

## ANEXO II.D

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ESTRUCTURA

#### 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento describe las “Especificaciones técnicas de estructura de hormigón fibro-reforzado para celdas de alojamiento en el Centro de Rehabilitación de las Unidades de PPL N° 27, N° 28 y N° 29”, siendo su objetivo: *“elaborar las características técnicas, con sus especificaciones constructivas, que deberá cumplir el material: hormigón fibro-reforzado (tipo Glass-fiber Reinforced Concrete - GRC o similar). Así como establecer los ensayos y pruebas necesarias que determinen un eficiente comportamiento estructural del material frente a las cargas que son impuestas a este tipo de construcciones, además de elaborar las recomendaciones pertinentes para la puesta en obra del mismo”*.

La intención de los ensayos y las propiedades indicadas en este documento es, principalmente, ayudar a asegurar que las estructuras, elementos y componentes a utilizar tengan un desempeño igual o mayor al mínimo aceptable, necesario para controlar el movimiento, confinar, retrasar y frustrar intentos de escape, y resistir el vandalismo de PPL, tanto en las celdas de detención como en otros lugares donde esto se requiera. Para ello, se indican ensayos para evaluar, tanto el desempeño bajo condiciones normales de operación, como el desempeño bajo condiciones de “asalto”. En forma secundaria se indican además requisitos mínimos estructurales, que debe cumplir cualquier estructura de edificación.

Se tomó como referencia principal el conjunto de normas elaborado por el Comité F33<sup>1</sup> de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*, USA). Este conjunto de normas permite determinar el desempeño de varios productos y elementos utilizados en el Centro de Rehabilitación, categorizándolos en grados, según el nivel de seguridad requerido. Se considerará el máximo nivel de seguridad (Grado 1) para todos los elementos de los módulos.

##### 1.1. Nomenclatura

HRF – Hormigón Reforzado con Fibras estructurales.

GRC – Hormigón reforzado con fibras de vidrio álcali-resistentes.

#### 2. NORMAS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES

En cada uno de los apartados de este ANEXO se indican ensayos o verificaciones regulados por normas de reconocida aceptación internacional (principalmente producidas por ASTM y normas europeas EN).

---

1 Committee F33 on Detention and Correctional Facilities <https://www.astm.org/get-involved/technical-committees/committee-f33>

Alternativamente, el oferente puede proponer normas para realizar las distintas verificaciones, siempre que sean producidas por un organismo normativo de reconocida aceptación, y que se pueda demostrar una razonable equivalencia entre los resultados obtenidos por la norma propuesta y la indicada en este ANEXO.

### **3. ESTRUCTURA**

#### **3.1. Diseño estructural**

Todos los trabajos correspondientes a las estructuras de hormigón armado, a menos que específicamente se establezca lo contrario, serán realizados de acuerdo con las buenas reglas del arte y en conformidad con lo que establecen las últimas ediciones vigentes de normas reconocidas internacionalmente (Por ejemplo: Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1), EHE 2008 Hormigón Armado, NBR 15575, Normas del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT), Normas de *American Concrete Institute* (ACI)).

#### **3.2. Resistencia al fuego**

Se verificará la resistencia mecánica de la estructura en situación de incendio, en términos de su capacidad de soportar la exposición al fuego durante un tiempo de 60 minutos sin pérdida de la estabilidad estructural.

### **4. ESPECIFICACIONES ESTRUCTURALES PARA LAS CELDAS**

#### **4.1. Tipo de fabricación**

La estructura de las celdas será íntegramente prefabricada en planta, incluyendo aberturas fijas y equipamiento, y trasladada lista para su colocación en sitio. El adjudicatario deberá establecer un protocolo de logística y traslado de módulos al sitio de implementación. Será especificado en la instancia de proyecto ejecutivo.

Se permite en sitio la construcción de elementos de continuidad para los módulos de celdas, como losas de apoyo, o la rigidización de celdas continuas, mediante el hormigonado en situ del espacio entre las mismas.

#### **4.2. Uso de barras de acero**

Se tratará de minimizar la utilización de barras de acero en las celdas, sin importar la función que cumplan en el elemento (estructural, transitoria durante la fabricación, constructiva, etc.), por ejemplo, mediante la utilización de fibras estructurales como sustitución parcial o total de la armadura de barras. (Ver apartado "5.3" de este ANEXO).

##### **4.2.1. Barras de acero en paredes de las celdas**

No se permite el uso de barras de acero con fines estructurales en paredes de las celdas prefabricadas.

Se deberá minimizar la armadura constructiva, de montaje y transitoria. Debiendo cumplir la condición de "no accesible" incluida en esta sección.

**4.2.2. Barras de acero en piso de las celdas**

No se permite el uso de barras de acero con fines estructurales en los pisos de las celdas prefabricadas.

Se deberá minimizar la armadura constructiva y transitoria. Para el hormigón de los pisos de los módulos, el recubrimiento geométrico mínimo, contado desde el interior del módulo, será de 4 cm.

**4.2.3. Barras de acero en techo de las celdas**

En caso de utilización de barras de acero en techos deberá cumplir la condición de “no accesible” incluida en esta sección.

**4.2.4. Barras de acero “no accesible”**

En caso de utilización de barras de acero constructivas, para uso estructural transitorio, o en los techos de celdas, el mismo no será “accesible”. Esto es, se deberá asegurar un recubrimiento geométrico mínimo ( $r_g$ ), contado desde el interior de la celda, en función de la calidad del hormigón que lo recubre, dado por la siguiente tabla.

Resistencia característica $f_{ck}$ [MPa]	Recubrimiento geométrico mínimo $r_g$ [cm]
50	4.0
60	3.5
70	3.0
80 o más	2.5

**5. HORMIGÓN DE ESTRUCTURA EN CELDAS**

El hormigón utilizado en las celdas cumplirá con las siguientes características.

**5.1. Resistencia a compresión**

La resistencia característica a la compresión, medida en probetas cilíndricas (20 cm altura y 10 cm de diámetro), a los 28 días, será como mínimo de 50 MPa. (Clase de resistencia mínima C50 según EN 1992-1-1, o equivalente según otra norma reconocida).

**5.1.1. Comentario**

El uso de hormigón de alta resistencia puede acrecentar la aparición de patologías, si no se realiza una correcta dosificación del hormigón, control de ejecución y, principalmente, un buen curado. En particular, el incremento de la resistencia basada en un aumento de la cantidad del cemento, normalmente ocasiona un aumento de la retracción del hormigón, que puede favorecer la aparición de fisuras.

## 5.2. Fisuras visibles

Se deben disminuir al máximo posible la aparición de fisuras en los elementos de hormigón. El espesor de fisura máximo aceptado en los elementos de hormigón será de 0.1 mm.

## 5.3. Hormigón Reforzado con Fibras

Se recomienda el uso de fibras estructurales para mejorar la respuesta de los elementos a abrasión e impacto, y reducir y controlar la fisuración en los elementos. A su vez, es posible la utilización de fibras estructurales como sustitución parcial o total de la armadura de barras.

### 5.3.1. Introducción

Para ser utilizadas con fines estructurales (resistencia, abrasión, impacto), las fibras deben cumplir con las normas EN 14889-1 (*Fibras para hormigón. Parte 1: Fibras de acero. Definiciones, especificaciones y conformidad*) (fibras de acero) o UNE-EN 14889-2 (*Fibras para hormigón. Parte 2: Fibras poliméricas. Definiciones, especificaciones y conformidad*) (fibras sintéticas). Gracias a la resistencia residual que se desarrolla, las fibras proporcionan un refuerzo estructural, pudiendo sustituir parcial o completamente las armaduras convencionales. Al igual que con el uso del refuerzo convencional con barras, las fibras no previenen la fisuración, pero colaboran con el control de fisuración.

Por su parte, las micro-fibras sintéticas (de diámetro:  $d < 0,30$  mm) se utilizan para controlar la fisuración por retracción plástica del hormigón y la retracción durante las primeras horas de curado, sin tener un aporte apreciable a la resistencia, abrasión o impacto. En este sentido, las micro-fibras sintéticas no son consideradas fibras estructurales.

### 5.3.2. Normativa

El diseño del HRF estructural se debe basar en alguna normativa reconocida. Por ejemplo:

- Instrucción española de Hormigón Estructural (EHE-08), Anejo 14
- fib, "Model Code 2010, Vol 1 & 2. International Federation for Structural Concrete.

### 5.3.3. Resistencia residual mínima del HRF estructural

Las fibras se pueden usar como sustituto del armado convencional si se cumplen las siguientes relaciones, indicadas en el Código Modelo 2010 (*fib, "Model Code 2010, Vol 1 & 2. International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland." 2010*):

$$f_{R1k} \geq 0.4 \cdot f_{Lk}$$

$$f_{R3k} \geq 0.5 \cdot f_{R1k}$$

en donde  $f_{Lk}$  es el valor característico de la resistencia nominal, correspondiente a la carga de pico. Todos determinados según EN 14651 (*Test method for metallic fibre strength (limit of the flexural tensile concrete — Measuring proportionality (LOP), residual)*).

En control de calidad durante la ejecución se puede realizar con un ensayo simplificado validado, por ejemplo, el “Ensayo Montevideo” (L. Segura-Castillo, R. Monte, and A. D. De Figueiredo, “Characterisation of the tensile constitutive behaviour of fibre-reinforced concrete: A new configuration for the Wedge Splitting Test,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 192, pp. 731–741, 2018). Se puede proponer otro ensayo simplificado siempre que se demuestre una buena correlación con el ensayo EN 14651.

#### **5.4. Aspecto superficial, higiene y estanqueidad**

La terminación superficial del hormigón será lisa y homogénea (sin imperfecciones como huecos, fisuras u ondulaciones), de color claro (incluso penetrando en el material) y con aspecto vítreo (impermeable).

Se deben utilizar encofrados metálicos.

Se debe utilizar preferentemente cemento blanco. Se buscarán alternativas de color claro para el resto de los componentes del hormigón.

Las superficies expuestas tendrán baja porosidad. Esto proporciona ambientes más higiénicos y sin humedad, favoreciendo la salud de los ocupantes.

La superficie lisa e impermeable evita la acumulación de humedad, suciedad, fijación de vectores y la impregnación de olores, además de facilitar su limpieza. Características que combaten la formación de microclimas que favorecen la aparición de enfermedades respiratorias y cutáneas.

### **6. RESISTENCIA A ASALTO FÍSICO DE CELDAS**

La intención de los ensayos indicados en esta sección es evaluar la capacidad de los elementos (paredes y techo) de resistir ataques violentos, realizados por medio manuales, utilizando objetos similares a los potencialmente accesibles por las PPL, como el equipamiento de la celda. Los ensayos de impacto evalúan la resistencia a fatiga por impacto y la calidad de las técnicas constructivas, así como la resistencia de los materiales utilizados. Los ensayos simulan la capacidad de los elementos de resistir fuerzas de impacto repetidas en áreas críticas.

#### **6.1 Ensayo de resistencia a asalto físico en paredes.**

##### **6.1.1 Verificación**

Los muros de las celdas deberán cumplir con la norma ASTM F2322 – 12 (*Standard Test Methods for Physical Assault on Vertical Fixed Barriers for Detention and Correctional Facilities*), para la condición de mayor exigencia (*Grade 1*: que equivale a resistir 600 impactos en el ensayo de impacto), considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

En caso de que la pared interna del modulo terminado se termine con un relleno en obra (grout), es posible evaluar en el ensayo el conjunto terminado.

##### **6.1.2 Modificaciones a considerar en los ensayos**

Se realizarán las siguientes modificaciones a la norma indicada:

No se realizará el ensayo de penetración de bala (Sección 7.1 *Bullet Penetration*).

Las aberturas a utilizar en el ensayo del panel 2 tendrán las dimensiones indicadas en el documento Pautas de Diseño.

En caso de utilizarse más de un tipo de abertura, se realizará un ensayo con las condiciones del panel 2, para cada tipo de abertura que se utilice.

## **6.2 Ensayo de resistencia a asalto físico en techos**

### **6.2.1 Verificación**

Los techos de las celdas deberán cumplir con la norma ASTM F2697 – 15 (*Standard Test Methods for Physical Assault on Overhead Horizontal Fixed Barriers for Detention and Correctional Facilities*), para la condición de mayor exigencia (*Grade 1*: que equivale a resistir 600 impactos en el ensayo de impacto), y considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

### **6.2.2 Modificaciones a considerar en los ensayos**

Se realizarán las siguientes modificaciones a la norma indicada:

Las dimensiones del elemento de ensayo serán las reales del módulo a construir.

Los ensayos en los puntos 5 a 7 se realizarán solo en los puntos de unión de elementos, no correspondiendo si la construcción es monolítica.

Las recomendaciones de dimensiones de espesores indicadas en la norma, que corresponden a elementos metálicos, se deben tomar solamente como orientativas.

## **7. PUERTAS Y ACCESORIOS**

Los ensayos a realizar en las puertas dependerán del tipo de puerta, según la clasificación dada.

Las puertas **Tipo A** serán puertas deslizantes, con el máximo nivel de seguridad (**Grade 1**).

Las puertas **Tipo B y C**, serán puertas batientes, con el 2º y 3º nivel de seguridad (**Grade 2 y 3**), respectivamente.

### **7.1 Puertas Tipo A**

#### **7.1.1 Verificación**

Las puertas **Tipo A** deberán cumplir con la norma ASTM F1643 – 05 (*Standard Test Methods for Detention Sliding Door Locking Device Assembly*), para la condición de mayor exigencia (*Grade 1*: que equivale a resistir 600 impactos en el ensayo de impacto), y considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

A su vez, las puertas **Tipo A** deberán cumplir con los ensayos descritos en los apartados 7.3 (*Door Static Load Test*), 7.4 (*Door Rack Test*) y 7.7 (*Door Edge Crush Test*) de la norma ASTM F1450 – 12a (*Standard Test Methods for Hollow Metal Swinging Door Assemblies for Detention and Correctional Facilities*), para la condición de mayor exigencia (*Grade 1*) y considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

#### 7.1.2 Modificaciones a considerar en los ensayos

Se realizarán las siguientes modificaciones a la norma ASTM F1643 – 05:

Las dimensiones del elemento de ensayo serán las reales del módulo a construir.

No se realizarán los ensayos descritos en las secciones 6.4, 6.5 y 6.7 de la norma.

Se realizarán las siguientes modificaciones a la norma ASTM F1450 – 12a:

Las dimensiones del elemento de ensayo serán las reales del módulo a construir.

## 7.2 Puertas Tipo B y C

### 7.2.1 Verificación

Las puertas **Tipo B** deberán cumplir con la norma ASTM F1450 – 12a (*Standard Test Methods for Hollow Metal Swinging Door Assemblies for Detention and Correctional Facilities*), para la condición de exigencia: *Grade 2*, considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

Las puertas **Tipo C** deberán cumplir con la norma ASTM F1450 – 12a (*Standard Test Methods for Hollow Metal Swinging Door Assemblies for Detention and Correctional Facilities*), para la condición de exigencia: *Grade 3*, considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

### 7.2.2 Modificaciones a considerar en los ensayos

Se realizarán las siguientes modificaciones a la norma ASTM F1450 – 12a:

Las dimensiones del elemento de ensayo, y la inclusión de ventanas, serán las reales del módulo a construir.

No se realizará el ensayo de penetración de bala (Sección 7.1 *Bullet Penetration*).

Se realizará, para cada geometría de puerta, el tipo de ensayo descrito en la norma (Door Elevation #1 o #2) correspondiente a la geometría que mejor se asemeje a la geometría real de la puerta, descrita en las *pautas de diseño*.

No se realizarán los ensayos descritos en las secciones 7.5 y 7.6 de la norma.

## **8. HORMIGÓN DE EQUIPAMIENTO EN CELDAS**

El equipamiento de las celdas será realizado con HRF, GRC, o una combinación de los anteriores.

Se prohíbe el uso de cualquier tipo de armadura de acero en el equipamiento.

### **8.1.1 Verificación**

El equipamiento de las celdas deberá cumplir con la norma ASTM F3277 – 19 (*Standard Specification for Cantilevered Steel Bunks Used in Detention and Correctional Facilities*), considerando las modificaciones indicadas en la siguiente sección.

### **8.1.2 Modificaciones a considerar en los ensayos**

Se realizarán las siguientes modificaciones a la norma indicada:

Se utilizará la norma para ensayar elementos de hormigón, a pesar de haber sido desarrollada para equipamiento de acero.

Se toma la norma como referencia para determinar puntos y tipos de ensayo, puntos de aplicación y valores de cargas a aplicar.

Todo el equipamiento será ensayado, incluyendo mesas y bancos, para resistir los ensayos descritos en los apartados 7.1 (impacto superior), 7.2 (fuerza estática, en ménsula y de izado) y 7.3 (fuerza de borde) de la norma. El objetivo es que todo el equipamiento sea suficientemente resistente y rígido, para reducir la posibilidad de que sean extraídos por parte de las PPL. El punto de aplicación de las cargas en el equipamiento será determinado por la supervisión de obra, buscando ser el punto crítico en cada caso.

En el caso de cuchetas, se realizarán los ensayos tanto a la cama superior como a la inferior.

## **8.2 Especificación del GRC**

Las características físicas y mecánicas del GRC. deben estar comprendidas entre los siguientes valores:

Densidad = 1.9 a 2.1 t/m<sup>3</sup>.

Módulo de elasticidad = 10 a 20 GPa.

Módulo de rotura a flexión ( $\sigma_{MOR}$ , según EN 1170-5)  $\geq$  15 MPa.

Resistencia al esfuerzo cortante planar = 7 a 11 MPa.

Resistencia al esfuerzo cortante de punzonamiento = 25 a 45 MPa.

Clasificado M-0 por la UNE 23727:1981. (material incombustible)

## **9. PINTURAS, REVESTIMIENTOS Y ADHESIVOS**



Todos los materiales utilizados como pinturas y revestimientos, material de sellado, o para reparación y adherencia de elementos, utilizados en el interior de los módulos, deben cumplir con las siguientes propiedades físicas:

Temperatura de servicio:	-15°C a 60°C
Resistencia a la abrasión (EN 13892-4):	AR 0.5
Fuerza adhesiva (BS-EN 1504-2):	mayor a 1.5 MPa (falla del sustrato)

Cada valor se determina como el promedio de 3 ensayos, realizada sobre una capa de prueba.

## 10. MÉTODOS DE REPARACIONES Y MANTENIMIENTO

Se deberán indicar formas y metodologías para realizar reparaciones cuando se detecten daños tanto en las celdas como en el equipamiento.

Las reparaciones deben tener iguales o mejores características de desempeño (determinadas por los parámetros dados en este ANEXO), que los originales.

## 11. CONTROL DE CALIDAD

### 11.1 Módulo de ejemplo

Antes de comenzar la producción, se debe preparar un “*módulo de ejemplo*” completo, que incluya todas los elementos, componentes y terminaciones de los módulos a construir.

El *módulo de ejemplo* deberá ser aprobado por la supervisión de obra. Para ello, será necesario someterlo a todos los ensayos descritos en este ANEXO, por el Instituto de Estructuras de la Facultad de Ingeniería (Udelar). A sugerencia de la contratista, y de común acuerdo de ambas partes, se podrán realizar los ensayos en otro laboratorio de reconocida experiencia en el tema. Para ensayos de elementos o partes específicas, se podrá proveer de estos componentes, siempre que sean representativos del módulo de ejemplo.

El *módulo de ejemplo* será usado como nivel de calidad de la construcción, por lo que debe ser conservado hasta la finalización de la obra.

Cualquier cambio en los materiales, elementos o partes utilizadas, o en la forma de producción deberá validarse nuevamente, lo que implicará la realización de nuevos ensayos sobre los materiales o elementos que hayan sufrido alteraciones.

### 11.2 Control durante producción

El control de calidad durante la producción se llevará a cabo realizando los mismos ensayos realizados sobre el *módulo de ejemplo*. Se seleccionarán módulos en forma aleatoria para realizar los mismos controles. Se seleccionará un módulo representativo por cada 100 unidades producidas. En función de los resultados obtenidos en cada módulo ensayado, la supervisión de obra podrá decidir omitir alguno de los ensayos durante

el control de producción, de acuerdo a las siguientes reglas. Para cada ensayo “i”, y del valor objetivo mínimo “ $x_0$ ” para dicho ensayo, en función del resultado obtenido “ $x_i$ ”, se tendrá:

- |    |                                |   |
|----|--------------------------------|---|
| Si | $1.2 \cdot x_0 \leq x_i$       | → Se acepta el lote, y el ensayo pasa a realizarse cada 200 unidades.   |
| Si | $x_0 \leq x_i < 1.2 \cdot x_0$ | → Se acepta el lote, y se continúa con el control cada 100 unidades.    |
| Si | $0.9 \cdot x_0 \leq x_i < x_0$ | → Se acepta el lote, pero el ensayo pasa a realizarse cada 50 unidades. |
| Si | $x_i < 0.9 \cdot x_0$          | → No se acepta el lote respecto a este ensayo.                          |

### 11.3 Resultados no satisfactorios

En caso de no satisfacción en alguno de los valores, la Contratista planteará alternativas de reparación o refuerzo, las cuales deben ser aprobadas por la supervisión de obra. Las reparaciones/refuerzos serán evaluadas con la serie completa de ensayos, en los módulos existentes de la serie no satisfactoria, debiendo cumplir con todas las especificaciones. Alternativamente, los módulos pueden ser demolidos y rehechos enteramente a cuenta de la Contratista.

### 11.4 Realización de ensayos

En todos los casos, la realización de los ensayos será a cuenta de la Contratista. A su vez, la Contratista proveerá a su costo los materiales y elementos auxiliares para la realización de los ensayos necesarios.

### 11.5 Control rutinario de resistencia del hormigón

El control de las resistencias características del hormigón, tanto a compresión como las resistencias residuales en el caso de usar hormigón con fibras estructurales, se realizará con la frecuencia establecida por la normativa de diseño utilizada para el cálculo (apartado 3.1).