras y microfisuras, el agujero fue realizado por etapas, para lo cual se utilizaron en el siguiente orden: 1) broca para cristal de 4mm, 2) broca para hormigón de 4mm, broca para hormigón de 6mm, 3) broca para hormigón de 8mm y 4) broca para hormigón de 10mm. Se procuró que el taladro nunca estuviese en posición de martillo neumático y mojar la broca cada 5 segundos para impedir que esta se sobrecalentara. Posteriormente, la vara de fibra de carbono fue acoplada con resina epoxi Epo 121® al agujero realizado (Fig. 95).

³⁷ Descripción Sika Monotop 412S®. Apéndice I, pág. 160.

En la pierna derecha de la figura masculina fueron instaladas dos varas de fibra de carbono de 10mm de grosor: una de ellas, de 47.5cm, a la derecha del pie y la otra, de 48cm, a la izquierda (Fig. 96).

Al igual que en la pierna femenina, la superficie elegida para el acoplamiento de las varas era muy irregular. Se desbastó el hormigón con una punta de amolar de óxido de aluminio acoplada a un minitaladro, hasta conseguir una superficie plana donde la vara de fibra de carbono se apoyase sin problemas. Luego de ser instalada la vara, esta zona fue cubierta con cemento Sika® Monotop 412S®.



Fig. 96 Varas de fibra de carbono acopladas a pierna derecha masculina.



Fig. 97 Zona de acoplamiento de vara de fibra de carbono en el hormigón de la pierna derecha masculina.

La zona superior de la pierna derecha masculina elegida para albergar las varas de fibra de carbono, suponía mayor complejidad que la correspondiente femenina, puesto que no permitía la realización de un agujero de acoplamiento por la ausencia de una superficie lo suficientemente ancha en el hormigón. Por este motivo, se desbastaron dos huecos en el sustrato, creando la forma de arco en bóveda de cañón de 20mm de alto y 10mm de grosor (Fig. 97). Esto fue realizado con una herramienta de punta de amolar de óxido de aluminio acoplada a un minitaladro. Para unir las varas de fibra de carbono a los huecos antes mencionados, se utilizó resina epoxi Epo 121®.

5.2.3 Reintegración formal

5.2.3.1 Reintegración de fragmentos

Los fragmentos recogidos y extraídos de la escultura fueron numerados (Fig. 98), fotografiados, protegidos y guardados durante las etapas anteriores a la intervención de conservación- restauración.

Los fragmentos a reintegrar no encajaban en la escultura, debido tanto al relleno de las grietas con argamasa en intervenciones previas como a la eliminación de corrosión y adición de varas de fibras de carbono en nuestra intervención de refuerzo estructural.

Para solucionar este problema se decidió desbastar el interior de los fragmentos que lo requirieran, eliminando así restos de metal corroído y parte de sustrato de hormigón. Se tuvo la precaución de que este desbastado sólo fuese ejecutado en las zonas del fragmento que lo requiriesen y hasta una profundidad que permitiese que la escultura calzase sin sobrepasar ese límite (Fig. 99).



Fig. 98 Fragmentos numerados de la escultura.



Fig. 99 Desbastado del interior del gemelo de la pierna derecha femenina.

Para el desbaste se utilizaron las siguientes herramientas: 1) sierra de diamante para corte de piedra acoplada a un minitaladro, 2) punta de amolar de óxido de aluminio acoplada a un minitaladro, 3) cincel de acero de punta plana, 4) martillo de goma, 5) disco de desbastado de carburo de silicio para piedra (Fig. 100) acoplada a amoladora y 6) muela de taza de carburo de silicio (Fig. 101) para amolado de piedra, acoplada a amoladora.



Fig. 100 Disco abrasivo de desbastado de carburo de silicio.



Fig. 101 Muela de taza de carburo de silicio.

De estas herramientas, la más utilizada fue la muela de taza de carburo de silicio, ya que permitía realizar un desbastado moldeando la pieza y, dependiendo del grano de la muela, realizar también una labor más rápida y basta, o bien más fina y detallada. La adhesión de los fragmentos a la escultura fue realizada con resina epoxi Epo 121® bicomponente (Fig. 102, 103 y 104).



Fig. 102 Adhesión de fragmentos a la escultura con resina epoxi EPO 121®.



Fig. 103 Sujeción de fragmento recién adherido con cinta de pintor hasta el secado de la resina epoxi.



Fig. 104 Fragmento adherido después del secado de la resina epoxi.

5.2.3.2 Relleno del interior de la estructura y reintegración formal

Para aumentar la fortaleza de las varas de sustento de la escultura, se decidió rellenar el interior de las estructuras intervenidas con cemento de reintegración Sika® Monotop 412S® (Figs. 105 y 106). Aunque el nivel de retracción de dicho cemento es mínimo, se optó por esperar tres semanas para que el proceso de curado se completara y que se asentara correctamente. Asimismo, para promover una correcta reintegración de las lagunas estructurales, se rellenó parte de estas con cemento de reintegración Sika® Monotop 412S® (Fig. 107) dejando espacio para las siguientes etapas de la reintegración formal.



Fig. 105 Reintegración del interior de la pierna derecha de la figura femenina.



Fig. 106 Reintegración del interior de la pierna derecha de la figura masculina.



Fig. 107 Reintegración de la muñeca del brazo izquierdo de la figura masculina.

Debido a la pérdida de algunos fragmentos de hormigón de la superficie de la escultura, fue necesario realizar una reintegración en las lagunas estructurales. Teniendo en cuenta la amplia oferta de materiales para reintegración, se consideraron diferentes productos de restauración, atendiendo a la compatibilidad de estos con la composición del sustrato de hormigón y su adaptación al medio ambiente del espacio definitivo de exposición de la escultura. Analizados estos parámetros, se estimó como mejor alternativa la creación de una masilla de reintegración a base de resina vinílica, polvo de cuarzo y pigmentos. Para definir qué tipo de aglutinante se utilizaría, se testaron dos tipos de resina vinílica: Primal B-60® y Mowilith DS 5/2®.

Para determinar el mejor aglutinante de los dos analizados, se utilizó la misma cantidad de carga: 40 gramos de polvo de cuarzo, 2 gramos de pigmento gris pizarra extra claro y 3 gramos de pigmento blanco de circonio. Los resultados se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Test de aglutinante para la reintegración formal..

Aglutinante	Resultado
Primal B-60® 5 gr	No logra aglutinar toda la carga.
Primal B-60® 10 gr	Aglutina la carga, otorgando textura de plastilina.
Primal B-60® 15 gr	Aglutina la carga, otorgando una textura pastosa pero fácilmente manejable con espátula.
Mowilith DS 5/2® 5gr	No logra aglutinar toda la carga.
Mowilith DS 5/2® 10gr	Aglutina toda la carga con dificultad, otorgando una textura pastosa pero de difícil aplicación.
Mowilith DS 5/2® 15gr	Aglutina toda la carga, pero su textura es demasiado líquida a la hora de aplicar.

Analizando los resultados de los test realizados, se determinó que la mejor alternativa de aglutinante era Primal B-60® 10gr, mezclado con la carga mencionada en el párrafo anterior, ya que, al proporcionar una textura semejante a la plastilina, facilita la aplicación de la masilla sobre el hormigón y sobre el cemento de reintegración de la capa anterior (Fig. 107). La creación y uso de esta masilla para la reintegración formal de la escultura se justifica por la naturaleza silíceo del polvo de cuarzo, semejante al árido utilizado en el hormigón. También es importante el conocido uso de la resina acrílica Primal B-60® en intervenciones sobre material inorgánico, además de sus propiedades de resistencia a la radiación ultravioleta.

Las propiedades de secado de la masilla se asientan en su rapidez, la posibilidad de escarbar con bisturí en las primeras horas (Fig. 109) y el lijado después de 24 horas de

secado. Experimentando la reversibilidad de la masilla, se ha comprobado que es posible retirarla mecánicamente con formón o con una herramienta de punta de amolar adaptada a un minitaladro, sin con ello afectar al sustrato original de la escultura.

Para impedir la dificultad de adhesión de la masilla cemento en capas de mucho grosor, las aplicaciones fueron de aproximadamente 5 cm² de extensión y 0.3 mm de espesor. Las capas posteriores podían ser aplicadas en superficies de mayor tamaño, puesto que se adherían sin problema a la capa anterior.

Esta masilla de reintegración fue aplicada en todas las áreas de la escultura con lagunas volumétricas, dejando un espacio de 1 a 2 mm de profundidad hasta la superficie destinada a la aplicación de la capa de reintegración cromática (Fig. 110). El mapa de reintegración de formal se puede consultar en el Apéndice II, Fig. 284, pág. 60 a 62.



Fig. 108 Aplicación de masilla de reintegración en pie derecho de la figura femenina.



Fig. 109 Eliminación de restos de masilla de reintegración en la muñeca izquierda de la figura masculina.



Fig. 110 Masilla de reintegración aplicada en la pierna derecha de la figura masculina.

5.2.4 Aplicación de Biocida

Antes de la reintegración cromática de la escultura, se aplicó biocida Durolith Bioclean L[®]³⁸ por medio de brocha (Fig. 111). Este producto comercializado por Kremer[®] está formulado a base de hidróxido de litio, a diferencia de otros biocidas utilizados en piedra, que se formulan a base de sales de amonio cuaternarias. El biocida Durolith Bioclean L[®]

³⁸ Descripción Durolith Bioclean L[®], Ficha técnica, Apéndice I, pág. 162

cumple las exigencias requeridas de bajo nivel de cloruros y sulfatos (Eklund, 2013, pág. 6). Esto previene posibles ataques de cloruros a la armadura de sustento y no reduce el nivel de pH, lo cual evita la carbonatación del hormigón.



Fig. 111 Aplicación del biocida Duroolith Bioclean L sobre la escultura.



Fig. 112 Rostro de la figura femenina después de la aplicación del biocida Duroolith Bioclean L. Después de 10 minutos, la solución secó y la obra volvió a su color original.

5.2.5 Revestimiento cromático

La reintegración cromática conllevaba una serie de problemas y desafíos. La obra presenta distintas tonalidades de pigmento rosa. En primer lugar, la capa cromática original de la escultura es de un tono de rosa único, el cual se ha ido decolorando con el tiempo. A este pigmento hay que sumar la tonalidad utilizada en una restauración formal anterior, sensiblemente más oscura. A todo esto, hay que añadir un “repinte” aplicado al total de la escultura, a principios de los años noventa, como se explica en el apartado 4.3, capítulo 4.

Para la reintegración cromática se optó por reutilizar los fragmentos de la capa cromática de la superficie de la escultura que no pudieron ser reintegrados, entre los cuales se encontraban restos de los diferentes pigmentos de la escultura. Esta técnica es muy utilizada en reintegración de piedra.

Para realizar la masilla pigmentada, los fragmentos fueron molidos en un mortero hasta ser pulverizados. De este proceso se consiguieron seis tonos distintos de polvo de hormigón pigmentado rosa (Fig. 113).

El polvo pigmentado fue mezclado con resina acrílica Primal B-60® y polvo de cuarzo en proporción 2:1:1. La pasta resultante es de fácil aplicación a mano, con espátula o bisturí (Fig. 114).



Fig. 113 Polvo pigmentado obtenido de moler fragmentos de la capa superficial de la escultura.



Fig. 114 Reintegración cromática de la escultura.

En las zonas donde se buscaba que la superficie tuviese un aspecto más liso, la mezcla fue realizada con polvo pigmentado y resina acrílica Primal B-60® en proporción 3:1.

Dependiendo de los diferentes tipos de pigmento de la superficie de la escultura, se utilizaron y mezclaron entre sí los diferentes tonos de polvo pigmentado. La pasta de reintegración fue aplicada en las zonas que habían sido tratadas estructuralmente (Fig. 111), así como en zonas con grietas muy pronunciadas y en zonas de corte con herramientas eléctricas. Después del secado de esta pasta, se utilizó una lija de grano fino nº 180, para alisar la superficie e igualar el color al área circundante.

Después de la reintegración con pasta pigmentada, algunas zonas, especialmente en las que se utilizó una herramienta de corte, no tenían un aspecto aceptable, ya que aún se podía diferenciar las zonas originales de las reintegradas. Para igualarlas, se utilizó la técnica de reintegración cromática con puntillismo usando pintura guache blanca mezclada con acuarela ocre y rosa (Apéndice II, Fig. 275, pág. 48).

Para igualar las zonas de tonalidad oscura se utilizó resina acrílica Primal B-60® diluida al 50% en agua destilada y aplicada con la técnica de tamponado. Con ello se oscurece por saturación la pasta de reintegración seca y lijada, logrando así un tono semejante a la superficie circundante.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

Como resultado de esta intervención, “Ternura” ha recuperado su correcta lectura estética, puesto que en las piernas y la muñeca el aspecto es homogéneo. A poca distancia es posible diferenciar las zonas intervenidas en la reintegración volumétrica y cromática, debido a la diferencia de granulometría del mortero pigmentado utilizado.



Fig. 115 Escultura “Ternura” después de la intervención de conservación – restauración.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

6. PROPUESTA DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE LA ESCULTURA

La escultura “Ternura”, debido a la particularidad de su estructura, de los materiales que la conforman y de su localización, exige el desarrollo de criterios de seguimiento permanente para su conservación preventiva. Estos se plantean en base a los datos obtenidos de su análisis antes y durante la intervención de conservación y restauración, así como de la consideración de los nuevos materiales utilizados en la intervención de conservación - restauración de la obra.

El establecimiento de estos criterios depende de diferentes factores, los cuales son determinantes en la conservación de la escultura. El primero tiene que ver con el entorno en el que se encuentra la obra. Considerando que “Ternura” fue realizada para exhibirse en un espacio abierto, en el que estuvo durante 58 años, para luego ser trasladada a un espacio interior desde 2012, es necesario tener en cuenta estas dos localizaciones al realizar el estudio de conservación preventiva, ya que el medio ambiente donde se localiza la obra es en gran medida determinante en la evolución de su estado de conservación (Herraez, Enríquez, Pastor, & Gil, 2014, pág. 17).

Hay que tener en cuenta otros factores, como las causas de deterioro que afectaron a la obra y las técnicas de ejecución artística y de conservación – restauración. En relación a estas técnicas, uno de los inconvenientes importantes es la adición de sustancias de las que no se conoce reacción y los materiales aplicados que, en procesos de restauración, pudiesen desencadenar episodios de inestabilidad, los cuales acelerarían la degradación de una obra de arte (Herraez (1999) citado por Herraez, Enríquez, Pastor & Gil (2014), pág 17).

Entre los materiales utilizados en la intervención de “Ternura”, algunos destacan por su especial importancia: la fibra de carbono que fue utilizada como reemplazo al acero de refuerzo original, el cemento Sika Monotop 412S® utilizado en la reintegración estructural y el biocida Durolith Bioclean L®. Estos productos son en teoría adecuados para los fines requeridos en la conservación de la escultura. La falta de documentación relativa a la utilización de algunos de estos productos en el campo de la conservación -

restauración, hacen necesario conocer y comprender su composición y realizar un seguimiento de los mismos en la obra intervenida, para registrar su envejecimiento y actuar en caso de degradación de la escultura. Además de su particularidad como pieza artística de gran valor, se espera que, con esta labor de seguimiento e investigación, la escultura “Ternura” se constituya en el futuro en un paradigma para el estudio de los materiales y técnicas utilizadas en su restauración.

La temperatura, la humedad y la luz son los factores de deterioro más estudiados dentro del campo de la conservación – restauración. Estos son causantes directos o indirectos de la degradación de gran parte de las obras de arte expuestas en ambientes interiores y exteriores, ya que son capaces de producir, en conjunto o por separado, reacciones químicas que, a corto o largo plazo, contribuyen al deterioro de la obra.

Dentro del estudio ambiental realizado para determinar los parámetros de conservación preventiva de “Ternura”, se ha dado especial importancia al control de la humedad relativa del espacio donde se localiza actualmente la obra. Para este estudio se consideraron las características ambientales tanto de la localización original como de la actual de la obra, la influencia del medio ambiente (humedad relativa y temperatura) como causantes del deterioro de la escultura y, finalmente, la definición de las condiciones ideales de conservación de una pieza de estas características físicas y materiales, tanto desde el punto de vista medioambiental como de su manipulación y exposición.

6.1 Control de humedad relativa

Como se ha mencionado a lo largo de este estudio, uno de los principales factores de degradación de la escultura “Ternura” es la humedad ambiental. Tanto directa como indirectamente, esta ha sido responsable de la colonización biológica y de la penetración de contaminación ambiental en el sustrato de hormigón. Ambas han llevado a reducir el pH de la obra y han desencadenado el proceso de carbonatación, responsable de las alteraciones estructurales de la obra.

Es siempre importante mantener un nivel de humedad relativa estable en el espacio de exposición de la escultura. Si los materiales pétreos densos pueden alterarse a porcentajes

de humedad muy altos o bajos, una estructura de hormigón armado como “Ternura”, cuyo sustrato tiene un grosor de entre 2 y 6 cm en las zonas intervenidas, es demasiado frágil y delgado para impedir la penetración del agua en forma de humedad. Altos niveles de humedad en el espacio donde se expone la escultura promueven la penetración de CO², cloruros, sulfatos y otros compuestos en suspensión, poniendo en peligro la estabilidad química y física de la obra.

En un análisis realizado por Stanley (como se cita en Tortajada, 2011, pág 28) para *Museums & Galleries Commision* de Londres, la recomendación general para la conservación de materiales pétreos presupone un arco de temperatura de entre 16°C y 22°C y una humedad relativa máxima de 45% y 55%. Por su parte, *Museums & Galleries Scotland* (como se cita en Tortajada 2011, pág. 28), propone una humedad relativa de entre 20% y 60%. Guiados por estos parámetros, y trasladando los datos a la escultura “Ternura”, al porcentaje medio de humedad de Oporto y a las localizaciones original y actual de la obra, se considera que, para su correcta conservación, la humedad relativa del hall Carlos Ramos debe mantenerse entre 50 y 60%. Esto se justifica con los parámetros de humedad relativa a los que la escultura ha estado expuesta durante su estancia en los jardines de la FBAUP, con un alto porcentaje de humedad en invierno y de niveles de humedad medios en verano.

Se considera que un porcentaje de humedad relativa entre 60 y 70% podría potenciar episodios de carbonatación en la una pieza de hormigón, pero, si la obra ha sido continuamente humedecida o mojada, la velocidad de carbonatación se reduciría a causa de la saturación de los poros el hormigón (Garcés, Climent, & Zornoza, 2008, pág. 48), situación que ha ocurrido con la “Ternura” durante su estancia en los jardines. Al ser trasladada a un espacio interior los episodios de humedecimiento de la obra ya no serán tan frecuentes como lo fueron mientras la escultura estuvo a la intemperie. Por lo cual es necesario fijar en el espacio donde se expone “Ternura” unos parámetros de temperatura, humedad relativa y luz adecuados para que la obra no se vea afectada por un posible aceleramiento de la carbonatación del hormigón.

Como dato histórico, el día 5 de julio de 2013 se registró en Oporto la temperatura máxima anual, de 38°C y una humedad media de 33%. Tres días antes, el 2 de julio, la temperatura máxima fue de 20.6°C y la mínima de 14.5°C, con una humedad relativa media de 87%. El 10 de julio la humedad relativa media fue del 93%, con una temperatura

entre 16 y 20°C³⁹. Las bruscas variaciones durante el verano de 2013 fueron, posiblemente, las causantes de que zonas de sustrato ya debilitadas, colapsaran y se desprendieran de la obra, debido a la tensión del metal corroído sobre el hormigón, a lo que se suma la rápida deshidratación del sustrato de la obra al ser esta trasladada a un espacio interior. Con esto se explicaría el desprendimiento de un gran fragmento de hormigón de la pierna derecha de la figura masculina, ocurrido cuando la escultura ya se encontraba protegida de la intemperie en el hall del Pabellón Carlos Ramos de la FBAUP.

Para conocer las variaciones de humedad de la localización definitiva de “Ternura”, se realizó un seguimiento apoyado por dos dataloggers localizados en dos zonas diferentes dentro del pabellón Carlos Ramos, entre los días 13 de enero de 2015 y 05 de marzo de 2015. Los dataloggers utilizados son marca Welleman modelo DVM171THD (Apéndice II, Fig. 276, pág. 49).

El datalogger utilizado es un aparato de medición continua y registrador de datos⁴⁰. Fue programado para la recogida de datos, temperatura y humedad cada hora.

El datalogger número 1, denominado “Escultura”, se localizó en la estructura creada para la intervención de restauración estructural de “Ternura”. Ubicado aproximadamente a 5 cm de la cabeza de la figura femenina.

El datalogger número 2, denominado “Maquina Café”, fue localizado en el pasillo de la planta baja del Pabellón Carlos Ramos de la FBAUP, que recorre la zona de aseos, ascensor, una zona vacía, las máquinas expendedoras de café y alimentos y finaliza en la oficina de los conserjes de la facultad. El datalogger se instaló en esta zona porque fue considerada como posible localización definitiva de la escultura.

³⁹ Registro histórico de temperatura y humedad de Julio de 2013. Estación meteorológica Pedras Rubras. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Recuperado de <http://www.ipma.pt>. [Acceso el 9-05-2014]

⁴⁰ El datalogger es un termohigrómetro electrónico (AENOR, 2010; UNE-EN 15758), los cuales están basados en la respuesta eléctrica ante el cambio de condiciones del medio, lo cual se traduce directamente a las escalas correspondientes, en este caso de temperatura, humedad relativa y punto de rocío. El datalogger recopila datos en una memoria y los organiza gracias a un microprocesador (Herraez, Enríquez, Pastor, & Gil, 2014, pág. 32).

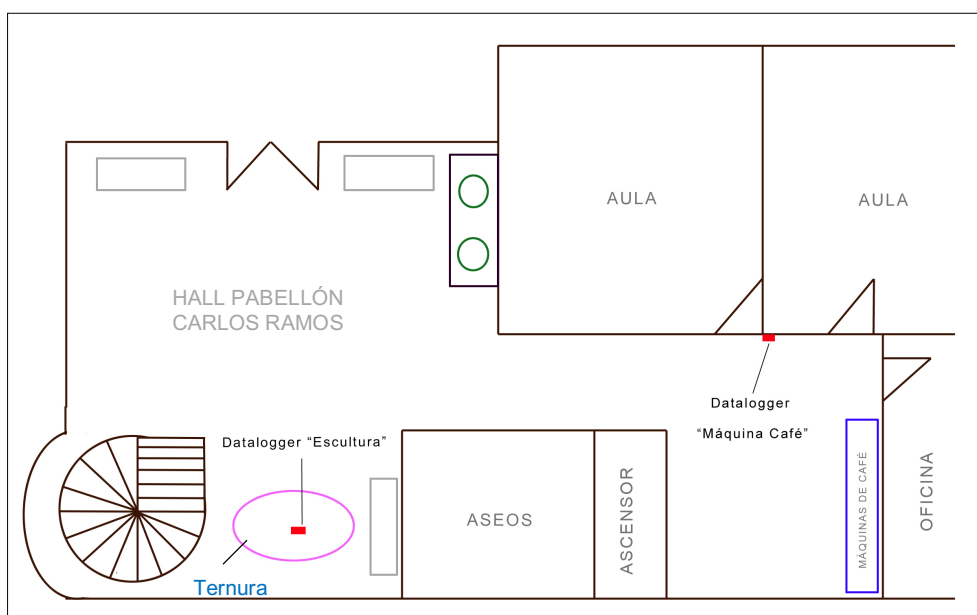


Fig. 116 Ubicación de los dataloggers “Escultura” y “Máquina Café” (cuadros rojos), en el Pabellón Carlos Ramos

Del seguimiento de la humedad relativa se infiere que, durante el tiempo en que se recogieron datos, se produjeron fuertes variaciones en un corto espacio de tiempo. Algunos días se produjeron altas variaciones de humedad relativa en menos de 24 horas, como por ejemplo el día 8 de la séptima semana, con una variación de 22.6%, recogida en el datalogger localizado en la escultura. (Apéndice II, pág. 53).

Tabla 8. Registro de humedad relativa (HR), temperatura (T°) y punto de rocío (PR) mínimo y máximo , mayor variación de HR en menor tiempo y HR media durante la recogida de datos.

Datalogger	1. “Escultura”	2. “Maquina Café”
Mínimo	09/02/15 13:55:22	06/02/15 16:42:48
	HR 47.5% T° 14.7°C PR. 3.6	40.6% 15°C 17 PR
Máximo	30/01/15 18:55:22	29/01/15 22:42:48
	92.4% 13.6°C 12.3 PR	84.1% 14.7°C 12 PR

Mayor variación de HR en menor espacio de tiempo	26/02/15 23:13 85.1%	26/02/15 23:19 84.1%
	27/02/15 14:13 62.1%	27/02/15 10:19 55.0%
HR% Media	72.8	65.9

Los gráficos de fluctuaciones de temperatura y humedad fueron divididos por lapsos de siete días (Apéndice II, págs. 50 a 57). Estos concluyeron que el espacio donde se encuentra actualmente “Ternura”, el mismo donde fue restaurada, no cumple con los requisitos mínimos de humedad relativa deseados. Durante las siete semanas de seguimiento de temperatura y humedad relativa, sólo se alcanzó un porcentaje de humedad adecuado los días 04 de febrero de 2015 y 10 de febrero de 2015, durante la semana 4 (Apéndice II, pág. 51). El resto de los días, el porcentaje de humedad relativa fue siempre superior a los niveles requeridos.

En los datos recogidos en la zona donde fue restaurada “Ternura” (datalogger “Escultura”), la media de humedad relativa de las siete semanas registradas fue de 72.8% (Apéndice II, pág. 53). En la zona candidata a localización definitiva (datalogger “Máquina Café”), la humedad relativa media fue de 65.9% (Apéndice II, pág. 57), la cual sobrepasa en 5.9% el porcentaje máximo deseado.

Aunque la localización candidata para albergar la escultura tiene un porcentaje de humedad relativa inferior al de la localización actual, desde el punto de vista de la conservación de la obra, las variaciones de temperatura y humedad relativa son demasiado oscilantes, por lo que no se puede considerar que sea una zona adecuada para albergar a “Ternura”.

La causa del elevado nivel de variación y de los altos porcentajes de humedad relativa del pabellón Carlos Ramos, donde se localiza actualmente “Ternura”, es su ambiente semi exterior. Este espacio está rodeado de ventanales sin protección ultravioleta (Figs. 118 y 120) y cuenta con plantas ornamentales en su interior, a pocos metros de distancia de la escultura. A estas causas hay que agregar un alto grado de humedad a causa del escurrimiento de agua desde el jardín de la facultad hasta el hall del pabellón, el cual asciende desde la tierra hacia el suelo del hall durante los días lluviosos, saturando las

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

piedras que conforman el pavimento del local. Además, la puerta de ingreso al pabellón que se encuentra siempre abierta debido a un sistema de cierre averiado (Fig. 120). En la primera mitad de 2015, a causa de la reforma del espacio expositivo cercano, se agregó un estanque artificial en el espacio contiguo al pabellón.



Fig. 117 Pabellón Carlos Ramos, FBAUP.



Fig. 118 Vista exterior del hall del pabellón Carlos Ramos.



Fig. 119 Vista lateral del exterior del pabellón Carlos Ramos.



Fig. 120 Entrada del hall del pabellón Carlos Ramos, suelo mojado por ascenso de humedad, por tránsito de alumnos y por puerta permanentemente abierta.

La Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Oporto, propietaria de la escultura “Ternura”, decidió conservar la obra dentro del pabellón Carlos Ramos, para así mantener su coherencia funcional e intención original del artista, destinada desde su creación al jardín de la FBAUP. Dentro del pabellón, la obra fue trasladada a una zona más cercana a los ventanales, los cuales la separan de un jardín y de un pequeño estanque. Considerando las características ambientales del pabellón, se proponen las siguientes medidas de conservación preventiva con respecto al control de la temperatura y humedad del local:

- *Control de la radiación ultravioleta.* Al estar más cercana a la ventana y por consiguiente a la luz solar, se recomienda instalar filtros de rayos ultravioleta en las ventanas por las cuales la escultura recibe radiación solar. Esto, además de reducir la temperatura de la zona, impide la decoloración del cemento pigmentado de la superficie de la obra. Por otra parte, la radiación solar, al calentar la superficie obra, puede desecar los poros y reducir su nivel de agua en su interior. Si de esta desecación quedan moléculas de agua en zonas carbonatadas que tapicen la superficie del poro, la carbonatación seguirá afectando al hormigón (Garcés, Climent, & Zornoza, 2008, pág. 48 y 49).
- *Control de la humedad relativa.* Ante la imposibilidad de alterar todo el espacio donde se localiza la escultura “Ternura”, se recomiendan modificaciones que podrían significar una reducción de la grave fluctuación de humedad relativa del espacio: tratar el suelo de la superficie donde se localiza la peana de “Ternura”, creando una barrera entre esta y el suelo de piedra, por ejemplo con tela asfáltica. Esto impediría el ascenso de la humedad, dejando de saturar la piedra del suelo del pabellón. Otra

recomendación más económica y sostenible sería invertir en un sistema de cierre automático por aire comprimido en la puerta de ingreso al hall del edificio, para disminuir el ingreso de humedad desde el exterior.

6.2 Control de agentes biológicos

Los resultados de los análisis, presentados en el capítulo 3 de este estudio, confirman la presencia de colonización biológica en la superficie de la escultura “Ternura”. Los hongos, bacterias y algas presentes en la obra pueden provocar alteraciones en diferente grado a la escultura:

Alteración de la lectura de la obra. La presencia de colonización biológica y la suciedad presente en el momento del examen de estado de conservación de la obra, daba a su superficie una tonalidad verde grisácea. Esta impedía la visión del color rosa original de la escultura. La tonalidad verde intensa presente en áreas de la obra, como el costado de la figura femenina (Apéndice II, Fig. 19, pág 4), pudo deberse a la presencia de clorofila en las algas (ICOMOS - ISCS, 2008, pág. 66).

Exfoliación. Al establecerse y abastecerse de los nutrientes de la superficie del hormigón y de la suciedad incrustada, los hongos, presentes en menor medida en la escultura, pueden introducir sus hifas por fisuras microscópicas en la escultura penetrando algunos milímetros en el sustrato. De crecer estos y reproducirse, el tamaño de las hifas aumenta, arrastrando y desprendiendo sustrato superficial de la obra. Esto provoca exfoliación, que, si no es controlada debidamente mediante la eliminación de los hongos y las hifas del interior, podría producir la unión de diversas microfisuras, dando lugar a pérdida de la superficie pigmentada de la escultura.

Aumento de la humedad en la superficie. Las algas, bacterias y hongos requieren la presencia de humedad para crecer y reproducirse. Al colonizar el hormigón y mezclarse entre sí, forman un biofilm con una o varias capas de diferentes organismos embebidos en una gran cantidad de limo extracelular, las cuales se extienden dependiendo de las necesidades de agua en la superficie, creando una pátina colorida (pág. 64).

La humedad de la superficie permite la entrada de agentes contaminantes como dióxido de carbono, sulfatos y cloruros provenientes del exterior, además de ácidos y nitrógeno procedentes de los procesos químicos de la propia colonización biológica.

Para la adecuada conservación de la superficie de la obra, se recomiendan las siguientes actuaciones de mantenimiento:

- *Limpieza mecánica de la escultura.* Mantener la limpieza superficial de la obra con ayuda de brocha, pincel y aspirador, evitando la utilización de medios líquidos y poniendo especial énfasis en el aseo de las zonas de fácil acumulación de polvo y restos biológicos animales, ya que estos promueven la aparición de especies microbiológicas. Se recomienda realizar esta limpieza cada 6 meses.
- *Monitorización de biocolonización.* Por la localización semi exterior de la escultura, es recomendable monitorizar la posible reaparición de colonización biológica. En el caso de ocurrir, los propietarios de la obra se deben poner en contacto con un profesional de conservación – restauración, el cual, apoyado en el informe de intervención de la escultura, procederá a aplicar las técnicas de eliminación de la presencia biológica.

Para los análisis de colonización biológica, referenciados en el capítulo 3, fueron recogidas muestras de zonas especialmente afectadas por esta alteración. En el momento de monitorizar la reaparición de biocolonización en la superficie de la escultura, es recomendable tener en cuenta estos análisis tanto como los tests realizados con biocidas y los resultados y conclusiones que estos han arrojado. Para esta actividad, es de importancia relevante la muestra C2, recogida en la zona del pecho de la figura masculina para el test de biocidas (Fig. 50, pág 57), ya que fue la única que sufrió de reaparición de biocolonización en el laboratorio.

Por motivos estéticos, se decidió no aplicar un tratamiento hidrófugo en la escultura, ya que este alteraría gravemente la tonalidad original de la obra. Debido a esto, es de vital importancia controlar la humedad relativa en el espacio de exposición de “Ternura”, para evitar una futura reaparición de biocolonización en su superficie.

6.3 Manipulación de la escultura

La manipulación de las obras, ya sea por cambio de diseño expositivo, por préstamo o por estudio, implica un riesgo debido a las posibles vibraciones, golpes y/o fisuras. En el caso de “Ternura”, las alteraciones que sufría, mencionadas en el capítulo 4, dejaron a la pieza en un estado que obliga a incrementar la seguridad a la hora de su manipulación, a pesar de la intervención de conservación – restauración realizada.

En cualquier escultura, una de las superficies que más alteraciones experimenta, a causa de la manipulación, es la base, ya que, está siempre en contacto con el suelo o con la peana de exposición. En “Ternura” se observa que la base de la obra ha sufrido alteraciones que podrían atribuirse a este hecho, siendo la principal de ellas una grieta producida en el centro de la obra (Fig. 121). Esta fisura recorre la superficie de la base, cruzándola de un extremo al otro transversalmente. Esta grieta no representa peligro en la actualidad pero, de seguir aumentando por manipulación incorrecta, podría poner en riesgo toda la obra, ya que la base podría dividirse en dos partes.

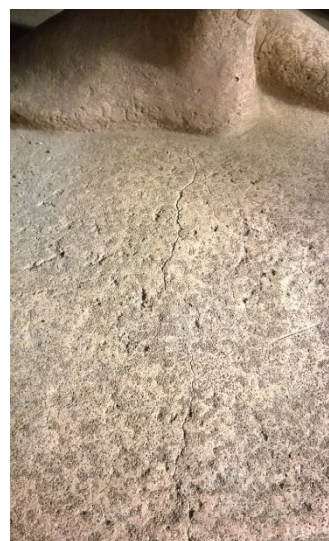


Fig. 121 Pequeña grieta en base de la escultura, que recorre todo el centro de la misma.

Para evitar la manipulación directa de la obra e incrementar su protección, se diseñó una peana a medida para la escultura (Fig. 122 y 123). Fue fabricada en acero inoxidable con un diseño capaz de soportar el peso de la obra (Fig. 124). Para facilitar el traslado de “Ternura”, sin necesidad de separarla de la peana, el diseño de esta se inspiró en los palets utilizados para transporte de mercancías. Para ello, se reservó un espacio de 10cm sobre el suelo para, que la peana pudiera recibir dos transportadoras de palets y así facilitar el traslado de la obra. Este sistema es muy utilizado en museos con obras de gran tamaño. Ejemplos de ello son las esculturas “La defensa de Zaragoza”, de 2.80 m de altura y 3500 kg, y “Ariadna dormida”, de 2.80 m de largo y 1360 kg, ambas expuestas en el Museo del Prado de Madrid, que cuentan con este sistema para facilitar su traslado. Sobre la

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

superficie de la peana, se pondrá una placa de aglomerado hidrófobo, y sobre ella la escultura.

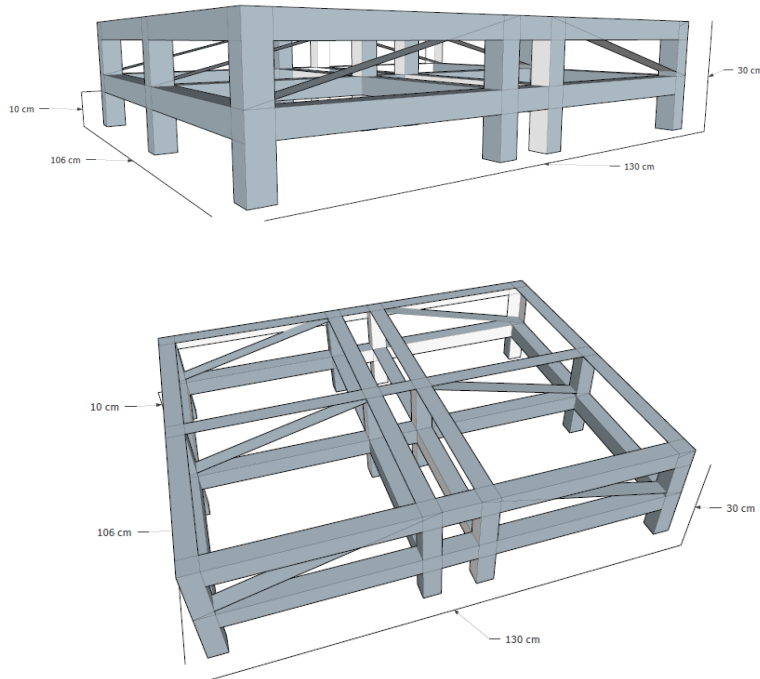


Fig. 122 y 123 Diseño de peana en programa CAD.



Fig. 124 Peana diseñada para la escultura ya construida.

Al organizar un procedimiento de traslado de la escultura, es recomendable que éste lo realice siempre una empresa especializada en transportes de obras de arte, siempre siguiendo los criterios de protección de la obra otorgados por el conservador – restaurador de la misma.

Antes de comenzar el proceso de traslado es importante comprobar que la obra se mantenga físicamente estable, planear con anterioridad los movimientos a realizar y comprobar que la ruta a seguir sea segura y despejada. Es necesario comprobar las medidas de altura y ancho de los huecos por donde pasará la obra, para evitar someterla a riesgos innecesarios (Rotaèche, 2008, pág. 150). Durante la manipulación de la escultura se recomienda usar guantes de nitrilo o algodón.

Con vistas a aumentar la seguridad en el traslado, se recomienda la creación de un armazón de madera de pino macizo a modo de jaula (Tortajada, 2011, pág. 59), semejante a la estructura realizada para la restauración de “Ternura”. Esta estructura protegerá las zonas más delicadas de la obra. La escultura se deberá asegurar la peana y a la jaula por medio de cinchas en el tronco y entre las piernas de las figuras. Los bordes de la base y las zonas en que las cinchas rocen con la obra deben de protegerse con plástico flexible y sobre este con material acolchado, para reducir la presión y evitar roturas y abrasión. Cualquier sistema de protección por medio de cinchas u otro material que provenga desde el vehículo de transporte, debe de asegurarse siempre en la jaula de protección, nunca en la escultura.

Si la ruta de traslado de la escultura pasa por zonas de superficie irregular, es recomendable la utilización de planchas de madera o metal para crear una superficie lisa en el suelo y así evitar vibraciones excesivas.

En el caso de que la obra requiera ser trasladada fuera de las instalaciones de la FBAUP por medio de transporte rodado, el vehículo utilizado para tal efecto debe tener condiciones indicadas para la correcta conservación durante el proceso. Debido al tamaño y peso de la escultura, es importante que el medio de transporte posea una plataforma de carga y descarga hidráulica para impedir la caída de la obra al montarla y desmontarla del vehículo. Debe de contar con medios de sujeción para mantener la estabilidad de la obra durante el traslado y proteger las zonas más débiles de la escultura, como piernas, brazos y cuellos, con material acolchado.

Durante el transporte se debe impedir que la obra esté expuesta a temperatura y humedad extremas, tratando de que sus niveles sean semejantes a los de la localización original. Con esto se evitarán eventuales choques de temperatura y humedad en la obra al variar esta de manera muy brusca. Si el vehículo utilizado para el traslado es de caja abierta, en

la cual la escultura estará expuesta al medio ambiente, se evitará el traslado de la misma en días de lluvia y también en los de temperatura o humedad relativa muy altas. En el caso que el vehículo sea de caja cerrada, se debe controlar la humedad relativa por medio de sensores.

En estas recomendaciones de conservación preventiva para la escultura “Ternura”, se busca la permanencia de la obra a través del tiempo. El buen mantenimiento de la obra previene la rápida degradación de la obra y, debido a estas, la necesidad de futuras intervenciones de conservación – restauración.

7. CASO DE ESTUDIO: “TERNURA” Y LOS CRITERIOS DE CONSERVACIÓN – RESTAURACIÓN DEL ARTE CONTEMPORÁNEO

Los criterios de conservación y restauración de una obra de arte realizada con materiales contemporáneos, como es el caso de “Ternura”, son, en cierta medida, diferentes de los que un conservador – restaurador ha estudiado en su formación. Surge, por lo tanto, la necesidad de nuevos parámetros de estudio y tratamiento al enfrentarse a una obra de factura reciente. La diferencia entre la conservación de una obra contemporánea y una antigua, no implica el rechazo de la conservación clásica en su totalidad, para obras contemporáneas. La consideración de la coexistencia del patrimonio artístico tradicional y contemporáneo nos lleva a evaluar el carácter de cada obra de manera individual en su concepto y su valor (Smeltzer, 2012, pág. 12). Los criterios de la conservación clásica deben servir de base y ejemplo para el estudio y conservación de obras de factura contemporánea.

A través del tiempo, los materiales de las obras de arte fueron objeto de una exhaustiva selección previa a su utilización. Los artistas experimentaban con las materias primas destinadas al arte con el objetivo de conocer las reacciones, compatibilidades e incompatibilidades de aquellas con otros materiales (Rotache, 2010, pág. 143). La experimentación conseguía obtener pigmentos, aglutinantes, barnices, cortes de piedra y madera de calidad, que permitieran la durabilidad de las obras de arte durante siglos. Actualmente, podemos identificar la obra de un artista, de un gremio artístico o de una zona geográfica productora de materiales para el arte, debido al conocimiento a través de su técnica y de los materiales de las piezas conocidas.

La documentación relacionada con el estudio de materiales y aplicación de técnicas científicas se retrotrae a la Antigüedad. Los escritos sobre arte de los libros XXXIV, XXXV y XXVI de *Naturalis Historia*, Plinio el Viejo nos detalla información sobre artistas, técnicas y pigmentos. Por ejemplo, en el libro XXXV habla de los colores

naturales y las mezclas de mayor en la época, entre los cuales menciona colores ricos como el minio, cinabrio, índigo y rojo púrpura (Plinio, 1987, pág. 86). En este mismo libro se refiere al modelado y trabajo en arcilla, su historia y algunas obras en particular (pág. 184). En el libro XXXVI, el autor menciona a escultores, obras famosas y técnicas utilizadas (pág. 131).

De estos estudios y experimentos, que buscaban la calidad de los materiales en el arte, surgieron diversos tratados, de los cuales muchos han llegado hasta nuestros días. Leonardo Da Vinci⁴¹, Cennino Cennini⁴² y Francisco Pacheco⁴³ son quizás los autores más relevantes, siendo sus escritos aún a día de hoy muy utilizados como documentos por restauradores, artistas e investigadores de Historia del Arte. Por lo que se refiere a escultura, destaca la obra *Della Statua*⁴⁴ (1462) de Leon Battista Alberti. El autor nos propone una proporción armónica del cuerpo humano desde el punto de vista empírico, así como el uso del *Definitorium*, a modo de pantógrafo, para la transferencia de las medidas desde un modelo al material a esculpir, y la reproducción en serie de piezas escultóricas.

A finales del siglo XIX, apoyado por las nuevas tecnologías surgidas de la Revolución Industrial, el mundo del arte cambió notablemente con la irrupción de los Impresionistas, movimiento artístico que se dedicó a investigar y descubrió nuevos aspectos de la realidad, plasmándolos en el lienzo, en el barro y en la piedra. Con ello alcanzaron una revolución de los colores y las formas, que, según Ernst H. Gombrich (1984, pág. 482) en su “Historia del Arte”, es casi comparable a la revolución de la manera de representar las formas originadas por los griegos. Con la aparición de nuevos materiales para el arte, como por ejemplo los pigmentos industriales o el nacimiento de la fotografía, los artistas más innovadores se encontraron con gran variedad de productos a los que habrían tenido

⁴¹ El “Tratado de la Pintura” de Leonardo Da Vinci, fue publicado en el siglo XVII en base a manuscritos del artista que fueron reproducidos y divulgados antes de ser definitivamente reunidos en este libro.

⁴² El “Libro del Arte” de Cennino Cennini, fue escrito a finales del siglo XIV, aparentemente en la zona del Véneto, y es considerado el primer tratado moderno de pintura.

⁴³ Pintor y teórico, su gran obra “El Arte de la Pintura”, fue publicada en 1649 de manera póstuma. Es el principal tratado de la pintura española del siglo XVII.

⁴⁴ *Della Statua* forma parte, junto a *Della Pittura* y *De Re Aedificatoria*, de una trilogía de obras de Alberti.

difícil acceso anteriormente. Así, la antigua búsqueda y experimentación de materiales duraderos para la posteridad, se transformó en la experimentación de los nuevos productos obtenidos gracias a la tecnología moderna: pigmentos industriales ya mezclados con sus aglutinantes, plásticos, poliésteres, piedras artificiales, etc.

A diferencia de las obras clásicas, cuyos materiales son fácilmente identificables por su utilización a través de los siglos, los productos del arte contemporáneo son, en gran parte, desconocidos. Creados en laboratorios y con fines generalmente ajenos a la creación artística, los compuestos de estos productos son objeto de secreto industrial. Esta situación es normal por la cantidad de nuevos descubrimientos. También son desconocidos algunos procesos de degradación de los materiales, puesto que, aunque se realicen estudios de envejecimiento en laboratorio, algunos resultados no pueden ser aplicados a las obras de arte ya que el material utilizado no cumple con el objetivo para el que fue creado. Esta situación es frecuente en las piezas de arte contemporáneo.

Debido al desconocimiento de las reacciones a las interacciones de los compuestos utilizados, muchas obras de arte contemporáneo han sufrido un proceso de degradación acelerado en comparación con las obras de arte clásico. Así, no es extraño encontrar piezas artísticas con alteraciones físicas y químicas que han causado niveles de degradación graves, que se traducen en la ruina o la pérdida total de algunas obras. Un ejemplo relevante de esta pérdida total son las miles de cintas cinematográficas que, a raíz de estar fabricadas en acetato de celulosa, sufrieron degradación por síndrome acético⁴⁵, lo cual provocó la pérdida irreparable de importantes documentos de principios del siglo XX (Rotaèche, 2010, pág. 62).

El artista contemporáneo, desde los Impresionistas hasta la actualidad, al abandonar los conocimientos del arte tradicional, hace uso de materiales de nueva creación y los mezcla independientemente de su compatibilidad, dando mayor importancia a la estética y al significado sensorial o conceptual que a los materiales y a la técnica. Esto se observa en instalaciones temporales y piezas efímeras originadas después de la Segunda Guerra

⁴⁵ El síndrome acético es un proceso de degradación que afecta al polímero del acetato de celulosa y sus plastificantes, provocando la pérdida de los grupos laterales acetilo de la cadena principal del polímero. Puede producirse de forma natural o inducido por agentes externos como temperatura, humedad, polución, hongos, agua, luz, manipulación incorrecta, etc. (Rotaèche, 2010).

Mundial, en las cuales no hay interés de que perduren en el tiempo, ya sea por motivos reivindicativos o críticos (Llamas, 2014, pág. 40). A pesar de esto, el artista suele estar interesado en conservar su obra y sus características para que perduren, especialmente al pasar a formar parte de colecciones artísticas (Rotaèche, 2010, pág. 62).

La restauración de una pieza de arte contemporáneo lleva al profesional conservador – restaurador a abandonar las pautas clásicas de conservación, desarrolladas desde el siglo XVII (Llamas, 2014, pág. 14), para adentrarse en un trabajo de investigación y análisis para hallar respuesta y solución a las alteraciones de la obra de arte.

Según Smeltzer (2012, pág. 12), el trabajo del conservador – restaurador no ha evolucionado al mismo ritmo que las corrientes artísticas y los materiales con los que se crean las obras, lo cual dificulta cubrir las necesidades requeridas a la hora de conservar de forma adecuada una pieza contemporánea.

Además de las características materiales de la obra de arte, el conservador – restaurador de arte contemporáneo debe prestar atención en la preservación de la idea, concepto y simbolismo de la obra (Llamas, 2014, pág. 38); en otras palabras, la filosofía y la intención intelectual del artista. Según Llamas, una intervención equivocada podría desvirtuar la lectura o la evolución de la obra (pág. 39). La conservación de estas características materiales, conceptuales y filosóficas de una obra de arte contemporáneo, puede ser un obstáculo importante para el conservador – restaurador, puesto que, como refiere Rotaèche (2010, pág. 143), es difícil calibrar la intención de un artista al utilizar ciertos materiales para crear una idea filosófica o intelectual.

La conservación preventiva es prioritaria en el arte contemporáneo. Esto se traduce en la creación de informes de condición, documentación bibliográfica y entrevistas con el autor de la obra, monitorización continua del estado de la obra e intervención de posibles factores de degradación en sus primeros estadios. Este último aspecto es especialmente importante cuando se trata de obras con materiales de fácil degradación, que no hayan sido creadas como obras en las que el envejecimiento y la degradación son parte del proceso creativo (Rotaèche, 2010, pág. 100).

En resumen, el conservador – restaurador de arte contemporáneo debe ser consciente del valor del concepto y las posibilidades que entraña cada intervención por separado. El conocimiento y la continua búsqueda de los materiales y técnicas de producción, llevan

a modificar las actuaciones necesarias para la adecuada conservación de cada obra, pues tanto materiales como técnicas evolucionan constantemente (Hiiop, 2012, pág. 141). En el mejor de los casos, la conservación preventiva o la intervención en un estado muy temprano de la degradación, ayudan a la preservación física y conceptual de la pieza artística.

7.1 El caso de la escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques

Al ser una obra realizada para obtener la certificación del alumno como artista titulado, Lagoa Henriques debía demostrar en la pieza los conceptos aprendidos durante su formación. Para ello, modeló la pieza en barro, del que posteriormente hizo un negativo en yeso y luego lo positivó en hormigón armado. En el trabajo y el resultado final se concentran tres características: es una obra ejecutada con técnicas clásicas; el material definitivo, aunque de una tradición de milenios, fue redescubierto hace menos de doscientos años, desarrollado y perfeccionado en el siglo XX; el material está diseñado y pensado para un uso industrial (la construcción), alejado de lo artístico.

Aunque el cemento armado ya era conocido y utilizado en obras escultóricas, por ejemplo el Cristo Redentor de Río de Janeiro (1931)⁴⁶, la “Cabeza de Mujer” presentada por Pablo Picasso en la Exposición Internacional de París de 1937 o en diversas obras de Henry Moore, no era un material apreciado por los escultores, que se decantaban más por la piedra y el bronce, sino que, como se ha visto en los casos anteriores, su utilización estaba supeditada a razones de monumentalidad del objeto escultórico, como producto de experimentación de un genio artista o por razones económicas debido al bajo coste del cemento, arena y metal.

No se conocen otras obras del escultor Lagoa Henriques en el mismo material, por lo cual se supone que la motivación económica fue prioritaria en el caso de “Ternura”. En la ESBAP se realizaron otras obras en hormigón armado. En el capítulo 1, apartado 1.1 de

⁴⁶ En este caso, hay que tener en cuenta que la escultura de 38 metros de altura, fue construida como un verdadero proyecto de ingeniería a gran escala.

este estudio, se mencionó la obra *A Lógica e Silogismo* del artista Fernando Fernandes da Silva, que fue presentada como trabajo para la obtención del *Diploma do Curso*⁴⁷ y en la II Bienal de São Paulo en 1953. El original de esta obra es de hormigón y se conserva en el jardín de la FBAUP (Fig. 125), pero hace algunos años se realizó una copia en bronce, la cual se encuentra expuesta frente al edificio de escultura de la FBAUP (Fig. 126). Consultado sobre este hecho, el Museo de la FBAUP nos comunicó que si una obra no era vaciada en un material clásico como el bronce, generalmente era por un tema económico. El artista o la ESBAP proponían como material alternativo el hormigón armado.



Fig. 125 Escultura *A Lógica e O Silogismo*, pieza original de hormigón armado.



Fig. 126 Reproducción en bronce de la escultura *A Lógica e o Silogismo*.

7.1.1 Criterios de conservación y restauración de la escultura “Ternura”

“Ternura”, en su intervención de conservación y restauración, tuvo que ser tratada, desde el punto de vista técnico, como un objeto moderno, pero único e irremplazable, al que se debe proteger, conservar y reconocer su valor.

⁴⁷ Recuperado de

https://sigarra.up.pt/up/pt/web_base.gera_pagina?p_pagina=antigos%20estudantes%20ilustres%20-%20fernando%20fernandes. [Acceso el 16-08-2015]

La obra de estudio fue modelada y moldeada de manera tradicional, pero los materiales que la componen no permiten restaurarla y preservarla como a una escultura clásica. Aunque desde un punto de vista teórico se siguieron los pasos ya conocidos de la conservación de escultura pétreo tradicional, debido a la escasez de información acerca de la utilización de hormigón armado en piezas escultóricas y la restauración de éstas, fue necesario determinar las propiedades del hormigón y del metal de refuerzo, analizando y reconociendo los factores que pueden provocar su degradación.

La investigación documental y los análisis científicos realizados para optimizar la restauración y preservación de “Ternura”, siguen la línea planteada por la restauración científica, manifestada en los análisis referenciados en el capítulo 3 de este estudio. Esto demuestra que los criterios y procesos de conservación – restauración, desde la documentación hasta la intervención, no se alejan de los criterios aplicados en el arte clásico, pero sí son distintos en cuanto a su metodología de intervención. A pesar de esta diferencia, la dificultad de intervenir una obra contemporánea es la misma que en el arte clásico. Según Barbero (2008, pág. 16), sugerir que la restauración de arte contemporáneo acarrea mayor dificultad que la del arte tradicional, implica una visión parcial. Los nuevos productos son tan variados como los antiguos, lo cual demuestra que la investigación de los materiales del arte está en continua evolución.

El criterio de mínima intervención, que fue llevado escrupulosamente en este proceso, traspasó la barrera que regiría este principio en una escultura creada con materiales tradicionales. Debido a la degradación del acero y las posteriores alteraciones producidas en el hormigón, algunas de las intervenciones fueron de reconstrucción. Esto obligó a aplicar técnicas de corte, presión y vibración controlada para provocar el colapso de ciertas zonas para poder sanear, estabilizar y reintegrar. Aunque, desde cierto punto de vista, la intervención pueda parecer en exceso invasiva, estos procesos eran estrictamente necesarios. Algunas propuestas recibidas por los propietarios de la obra implicaban tratamientos extremos. Uno de ellos proponía el corte de las piernas afectadas por la corrosión del acero de refuerzo y su reemplazo por réplicas del mismo material. Al contrario de esto, en la intervención realizada finalmente a “Ternura”, se tuvo el mayor respeto por los materiales originales, la recuperación y la reintegración de fragmentos a la obra.

Siguiendo la premisa de mínima intervención, se consideró si era necesario o no, eliminar los restos de anteriores intervenciones de restauración de la obra. Se decidió llevar la obra a un estado de conservación que permitiese la preservación adecuada de la misma y mantenerse físicamente estable durante el mayor tiempo posible. En esta intervención de conservación – restauración no se pretendía alcanzar un supuesto estado ideal o “auténtico” de la obra sino que se buscó mantener su autenticidad, conservando la escultura en un estado lo más cercano al actual, pero sin las alteraciones que ponían en peligro su estabilidad. Esto coincide con lo planteado por Salvador Muñoz Viñas (2003, págs. 86 - 88) en su obra “Teoría contemporánea de la restauración”, que sugiere que el único estado real de la obra es el presente. Según el autor, hay cuatro factores de autenticidad en la conservación de los materiales que componen el objeto, de los cuales tres coinciden con los objetivos al intervenir la escultura: autenticidad de los materiales originales, mantenimiento los rasgos perceptibles de los objetos y preservar la idea que originó el objeto.

Autenticidad de materiales. Si los materiales originales se sustituyeran por otros, la autenticidad de la obra sería destruida. En el caso de “Ternura”, se ha intentado la conservación de los materiales originales, procurando no perjudicar zonas de la escultura que no están alteradas. Esta actuación es contraria a las otras propuestas ya mencionadas y claramente más invasivas de lo necesario en esta obra.

Conservación de los rasgos perceptibles de los objetos. Se trata de mantener los rasgos característicos de la obra, por ejemplo el color. En la escultura “Ternura”, se evitó modificar el color original y el de las reintegraciones posteriores. Por ello, las reintegraciones cromáticas fueron realizadas con los mismos pigmentos de la obra, que fueron pulverizados para tal efecto. Asimismo, se omitieron otras intervenciones que, si bien hubiesen ayudado a la conservación de la obra, habrían alterado gravemente su originalidad. Un ejemplo de esto fue la propuesta de la aplicación de un producto hidrofugante para impedir la penetración de la humedad y el crecimiento de biocolonización. Esta opción se descartó porque el producto saturaría el pigmento de la obra, intensificando y oscureciendo su color. En cuanto a las reintegraciones realizadas en intervenciones de restauraciones no documentadas, se optó por mantenerlas, pues forman parte de la historia de la obra y no impiden la lectura adecuada de “Ternura”.

Idea que originó el objeto. ¿Debe permitirse el deterioro para conservar la idea del objeto? En las obras de arte contemporáneo, esto se considera decisión del artista. En el caso que nos ocupa, por el fallecimiento del artista, no se conoce la opinión de Lagoa Henriques, pero se intuye por su obra posterior y por las entrevistas realizadas, que él no estaba especialmente interesado en que sus piezas siguiesen el proceso de degradación natural, por lo cual es mejor atender a la decisión del actual propietario de “Ternura”.

Sobre la reversibilidad, siendo conscientes de que este es un término subjetivo y que en realidad una intervención de restauración nunca es totalmente reversible (Muñoz, 2003, pág. 108), se pretendió que los procesos ejecutados y los materiales utilizados sobre la obra fueran lo menos invasivos posible y que no implicaran gran dificultad de eliminación.

La decisión de mantener la escultura en el hall de acceso del Pabellón Carlos Ramos, ha sido largamente cuestionada y estudiada por todos los intervinientes involucrados en la intervención de conservación y restauración de “Ternura” y por sus propietarios actuales, puesto que el medio ambiente del pabellón, en especial los niveles de humedad relativa no son los más adecuados para la óptima conservación de la pieza. Por su parte, La FBAUP, como propietaria de la obra, aduce que el espacio abierto del hall, aunque protegido por medio de cristaleras (Figs. 127 y 128), es lo más parecido a la localización original de la obra y que cumple objetivo inicial de permanecer en los jardines de la facultad.



Fig. 127 y 128
“Ternura” en su
localización definitiva.

Con esta decisión la dirección de la FBAUP pretende mantener una idea de la estética original así la autenticidad de “Ternura” dentro de un entorno verde y frondoso. Con ello, la correcta lectura de la obra, término que los conservadores - restauradores utilizamos y defendemos constantemente, abarca a la escultura y a su entorno inmediato, interpretándose su valor artístico por el material tangible de la obra misma, y a los elementos “intangibles” asociados a ella (Jadzinzka, 2012, pág. 97).

Este deseo de la dirección de la FBAUP es claramente justificable y conlleva nuevos desafíos desde el punto de vista conservativo de “Ternura”, los cuales se traducen en proponer una mayor monitorización de la obra y crear un ambiente lo más apropiado posible para su conservación, dentro de lo que permitan los parámetros del medio ambiente del lugar que alberga la obra.

7.2 Otros casos de conservación de escultura en hormigón armado

Es difícil hallar paralelismos en casos de conservación de esculturas de hormigón armado semejantes en su composición física a la obra “Ternura”. Es sabido que este material se utiliza en grandes construcciones y cuando al fin penetró en el campo artístico, su empleo se concentró especialmente en obras de gran formato. Estas piezas, aunque pueden sufrir procesos de degradación semejantes a “Ternura”, no se ven necesariamente afectadas de la misma manera. Las alteraciones de la armadura de acero a causa de la carbonatación del hormigón armado tienen mucho que ver con el grosor del sustrato de la obra.

En la pesquisa de otras piezas que han sido intervenidas por alteraciones estructurales semejantes a las sufridas por “Ternura”, se han encontrado tres casos que hay que tener en cuenta al crear criterios de restauración y preservación de esculturas de hormigón armado de características estilizadas, objetivo que se pretende plasmar en este trabajo.

7.2.1 Esculturas Nigerianas de Cemento. Colección Etnográfica del Museo y Jardines Horniman, Londres (O'Sullivan & Nicklin, 1995).

Las esculturas de cemento en Nigeria fueron introducidas al país desde la Costa Dorada entre 1920 y 1950, siguiendo como patrón las antiguas tumbas de las misiones inglesas,

escocesas e irlandesas. En estas se asentaba sobre el sepulcro una simple cruz de piedra, característica de las Islas Británicas e Irlanda. Con el tiempo, estas cruces fueron reemplazadas con figuras sentadas representando al fallecido.

Esta forma de escultura evolucionó desde memoriales *post-mortem* a piezas de arte religioso, bustos conmemorativos de personajes célebres vivos o muertos y arte con fines comerciales.

Las esculturas pertenecientes al Museo y Jardines Horniman en Londres fueron creadas por los escultores Sunday Jack Akpan y Aneidi Okon Akpan, pertenecientes al pueblo ibibio, localizado en el sureste de Nigeria. Entre 1992 y 1994, el museo adquirió cuatro esculturas, de las cuales dos, creadas por S.J. Akpan, sufrieron diversas alteraciones, ya que, aunque aparentan ser sólidas y duras, son en realidad muy frágiles.

7.2.1.1 Escultura “Seated Male Figure”

Se trata de una obra de hormigón armado con la superficie policromada. El artista suele utilizar en sus obras pintura de albañilería mezclada con petróleo u otras pinturas comerciales, con una capa de protección a base de barniz brillante de uso comercial. Mide 160cm de altura y representa a un hombre con túnica y sombrero elegantes.

A su llegada al museo, la escultura tenía fragmentada una parte del sombrero. Uno de los fragmentos fue analizado y se descubrieron una serie de capas de hormigón de consistencia variada, pasando de capas robustas y duras a capas suaves, descamadas y pulverulentas, con zonas donde la pintura fue pobremente adherida. Estas alteraciones en el hormigón pudieron producirse por la poca cohesión entre las capas, por la mezcla inadecuada de los materiales de composición o por una proporción incorrecta de cemento y arena. Existe también la posibilidad de que la escultura sufriera de eflorescencias debido a la presencia de sales solubles diluidas en agua y posteriormente secadas, las cuales pudieron provocar la disgregación del cemento sólido.

Los conservadores del *Horniman Museum* de Londres, Diana O’Sullivan y Keith Nicklin, realizaron una serie de pruebas hasta encontrar el solvente y adhesivo adecuados para una consolidación eficiente de las superficies descamadas y pulverulentas. La mezcla utilizada en la consolidación se compuso de resina acrílica termoplástica y etilmetacrilato

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

Paraloid B72® al 2% en una solución 1:1 de solventes aromáticos acetona y tolueno, la cual fue aplicada cuidadosamente para que el solvente no tocara ni degradara las capas pictóricas.

Para reintegrar los fragmentos desprendidos del sombrero se utilizó una mezcla de Paraloid B72® al 20% diluido en una solución 1:1 de acetona y tolueno, proporcionando una adhesión fuerte y rápida. Para las piezas de mayor tamaño fue utilizada la resina epoxi termoestable bicomponente Araldite AV/HV®. Las grietas y huecos entre las zonas reintegradas fueron rellenadas con pasta de estuco Polyfilla®, y posteriormente el relleno fue arenizado y reintegrado cromáticamente con pinturas acrílicas.

7.2.1.2 Escultura “The Lion”



Fig. 129 Escultura “The Lion” en el *Horniman Museum & Gardens* de Londres.

Pieza de 149 cm de largo y 86 cm de alto. La escultura *The Lion* sufría de agrietamiento de las piernas y rotura de las garras, debida esta última probablemente al traslado de la obra al museo. Otra de las alteraciones es la pérdida de algunos dientes a causa de vandalismo.

En el proceso de conservación – restauración, la garra fue reintegrada usando el mismo método utilizado en el sombrero de la figura *Seated Man Figure*, Paraloid B72® al 20% diluido en una solución 1:1 de acetona y tolueno.

Se intentaron reemplazar los dientes perdidos para recuperar la lectura de la obra, pero esta labor no fue posible ya que la escultura se encontraba en una zona accesible y estos seguían siendo retirados por niños.

La pierna con alteraciones producidas por grietas fue monitorizada, por si necesitaba ser estabilizada, pero se comprobó que las grietas no aumentaron de tamaño ni profundidad, por lo cual la pierna no fue intervenida.

En diciembre de 2013, el autor de este trabajo se puso en contacto con la Jefa de Conservación del Museo Horniman, Louise Bacon, para solicitar datos sobre la evolución de las obras y si estas habían sido posteriormente intervenidas. La restauradora respondió el día 13 del mismo mes explicando que las obras seguían estando en exposición abierta y que pasaban por un proceso de limpieza cada dos años. Las esculturas sufrieron un acto de vandalismo en el 2009 en el cual se pintaron con un rotulador negro. La restauradora aclara que la eliminación de esta alteración fue llevada a cabo con facilidad.

Sobre la escultura *The Lion*, esta siguió perdiendo piezas dentales, que se ha decidido no reemplazar, ya que, al igual que en el momento de la publicación del artículo, estas eran desprendidas y robadas.

7.2.1.3 Escultura “Woman Washing Her Hair”



Fig. 130 Escultura *Woman Washing Her Hair*, en *The Charles Macdonald Concrete House Museum*.

Obra de 149 cm de alto, 47 cm de ancho y 50 cm de profundidad, perteneciente a *The Charles Macdonald Concrete House Museum* (Centreville, Kings County, Nueva Escocia – Canadá)⁴⁸. La casa de Charles Macdonald se caracterizó desde su construcción

⁴⁸ Recuperado de www.concretehouse.ca [Acceso el 02-08-2015]

por ser la única propiedad de la zona construida totalmente en hormigón. Tanto la decoración de los jardines como los muebles exteriores son del mismo material, todo realizado por el dueño de casa.

La restauración de la escultura *Woman Washing Her Hair*, fue ejecutada por la artista canadiense Eileen Boyd. Aparentemente, la escultura no sufría problemas estructurales, pero después de un temporal de viento y lluvia, y a causa de una caída, la base de la obra sufrió alteraciones de tipo estructural, al fragmentarse en dos partes.

El proceso de restauración de la escultura consistió en la limpieza de la zona afectada y la reintegración estructural de la base. Para esto fueron utilizadas, como material de refuerzo dos mallas de metal y, en medio de ellas, se añadieron cuatro varas de acero, dos en vertical y dos en horizontal en forma de rejilla. Luego de asegurar estas piezas, se cubrió todo con una capa de cemento y aglomerado fino, protegiendo todo con plástico transparente. Posteriormente se repintó la superficie con un color diferente al original. No se sabe si el fragmento desprendido desapareció con el viento y la lluvia o se decidió no reintegrarlo.

Hay que considerar que, aunque la obra no haya sido restaurada por un profesional de la conservación – restauración, la artista siguió los parámetros de creación que utilizaba Charles Macdonald, autor de la escultura. En el sitio web de *The Charles Macdonald Concrete House Museum* (www.concretehouse.ca) se explica la metodología que utilizaba el autor para sus creaciones, consistente en la construcción de una subestructura de metal al que aplicaba capas de cemento a mano, dando la forma deseada mientras el material se encontraba fresco.

7.2.1.4 “Watts Towers”. The Watts Towers Arts Center, Los Angeles, Estados Unidos



Fig. 131 Watts Towers, en Los Angeles, Estados Unidos.

Las *Watts Towers* fueron creadas entre el año 1921 y 1955, y pertenecen actualmente al Patrimonio Histórico e Histórico Cultural del Estado de California⁴⁹ en Estados Unidos.

La escultura, bautizada por su autor, Simon Rodia, con el nombre de “Nuestro Pueblo”, se compone de diecisiete esculturas de acero cubiertas de hormigón y adornadas con vidrio, conchas marinas, cerámicas y baldosas. El acero utilizado se compone de materiales reciclados: tubos, partes de ventanas, electrodomésticos, etc. Para su construcción no se utilizaron máquinas, ni se realizaron procesos de soldadura, ni tampoco se aplicaron remaches de ningún tipo. Para unir las piezas de acero, estas fueron superpuestas y unidas con alambres de cobre⁵⁰.

Las causas de las alteraciones del conjunto escultórico se deben principalmente a la actividad sísmica de la zona de Los Ángeles, a las tormentas de granizo, a las tormentas de viento y lluvia y a la vibración por la pérdida de estabilidad de los materiales.

En 1983 se publicaron el Plan de preservación de las *Watts Towers* y la Guía de Mantenimiento y Restauración de este conjunto histórico. Las dos publicaciones fueron realizadas por *Ehrenkrants Group Reports*.

⁴⁹ Recuperado de <http://www.wattstowers.us/history.htm>. [Acceso el 02-08-2015]

⁵⁰ Recuperado de <http://www.culturela.org/wattstowers/WattsTowersPresentation.pdf>. [Acceso el 02-08-2015]

La filosofía básica del Departamento de Cultura de Los Ángeles desde 1978, es la remoción de corrosión en el metal de la armadura, el reemplazo de refuerzos alterados, la reintegración y preservación de los ornamentos y la conservación continua de las torres.

Una de las principales tareas dentro de la preservación de las *Watts Towers* es la reparación de las grietas en el hormigón, para prevenir la penetración de agua por las superficies fisuradas, ya que, como en el caso de la escultura “Ternura”, esto acelera el proceso de depasivación del metal de refuerzo, provocando su corrosión.

Con vistas a la conservación estructural de las torres, los restauradores fotografían la zona afectada y abren la superficie agrietada para comprobar el estado del metal de refuerzo. En el caso de que el metal sufra de corrosión que no comprometa la estabilidad de la estructura, proceden a la eliminación de la corrosión y a la limpieza de la zona. En el caso de que la corrosión comprometa al metal de refuerzo, este es reemplazado y la zona es saneada. El nuevo metal es envuelto en una malla de acero inoxidable para optimizar la solidez de la zona intervenida. Finalizado el proceso, se cubre la zona con un nuevo mortero de cemento y se reintegran los materiales decorativos que se encontraban en la superficie.

Para la reparación y relleno de grietas, la superficie se protege con plástico de polietileno, se limpia la zona de la grieta con brochas o aire comprimido, para luego eliminar la suciedad superficial con acetona. Después, la grieta se rellena con resina epoxi, procurando no llegar al nivel de la superficie, pues la grieta será reintegrada con una capa de argamasa de cemento. Finalmente se reintegran los ornamentos decorativos, se aplica color o, dependiendo del caso, se imitan los grabados originales de la superficie.

Todos los procesos ejecutados para la conservación de las *Watter Towers* son fotografiados, documentados e introducidos en una base de datos de la ciudad de Los Ángeles para su archivo.

La conservación de materiales contemporáneos motiva, tanto en “Ternura” como en otras obras, a la investigación de materiales y criterios de conservación personalizados. Estos llevarán a encontrar productos más estables y compatibles para la intervención de restauración. De igual modo, es necesario conservar la relación de la obra con el entorno al que fue destinada, adecuándose siempre a la intención filosófica o intelectual del

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

artista y siguiendo así los lineamientos propuestos en la conservación de arte contemporáneo.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

CONCLUSIÓN

El estudio realizado sobre la escultura “Ternura” permitió profundizar en el conocimiento de esta obra, desde el punto de vista material y desde el punto de vista artístico y bibliográfico de su autor, el Maestro Lagoa Henriques.

La obra modelada en barro y posteriormente positivada en hormigón, con una armadura de acero en su interior. Aparentemente, fue creada como obra final para la obtención de la *Carta do Curso*, el cual acreditaría al Maestro Lagoa Henriques como escultor profesional. El hormigón armado era frecuentemente utilizado por la FBAUP como material definitivo, principalmente por causas económicas, pudiendo ser ésta posteriormente reproducida en otro material como bronce, como ha ocurrido con otras obras de la facultad.

Las técnicas analíticas, aplicadas a los materiales que conforman “Ternura”, permitieron conocer que la obra está realizada con dos tipos de hormigón: uno realizado con un árido más fino y pigmentado y otro fabricado con un árido más grueso. También se pudo demostrar que la grave degradación producida en los pies de la obra fue causada por la corrosión del acero del refuerzo. Esta se originó a causa de la carbonatación del hormigón, el cual produjo la depasivación del acero y la aceleración de la corrosión en el metal. Los análisis microbiológicos realizados sobre la superficie de la obra, ayudaron al reconocimiento de la biocolonización presente y a la búsqueda de productos biocidas efectivos para la eliminación de estas especies, cuidando la estabilidad química del sustrato de hormigón de la escultura.

Estos análisis permitieron la creación de una metodología adecuada a las características de los materiales y a la degradación de “Ternura”, que fue seguida de una intervención de conservación y restauración. Esta última, aunque conllevaba algunos riesgos, supuso un interesante desafío ante la necesidad de desarrollar y experimentar con productos que no se utilizan con frecuencia en la restauración tradicional.

La identificación de las causas de la degradación de la obra dio pie al desarrollo de parámetros de conservación preventiva. Estos involucraron el control de la humedad relativa y la temperatura del espacio, la construcción de una peana adecuada para un traslado seguro y sin necesidad de manipular la obra, el control de agentes biológicos y, por último, recomendaciones ante el eventual traslado de la obra a otro espacio.

Este estudio pretende ser el comienzo de una labor más profunda de recopilación de experiencias sobre intervenciones en hormigón y la puesta en común de soluciones ante ciertos tipos de degradación en esta clase de obras. Es importante considerar que el tratamiento de una obra de arte de hormigón armado no se puede intervenir de la misma manera que un edificio u obra de ingeniería civil compuesta del mismo material. Es por ello que se requiere de criterios que faciliten un correcto desarrollo ante el desafío de la intervención de conservación – restauración de una obra de hormigón armado. Estas pautas también son necesarias para la conservación preventiva de obras de la misma especie que “Ternura”. Debido a esto, la intervención de restauración y los parámetros de conservación preventiva plasmados en este trabajo, aspiran a ser un paradigma de la conservación de obras de arte contemporáneo de hormigón armado, los cuales deben de ser abordados de forma diferente a la tradicional.

REFERENCIA PRIMARIA

Costa, A., & Paupério, E. (2012). *Nota Técnica IC147-RVT223-A-NG312. Escultura de Lagoa Henriques Universidade do Porto*. Faculdade de Engenharia. Porto: Universidade do Porto.

BIBLIOGRAFÍA

Araújo, B. (2012). *Lagoa Henriques: O colecionador e a Casa Museu*. Universidade de Lisboa, Facultad de Bellas Artes. Lisboa: Universidade de Lisboa.

Araújo, F. (2009). *Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química [Tesis Doctoral]*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Depto. De Engenharia de Construção Civil.

Arquivo Faculdade de Belas Artes Universidade do Porto. (s.f.). *Proceso Individual Docente António Augusto Lagoa Henriques*. (E. S. Porto, Recopilador)

Arquivo Histórico Wanda Svevo. (s.f.). *II Bienal de Arte Moderna de São Paulo. Premios especiales instituídos para artistas da delegação de Portugal*.

Azcárate, J., Pérez, A., & Ramírez, J. (1981). *Historia del Arte*. Madrid: Anaya.

Bairrada, E., & Cunha, L. (Edits.). (1954). *Arte Portuguesa. Boletim da Escola Superior de Belas Artes do Porto 2 e 3*. Porto: Escola Superior de Belas Artes do Porto.

Balbás et al. (2009). *Caracterización de Morteros*. En G. Gisbert (Ed.), *Caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología. Tomo I. Rocas, morteros y ladrillos: Ponencias, caracterización y patologías*. Zaragoza: Fundación Uncastillo, Depto Geología U. de Zaragoza, Equipo Arbotante.

- Barbero, J. (2008). *Fondo y Figura. El sentido de la restauración del arte contemporáneo*. Madrid: Ediciones Polifemo.
- Bertolini, C., Carsana, M., & Redaelli, E. (2008). Conservation of historical reinforced concrete structures damaged by carbonation induced corrosion by means of electrochemical realkalisation. *Journal of Cultural Heritage*(9), 376 - 385.
- Broomfield, J. (2007). *Corrosion of steel in concrete. Understanding, investigation and repair* (2ª Edición ed.). Oxon: Taylor and Francis.
- Cameron, S., Urquhart, D., & Young, M. (1997). *Biological growths on sandstone buildings: Control & treatment*. Edinburgh: Historic Scotland.
- Caneva, G., Nugari, M., & Salvadori, O. (2000). *La biología en la Restauración*. Hondarribia: Nerea.
- Carvajal, E., Tussel, G., & Díaz, J. (2011). *Técnicas y Medios Artísticos*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Doménech, M. (2012). *Principios Físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Eklund, J. (Enero de 2013). Biological Growth on Masonry: Identification & Understanding. *Inform: Information for historic building owners*.
- Faculdade de Belas Artes Universidade do Porto. (1995). *ESBAP - FBAUP*. Porto: Universidade do Porto.
- Figueiredo, E., & Meira, G. (2013). *Boletim Técnico 6: Corrosión de armadura de estructuras de hormigón*. ALCONPAT Brasil - ALCONPAT Internacional. Mérida: ALCONPAT Brasil - ALCONPAT Internacional.
- França, J. (1985). *A Arte em Portugal no Século XX (1911 - 1961)*. Lisboa: Editorial Bertrand.

França, J. (1991). *O Modernismo na Arte Portuguesa*. Lisboa: Instituto de Cultura e Língua Portuguesa.

Fundação Bienal de São Paulo - Arquivo Histórico Wanda Svevo. (s.f.). II Bienal do Museu de Arte Moderna de São Paulo. Fichas de Inscrição da Delegação de Portugal.

Fundação Bienal de São Paulo - Arquivo Histórico Wanda Svevo. (s.f.). Prémios especiais instituídos para artistas da delegação de Portugal. *II Bienal de Arte Moderna de São Paulo*.

Garcés, P., Climent, M., & Zornoza, E. (2008). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado*. San Vicente, Alicante: Editorial Club Universitario.

Gombrich, E. (1984). *Historia del Arte*. Madrid: Alianza Editorial.

González, J. (1999). La pintura como inhibidor de corrosión en las estructuras especialmente expuestas y su rendimiento. *Informes de la Construcción*, 51(461), 9-17.

Gómez, M. (2008). *La Restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de Arte*. Madrid: Cátedra.

Helwing, K. (2007). Iron Oxide Pigments. Natural and Synthetic. En B. Berrie (Ed.), *Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristic* (Vol. 4). Londres: National Gallery of Arts Washington - Archetype Publications.

Herraez, J., Enríquez, G., Pastor, M., & Gil, T. (2014). *Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales*. Ministerio de Cultura, Educación y Deporte de España.

Hiiop, H. (2012). What is to be preserved in Contemporary Art? A question for the curator or the conservator. En I. Smeltzer, *Innovative Approaches of the complex care of Contemporary Art*. Warsaw: Academy of Fine Arts in Warsaw - Archetype Publications.

Huang, X. (2009). Fabrication and Properties of Carbon Fibers. *Materials*(2), 2369-2403.

ICOMOS - ISCS. (2008). *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*. Champigny/Marne: ICOMOS - ISCS.

Jadzinzka, M. (2012). Back to the future: Authenticity and its influence on the Conservation of Modern Art. En I. Smeltzer, *Innovative Approaches to the complex care of Contemporary Art*. Warsaw: Academy of Fine Arts in Warsaw - Archetype Publications.

Javaherdashti, R., Nikraz, H., Borowitzka, M., Moheimani, N., & Olivia, M. (2009). On the Impact of Algae on Accelerating the Biodeterioration/Biocorrosion of Reinforced Concrete: A Mechanistic Review. *European Journal of Scientific Research*, 36(3).

Llamas, R. (2014). *Arte contemporáneo y restauración, o como investigar entre lo material, lo esencial y lo simbólico*. Madrid: Tecnos.

Llano, C. (2009). Fibra de carbono. Presente y futuro de un material revolucionario. *Metal Actual*, 10 - 15.

Márquez, J., Sanchez-Silva, M., & Husserl, J. (2013). Review of Reinforced Concrete Biodeterioration Mechanisms. *VIII International Conference on Fracture Mechanism of Concrete and Concrete Structures*.

Masschelein - Kleiner, L. (2004). *Los Solventes*. Santiago de Chile: Centro de Conservación y Restauración - DIBAM.

Matos, L. (2003). *Escultura em Portugal no Séc. XX (1910 - 1969): Academismo, modernismo e vanguardas*. Universidade do Porto. Porto: Universidade do Porto.

Miravete, A. (2001). Hacia la fibra de carbono en la construcción. *Materiales de Construcción*, 51.

MIT Department of Civil and Environmental Engineering. (Spring 1999). Chemical Composition of Structural Steels. 1.51. *Design of Steel Structures*.

Moniz, G. (2011). *O ensino moderno da arquitectura. A reforma do 57 e as Escolas de Belas Artes em Portugal (1931 - 1969)*. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra: Universidade de Coimbra.

Monteiro, A. (2001). O impacte da poluição atmosférica urbana na precipitação ao fim de semana. Um estudo de caso no Porto (1978 - 2000). (U. d. Coimbra, Ed.) *Territorium*(8).

Muñoz, S. (2003). *Teoría Contemporánea de la Restauración*. Madrid: Síntesis.

Museu de Arte Moderna de São Paulo. (1953). *II Bienal do Museu de Arte Moderna de São Paulo*. São Paulo: EDIAM - Edições Americanas de Arte e Arquitectura.

O'Sullivan, D., & Nicklin, K. (1995). Nigerian Cement Sculptures. En J. Heuman, *The Conservation of Modern Sculpture*. London: Archetype Publications Ltd.

Pamplona, F. (2000). *Dicionário de pintores e escultores portugueses* (Vol. 3). Lisboa: Civilização.

Pereira, J. (2005). *Dicionario de Escultura Portuguesa*. Lisboa: Caminho.

Plinio. (1987). *Textos de Historia del Arte*. (E. Torrego, Ed.) Madrid: Visor.

Rathousky, J., Kalousek, V., & Zouzelka, R. (2012). Nanomaterials for the cleaning and consolidation of stone. *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*. New York.

Rodá, I. (2007). Recorrido por la Exposición Roma SPQR. En VV.AA, *Roma SPQR*. Madrid: Fundación Canal de Isabel II.

Rotaèche, M. (2008). *Transporte, depósito y manipulación de las obras de arte*. Madrid: Editorial Síntesis.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

Rotaache, M. (2010). *Conservación y restauración de materiales contemporáneos y nuevas tecnologías*. Madrid: Síntesis.

Smeltzer, I. (2012). *Innovative Approaches to the complex case of Contemporary Art*. Warsaw: Academy of Fine Arts in Warsaw - Archetype Publications.

Taylor, H. (1990). *Cement Chemistry*. London: Academic Press.

Tortajada, S. (2011). *La conservación preventiva durante la exposición de esculturas en piedra*. Madrid: Ediciones Trea.

Vitruvio, M. (1997). *De Architectura*. Madrid: Alianza Forma.

Ward, G. (Ed.). (2008). *The Grove Encyclopedia of Materials and Techiques in Art*. New York: Oxford University Press.

Weaver, G. (2012). *Ciencia para los restauradores. Materiales, limpieza, adhesivos y recubrimientos*. Londres: Archetype Publications.

Zumsteg, A., Urwyler, S., & Glaubitz, J. (2014). Lithium as broad spectrum biocide enhancer in mineral dispersions and as antimicrobial agent for dry products. *International Conference on Antimicrobial Research*. Madrid. Obtenido de Omiya Publications: <http://www.omya.com/pages/micro/fr/publications.aspx>

FUENTES EN ELECTRÓNICAS

Acofarma Distribución S.A. (s.f.) *Boletín de análisis de Cetrimida*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de Acofarma:

<http://www.acofarma.com/es/component/boletines/060955?view=boletin>.

AKA (s.f.) *Akapad*. Recuperado el 14 de mayo de 2015, de AKA:

<http://www.Aka-art.de>

Apceram (s.f.) *Carburo de silicio*. Recuperado el 18 de Mayo de 2015, de Apceram:

http://www.apceram.com/es/carburo_silicio.html.

Architetto Contemporaneo. (s.f.). *The gardener who invented reinforced concrete:*

Joseph Monier. Recuperado el 04 de Julio de 2015, de Architetto

Contemporaneo: <http://www.architetto-contemporaneo.it/en/dossier/the-contemporary-architect-the-gardener-who-invented-reinforced-concrete-joseph-monier>.

Arqhys Arquitectura. (s.f.). *Características del acero*. Recuperado el 05 de Julio de

2015, de Archys.com: <http://www.arqhys.com/construccion/acero-caracteristicas.html>.

Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. (s.f.). *Pabellón español en la Exposición*

Internacional de París (1937). Obtenido de Cervantesvirtual.com:

<http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor-din/pabellon-espanol-en-la-exposicion-internacional-de-paris-1937--0/html>.

Biografía Lagoa Henriques. (s.f.). Recuperado el 13 de Noviembre de 2013, de Lagoa

Henriques site oficial: <http://www.lagoahenriques.arte.com.pt/01.htm>.

Bolufer, P. (15 de marzo de 2007). *La fibra de carbono, un material para el siglo 21*.

Recuperado el 2015 de 05 de 17, de Interempresas.net:

<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/16574-La-fibra-de-carbono-un-material-para-el-siglo-21.html>.

Charles Macdonald Concrete House Museum (s.f.) *Museum, Art Gallery and Sculpture Garden Centreville, Kings County, Nova Scotia*. Recuperado el 02 de agosto de 2015 de Charles Macdonald’s Concrete House:
<http://www.concretehouse.ca/about/index.html>

Cienytech (s.f.) *Tabla de miscibilidad entre disolventes*. Recuperado el 14 de Mayo de 2014, de Cienytech: <http://www.cienytech.com/tablas/tabla-miscibilidades.pdf>

Collins, J. (2015). *Henry Moore and Concrete: Cast, Carved, Coloured and Reinforced*. In: *Henry Moore: Sculptural Process and Public Identity*. (Tate UK)
Recuperado el 20 de Septiembre de 2015, de Tate UK:
<https://www.tate.org.uk/art/research-publications/henry-moore/judith-collins-henry-moore-and-concrete-cast-carved-coloured-and-reinforced-r1172059>.

Construmática Construpedia. (s.f.). *Definición de Hormigón Armado*. Recuperado el 03 de Julio de 2015, de Construmática:
http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Armado

Dictionary of Construction. (s.f.). *What is Portlandite? Definition and meaning*.
Recuperado el 04 de Septiembre de 2015, de dictionaryofconstruction.com:
<http://www.dictionaryofconstruction.com/definition/portlandite.html>

École des Ponts ParisTech. (s.f.). *VICAT Louis, Joseph*. Recuperado el 03 de Julio de 2015, de École Nationale des Ponts et Chaussées: <http://www.enpc.fr/node/1580>

Encyclopaedia Britannica (s.f.) *Biografía de Edward Goodrich Acheson*. Recuperado el 18 de Mayo de 2015, de Encyclopaedia Britannica:
<http://global.britannica.com/biography/Edward-Goodrich-Acheson>

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

Fischer Scientific (s.f.) *Cetrimide*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de Fischer Scientific: <http://www.fishersci.com>.

Grupo Español de Conservación (s.f.) *Paraloid B 48N*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de Geiic:
http://geiic.com/index.php?option=com_fichast&Itemid=83&tasko=viewo&task=view2&id=66

History Today (s.f.). *Joseph Apsdin*. Recuperado el 03 de Julio de 2015, de Todayinsci:
http://todayinsci.com/A/Aspdin_Joseph/AspdinJoseph-Cement.htm

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (s.f.). *Historia del Cemento*.
Recuperado el 02 de Julio de 2015, de ieca.es:
https://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5.

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (s.f.) *Boletim climatológico, Julho 2013*.
Recuperado el 9 de Mayo de 2014, de IPMA: <http://www.ipma.pt>.

Kremer Pigmente (s.f.) *Ficha técnica Durolith Bioclean L*. Recuperado el 19 de Mayo de 2015, de Kremer Pigmente: <http://www.kremer-pigmente.com>.

Los Angeles City (s.f.) *Watts Towers Presentation*. Recuperado el 02 de agosto de 2015, de Culturela:
<http://www.culturela.org/wattstowers/WattsTowersPresentation.pdf>.

Matweb (s.f.) *Carbon fiber*. Recuperado el 18 de Mayo de 2015, de matweb:
<http://www.matweb.com>

Mineralogical Society of America. (s.f.). *Portlandite*. Recuperado el 09 de Enero de 2016, de Handbook of Mineralogy:
<http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/portlandite.pdf>.

Molina, J. (Mayo/Junio de 1996). El hormigón como materia moldeable en la construcción de esculturas. *Informes de la Construcción CSIC*, 48(443). Recuperado el 11 de Febrero de 2016, de Informes de la Construcción: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1005/1089>.

Museum of Fine Arts Boston (s.f.) *Paraloid B48N*. Recuperado el 19 de Mayo de 2015, de Cameo: http://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid%C2%AE_B-48N

Palmer Holland (s.n) *Ficha técnica Paraloid B 48N*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de Pallmer Holland: <http://www.palmerholland.com/Assets/User/Documents/Product/42455/464/MI-TM04021.pdf>

Pennsylvania, U. o. (s.f.). *Composition of Cement*. Recuperado el 04 de Julio de 2015, de PennState College of Engineering: <http://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/Composition%20of%20cement.htm>.

Reyes, S. (s.f.). *Trabajo 10 - Constituyentes del Hormigón (Concreto) - 1.2. Trabajabilidad y Consistencia*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2015, de Construaprende.com: <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/313-constituyentes-hormigon?start=6>.

Rohm and Haas Company Coatings (s.f.) *Solvent Selection Paraloid*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de Talas: http://talasonline.com/photos/instructions/paraloid_solvent_guide.pdf

Sika (s.f.) *Ficha técnica Sika Monotop 412S*. Recuperado el 18 de Mayo de 2015, de Sika: <http://www.impermeabilizacionesyhumedadessolplas.com/tienda/archivos/275-7893702.pdf>

Universidade do Porto. (14 de Agosto de 2015). *Fernando Fernandes*. Obtenido de Antigos Estudantes Ilustres da Universidade do Porto:
https://sigarra.up.pt/up/pt/web_base.gera_pagina?p_pagina=antigos%20estudantes%20ilustres%20-%20fernando%20fernandes

Vicat Group. (s.f.). *Louis Vicat, inventor of artificial cement*. Recuperado el 03 de Julio de 2015, de Introducing the Vicat Group: <http://www.vicat.com/en/Vicat-Group/Introducing-the-Vicat-Group/Louis-Vicat-inventor-of-artificial-cement>.

Watts Towers (s.f.) *Watts Towers by Sam Rodia: the Watts Towers Arts Center*. Recuperado el 02 de agosto de 2015, de Watts Towers:
<http://www.wattstowers.us/history.htm>.

World Housing Encyclopedia. (s.f.). *Reinforced Concrete Introduction*. Recuperado el 04 de Julio de 2015, de World-housing.net: <http://www.world-housing.net/major-construction-types/reinforced-concrete-introduction>.

Yang, S. (04 de Junio de 2013). *To improve today's concrete, do as the Romans did*. Recuperado el 02 de Julio de 2015, de UC Berkeley News Center:
<http://news.berkeley.edu/2013/06/04/roman-concrete>

Yepes, V. (s.f.). *El Blog de Victor Yepes*. Recuperado el 04 de Julio de 2015, de Universitat Politècnica de València: <http://victoryepes.blogs.upv.es>

Zoltec (s.f.) *Carbon Fiber*. Recuperado el 17 de Mayo de 2015, de Zoltec:
<http://zoltek.com/carbonfiber>

REFERENCIA DE IMÁGENES

Fig. 1 - Pág. 8. Recuperado de:

http://www.todoparaviajar.com/UserFiles/Image/atracciones_gratis_panteon.jpg

[Acceso el 11.02.2016].

Fig. 2 - Pág. 9. Recuperado de: <http://static.panoramio.com/photos/large/93771177.jpg>

[Acceso el 11.02.2016].

Fig. 3 - Pág. 18. Recuperado de: [http://www.gagosian.com/artists/michael-](http://www.gagosian.com/artists/michael-heizer/selected-works)

[heizer/selected-works](http://www.gagosian.com/artists/michael-heizer/selected-works) [Acceso el 11.02.2016].

Fig. 7 - Pág. 26. Bairrada, E., & Cunha, L. (Edits.). (1954). *Arte Portuguesa. Boletim da Escola Superior de Belas Artes do Porto 2 e 3*. Porto: Escola Superior de Belas Artes do Porto.

Fig. 19 - Pág. 43. Faculdade de Belas Artes Universidade do Pporto. (1995). *ESBAP - FBAUP*. Porto: Universidade do Porto.

Fig. 71 - Pág. 73. Bairrada, E., & Cunha, L. (Edits.). (1954). *Arte Portuguesa. Boletim da Escola Superior de Belas Artes do Porto 2 e 3*. Porto: Escola Superior de Belas Artes do Porto.

Fig. 72 - Pág. 73. Faculdade de Belas Artes Universidade do Porto. (1995). *ESBAP - FBAUP*. Porto: Universidade do Porto.

Fig. 73 - Pág. 73. Copyright Carlos Azeredo Mezquita

Fig. 91 - Pág. 88. Recuperado de:

<http://www.batimatghana.com/sites/default/files/sikadur30.jpg>

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

Fig. 92 – Pág. 88. Recuperado de: <http://www.ctseurope.com/en/scheda-prodotto.php?id=67>

Fig. 125 - Pág. 115. Recuperado de: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/d2/aa/81/d2aa818ae3111bd978f0006b58525416.jpg>

Fig. 126 - Pág. 117. Recuperado de:
<http://www.concretehouse.ca/about/images/WomanWashingHerHair.jpg>

Fig. 127 - Pág. 118. Recuperado de:
http://www.detourart.com/wp-content/uploads/2012/10/watts_towers3241.jpg

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

Apéndice I

Fichas informativas

Materiales utilizados en la conservación – restauración de la escultura “Ternura”

Como se ha observado en los capítulos anteriores, la intervención de conservación y restauración de la escultura “Ternura”, ha involucrado una serie de desafíos a la hora de su análisis y ejecución.

Por ser el hormigón armado un material atípico en una obra de ese tamaño y esbeltez, el material constituyente no ha actuado de la misma manera que en una obra de construcción o una escultura de dimensiones monumentales. Las alteraciones en la obra han afectado las zonas que reciben mayor carga y están en mayor tensión, a lo que hay que unir la delgada capa de hormigón que cubre el metal de refuerzo en la zona más degradada.

Al provenir la principal causa de alteración de “Ternura” del interior de la obra, ha sido necesario investigar las posibles causas de alteración hasta precisar con la que afecta a la obra en mención. Para esto nos hemos apoyados por diferentes análisis de sustrato pétreo detallados en el capítulo 3. Al tener la certeza que la degradación de la escultura ha sido producida por un proceso de carbonatación del hormigón, el cual ha ocasionado la reducción de su nivel de pH, alterando la capa pasiva del metal de refuerzo, cuyo proceso es pormenorizado en el capítulo 4, todas las soluciones concebidas en cuanto la intervención de la escultura se debían elaborar tomando en cuenta este importante factor: impedir la reducción del pH de la escultura. A esta circunstancia era necesario agregar la necesidad de limitar el ingreso de cloruros y sulfatos que pudiesen estar contenidos en los productos de restauración.

Al comparar los materiales utilizados en esta intervención con los utilizados en procesos de conservación – restauración anteriores, destaca la reducida cantidad de los primeros, lo cual obedece a las premisas de intervención mínima, la utilización de materiales compatibles con la obra y la mayor reversibilidad posible, dentro de las posibilidades irreales de que este aspecto pueda ser completo.

Para reconocer en que momento fueron utilizados estos materiales, la descripción de estos se ha clasificado dentro del proceso de intervención de restauración en que fueron utilizados y destacados en la lista de materiales utilizados.

1. Limpieza superficial

Materiales utilizados: **Esponja Wishab®**, brochas, aspirador, **etanol 96% vol.**

1.1 Esponja Wishab®

Cuyo nombre oficial es Akapad®, es producida por la firma alemana AKA®, especializados en productos de limpieza en la restauración. Son esponjas de látex sintético y caucho, de aceite de castor natural reticulado y/o aceite de colza, ligeramente vulcanizado bajo condiciones controladas. La apariencia de la esponja es de color amarillo con diferentes grados de dureza, los cuales permiten limpiar desde papel hasta piedra y mortero⁵¹.

Se utiliza en seco y es abrasivo para la superficie del sustrato a limpiar, puesto que cuando roza en la obra a intervenir, la esponja se va desintegrando gradualmente. El proceso de limpieza no deja manchas ni apariencia untuosa. Si la primera aplicación no ha sido satisfactoria, puede aplicarse una segunda vez. Después de realizada la operación, es necesario eliminar los restos de esponja que pueden permanecer en la superficie o recodos del objeto a intervenir.

Además de las características antes mencionadas, este producto fue escogido para el proceso de limpieza de la escultura “Ternura” debido a su nivel de pH neutro, el cual garantizaba una limpieza satisfactoria en una superficie con una suciedad difícil de eliminar por medios que no requiriesen abrasión o un tratamiento químico, que inevitablemente arrastrarían suciedad a los poros de la obra.

En la intervención de “Ternura” se utilizaron esponjas de grado de dureza media y dura, los cuales fueron testados para comprobar su inocuidad en la superficie escultórica. Posteriormente se realizó la limpieza mecánica en dos etapas. En la primera etapa se utilizó la esponja de grado duro y comprendió la eliminación de la mayor parte de capa suciedad superficial y colonización biológica superficial. En la segunda etapa se utilizó

⁵¹ Recuperado de <http://www.Aka-art.de> [Acceso el 14-05-15].

la esponja de grado medio y comprendió la eliminación de la suciedad incrustada en la escultura.

La esponja Wishab®, por su maleabilidad, facilitó el proceso de limpieza en superficies complejas de la escultura, especialmente en las que se localizaban las alteraciones estructurales.

1.2 Etanol 96% vol.

El etanol o alcohol etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{OH}$) proviene de la producción de la fermentación y destilado del alcohol etílico de materias primas agrícolas, como la melaza, remolacha, caña de azúcar y cereales. Las soluciones de etanol que se consiguen en el comercio contienen entre el 70 y 90% de etanol en agua, a diferencia del alcohol anhidrido o absoluto, que requiere una preparación especial (Masschelein - Kleiner, 2004, pág. 72).

El etanol es un alcohol primario, al tener sólo un grupo metilo acoplado al carbono de su grupo hidroxilo. En los alcoholes se da cierto grado de enlace por puente de hidrógeno, ya que los átomos de hidrógeno están directamente unidos al oxígeno, lo cual les produce la pérdida de electrones. Por estos enlaces de puente de hidrógeno, los alcoholes son miscibles en agua (Weaver, 2012, pág. 110), siendo su índice de polaridad de 5.2⁵².

Además de su polaridad, su volatilidad es media (presión de vapor de 40 mm Hg a 20°C), menor que el agua pero mayor que la acetona, y con retención inferior al 3% (Masschelein - Kleiner, 2004, pág. 74), el etanol tiene un índice de penetración baja (Doménech, 2012, pág. 143) debido índice de viscosidad de 1.08 Cp 20°C y tensión superficial de 22.9 dyn/cm 20°C (pág. 73) y un pH neutro lo cual lo convierte en el disolvente adecuado para la limpieza química de la escultura “Ternura”.

Como se detalla en el capítulo 5 de este estudio, se realizaron pruebas de limpieza para comprobar el efecto de diferentes disolventes sobre la suciedad superficial, siendo estos agua destilada, etanol 96% vol. + agua destilada proporción 1:1, etanol 96% y acetona. Aunque el disolvente más efectivo al momento de eliminar la suciedad era el agua destilada, este arrastraba gran cantidad de sustrato pigmentado, al contrario de la acetona

⁵² Según tabla de miscibilidad de disolventes. Recuperado de <http://www.cienytech.com>. [Acceso el 14-05-14]

que no desprende sustrato de la superficie pero tiene tiempo de evaporación acelerado, acentuado por las temperaturas del mes de junio, mes en que se realizó la limpieza química.

El etanol 96% vol., aplicado con precaución, permitió una limpieza química correcta y sin desprendimiento de sustrato. A esto se agregan las propiedades desinfectantes del etanol, el cual ejerció un efecto biocida sobre la superficie de la escultura, lo cual quedó patente que hasta el momento de la aplicación del biocida, poco antes de finalizar la intervención de conservación restauración de “Ternura”, no hubo indicios de nueva colonización biológica en la obra.

2. Eliminación de óxido, limpieza y protección del metal de sustento

Materiales utilizados: bisturí, escalpelo, herramienta minitaladro, punta de amolar de óxido de aluminio acoplado a minitaladro, **etanol sin cetrimida 96% vol.**, jeringuilla, **Paraloid B-48® al 10% en tolueno.**

2.1 Etanol sin cetrimida 70%

Los alcoholes de venta al público en farmacias, están compuestos además por otros productos químicos, siendo uno de ellos la cetrimida en cantidades de 0.25% a 0.30% m/V (% de masa en volumen).

La Cetrimida ($C_{17}H_{38}BrN$) es un tensoactivo catiónico derivado de amonio cuaternario. Está formulado por bromuro de tetradeciltrimetilamonio ($C_{17}H_{38}BrN$) más pequeñas cantidades de bromuro de dodeciltrimetilamonio ($C_{15}H_{34}NBr$) y bromuro de hexadeciltrimetilamonio ($C_{19}H_{42}BrN$) Su pH es neutro y ligeramente alcalino en presencia de alcoholes, además de poseer propiedades fungicidas y bactericidas, aunque su efectividad se reduce frente a la materia orgánica, además de acidificar levemente su nivel de pH⁵³.

⁵³ Ficha técnica de Cetrimida. Recuperado de <http://www.acofarma.com/es/component/boletines/060955?view=boletin>. [Acceso el 16-05-2015]

Entre los materiales incompatibles especificados en las fichas de seguridad de la Cetrimida, se constata la presencia de agentes oxidantes fuertes los cuales son productos de descomposición del tensoactivo y están notificados como peligrosos. Entre estos se destacan óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y bromuro de hidrógeno⁵⁴.

El alcohol sin cetrimida se utiliza en la limpieza de objetos metálicos obtenidos de excavaciones arqueológicas, en los cuales es necesario controlar la corrosión para mantener la estabilidad de los restos.

Después de la eliminación de óxido de la escultura “Ternura” y habiendo avanzado hasta zonas donde se identificaba el alma del centro del metal o áreas remineralizadas, se aplicó etanol sin cetrimida 70% como medio de limpieza de la superficie y eliminación del polvo de óxido concentrado en el metal. El etanol sin cetrimida 70% permite ralentizar el proceso de oxidación, que se vería acelerado al utilizar etanol 96% vol. común sobre el área metálica.

2.2 Paraloid B-48N® al 10% en tolueno

La resina Paraloid B-48 N® es fabricada por la compañía estadounidense Rohm and Haas®. Es un copolímero de metil metacrilato y butil acrilato, con ftalato de dibutilo como plastificante⁵⁵. Es una resina especialmente apta para protección de metales como cobre, hierro estaño y aluminio, debido a su alta adherencia incluso a aquellos que no han sido imprimados o tratados⁵⁶.

⁵⁴ Ficha técnica y de seguridad del producto Cetrimida. Recuperado de Acros Organics.
<http://www.fishersci.com>. [Acceso el 16-05-2015]

⁵⁵ Ficha técnica Paraloid B-48 N®. Recuperado de
http://ge-iic.com/index.php?option=com_fichast&Itemid=83&tasko=viewo&task=view2&id=66. [Acceso el 16-05-2015]

⁵⁶ Ficha técnica Paraloid B-48 N®. Recuperado de
<http://www.palmerholland.com/Assets/User/Documents/Product/42455/464MITM04021>. [Acceso el 16-05-2015]

Tiene un parámetro de solubilidad (δ) de 9.3, y es soluble en disolventes hidrocarburos como xileno (δ 8.8) y tolueno (δ 8.9)⁵⁷. Su temperatura de transición vítrea (T_g) es de 50°C⁵⁸.

El tolueno ($C_6H_5CH_3$) es un hidrocarburo aromático, con un nivel de retención media o débil (P.vap. 20 mm Hg a 18.4°C), con baja viscosidad (0.54 Cp a 20°C) y tensión superficial elevada (29.1 dyn/cm a 20°C), por lo cual es de media a muy penetrante (Masschelein - Kleiner, 2004, pág. 66).

El tolueno es un solvente tóxico (200 MAC en ppm). Como todos los hidrocarburos aromáticos produce una acción depresiva en el sistema nervioso central, irritación de la piel y las mucosas (pág. 67), por lo cual debe tenerse precaución en su uso. Se utiliza para la disolución de sustancias apolares, como ceras, aceites resinas terpénicas frescas (Doménech, 2012, pág. 142).

Paraloid B-48 N® al 10% en tolueno fue utilizado para proteger el metal de sustentos afectados por corrosión de acción de factores ambientales y contaminantes, impidiendo así que sufriese nueva oxidación tanto en el momento de la intervención de conservación – restauración, como después de esta.

Como primera propuesta para la conservación del acero de refuerzo, se estudió aplicar una película de pintura inhibidora de metales como medida de producción del acero resanado. Esta idea se descartó por las posibles reacciones del acero sin inhibir, situación inevitable ya que al no poder tratarse todo el metal contenido en la escultura, estas superficies quedarían expuestas al ataque de las superficies catódicas protegidas por el inhibidor, produciendo corrosión localizada o por puntos, tipo de corrosión más peligrosa que la producida por carbonatación, extendiendo así la corrosión a zonas que actualmente no la sufren (González, 1999, pág. 13). Una de las condiciones para la óptima inhibición del metal es lograr una correcta aplicación de la pintura en cuestión en una superficie bien preparada, circunstancia que en el caso de la escultura “Ternura” no se podía cumplir.

⁵⁷ Según tabla de solventes para disolución de resinas Paraloid®. Recuperado de http://talasonline.com/photos/instructions/paraloid_solvent_guide.pdf [Acceso el 16-05-2015].

⁵⁸ Ficha técnica Paraloid B-48 N® <http://www.palmerholland.com/Assets/User/Documents/Product/42455/464MITM04021>. [Acceso el 16-05-2015]

Ante la necesidad de proteger el acero resanado de la escultura “Ternura” se decidió utilizar Paraloid B-48 N® al 10% diluido en tolueno. Fueron aplicadas dos capas con pincel sobre la superficie de metal e inyectadas con jeringuilla en las grietas cercanas a zonas metálicas.

3. Estabilización estructural

Materiales utilizados: medidor láser Sierra de mano, *minitaladro*, disco de corte de diamante de 38 mm de diámetro acoplado a *minitaladro*, amoladora, sierra de corte de piedra acoplado a amoladora, **varas de fibra de carbono Ø10mm, Resina epoxi Epo 121®**.

3.1 Varas de fibra de carbono

La fibra de carbono es una hebra larga y delgada de entre 5 y 10µm de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono, los cuales están enlazados en cristales microscópicos más o menos alineados paralelos al eje longitudinal de la fibra. Las hebras de fibra de carbono son torcidas y unidas unas a otras para formar un hilado⁵⁹. La fibra de carbono se fabrica con polímero poliacrilonitrilo (PAN) junto a metil acrilato, metil metacrilato, vinil acetato, ácido itacónico, o cloruro de vinilo (Miravete, 2001, pág. 56). Este copolímero es tratado mediante procesos de carbonización, grafitización y tratamiento de la superficie (pág. 61).

Para conseguir una forma específica en fibra de carbono, las hebras se mezclan con resinas termoestables, generalmente epoxi, con el método de transferencia de resina (RTM), en el cual se aplica resina a presión en un molde donde se han preparado con anterioridad las hebras de fibra de carbono Otro método para conseguir una forma es el de infusión (RTI), donde se coloca resina semidura y tejido de carbón en un molde, aplicando posteriormente calor y vacío hasta su fusión. El proceso de curado y polimerizado se realiza a temperatura ambiente, calor o vacío (Llano, 2009, pág. 11).

⁵⁹ Recuperado de <http://www.zoltek.com/carbonfiber>. [Acceso el 17-05-2015].

La resina termoestable une las fibras y transfiere la carga por todo el material. El proceso de curado permite convertir la resina en un plástico duro (pág. 12).

Entre las propiedades de la fibra de carbono, destacan la resistencia mecánica, tenacidad y densidad, estabilidad dimensional (no se deforma), amortiguación de vibraciones, resistencia a la fatiga, y resistencia química y térmica (Llano, 2009, pág. 12).

Tabla A1: Comparativa de la propiedades físicas de la fibra de carbono y el acero (Bolufer, 2007).

	Fibra de Carbono	Acero
Resistencia a la tracción	3,5	1,3
Resistencia específica	2,0	0,17
Densidad	1,75	7,9

Las propiedades especificadas en la tabla 5.1, demuestran que la fibra de carbono tiene una resistencia a la tracción tres veces superior al acero, además de ser diez veces más resistente y 7,5 veces menos denso.

Tomando en cuenta las características de la fibra de carbono en cuanto al acero, el tamaño de las esculturas y las causas de degradación de la escultura, se utilizó la fibra de carbono como reemplazo del metal perdido por la corrosión y para estabilización y sustento de las piernas de las figuras que después de la eliminación de corrosión se mantenían suspendidas en el aire, apoyadas en la estructura construida para este fin.

3.2 Resina Epoxi Epo 121®⁶⁰

Adhesivo epoxi bicomponente tixotrópico, formulado a base de resinas epoxídicas sin disolventes a base de añadidos de amina alifática. Es distribuido por la firma italiana de productos de conservación CTS® y referenciada en diferentes proyectos de restauración de escultura y arquitectura especialmente en Italia y España.

⁶⁰ Datos de Ficha técnica Epo 121®. CTS España.

El adhesivo se compone de la resina Epo 121® y el endurecedor K-122®, cuya proporción de preparación es 5:1. Como adhesivo tixotrópico, tiene un tiempo de uso limitado, el cual depende de la temperatura: 90 minutos a 15°C, 40 minutos a 25°C y 15 minutos a 35°C. La temperatura mínima de endurecimiento es de 10°C⁶¹.

Su textura es de pasta densa de color blanco, viscoso (aprox. 30.000 cps, Epo 121® y K-122® aprox. 20.000 cps.).

Esta resina epoxi fue escogida para la intervención de la escultura “Ternura” especialmente por ser muy utilizada en Conservación y Restauración tanto en proyectos como en museos de renombre. Al ser testada con otra resina para uso en estructuras de hormigón, destacó por ser fácil de eliminar químicamente con etanol 96% vol. antes de su secado y mecánicamente con escalpelo o minitaladro después de seco. Proporciona gran fuerza de unión fragmentos de mucho peso sin necesidad de espigas.

Debido a la toxicidad de la resina epoxi, es necesaria la utilización de mascarilla para gases y guantes de nitrilo-butilo.

4. Reintegración estructural

Materiales utilizados: Amoladora, **disco de desbastado de carburo de silicio, muela de taza de carburo de silicio**, resina epoxi Epo 121, cinta de carroceros, **cemento de reintegración Sika Monotop 412 S, pasta de reintegración a base de Primal B-60, polvo de cuarzo y pigmentos gris y blanco**, espátulas.

4.1 Muelas de carburo de silicio

El carburo de silicio (SiC) es un compuesto sintético cristalino compuesto de silicio y carbono. Fue inventado por el estadounidense Edward G. Acheson en 1891⁶² y

⁶¹ Ficha técnica Epo 121®. CTS España.

⁶² Biografía Edward G. Acheson. Enciclopedia Británica.

<http://global.britannica.com/biography/Edward-Goodrich-Acheson>. [Acceso el 18-05-2015]

comercializado hacia 1892 como polvo de rectificación y corte. Está compuesto por un 32% de carbono, 12% de oxígeno y 57% de silicio⁶³

Actualmente se fabrica con fibras de Nicalon®⁶⁴, los cuales proporcionan un buen enlace entre las partículas, creando una estopa de multifilamentos los cuales proporcionan una excelente resistencia mecánica (resistencia a la compresión de 3500 Mpa y módulo elástico de 410 Gpa a 20°C). Su dureza en la escala de Mohs es de 9-10 y su coeficiente de dilatación térmica es muy bajo ($4.4 \cdot 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ a 25-1000°C). Tiene una alta conductividad térmica, pudiendo soportar hasta los 1700°C, siendo un buen refractario para altas temperaturas⁶⁵.

Como muela adaptada a una amoladora, se utiliza para desbastar principalmente metal. Aunque la eliminación del metal oxidado se realizó con herramientas de precisión, los fragmentos de gran tamaño que contenían acero corroído unido a los fragmentos fueron imposibles de retirar con herramientas manuales o de precisión debido a su alta densidad. En los fragmentos de mayor tamaño se utilizó un disco de desbastado de Ø115 x 0.6 x 22.23 mm con el cual se fue penetrando entre el sustrato de hormigón y el metal oxidado, debilitando a este último, el cual iba siendo eliminado por grupos de lascas de corrosión.

Debido a las varillas de fibra de carbono aplicadas para mantener el sustento físico de la escultura, los fragmentos desprendidos de la escultura ya no calzaban al intentar ser reintegrados, por lo cual fue necesario desbastar el interior de cada una de ellas, modelando el hormigón hasta conseguir que estos fragmentos pudiesen afianzarse sin problemas a la superficie de la estructura de la que forman parte. Para este procedimiento se utilizaron muelas de taza de carburo de silicio n° 26 y n°42.

Para el trabajo de desbastado con amoladora se deben respetar una serie de medidas de seguridad: utilización de guantes de seguridad, mascarilla para polvo, gafas de protección y cascos amortiguadores de ruido.

⁶³ Recuperado de www.matweb.com. [Acceso el 18-05-2015]

⁶⁴ Fibra homogénea compuesta por cristales ultra finos de β -SiC y una mezcla amorfa de silicio, carbono y oxígeno. Hoja de datos carburo de silicio. Recuperado de <http://www.matweb.com>. [Acceso el 18-05-2015]

⁶⁵ Especificaciones técnicas del carburo de silicio. http://www.apceram.com/es/carburo_silicio.html. [Acceso el 18-05-15]

4.2 Cemento de reintegración Sika Monotop 412 S®⁶⁶

Sika Monotop 412 S® es un mortero de reparación estructural reforzado con fibras clase R4, fabricado por la compañía Sika®. Es un cemento gris con gran presencia de fibras.

Es un mortero de baja retracción diseñado para la reparación de desconchones y daños en el hormigón, aplicable manualmente o por proyección⁶⁷. Es especialmente adecuado para la conservación del pasivado de la armadura metálica, ayudando a crear condiciones químicas que mantenga o devuelva la superficie de la armadura a su condición pasiva⁶⁸, por incremento del recubrimiento de hormigón en la armadura y por sustitución del hormigón dañado o carbonatado⁶⁹.

Es resistente a los sulfatos, tiene un bajo índice de contenido de cloruros (< 0,03%⁷⁰), a lo que se agrega su baja permeabilidad a estos.

Para su uso, por cada 250 gr de cemento se añade entre 35 y 38 ml de agua, resultando una pasta fácilmente manipulable. Después de unos 5 minutos de preparado, el cemento alcanza un estado semejante a una plastilina, aunque algo más blanda, sin con ello dejar de adherirse sin problemas en el hormigón y el metal. En la escultura “Ternura”, este aspecto simplificó el proceso de aplicación, ya que permitía modelar el cemento según las necesidades de la escultura. Para alcanzar este estado, es necesario controlar muy bien la cantidad de agua que se añade al cemento, cuidando que sea la indicada por el fabricante, puesto que si hay más agua de la necesaria, el cemento se descuelga de la zona donde fue aplicada. Si es menos agua de la indicada, el cemento adquiere una consistencia irregular que se desmigaja en las manos.

Si el cemento ha sido aplicado después de unos minutos de preparado y modelado como se menciona en el párrafo anterior, al secar se obtiene una estructura en principio oscura,

⁶⁶ Datos de ficha técnica Sika Monotop 412 S®.
<http://www.impermeabilizacionesyhumedadessolplas.com/tienda/archivos/275-7893702.pdf>. [Acceso el 18-05-2015]

⁶⁷ Según métodos 3.1 y 3.3, principio 3, norma europea de Ingeniería EN 1504 – 9.

⁶⁸ Principio 7 norma europea de Ingeniería EN 1504-9 .

⁶⁹ Según métodos 7.1 y 7.2, principio 7, norma europea de Ingeniería EN 1504 – 9.

⁷⁰ El máximo permitido para un mortero R4 según la norma EN 1015 es de 0.05%.

que se irá aclarando con el paso de los días. Para prevenir fenómenos de retracción o expansión que afectaran a la estructura de la escultura “Ternura”, se dejó curar el cemento durante tres semanas. Pasadas estas no se percibió cambio aparente, pudiendo realizarse el proceso de reintegración de los fragmentos sin problemas.

En cuanto a la reversibilidad, el cemento aplicado y modelado, aunque tiene una adhesión excelente, fue fácilmente eliminable con la ayuda de un puntero y un martillo de goma, dando leves golpes en zonas estratégicas. A experimentar esto sobre la escultura en zonas donde hubo errores de demarcación para la aplicación de cemento, se pudo comprobar que dando pequeños golpes sobre el cemento, este se desprendía en uno o dos fragmentos sin afectar la estructura de hormigón original.

4.3 Pasta de reintegración

La pasta de reintegración se elaboró a base de polvo de cuarzo, pigmento blanco de circonio y pigmento gris pizarra claro.

Como aglutinante se utilizó Primal B-60®, fabricado por la compañía norteamericana Rohm and Haas® con el nombre de Rophlex B-60®, mientras que el nombre de Primal B-60® es de uso en Europa. Es una emulsión acrílica de base acuosa con un 46- 47% de contenido de copolímero de etilacrilato y etilmetacrilato⁷¹. Es un fluido blanco, sin olor, con una leve tonalidad azulada, que al endurecer se torna transparente y resistente a la luz ultravioleta.

Puede endurecer desde los 9°C y tiene un pH de 9.9 que se reduce hasta los 9.4 durante el primer mes para luego mantenerse estable. Es estable ante procesos de congelación/descongelación, con una importante resistencia mecánica.

Tiene diversos usos en conservación – restauración, siendo significativo el uso para aglutinar pigmento y para la consolidación de masonería, arenisca, morteros, hormigón y yeso.

⁷¹ Ficha técnica de Paraloid B-48N®. Museum of Fine Arts Boston.
http://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid%C2%AE_B-48N. [Acceso el 19-05-2015].

Aunque su uso y efectividad como aglutinante de materiales inorgánicos ya está comprobado, se realizó un test comparativo de Primal B-60® con Mowilith DS 5/2®, demostrando la resina estudiada en este apartado otorgaba un mejor resultado como aglomerante, ya que otorgaba una textura y manejo semejante a la plastilina, facilitando enormemente la aplicación, trabajado y eliminado, como se detalla en el capítulo 5 en el apartado de reintegración de lagunas estructurales.

5. Biocida

5.1 Durolith Bioclean L®

Biocida fabricado por la empresa Kremer® pigmentes, es una solución acuosa de hidróxido de litio (LiOH) para la eliminación de películas orgánicas depositadas en superficies escultóricas o arquitectónicas de origen inorgánico⁷².

Se ha comprobado que los iones de litio, añadido a otros biocidas, aumentan la efectividad antimicrobiana de estos, permitiéndoles actuar sobre cepas originalmente susceptibles a estos biocidas incluso reduciendo la cantidad de producto necesaria para tal labor (Zumsteg, Urwyler, & Glaubitz, 2014). El hidróxido de litio, como otros agentes biocidas basados en nanoestructuras metálicas, realizan una liberación controlada de componente activo, que reduce la proliferación de colonización biológica durante largo tiempo (Rathousky, Kalousek, & Zouzelka, 2012).

Durolith Bioclean L® tiene un pH >13 y puede utilizarse tanto en proporción 1:1 como diluirse desde un 10% en agua, dependiendo del nivel de colonización biológica presente. Después de la eliminación del biofilm, el biocida puede tener un efecto hidrófugo.

Se puede aplicar mediante spray, esponja, riego o brocha resistente a los álcalis. Al momento de su empleo se producirá un cambio de color de la superficie de la estructura a tratar. En el caso de la escultura “Ternura”, volvió a su color original al momento de la penetración y evaporación del agua. Se recomienda que en estructuras en posición

⁷² Ficha técnica Durolith Bioclean L®. <http://www.kremer-pigmente.com>. [Acceso el 19-05-2015]

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.

horizontal o poco porosas, como mármol u hormigón pulido, limpiar la superficie del exceso de biocida, ya que puede generar una veladura.

La escultura “Ternura” del Maestro Lagoa Henriques.
Estudio y metodología de Conservación – Restauración de una escultura de hormigón armado.