

## ACCEDE - INGENIERÍA CIVIL

### PROBLEMA N° 3

#### SITUACIÓN

Durante la ejecución de una estructura de hormigón armado se realizaron ensayos de control de calidad del hormigón y del acero.

En la tabla N°1 se indica la composición y el asentamiento, medido con el cono de Abrams, correspondiente al hormigón utilizado en la construcción de la estructura. En la misma tabla se indican los pesos específicos de los materiales componentes del hormigón.

En la tabla N°2 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión correspondiente a probetas cilíndricas, de 15cm de diámetro y 30 cm de alto, moldeadas a partir de muestras de hormigón extraídas en obra durante la colocación del hormigón, cuya composición se indicó de la tabla N°1. Las probetas fueron ensayadas a la edad de 28 días y curadas en condiciones normalizadas.

En la figura N° 1 se muestra la curva tensión deformación correspondiente al ensayo de tracción directa de una muestra de barra de acero, de 12 mm de diámetro, extraída del acopio en obra.

#### INFORMACIÓN A TENER EN CUENTA

Tabla N°1

Composición del Hormigón		
Materiales	Peso específico	Cantidades en Kg por m <sup>3</sup> de hormigón
Cemento	3,15	310
Agua	1,00	170
Agregado fino	2,65	740
Agregado grueso	2,67	1180
Asentamiento, cm	8,0	

Nota: Los pesos específicos de los agregados, indicados en la tabla anterior, corresponden a la condición de saturados a superficie seca.

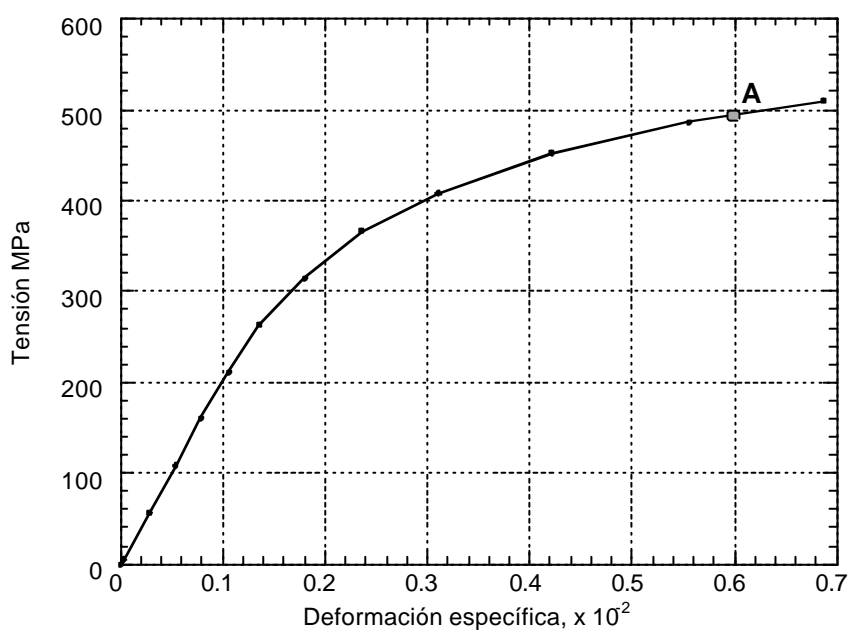
**Tabla N° 2: Resultados de los ensayos de compresión correspondientes a las probetas de hormigón moldeadas durante la ejecución de la obra**

Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistencia a la compresión, MPa	21,0	21,2	22,5	23,5	23,6	24,7	24,1	26,4	23,9	23,0

Muestra N°	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Resistencia a la compresión, MPa	23,4	26,1	24,6	25,8	26,2	25,7	23,1	27,4	24,9	22,0

Nota: Los resultados informados en la tabla corresponden al promedio del ensayo de dos (2) probetas.

**Figura 1: Curva Tensión-Deformación específica, correspondiente al ensayo de tracción de una de las barras de acero, ADN 420, utilizadas durante la ejecución de la obra**



### SUBPROBLEMA 3.1

Si la resistencia característica a la compresión, para un porcentaje de defectuosos del 5%, especificada para el hormigón de la estructura es de 21,0 MPa, determine, a partir de los resultados de los ensayos indicados en la tabla N°2, si el hormigón utilizado en la obra satisface dicha resistencia.

NOTA: para estimar el valor característico de la resistencia considere que la población de los resultados de ensayo se ajustan a una ley normal (Ley de Gauss).

### RESPUESTA AL SUBPROBLEMA 3.1

A partir de los datos de la tabla N°2 se calcula:

$$f_{cm} = 24,16 \text{ MPa} \quad \text{y} \quad S = 1,77 \text{ MPa}$$

donde:  $f_{cm}$  es la resistencia media y  $S$  es el desvío estándar

Con los valores de la resistencia media y del desvío estándar, calculados arriba, se calcula el valor característico, para un porcentaje de defectuosos del 5% mediante la siguiente ecuación:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1.65S = 24,16 - 1.65 \times 1,77 = 21,2 \text{ MPa} \quad (1)$$

donde:  $f_{ck}$  es el valor de la resistencia característica a la compresión para un cuantíl de defectuosos del 5%.

El valor calculado en (1) satisface la condición  $21,2 \geq 21,0$  por lo que el hormigón colocado en la estructura satisface el valor especificado.

### SUBPROBLEMA 3.2

Con los mismos materiales utilizados en la elaboración del hormigón de la tabla N°1, se tiene que elaborar, en las mismas condiciones, un nuevo hormigón de igual asentamiento (8,0 cm) pero con una resistencia característica a la compresión de 30,0 MPa. Suponiendo que la ley que relaciona la resistencia a la compresión con la relación agua cemento es del tipo de la indicada en la ecuación (1) determine la composición del nuevo hormigón.

$$\text{Ecuación (1):} \quad f_{cm} = \frac{A}{(a/c)^2}$$

En la ecuación (1),  $f_{cm}$  es la resistencia media la compresión del hormigón, y  $a/c$  es la relación agua cemento del hormigón, y  $A$  es un coeficiente empírico que depende de los materiales componentes del hormigón.

### RESPUESTA AL SUBPROBLEMA 3.2

A partir de la composición del hormigón, indicada en la tabla N°1, se obtiene una relación agua cemento  $a/c = 170/310 = 0,548$

Teniendo en cuenta la función  $f_{cm} = \frac{A}{(a/c)^2}$ , y que para  $a/c = 0,548$  la resistencia media a la compresión es  $f_{cm} = 24,16 \text{ MPa}$  se puede obtener el siguiente valor del coeficiente empírico  $A$ :

$$A = f_{cm} (a/c)^2 = 24,16 \times (0,548)^2 = 7,26 \quad (2)$$

Con lo que se obtiene la siguiente expresión, para la resistencia en MPa:

$$f_{cm} = \frac{7.26}{(a/c)^2} \quad (3)$$

Por otro lado para obtener, con los mismos materiales y las mismas condiciones de ejecución, un hormigón con una resistencia característica de 30.0 MPa se deberá proyectar un hormigón con la siguiente resistencia media a la compresión:

$$f_{cm} = f_{ck} + 1.65S \quad (4)$$

si además se tiene en cuenta que  $S = c_v f_{cm}$ , donde  $c_v$  es el coeficiente de variación, se obtiene:

$$f_{cm} = f_{ck} (1 + 1.65c_v) \quad (5)$$

El coeficiente de variación para el hormigón de 30,0 MPa, de resistencia característica, se puede estimar a partir de los resultados de ensayo de la tabla N°2, obteniéndose el siguiente valor:

$$c_v = S / f_{cm} = 1.77 / 24.16 = 0,073 \quad (6)$$

Reemplazando (6) en (5), se tiene, para una resistencia característica de 30,0 MPa, el siguiente valor de resistencia media:

$$f_{cm} = 30.0x(1 + 1.65x0.073) = 33.6 \text{ MPa} \quad (7)$$

Teniendo en cuenta la ecuación (3) y el valor de la resistencia media calculado en (7) se tiene que el nuevo hormigón deberá tener la siguiente relación agua cemento:

$$a/c = \sqrt{\frac{7.26}{33.6}} = 0.46 \quad (8)$$

Teniendo en cuenta: (i) el valor de la relación agua cemento dada en (8), (ii) la composición y los pesos específicos de los materiales del hormigón de referencia de la tabla N°1, y (iii) que, dado que el asentamiento del nuevo hormigón es igual al del hormigón de referencia, el contenido de agua del nuevo hormigón deberá ser similar al del hormigón de referencia, se obtiene la siguiente composición

Composición del Hormigón de 30.0 MPa de resistencia característica		
Materiales	Peso específico	Cantidades en Kg por m <sup>3</sup> de hormigón
Cemento	3,15	370
Agua	1,00	170
Agregado fino	2,65	720
Agregado grueso	2,67	1147

### SUBPROBLEMA 3.3

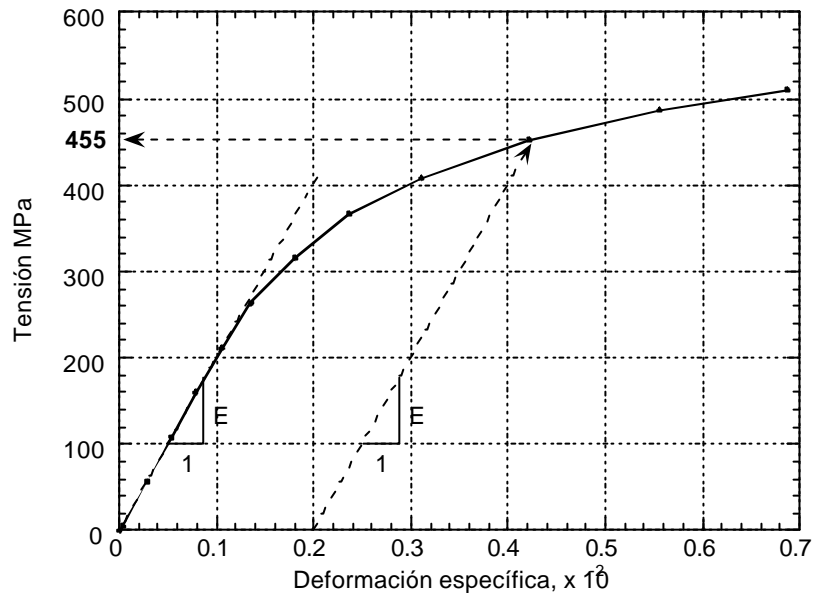
Para el acero de la figura N°1 determine, a partir del gráfico, el valor de la tensión convencional de fluencia.

### RESPUESTA AL SUBPROBLEMA 3.3

La tensión convencional de fluencia  $\sigma_{0.2}$  es, por definición, el valor de la tensión que produce en el material una deformación específica permanente (irreversible) igual a 0,002 (0.2%).

Teniendo en cuenta esta definición, con la curva de ensayo de la figura N°1 se obtiene gráficamente el siguiente valor:

$$\sigma_{0.2} = 455 \text{ MPa}$$



### SUBPROBLEMA 3.4

Para el punto “A”, indicado en el gráfico de la figura N°1, determine los valores de: d1) la deformación total, d2) la deformación elástica (reversible) y d3) la deformación plástica (irreversible).

### RESPUESTA AL SUBPROBLEMA 3.4

Gráficamente se obtienen los siguientes valores:

Deformación total :	0.60%
Deformación plástica (irreversible):	0.36%
Deformación elástica (reversible):	0.60-0.36 = 0.24%

