



# REHABEND 2020

## Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management

Which carried out in VIRTUAL way, Spain, 28<sup>th</sup> - 30<sup>th</sup> September 2020, certifies that Paper 39

### **DURABILITY OF THE OLD PREFABRICATED CONCRETE NAVES OF ENSIDESA, AVILÉS (SPAIN)**

by:

Lozano, Alfonso; Alonso, Mar; Álvarez, Felipe; Del Coz, Juan José

has been presented, reviewed by academic peers belonging to the Scientific-Technical Committee of the Congress and included in the Book of Abstracts and the Digital Book of Full Papers

**GTED - UC**

Gestión y Tecnología de la Edificación

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

<http://grupos.unican.es/GTED/>

Prof. Ignacio Lombillo

Chairman of the REHABEND 2020 Congress  
Associate Professor. University of Cantabria

Prof. María Paz Sáez

Chairman of the REHABEND 2020 Congress  
Associate Professor. University of Granada

University of Cantabria / University of Granada

Organizers:



# REHABEND 2020

## Euro-American Congress

**CONSTRUCTION  
PATHOLOGY,  
REHABILITATION  
TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT**

Granada (Spain) - March 24<sup>th</sup>-27<sup>th</sup>, 2020

Sponsor entities:



Patronato de la Alhambra y  
Generalife  
CONSEJERÍA DE CULTURA Y  
PATRIMONIO HISTÓRICO



# **REHABEND 2020**

**CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT**

*(8<sup>th</sup> REHABEND Congress)*

**Granada (Spain), March 24<sup>th</sup>-27<sup>th</sup>, 2020**

PERMANENT SECRETARIAT:

**UNIVERSITY OF CANTABRIA**

Civil Engineering School

Department of Structural and Mechanical Engineering

Building Technology R&D Group (GTED-UC)

Avenue Los Castros s/n 39005 SANTANDER (SPAIN)

Tel: +34 942 201 738 (43)

Fax: +34 942 201 747

E-mail: [rehabend@unican.es](mailto:rehabend@unican.es)

[www.rehabend.unican.es](http://www.rehabend.unican.es)

## REHABEND 2020

ORGANIZED BY:



UNIVERSITY OF CANTABRIA (SPAIN)  
[www.unican.es](http://www.unican.es) // [www.gted.unican.es](http://www.gted.unican.es)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

UNIVERSITY OF GRANADDA (SPAIN)  
[www.ugr.es](http://www.ugr.es)

CO-ORGANIZERS ENTITIES:



CHILE-UNIVERSIDAD AUSTRAL  
DE CHILE



ITALY-POLITECNICO DI BARI



MEXICO-UNIV. MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



PERU-UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO



PORTUGAL-UNIVERSIDADE  
DE AVEIRO



PORTUGAL-INSTITUTO SUPERIOR  
TÉCNICO | UNIV. DE LISBOA



SPAIN-TECNALIA RESEARCH &  
INNOVATION



SPAIN-UNIVERSIDAD DEL  
PAIS VASCO



SPAIN-UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
DE CATALUÑA



SPAIN-UNIVERSIDAD DE BURGOS



SPAIN-UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
DE MADRID



SPAIN-UNIVERSIDAD DE SEVILLA



SPAIN-UNIVERSIDAD EUROPEA  
MIGUEL DE CERVANTES



UNITED STATES OF AMERICA-  
UNIVERSITY OF MIAMI



URUGUAY-UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA

CONGRESS CHAIRMEN:

**IGNACIO LOMBILLO**  
**MARIA PAZ SÁEZ**

CONGRESS COORDINATORS:

**HAYDEE BLANCO**  
**YOSBEL BOFFILL**

EDITORS:

**IGNACIO LOMBILLO**  
**HAYDEE BLANCO**  
**YOSBEL BOFFILL**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE:

**HUMBERTO VARUM – UNIVERSITY OF AVEIRO (PORTUGAL)**  
**PERE ROCA – TECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA (SPAIN)**  
**ANTONIO NANNI – UNIVERSITY OF MIAMI (USA)**

The editors does not assume any responsibility for the accuracy, completeness or quality of the information provided by any article published. The information and opinion contained in the publications of are solely those of the individual authors and do not necessarily reflect those of the editors. Therefore, we exclude any claims against the author for the damage caused by use of any kind of the information provided herein, whether incorrect or incomplete.

The appearance of advertisements in this Scientific Publications (Printed Abstracts Proceedings & Digital Book of Articles - REHABEND 2020) is not a warranty, endorsement or approval of any products or services advertised or of their safety. The Editors does not claim any responsibility for any type of injury to persons or property resulting from any ideas or products referred to in the articles or advertisements.

The sole responsibility to obtain the necessary permission to reproduce any copyright material from other sources lies with the authors and the REHABEND 2020 Congress can not be held responsible for any copyright violation by the authors in their article. Any material created and published by REHABEND 2020 Congress is protected by copyright held exclusively by the referred Congress. Any reproduction or utilization of such material and texts in other electronic or printed publications is explicitly subjected to prior approval by REHABEND 2020 Congress.

ISSN: 2386-8198 (printed)

ISBN: 978-84-09-17871-1 (Printed Book of Abstracts)

ISBN: 978-84-09-17873-5 (Digital Book of Articles)

Legal deposit: SA - 132 - 2014

Printed in Spain by Círculo Rojo

### 3.- BUILDING INTERVENTION

#### 3.1.- Intervention plans.

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 22  | RETHINKING HOUSES FOR WILDLAND FIRE PROTECTION<br><i>Tenreiro, Teresa; Branco, Fernando; Arruda, Mario R.T.</i>   | 1937 |
| 70  | THE DIRECTOR PLAN FOR THE RECOVERY OF THE LORCA CULTURAL HERITAGE AFTER THE SISM OF 2011. COMPARATIVE ANALYSIS IN THE INTERNATIONAL CONTEXT<br><i>García Martínez, María del Sagrado Corazón; Martínez Ríos, Carmen</i>                         | 1946 |
| 185 | MULTI-SCALAR ANALYSIS SYSTEM FOR THE PRIORITIZATION OF INTERVENTIONS IN ARCHITECTURAL HISTORICAL HERITAGE: THE CASE OF SAN AGUSTÍN NEIGHBORHOOD IN PUEBLA CITY, MEXICO<br><i>Parra, Jaime; Lombillo, Ignacio; Ribalaygua, Cecilia</i>           | 1955 |
| 488 | MULTICRITERIA ANALYSIS TO SUPPORT DECISION IN PUBLIC BUILDINGS REHABILITATION INTERVENTIONS<br><i>Barcelos, João; Falcão Silva, Maria João; Couto, Paula; Pinho, Fernando</i>   | 1964 |
| 489 | MULTICRITERIA ANALYSIS APPLIED TO PUBLIC REHABILITATION INVESTMENTS<br><i>Couto, Paula; Falcão Silva, Maria João; Salvado, Filipa</i>   | 1972 |
| 584 | CLASSIFICATION OF ROOF TYPES IN EXISTING RESIDENTIAL BUILDINGS IN MADRID. DATA FOR AN ENERGY REHABILITATION STRATEGY<br><i>Alonso, Carmen; de Frutos, Fernando; Martín Consuegra, Fernando; Frutos, Borja; Galeano, Javier; Oteiza, Ignacio</i> | 1981 |

#### 3.2.- Rehabilitation and durability.

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 67  | CORROSION PROTECTION FOR STEEL TENDON UNDER THE ANCHORAGE HEAD OF EXISTING GROUND ANCHOR<br><i>Liao, Hung-Jiun; Chen, Chun-Chung</i>   | 1989 |
| 191 | SEISMIC ASSESSMENT AND RETROFITTING OF AN OLD MASONRY BARRACK<br><i>Zucca, Marco; Crespi, Pietro; Mendoza, Russell; Ruggeri, Luca</i>  | 1997 |
| 204 | REHABILITATION OF TWO MASONRY BRIDGES IN CUEVA (BURGOS, SPAIN)<br><i>Martínez Martínez, José Antonio; Aragón Torre, Ángel; García Castillo, Luis María; Aragón Torre, Guillermo</i>  | 2006 |
| 212 | CONCRETE SURFACE APPLIED CORROSION INHIBITORS: ON SITE EVALUATION BY NON-DESTRUCTIVE ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES<br><i>Martínez, Isabel; Castillo, Angel</i>  | 2015 |
| 230 | NUMERICAL INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL PERFORMANCE OF AGED RC BRIDGE COLUMNS SUBJECTED TO CORROSION AND SERVICE LOADS<br><i>Dabas, Maha; Zaghian, Sepideh; Martín-Perez, Beatriz; Almansour, Husham</i>   | 2023 |
| 232 | STRUCTURAL RESTORATION OF THE BUILT HERITAGE: CASE STUDY OF TAZI PALACE HOTEL<br><i>Kaddouri, Hajar; Cherradi, Toufik; Kourdou, Ibtissam</i>   | 2032 |
| 333 | EVOLUTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BRICKS TREATED WITH DIFFERENT CONSERVATION PRODUCTS APPLICABLE IN THE REPLACEMENT OF EXPOSED BRICKS IN HERITAGE BUILDINGS<br><i>Romay Carola; Charbonier, Andrea; Rodríguez de Sensale, Gemma</i> | 2042 |
| 429 | QUANTIFICATION OF WATER TRANSPORT IN FACADES WITH THE USE OF HYGROTHERMAL SIMULATION<br><i>Mota, Larissa; Bauer, Elton</i>   | 2051 |
| 532 | STUDY OF THE REHABILITATION PRACTICES IN VILA REAL HISTORIC CENTRE: CASE STUDY<br><i>Mendonça, Alana; Dominguez, Caroline; Mendes da Silva, José; Paiva, Anabela</i>   | 2060 |
| 538 | PROMPT QUALITY ASSESSMENT METHODS FOR REHABILITATION PROJECTS: THE METHOD 'MIMAQ'<br><i>Mouraz, Catarina P.; Silva, J. Mendes</i>  | 2068 |
| 548 | EXPERIMENTAL TESTS OF SCHIST MASONRY SINGLE LEAF WALLS STRENGTHENED WITH GROUTS<br><i>Luso, Eduarda</i>  | 2078 |
| 581 | THE RISKS OF THE CURRENT CONCRETE REPAIR SYSTEM. NEW APPROACHES WITH STAINLESS STEEL REINFORCING BAR<br><i>Salmerón Martínez, Antonio; Salvador Landmann, Miguel; Casero Sogorb, Santiago</i>  | 2086 |

#### 3.3.- Reinforcement technologies.

|    |  |      |
|----|--|------|
| 14 | ADOBE MASONRY WALLS REINFORCED WITH WEAVING WASTE<br><i>Buson, Márcio; Varum, Humberto</i> | 2094 |
|----|--|------|

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 54  | EVALUATION OF BOND BETWEEN REINFORCEMENT BARS AND REACTIVE POWDER CONCRETE<br><i>Costa Piccinini, Ángela; Rubem Montedo, Oscar; Pavei Antunes, Elaine</i>   | 2104 |
| 117 | REINFORCED INJECTION AS A UNDERPINNING TECHNIQUE CAREFUL WITH ARCHEOLOGY AND ARCHITECTURAL HERITAGE<br><i>da Casa, Fernando; Echeverría, Ernesto; Celis, Flavio</i>   | 2112 |
| 158 | OPEN ISSUE FOR CONFINEMENT OF MASONRY COLUMNS WITH FRCM-SYSTEM: THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION<br><i>Aiello, Maria Antonietta; Cascardi, Alessio; Ombres, Luciano; Verre, Salvatore</i>   | 2121 |
| 379 | EXECUTION AND REPAIR OF MASONRY STRUCTURES USING MORTAR REINFORCED WITH NATURAL FIBERS IN A CEMENTITIOUS MATRIX<br><i>La Tegola, Antonio; Mera, Walter</i>  | 2130 |
| 385 | REPARATION AND STRUCTURAL STRENGTHENING IN MASONRY STRUCTURES WITH INNOVATIVE SYSTEMS OF LOW THICKNESS, SRG AND FRCM<br><i>Dobón Tamarit José; Sánchez Martínez José L.</i>   | 2140 |
| 439 | EXPERIMENTAL STUDY OF IN-PLANE SHEAR BEHAVIOUR OF BRICK MASONRY RETROFITTED WITH BASALT AND STEEL REINFORCED MORTARS<br><i>García-Ramonda, Larisa; Pelà, Luca; Roca, Pere; Camata, Guido</i>  | 2149 |
| 505 | U-SHAPED FRCM FOR STRENGTH AND DEFORMATION ENHANCEMENT OF REINFORCED CONCRETE BEAMS<br><i>Ebead, Usama; El-Sherif, Hossameldin</i>  | 2157 |
| 512 | COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EXISTING CALCULATION RECOMMENDATIONS FOR STRENGTHENING WITH COMPOSITE MATERIALS OF RC COLUMNS OF RECTANGULAR SECTION<br><i>Castro, Viviana J.; De Diego, Ana; Martínez, Sonia; Piñeiro, Rafael; López, Cecilio; Echevarría, Luis; Gutiérrez, José Pedro</i> | 2164 |
| 513 | STRENGTHENING OF LOW-STRENGTH CONCRETE COLUMNS WITH FIBRE REINFORCED POLYMERS. FULL-SCALE TESTS<br><i>Martínez, Sonia; de Diego, Ana; Castro, Viviana J.; Echevarría, Luis; Barroso, Francisco J.; Rentero, G.; Soldado, R.; Gutiérrez, José Pedro</i>                                  | 2172 |
| 525 | TRANSFORMING THE CONSTRUCTION IN COASTAL ZONES: IMPLEMENTING GFRP REINFORCING BARS IN CONCRETE STRUCTURES<br><i>Ruiz Empananza, Alvaro; De Caso, Francisco; Nanni, Antonio</i>  | 2180 |
| 527 | CASE STUDY OF FRP APPLICATION: THE HALLS RIVER BRIDGE<br><i>Cadenazzi, Thomas; Ruiz Empananza, Alvaro; Nanni, Antonio</i>   | 2191 |
| 560 | NSE/EB-FRCM TECHNIQUE FOR STRENGTHENING OF RC BEAMS IN SHEAR<br><i>Ebead, Usama; Wakjira, Tadesse</i>   | 2200 |
| 566 | EFFICACY OF NSM HYBRID FRP STRIPS FOR SHEAR STRENGTHENING OF RC DEEP BEAMS<br><i>Ibrahim, Mohamed; Ebead, Usama</i>   | 2209 |
| 578 | STRENGTHENING OF A MASONRY WALL IN SEISMIC PRONE AREA WITH THE CAM SYSTEM: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL RESULTS<br><i>Recupero, Antonino; Spinella, Nino</i>  | 2218 |
| 585 | SHEAR STRENGTHENING OF RC BEAMS WITH STEEL REINFORCED GROUT (SRG)<br><i>Wakjira, Tadesse; Ebead, Usama</i>  | 2229 |
| 586 | EXTERNALLY BONDED HYBRID CARBON/GLASS FRP STRIPS FOR SHEAR STRENGTHENING OF RC DEEP BEAMS<br><i>Ibrahim, Mohamed; Ebead, Usama</i>  | 2237 |
| 588 | OPTIMISATION OF STAINLESS STEEL REBARS TO REPAIR MASONRY STRUCTURES<br><i>Rodriguez-Mayorga, Esperanza; Ancio, Fernando; Hortigon, Beatriz</i>  | 2246 |
| 591 | EFFECT OF USING MULTIPLE FABRIC PLYS ON THE TENSILE BEHAVIOUR OF CARBON TEXTILE REINFORCED MORTAR<br><i>Younis, Adel; Ebead, Usama</i>  | 2255 |

### 3.4.- Restoration of artworks.

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 152 | EVALUATION OF THE PHYSICAL AND PATHOLOGICAL STATE USING THE LASER SCANNER TECHNIQUE OF THE MURAL FACES OF THE CITY BY THE ARTIST RAMÓN VÁSQUEZ, AT THE SENA DE PEDREGAL FACILITIES IN THE CITY OF MEDELLÍN - COLOMBIA<br><i>Pérez-Salazar, Jhony; Cañola, Hernán Darío; Builes-Jaramillo, Alejandro; Cardona-Chavés, Myriam; Múnera-Zapata, Julián</i> | 2262 |
|-----|--|------|

### 3.5.- Conservation of industrial heritage.

|    |  |      |
|----|--|------|
| 39 | DURABILITY OF THE OLD PREFABRICATED CONCRETE NAVES OF ENSIDESA, AVILÉS (SPAIN)<br><i>Lozano, Alfonso; Alonso, Mar; Álvarez, Felipe; Del Coz, Juan José</i> | 2270 |
|----|--|------|

## CODE 39

### **DURABILITY OF THE OLD PREFABRICATED CONCRETE NAVES OF ENSIDESA, AVILÉS (SPAIN)**

### ***LA DURABILIDAD DE LAS ANTIGUAS NAVES DE ENSIDESA, AVILÉS (ESPAÑA)***

**Lozano, Alfonso<sup>1</sup>; Alonso, Mar<sup>2</sup>; Álvarez, Felipe<sup>3</sup>; Del Coz, Juan José<sup>4</sup>**

1: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación  
Universidad de Oviedo

e-mail: [alozano@uniovi.es](mailto:alozano@uniovi.es), web: <http://www.http://giconsime.grupos.uniovi.es>

2: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación  
Universidad de Oviedo

e-mail: [alonsomar@uniovi.es](mailto:alonsomar@uniovi.es), web: <http://www.http://giconsime.grupos.uniovi.es>

3: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación  
Universidad de Oviedo

e-mail: [felipe@constru.uniovi.es](mailto:felipe@constru.uniovi.es), web: <http://www.http://giconsime.grupos.uniovi.es>

4: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación  
Universidad de Oviedo

e-mail: [juanjo@constru.uniovi.es](mailto:juanjo@constru.uniovi.es), web: <http://www.http://giconsime.grupos.uniovi.es>

## **RESUMEN**

Durante la década de 1950, mercantil "Empresa Nacional de Siderurgia, S.A. (Ensidesa)", construyó en Avilés (Asturias-España) una enorme planta industrial de once kilómetros de largo y 191.000 m<sup>2</sup> de superficie que empleó a más de 21.000 trabajadores.

El área, ubicada muy cerca del mar, incluía siete naves de innovador diseño para la época, que alcanzaban una longitud de 1 km de longitud, construidas a partir de elementos prefabricados de hormigón.

Por desgracia, tras muchos años de producción continua a tres turnos, en 1998 la empresa cerró definitivamente, a causa de diversos problemas relacionados con conversiones, privatizaciones y fusiones de empresas. Ese hecho supuso el abandono de estas naves únicas en su época; en realidad, la estructura prefabricada más grande jamás construida en España. Y también el comienzo de su ruina.

En 2006, "Mittal Steel", actualmente conocida como "Arcelor-Mittal", adquirió el área industrial, pero en sus planes de trabajo no incluyó la puesta en marcha de las instalaciones de las naves.

Sin embargo, a mediados del 2015, dos empresas españolas consiguieron un contrato para la construcción de veinte estructuras de cimentaciones para otros tantos aerogeneradores marinos que deberían instalarse en el Mar del Norte. La fabricación de estos elementos exigía unas construcciones de considerable tamaño, por lo que se estudió la posibilidad de ubicar la producción en las antiguas naves de Ensidesa.

El documento describe el estado actual de las construcciones, la inspección y los ensayos previos realizados sobre su estructura de hormigón, tras de más de cincuenta años del cese de la actividad, sin mantenimiento alguno, expuestas además a un entorno industrial y marítimo muy agresivo.

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón prefabricado; naves industriales; entorno agresivo; durabilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

En septiembre de 1945, el Instituto Nacional Industrial (INI) contrató a la empresa londinense de ingeniería "H.A. Brassert & Company Limited", para que sus técnicos estudiaran el lugar más adecuado para la implementación de dos fábricas de perfiles de acero en el norte de España: una se ubicaría en Asturias y la otra en León.

El informe presentado por la consultora británica, conocido como "John Miles Report", recomendó la construcción de una sola fábrica. El lugar elegido fue la localidad de Avilés (Asturias).

Más tarde, en junio de 1950, se creó la "Empresa Nacional de Siderurgia (Ensidesa)". Durante los años posteriores, la fábrica se diseñó de acuerdo con el proyecto del insigne ingeniero D. Carlos Fernández Casado. La ejecución de las obras corrió a cargo de la empresa "Huarte & Cia, S.A."

En 1956 la obra civil estaba casi terminada, de acuerdo con las directrices y objetivos fijados para la producción de la planta industrial: 700.000 toneladas de perfiles laminados de acero para abastecer a la industria nacional.

La construcción de la planta, que llegó a emplear a 21.000 personas y ocupaba una superficie de 191.000 m<sup>2</sup>, concluyó en 1959 y estaba distribuida en siete naves paralelas de casi un kilómetro de longitud; seis de 30,20 m de luz y la última con 20,00 m de luz. Es decir: para la época, un gigantesco edificio industrial de 950 m de largo y 201 m de ancho. Toda la estructura, excepto los soportes, fue prefabricada in situ.

Después de muchos años de producción continua, diversas vicisitudes, problemas y privatizaciones, la producción se redujo significativamente y finalmente se la planta fue desmantelada.

En 1990, tras dos conversiones, se produjo la concentración de las principales empresas siderúrgicas españolas, ENSIDESA, AHV y AHM, bajo la denominación de "Corporación Siderúrgica Integral". Más tarde cambió su nombre a "CSI Corporación Siderúrgica"; y una vez privatizada, se renombró como "Aceralia". En 2001, "Aceralia", la siderúrgica luxemburguesa "Arbed" y la marca francesa "Usinor" forman la primera empresa siderúrgica mundial por volumen de producción: "Arcelor". En 2006 se fusionó con "Mittal Steel", la segunda compañía mundial por volumen. Esta empresa, de capital indio, sigue siendo el propietario actual.

## 2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO

Desde que la creación del gigante "Mittal Steel", las naves se destinaron exclusivamente al almacenamiento de bobinas de acero. A lo largo de este tiempo el mantenimiento de la planta industrial fue mínimo. Además, desde su construcción hacía más de cincuenta años, había estado expuesta a un entorno muy agresivo por la contaminación ambiental y la proximidad de la costa.

Afortunadamente, a mediados del año 2015, una UTE formada por dos empresas españolas consiguió un importante contrato para la construcción de veinte estructuras de cimentaciones para otros tantos aerogeneradores marinos que deberían instalarse en el Mar del Norte. Por este motivo se analizó la posibilidad de alquilar dos de estos edificios (naves nº 6 y 7), en los que se realizarían algunos cambios en su configuración para ubicar la nueva maquinaria y equipos.

Sin embargo, previamente a cerrar el acuerdo sobre el alquiler de las instalaciones, la UTE precisaba conocer alguna información sobre el estado del hormigón constituyente de las estructuras y los distintos procedimientos relativos al refuerzo y consolidación estructural en su caso, con el fin de garantizar las condiciones de seguridad y salubridad de las naves. Por este motivo se acordó la realización de algunos ensayos sobre determinados elementos estructurales. La elección de estos componentes se consensuó entre la ingeniería encargada de la redacción del proyecto, la propiedad y los técnicos contratados para la realización del estudio previo.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LAS NAVES Nº6-7

### 3.1 Organización en planta

La antigua fábrica de acero de "Ensidesa" consta de siete edificios que cubren un área de 905.50 m de largo y 201.20 m de ancho. Seis de estas naves tienen 30.20 m de luz y la última 20.00 m.



La Figura 1 muestra una vista general de esta gran planta industrial.



Figura 1: Vista general de las antiguas naves de “Ensidesa”.

### 3.2 Organización de la estructura

Estructuralmente se organiza en entramados horizontales, encargados de recibir las acciones gravitatorias y parte de las horizontales de viento y de sismo, y otros verticales que las reciben. Conjuntamente con las transmitidas por las vigas carrileras, se conducen al terreno a través de los cimientos. Se arriostran longitudinalmente a través de aquéllas a nivel intermedio y por los lucernarios en la coronación. En definitiva, la superestructura la componen entramados horizontales y verticales, arriostrados entre sí por las vigas carrileras y por los lucernarios. Todos los elementos anteriores están contruidos en hormigón armado, y la mayor parte de ellos se prefabricaron a pie de obra.

### 3.3 Entramados horizontales

Su separación es de 13 y 16 m, por lo que existen dos tipos de entramados correspondientes a dichas longitudes, aunque ambos de la misma tipología. Están conformados con entrevigados de vigas Pratt y socarrenas de losas nervadas. Las primeras son estructuras trianguladas, utilizadas para luces medianas y grandes, donde las diagonales trabajan a tracción y los montantes a compresión. La Figura 2 muestra una fotografía de su puesta en obra. La zona comprimida de hormigón era de 300x300 mm y estaba armada con 4Ø25, mientras que la parte traccionada estaba formada por 2Ø30.



Figura 2: Montaje de los entramados horizontales.

La separación entre ambas se encomendaba a a tres montantes; el central de 1.4 m de altura y los laterales de 1.3 m. En su día se prefabricaron en posición invertida por lo que, para facilitar el desencofrado de los montantes, su alzado adopta la forma tronco piramidal.

La socarrena, constituida por losas nervadas de planta cuadrada de tres metros de lado, cuenta con nervaduras de 200 mm de espesor, mientras que el de la capa de compresión es de tan solo 40 mm.

### 3.4 Entramados verticales

Están constituidos por arcos triarticulados y por pilares de inercia variable en altura para, de esta forma, conformar las ménsulas cortas que sirven de apoyo a los primeros en su coronación, y a las vigas carrileras y a las de apoyo de los cerramientos a nivel intermedio.

Los arcos, articulados en la clave y en los apoyos, tienen una sección de 600x250 mm. Se caracterizan porque su componente traccionada la constituyen sendas vigas de 500x250 mm en los tercios extremos y un tirante fuertemente armado ( $6\text{Ø}35+6\text{Ø}32$ ) en el central. Y también porque cuelgan del arco propiamente dicho a través de tirantillos.

Las vigas extremas se encargan de recibir parte de los entramados horizontales. El resto apoya directamente en el tramo inferior del arco. Entre éste y el tirante se disponen longitudinalmente los lucernarios que, de esta forma, apoyan sobre el primero y cuelgan del segundo. Otra característica importante de estos lucernarios, además de la iluminación, es la función de arriostrar transversalmente los arcos (Figura 3 [1]).

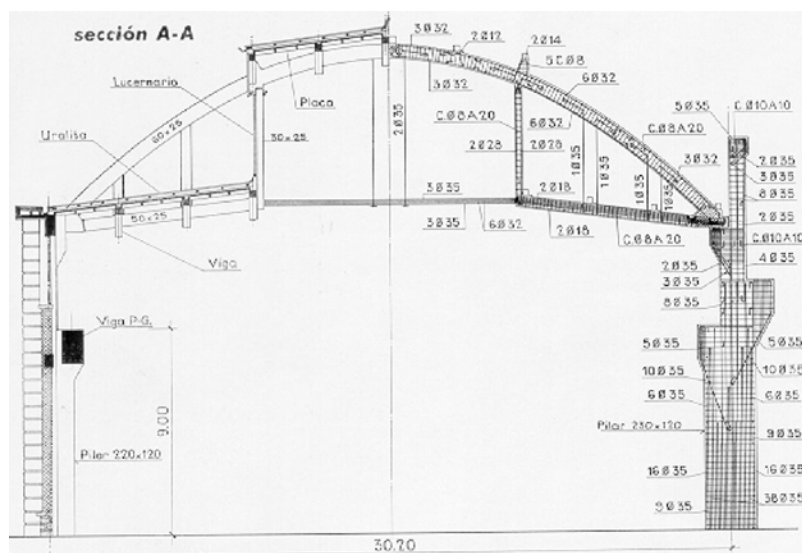


Figura 3: Entramados verticales (“Informes de la Construcción nº118 (1960)”).

Se prefabricaron por el sistema de pilas en el plano horizontal, lo que permitía la reutilización de los moldes, así como apoyos salientes para los entramados horizontales.

Respecta a los pilares, su sección de 220x120 cm en el arranque, se reduce en la altura para propiciar la formación de las ménsulas cortas que sirven de apoyo a las vigas carril, a las de fachada a niveles intermedios y al arco en la coronación.

### 3.5 Vigas carrileras

Las vigas que se encargarían de recibir las cargas de los potentes puentes grúa se proyectaron del tipo Lamda. Es decir, en forma de jácenas continuas articuladas en los puntos de momento nulo, con sus apoyos en cantilever, hormigonados conjuntamente con los pilares (figura 9). De aquí que su sección fuese totalmente maciza. Sin embargo, su tramo central se aligera gracias al empleo de sendas vigas prefabricadas de 1500x 360 mm, con secciones en doble T en los extremos y rectangulares en los apoyos. Precisamente aquí el espacio interior de 23 cm se maciza para mejorar la contribución a cortante, a pesar de la existencia de barras dobladas de  $\text{Ø}32$ .

### 3.6 Cubierta

Por último indicar que las placas que conformaban la cubierta tenían solo 4 cm de espesor y estaban reforzadas con  $3\varnothing 7$  por metro.

## 4. ESTADO ACTUAL (AÑO 2015): LESIONES Y DEFECTOS

Previamente a la realización de los ensayos destructivos y no destructivos sobre los componentes estructurales, se llevó a cabo una inspección visual de las naves nº 6 - 7 con el fin de determinar qué elementos aportarían información más relevante sobre el estado general del hormigón (Figura 4). Al mismo tiempo se recopilaría información que estimaría su grado de deterioro; y en especial los asociados a la exposición al entorno agresivo de la planta industrial.

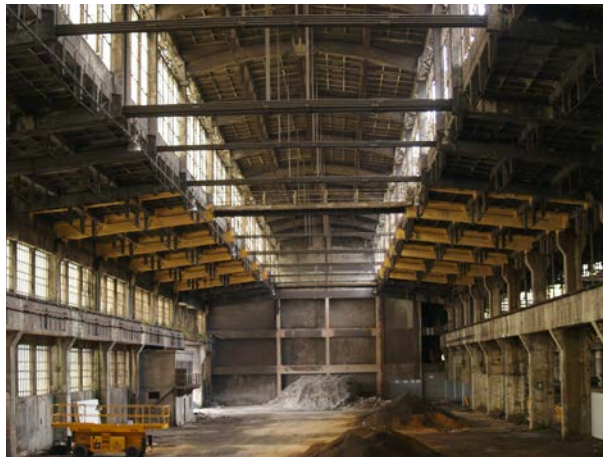


Figura 4: Vista de una de las naves en el momento de la primera inspección.

### 4.1 Pilares

Se trata de elementos con grandes secciones de hormigón y elevadas cuantías de acero, según los planos. Su ejecución y puesta en obra fue esmerada, y no se observaron fisuras, coqueas o defectos similares que denoten un deficiente vibrado. Igualmente su verticalidad y planitud eran en apariencia cuidadas, y tampoco se detectaron otros tipos de defectos superficiales dignos de mención. En realidad ni siquiera se apreciaron grietas asociadas a la corrosión de las armaduras, a pesar del tiempo transcurrido y a la falta de mantenimiento.

Esta cualidades y los importantes recubrimientos que se determinaron en la primera inspección influyeron sin ninguna duda en el buen estado general de las armaduras.

En cuanto a la composición del hormigón, a simple vista se observó un elevado diámetro de los áridos, superando los 25 mm en muchos casos, así como abundantes finos en el mortero. En cualquier caso, al menos en apariencia la calidad del mismo podría calificarse de aceptable. Por desgracia, determinadas zonas donde a lo largo de los años se habían producido filtraciones de cierta consideración, sí mostraban corrosiones importantes, así como lixiviaciones y evidencias del lavado de los componentes cálcicos del cemento. Evidentemente esta situación se mantiene en el exterior, donde en ciertas localizaciones, los defectos y las lesiones mencionadas (lixiviación de los componentes del cemento, corrosión y pérdida de sección de las armaduras, etc.) eran mucho más acusadas.

### 4.2 Vigas carrileras

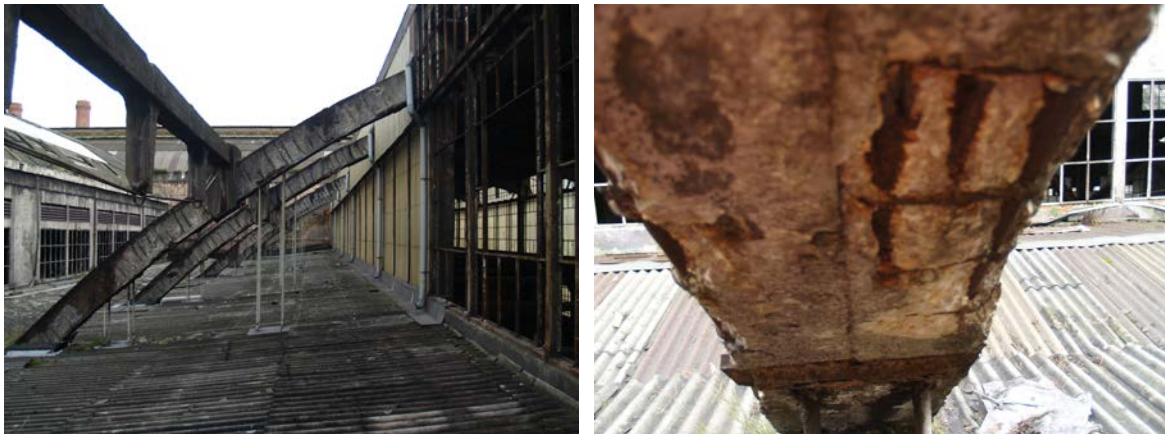
Al igual que en el caso anterior, las vigas carrileras de los puentes grúa presentaban un buen aspecto, con generosas secciones y luces no demasiado importantes, especialmente si se tiene en cuenta los grandes cantos de las piezas.

Tampoco se apreciaron síntomas de fallo debido a acciones de tipo mecánico: los pocos daños observados guardaban relación con la corrosión de las armaduras por la acción del agua. En cualquier caso, el deterioro sufrido hasta ese momento por estos elementos de hormigón armado era bastante reducido, máxime si se tienen en cuenta las numerosas filtraciones que se producían desde la cubierta, así como de la evidente falta de mantenimiento de la instalación.

En cuanto a su composición, se mantenía lo comentado para los pilares: elevada cuantía de armaduras, importante diámetro de los áridos y presencia de finos. También los recubrimientos eran en general elevados. Al menos en apariencia, este dato podría aplicarse a los cantos de las vigas pero no a los fondos, puesto que no sería posible disponer separadores para unas armaduras de tal peso. En cualquier caso, tampoco se aprecian corrosiones ni fisuraciones en la parte inferior de estos elementos, lo que denota una prefabricación a pie de obra realmente esmerada.

### 4.3 Arcos

Sin duda se trataba de los componentes más gravemente afectados por la acción de los agentes meteorológicos entre los que se incluía no sólo su exposición directa a la lluvia sino especialmente los contaminantes presentes en la atmósfera. En este caso la totalidad de estos elementos sí mostraba un avanzado proceso de corrosión de sus armaduras (Figuras 5 y 6), especialmente las dispuestas en el intradós de las piezas, hasta el punto de que muchas de ellas habían desaparecido por completo. El grado de oxidación era tal que también una gran parte o todo el recubrimiento se había desprendido, favoreciendo y acelerando el deterioro de las barras.



Figuras 5 y 6: Daños por corrosión de armaduras en los arcos.

### 4.4 Vigas de cubierta

Aunque no pudieron inspeccionarse a causa de la dificultad de acceso, las evidencias de la disolución de los componentes cálcicos del cemento, las manchas blanquecinas y la oxidación de los alambres visibles desde su extradós, indicaban que presentaba importantes defectos de estanqueidad.

Además se remarcó la ejecución de una incorrecta práctica constructiva, por otra parte desgraciadamente frecuente: se trataba de la aplicación de espuma de poliuretano sobre el intradós de la cubierta, con el fin de reducir las filtraciones de agua a través de la misma. Este tipo de actuaciones no sólo no consiguen solucionar el problema, sino que en determinados casos (poliuretano de célula abierta) favorecen la retención de agua en la espuma y con ello la carbonatación y corrosión del acero.

## 5. ENSAYOS

A la vista estas consideraciones, y teniendo en cuenta la necesidad de adecuar la estructura existente a las nuevas acciones de los puentes grúa, resultaba necesario conocer, con una cierta aproximación, las propiedades mecánicas del hormigón, como paso previo al cálculo y comprobación de la estructura.

A pesar de la aparente calidad de su construcción y sobre todo de los conocimientos técnicos de Don Carlos Fernández Casado, lo cierto es que en la fecha de la inspección no se disponía de datos fiables sobre la resistencia a compresión del hormigón, máxime si se tenía en cuenta que se trata de una construcción levantada hace más de cincuenta años.

De acuerdo con estas premisas, y considerando el tiempo disponible, se definió una campaña de ensayos que se llevó a cabo sobre cuatro elementos estructurales (tres pilares y una viga carrilera), y que comprendería las siguientes pruebas:

- La determinación del avance de la carbonatación [2], dada su influencia en el aumento de la resistencia superficial del hormigón y la importancia de aquélla en la corrosión de las armaduras.
- Como complemento al ensayo anterior, determinación de los recubrimientos de las armaduras, y comprobación de los resultados obtenidos mediante catas.
- Prueba esclerométrica de la resistencia a compresión de los elementos de hormigón [3].
- Estudio ultrasónico de la porosidad y compacidad de éste [4].
- Extracción de probetas testigo de hormigón endurecido y barras de acero [5] [6].
- Aplicación del método combinado para determinar las propiedades mecánicas y elásticas de los materiales. Las Tabla 1 y 2 resumen los resultados de los ensayos incluidos en el método combinado.

Tabla 1: Resultados del método combinado sobre la estructura.

| Ensayos               | Valor Mínimo | Valor Máximo |
|-----------------------|--------------|--------------|
| Carbonatación         | 0,7 mm       | 18,0 mm      |
| Recubrimiento         | 14 mm        | 22 mm        |
| Rebote esclerométrico | 18 MPa       | 32 MPa       |
| Pulso ultrasónico     | 4.167 m/s    | 4.545 m/s    |
| Probetas testigo      | 18,5 MPa     | 28,4 MPa     |

Tabla 2: Ensayos destructivos sobre las armaduras.

| Probetas | Ø     | Límite Elástico | Tensión de rotura | Elongación |
|----------|-------|-----------------|-------------------|------------|
| Nº1      | 16 mm | 253.60 MPa      | 409.00 MPa        | 48.11 %    |
| Nº2      | 16 mm | 283.70 MPa      | 445.30 MPa        | 48.72 %    |
| Nº3      | 18 mm | 282.60 MPa      | 375.40 MPa        | 48.12 %    |
| Nº4      | 16 mm | 312,60 MPa      | 483,40 Mpa        | 51,50 %    |
| Nº5      | 18 mm | 227,20 MPa      | 334,10 MPa        | 57,33 %    |

## 6. CONCLUSIONES SOBRE LOS ENSAYOS

Teniendo siempre en cuenta las dimensiones de las naves y el reducido número de probetas extraídas, el análisis combinado de los resultados de los ensayos no destructivos y los datos obtenidos a partir de la extracción y rotura de las probetas testigo parece indicar que en la fabricación a pie de obra de los hormigones que conforman la estructura de las naves de laminación nº6-7 se emplearon cementos y áridos de bastante calidad; y la ejecución de sus distintos elementos fue cuidada. Se explica así que el acabado de los prefabricados, su aspecto y su compacidad sean de tal categoría, máxime si se tiene en cuenta la época de su construcción.

## 7. CONCLUSIONES SOBRE EL ESTADO DE LAS NAVES Nº6-7

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, como resumen del estudio realizado se citan las siguientes conclusiones, que se refirieron exclusivamente a las zonas y a los elementos analizados:

- 1) El diseño, las dimensiones, la fabricación y la puesta en obra de los elementos que constituyen la estructura denotan unos amplios conocimientos técnicos y una ejecución muy cuidada. A este respecto se recuerda que en la fecha de inicio de las obras, no existía en España normativa de obligado cumplimiento en relación con la prefabricación de elementos de hormigón armado, aunque sí aparecía una “Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón” (1939, MOPU).

Fue más adelante en el año 1956, cuando apareció la primera normativa de hormigón estructural, redactada por D. Eduardo Torroja y D. Alfredo Páez, pero para esa época la ejecución de las naves ya había concluido.

2) El hormigón de los elementos analizados era siempre de una calidad más que aceptable e incluso en ocasiones podía calificarse de muy buena, con resultados de ED y END que como mínimo rondaban los 20,0 N/mm<sup>2</sup> (20,0 MPa).

3) Los recubrimientos de todos los componentes resistentes eran en general aceptables, aunque se supone que en los fondos de las vigas el espesor no sea tan correcto, debido a la imposibilidad de disponer separadores para una ferralla de tales dimensiones.

4) La armadura, compuesta por barras lisas y de elevada cuantía, presentaban en general un estado más que aceptable, con baja oxidación a pesar del tiempo transcurrido, de la falta de mantenimiento y a la agresividad de la atmósfera industrial donde se ubica la instalación.

5) Se exceptuaban los redondos situados en las zonas afectadas por las filtraciones desde la cubierta y sobre todo los elementos situados en el exterior. En estos casos sí fue imprescindible definir un procedimiento de reparación.

6) Las distancias a las que se disponían los cercos eran correctas, y siempre resultan inferiores a los 35 cm; al menos en los elementos incluidos en el presente alcance.

7) No se observaron grietas, pérdidas de masa o fracturas que indicasen algún tipo de fallo por esfuerzos excesivos en el interior de las naves. Las pocas lesiones detectadas tenían su origen en el habitual aumento de volumen experimentado por las barras durante el proceso de oxidación.

8) Por el contrario, el estado de los arcos situados en el exterior era muy deficiente, y su reparación resultaba obligada. La ejecución se simplificaría con encofrados de FRP y hormigón autocompactante.

9) También era necesario actuar sobre las cubiertas, con el fin de garantizar su estanqueidad, (mediante la aplicación de una membrana de poliurea híbrida) y frenar el deterioro de los elementos de hormigón, eliminando al mismo tiempo la espuma de poliuretano del intradós de las mismas.

10) Puede afirmarse que la consideración tenida tanto por D. Carlos Fernández Casado en la redacción de un proyecto racional, normalizado y tan atractivo a la vez, así como la cuidadosa ejecución del mismo por parte de la empresa "Huarte & Cia, S.A.", han conseguido garantizar la durabilidad de unas estructuras de tales dimensiones [7] y hayan perdurado hasta nuestros días con unos daños que podrían calificarse de reducidos, máxime si se consideran sus más de cincuenta años de antigüedad y su ubicación en un ambiente realmente agresivo por la contaminación ambiental y su proximidad al mar.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada y la Tecnología (FICYT) y al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del gobierno de España las ayudas recibidas a través de los proyectos FC-GRUPIN-IDI/2018/000221 y PGC2018-098459-B-I00 respectivamente, ambos financiados con fondos FEDER.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Editorial. Prefabricación. *Informes de la construcción*, 1960, Vol. 12, Nº. 118.

[2] Norma UNE 112011:2011 "Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio".

[3] Norma UNE - EN 12504-2:2013 "Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote".

[4] Norma UNE - EN 12504 - 4:2006 "Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos".

[5] UNE 12504 - 1:2009 "Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión".

[6] UNE-EN ISO 6892-1:2010 “Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente”.

[7] Richardson, M. G. (2002). *Fundamentals of durable reinforced concrete*. London: Spon Press; 2002; 273 p.