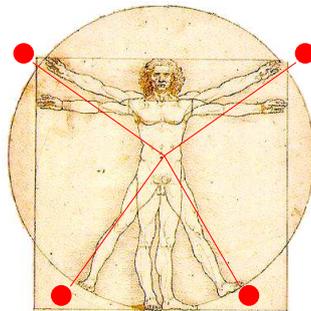


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

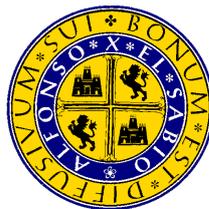
VOLUMEN X. AÑO 2012

SEPARATA



CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES PARA ESTUDIO DE ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL HORMIGÓN.

Ángel Francisco Nistal Cordero, María Jesús Retana Maqueda y Teresa Ruíz Abrio



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Ángel Francisco Nistal Cordero, María Jesús Retana Maqueda y Teresa Ruíz Abrio.
Julio, 2012.

© De la edición: Revista *Tecnologí@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES PARA ESTUDIO DE ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL HORMIGÓN

Ángel Francisco Nistal Cordero (a),

María Jesús Retana Maqueda (b) y María Teresa Ruíz Abrío (c).

(a) Máster en Ingeniería Ambiental, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad Alfonso X el Sabio. Avenida de Las Murallas, 66, Astorga (León). Tlf.: 620 605 623, email: gelan2002@hotmail.com

(b) Dra. Ingeniero Industrial. Calle Ercilla, 49, Madrid.
Tlf.: 676 445 120, email: mjretmaq@gmail.com

(c) Dra. en Ciencias Químicas. Universidad Alfonso X el Sabio. Avenida de la Universidad, 1, Villanueva de la Cañada (Madrid). Tlf.: 91 810 97 59, email: truiz@uax.es

RESUMEN:

Con los resultados obtenidos de la rotura de una serie de 1914 probetas de hormigón, se ha realizado un estudio de análisis de la resistencia a compresión simple de dicho material. En primer lugar, se han presentado y definido las variables que en un principio se estimaron como influyentes en el resultado de la resistencia del hormigón, para luego realizar un contraste de hipótesis a través del método de test de independencia con el fin de analizar la dependencia de éstas con respecto a dicho resultado.

PALABRAS CLAVE: Hormigón, resistencia a compresión simple, tipo de hormigón, tipo de cemento, tipo de día, tipo de aditivo, tiempo de transporte, tiempo de espera, contraste de hipótesis, test de independencia.

ABSTRACT:

With the results obtained from the breakage of a serie of 1914 concrete test-tubes, a study was made to analyze the simple compression resistance of the material. Firstly have been presented and defined the variables that at the outset were estimated as influencing the result of the resistance of concrete, and then make a hypothesis test across test of independence method in order to analyze the dependence of these with respect to that result.

KEY WORDS: Concrete, simple compression resistance, type of concrete, type of cement, type of day, type of additive, transport time, timeout, hypothesis test, independence test.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Antecedentes del Estudio 3. Definición y valoración de variables. 4. Definición y valoración de la variable objetivo. 5. Contraste de hipótesis. Test de independencia. 6. Resultados. 7. Conclusiones. 8. Referencias.

SUMMARY: 1. Introduction. 2. Background of study 3. Definition and valuation of variables. 4. Definition and valuation of target variable. 5. Hypothesis test. Test of independence. 6. Results. 7. Conclusions. 8. References

1. - Introducción

La redacción del presente artículo surge fruto de la realización de un estudio analítico de los datos extraídos de la rotura de una serie de probetas de hormigón, concretamente 1914, obtenidos de la obra en ejecución en la Comunidad Autónoma de Extremadura del subtramo Aldea del Cano-Mérida perteneciente al tramo Cáceres-Mérida de la línea de Tren de Alta Velocidad (T.A.V.) Madrid-Extremadura-Frontera Portuguesa.

El estudio presentado en el párrafo anterior, forma parte de la investigación que se está llevando a cabo en la Universidad Alfonso X el Sabio y uno de cuyos resultados será la elaboración de la tesis doctoral de uno de los autores del presente artículo que lleva por título *“Propuesta de un modelo estadístico de parametrización de factores identificativos de la resistencia del hormigón y su aplicación al diseño y control de infraestructuras viarias.*

2. - Antecedentes del Estudio

La finalidad primera del estudio ha sido definir una serie de variables que, a priori, se estimaba influirían en el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón de la serie de probetas analizada. Una vez se definieron todas y cada una de las variables planteadas, se procedió a estudiar la dependencia o no dependencia de las mismas con respecto al resultado a resistencia a compresión simple del hormigón, que es lo que se podría denominar como “la variable objetivo”. Para llevar a cabo este estudio de dependencia, se realizó un contraste de hipótesis para cada una de las variables definidas, a través del método del test de independencia.

Cabe destacar que tras realizar una investigación sobre el estado del arte de estudios que analicen variables que influyan en el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón, se concluyó que la práctica totalidad de los estudios e investigaciones existentes al respecto únicamente analizan la influencia de una sola variable en dicho resultado, siendo las variables más estudiadas la temperatura ambiente en el momento del vertido del hormigón al elemento estructural correspondiente (Ortiz, J.A et al, 2008 y Gómez, M et al 2006) y las posibles condiciones extremas que se pueden dar durante dicho vertido (Burón, M., 2006 y Al-Assadi, G. et al, 2008).

Teniendo en cuenta lo expuesto en el párrafo anterior lo que se intenta con el estudio que se está tratando es investigar la influencia que pueden ejercer varias variables al mismo tiempo en el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón.

3. - Definición y valoración de variables

Teniendo en cuenta la investigación realizada sobre el estado del arte de las variables influyentes en el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón, previamente a la elaboración de este artículo, y los datos obtenidos durante la fase de trabajo de campo llevada a cabo para la realización del estudio objeto del presente artículo, se han estimado como variables más influyentes en el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón analizado, las siguientes:

- Tipo de hormigón.

- Tipo de cemento.
- Tipo de aditivo.
- Tipo de día.
- Tiempo de transporte.
- Tiempo de espera.

En el presente punto también se expondrá el criterio de valoración así como la valoración dada a cada tipología o rango que puede adquirir cada variable según su naturaleza, asignándosele valores comprendidos en el intervalo de -1 a +1.

3. 1.- Tipo de hormigón

El tipo de hormigón estudiado influirá en el resultado final de la resistencia de dicho material en tanto en cuanto éste deberá cumplir unos requisitos mínimos de durabilidad (contenido mínimo de cemento y relación agua/cemento máxima), correspondientes al ambiente en el que se encuentre el elemento estructural del que vaya a formar parte, tales que en un período máximo de 28 días ha de alcanzar la resistencia característica especificada a compresión para dicho hormigón (expresada en N/mm²).

En el estudio realizado, se han tenido en cuenta dos tipos de hormigón:

- **HA-25:** Las siglas HA responden a Hormigón Armado, es decir, hormigón que se utilizará en elementos estructurales armados con acero. Por otra parte, la cifra 25 se corresponde con la resistencia característica a compresión expresada en N/mm² que ha de alcanzar dicho hormigón en un período máximo de 28 días a partir del momento de su fabricación. A este tipo de hormigón se le ha asignado el valor de -1 por ser el elaborado para alcanzar una menor resistencia característica de los dos tipos tenidos en cuenta para el estudio.
- **HA-30:** Las siglas HA responden a Hormigón Armado, es decir, hormigón que se utilizará en elementos estructurales armados con acero. Por otra parte, la cifra 30 se corresponde con la resistencia característica a compresión expresada en N/mm² que ha de alcanzar dicho hormigón en un período máximo de 28 días a partir del momento de su fabricación. A este tipo de hormigón se le ha adjudicado el valor de +1 por ser el hormigón fabricado para alcanzar una mayor resistencia característica de los dos tipos tomados en consideración para el estudio.

3. 2.- Tipo de cemento

El cemento es uno de los tres componentes principales, junto con el agua y los áridos, de la dosificación de un hormigón. Esto significa que el tipo y cantidad de cemento utilizados serán uno de los principales factores responsables del comportamiento futuro del hormigón fabricado, y consecuentemente del resultado final de la resistencia característica de dicho material. En el estudio realizado, se han considerado los siguientes tipos de cemento:

- **CEMENTO I:** Se trata de cemento Portland, entendiéndose como tal el conglomerante hidráulico que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. A este tipo de cemento se le ha asignado el valor de -1.

- **CEMENTO II:** En este caso se trata de cemento Portland al que se le añade algún tipo de material a modo de adición con el fin de mejorar las características mecánicas de dicho cemento. Entre los materiales utilizados como adición destacan las escorias, el humo de sílice, la puzolana o ceniza de origen volcánico, las cenizas volantes y los esquistos calcinados. A este tipo de cemento se le ha adjudicado el valor de -0,5.
- **CEMENTO III:** Se trata de cemento al que se le añaden escorias provenientes de altos hornos con el fin de mejorar las características mecánicas del mismo. A este tipo de cemento se le ha dado el valor de +0,5.
- **CEMENTO IV:** En este caso se trata de cemento al que se le añaden puzolanas o cenizas de origen volcánico con el fin de mejorar las características mecánicas de dicho cemento. A este tipo de cemento se le ha asignado el valor de +1.

Para esta variable el criterio de valoración escogido tiene que ver con la nomenclatura de cada tipo de cemento. De esta manera, se ha valorado de menor a mayor en función del valor del número romano contenido en la nomenclatura de cada tipo de cemento.

3. 3.- Tipo de aditivo

Antes de tratar la influencia en el resultado final de la resistencia del hormigón del uso de aditivos y del tipo de aditivo utilizado en la fabricación de dicho material o en la puesta en obra del mismo, se aclara que se entiende por aditivo aquella sustancia o producto que, incorporado al hormigón antes del amasado, durante el mismo o en el momento en el que se está realizando un amasado suplementario, en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, produce la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Atendiendo a la definición expuesta en el párrafo anterior, y teniendo en cuenta que la resistencia a compresión simple es una de las características fundamentales que ha de poseer un hormigón, y que ésta puede verse modificada por un aditivo, es lícito concluir que el uso o no de aditivos, así como el tipo de aditivo utilizado influirán en el resultado final de dicha resistencia.

En primer lugar, se ha estudiado si en la elaboración del hormigón o durante la puesta en obra del mismo, se utilizó o no algún tipo de aditivo.

3.3.1. No utilización de ningún tipo de aditivo

En este grupo se han incluido aquellos hormigones en los que para su fabricación o para su puesta en obra no se haya estimado necesario el uso de ningún tipo de aditivo. Esta no utilización es debida a que se haya entendido que el hormigón en el momento de su fabricación o de su puesta en obra, cumplirá todas las características para las que ha sido concebido y poseerá todas las propiedades necesarias sin la ayuda de aditivo alguno para alcanzar la resistencia característica en el tiempo. Al no uso de aditivos se le ha dado un valor de -1 por considerarse la no utilización de ningún tipo de aditivo una situación desfavorable, en tanto en cuanto, a priori, el valor final de la resistencia a compresión simple del hormigón se alcanzará en condiciones menos ideales que en los casos en los que se use algún aditivo durante la elaboración o en el momento de la puesta en obra del hormigón.

3.3.2. Utilización de aditivo

Dentro de este grupo se encuentran todos aquellos hormigones en los que se haya creído necesaria la adición de algún tipo de aditivo en el momento de su elaboración o de su puesta en obra. Los aditivos estudiados se pueden dividir en dos grandes grupos:

a. Fluidificantes o plastificantes

Tipo de aditivos cuya función principal es o bien la de disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad, o bien la de aumentar la trabajabilidad del material sin modificar el contenido de agua.

En el estudio que sirve de referencia para la redacción del presente artículo, se han considerado diferentes tipos de aditivos fluidificantes o plastificantes atendiendo a la dosificación media utilizada (% en peso del aditivo con respecto al peso total del cemento utilizado) de los mismos en el momento de la elaboración del hormigón o de la puesta en obra del mismo.

A continuación, se enumeran los distintos tipos de aditivo fluidificantes o plastificantes tenidos en cuenta en el estudio:

- **FLUIDIFICANTE (*)**: Aditivo fluidificante cuya dosificación media es del 1,75% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha dado una valoración de -0,7.
- **PLASTIFICANTE (*)**: Aditivo plastificante cuya dosificación media es del 1,5% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha asignado una valoración de -0,4.
- **POZZOLITH**: Aditivo fluidificante cuya dosificación media es del 1,2% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha adjudicado una valoración de -0,1.
- **RHEOBUILD**: Aditivo plastificante cuya dosificación media es del 1,125% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha dado una valoración de +0,1.
- **MIRA**: Aditivo fluidificante cuya dosificación media es del 0,8% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha asignado una valoración de +0,4.

(*) Son aditivos fluidificantes o plastificantes en los que la dosificación media en % en peso con respecto al peso total de cemento es similar, pero no se dispone una marca comercial concreta con los que asociarlos, por ello se les ha asignado un nombre genérico como variable a formar parte del modelo que son.

b. Superfluidificantes o Superplastificantes

Se trata de una clase de aditivos cuyo cometido principal es o bien el de disminuir significativamente el contenido de agua de un hormigón sin modificar la trabajabilidad o bien el de aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.

Se han considerado diferentes tipos de aditivos superfluidificantes o superplastificantes atendiendo a la dosificación media utilizada (% en peso del aditivo con respecto al peso total del cemento utilizado) de los mismos en el momento de la elaboración del hormigón o de la puesta en obra del mismo.

A continuación se exponen los distintos tipos de aditivo superfluidificantes o superplastificantes tenidos en cuenta en el estudio:

- **SIKAMENT:** Aditivo superfluidificante cuya dosificación media es del 1,25% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha adjudicado una valoración de +0,7.
- **GLENIUM SKY:** Aditivo superplastificante cuya dosificación media es del 1% con respecto al peso total de cemento. A este tipo de aditivo se le ha dado una valoración de +1.

Para todos los casos en los que se ha usado algún tipo de aditivo en la elaboración o durante la puesta en obra del hormigón, el criterio de valoración escogido es el de asignar un valor en función de la dosificación de aditivo utilizada o porcentaje de aditivo empleado con respecto al peso total del cemento que contiene el hormigón elaborado.

3. 4.- Tipo de día

El momento de la puesta en obra del hormigón es clave si se quiere obtener la resistencia a compresión final deseada. De ese momento pueden influir en el resultado final de la resistencia a compresión del hormigón, además del método de puesta en obra utilizado, una serie de factores externos al mismo, entre los que se encuentran y destacan las condiciones climatológicas existentes en dicho instante. También han de tenerse en cuenta las mencionadas condiciones durante el proceso de curado del hormigón, ya que la incorrecta ejecución de este proceso, acarreará consigo un más que probable resultado final insatisfactorio de la resistencia a compresión simple del hormigón.

En el estudio se han tomado en consideración las siguientes condiciones climatológicas o tipos de día:

- **DÍA SOLEADO:** Las condiciones climatológicas que definen lo que se ha denominado como día soleado en el estudio son las siguientes:
 - a) Cielos despejados con ausencia casi total de nubes.
 - b) Temperaturas por encima de los 20 °C.
 - c) Ausencia de vientos, o en su defecto vientos de flojos a moderados con una velocidad máxima de 40km/h.

A este tipo de día se le ha asignado una valoración igual a 0 por considerarse un tipo de día poco favorable para efectuar un hormigonado al poder darse durante el mismo condiciones climatológicas no deseadas, como pueden ser altas temperaturas que pueden alterar las reacciones de hidratación que se dan durante el proceso de curado del hormigón y con ellas el resultado final de la resistencia a compresión simple del material.

- **DÍA NUBLADO:** Las condiciones climatológicas que definen lo que se ha denominado como día nublado en el presente modelo son las que se enumeran a continuación:
 - a) Cielos totalmente nublados.
 - b) Temperaturas medias de entre 10 y 20 °C.
 - c) Ausencia de vientos, o en su defecto vientos de flojos a moderados con una velocidad máxima de 40km/h.

A este tipo de día se le ha adjudicado una valoración de +1 puesto que se trata del más favorable para llevar a cabo la maniobra de hormigonado y por tanto obtener el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón deseado por no darse durante este tipo de día

ninguna condición climatológica extrema que pueda alterar en un grado significativo el mencionado resultado.

- **DÍA LLUVIOSO:** Las condiciones climatológicas que definen lo que se ha denominado como día lluvioso en el presente modelo son las siguientes:

- a) Cielos totalmente nublados.
- b) Temperaturas medias de entre 10 y 20 °C.
- c) Ausencia de vientos, o en su defecto vientos de flojos a moderados con una velocidad máxima de 40km/h.
- d) Precipitaciones en forma de agua de lluvia que pueden ser entre débiles y fuertes pasando por moderadas, y que por lo general suelen ser prolongadas en el tiempo.

A este tipo de día se le ha dado una valoración de -1 por ser considerado el más desfavorable para realizar un hormigonado al poder darse durante el mismo condiciones climatológicas no deseadas, como son precipitaciones entre débiles y moderadas prolongadas en el tiempo que pueden alterar las reacciones de hidratación que se dan durante el proceso de curado del hormigón y con ellas el resultado final de la resistencia a compresión simple del material.

3. 5.- Tiempo de transporte

Se define tiempo de transporte como el tiempo que transcurre desde el momento en el que, una vez ha sido elaborado el hormigón, éste sale de la planta de fabricación, hasta la llegada de dicho material al lugar donde se encuentra el tajo en el que se sitúa el elemento que va a ser hormigonado.

Cuanto mayor sea el tiempo de transporte mayores serán las posibilidades de que el resultado final de la resistencia a compresión del hormigón varíe con respecto al esperado en un principio, ya que un tiempo de transporte anormalmente prolongado puede provocar que los procesos de curado e incluso de fraguado del material comiencen a darse dentro del medio de transporte utilizado, normalmente camión hormigonera, en vez de darse en el elemento hormigonado en cuestión una vez ha sido vertido el material, como es lo que habitualmente sucede.

En el estudio se han considerado los siguientes intervalos de tiempo de transporte:

- **0-10 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha dado una valoración de +1.
- **10-20 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha asignado una valoración de +0,5.
- **20-30 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha adjudicado una valoración de -0,5.
- **> DE 30 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha dado una valoración de -1.

A la hora de valorar cada uno de los rangos de valores que puede adquirir esta variable, se ha estimado que a mayor tiempo de transporte, más desfavorable será la situación, ya que como ya se ha expuesto anteriormente, cuanto mayor sea el tiempo de transporte, mayor puede ser la divergencia entre el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón y el resultado esperado en el momento de la fabricación del material ya que mayor será también la probabilidad de que el proceso

de curado e incluso de fraguado del hormigón pueda comenzarse a dar en su fase inicial dentro del propio medio de transporte utilizado.

3. 6.- Tiempo de espera

Se entiende por tiempo de espera como el tiempo transcurrido desde el momento en que el medio de transporte del hormigón, utilizado para trasladar dicho material desde la planta de fabricación del mismo al punto donde se encuentra el elemento estructural a hormigonar, llega a dicho punto, hasta el momento en el que se produce el vertido del hormigón.

Cuanto mayor sea el tiempo de espera, mayores serán las posibilidades de que el resultado final de la resistencia a compresión del hormigón varíe con respecto al esperado en un principio, ya que un tiempo de espera anormalmente prolongado puede provocar que los procesos de curado e incluso de fraguado del material comiencen a darse dentro del medio de transporte utilizado, normalmente camión hormigonera, en vez de darse en el elemento hormigonado en cuestión una vez ha sido vertido el material, como es lo que habitualmente sucede. Si a este tiempo le sumamos el tiempo de transporte, el resultado final de la resistencia a compresión del hormigón puede divergir de una manera notable con respecto al resultado previsto en el momento de la elaboración del material.

Se han tenido en cuenta en el estudio los intervalos de tiempo de espera siguientes:

- **0-5 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha dado una valoración de +1.
- **5-10 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha asignado una valoración de +0,5.
- **10-15 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha adjudicado una valoración de -0,5.
- **> DE 15 MINUTOS:** A este intervalo de tiempo de transporte se le ha dado una valoración de -1.

Para valorar esta variable se ha establecido que un mayor tiempo de espera provocará, como ya se ha explicado anteriormente, una mayor desviación la entre el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón y el resultado esperado en el momento de la fabricación del material ya que mayor será también la probabilidad de que el proceso de fraguado del hormigón pueda comenzarse a dar en su fase inicial dentro del propio medio de transporte utilizado.

4. - Definición y valoración de la variable objetivo

La variable objetivo o variable dependiente o no dependiente con respecto al resto de variables ya definidas (dicha dependencia existirá o no en función de los resultados del contraste de hipótesis que se expondrán en puntos posteriores), es el resultado final de la resistencia a compresión simple del hormigón, entendiendo como tal, el valor que se obtiene de la rotura de una probeta de hormigón 28 días después de la elaboración y puesta en obra del material, expresado en N/mm². Este valor, para ser el esperado y satisfactorio, será en todo caso igual o mayor al especificado como requisito mecánico mínimo de buen funcionamiento del hormigón en cuestión. Por ejemplo, para un hormigón HA-25 el resultado final de la resistencia a compresión del mismo a 28 días ha de ser mayor o igual a 25 N/mm².

En el estudio se han tomado en consideración los siguientes intervalos de resultado final de resistencia a compresión del hormigón:

- **0-15 N/mm²:** A este intervalo de resultado final de resistencia a compresión del hormigón se le ha asignado una valoración de -1.
- **15-30 N/mm²:** A este intervalo de resultado final de resistencia a compresión del hormigón se le ha adjudicado una valoración de -0,5.
- **30-45 N/mm²:** A este intervalo de resultado final de resistencia a compresión del hormigón se le ha dado una valoración de +0,5.
- **> DE 45 N/mm²:** A este intervalo de resultado final de resistencia a compresión del hormigón se le ha dado una valoración de +1.

El criterio de valoración escogido a la hora de valorar la variable objetivo, es el de asignar un valor mayor al hormigón cuyo resultado final de la resistencia a compresión simple sea mayor por considerarse que será un material que ofrecerá unas mejores prestaciones estructurales.

5. - Contraste de hipótesis. Test de independencia

Tras presentar, definir y valorar tanto la variable objetivo, como todas aquellas variables que se consideraron a priori dependientes de ésta, se procedió con el estudio de dicha dependencia a través del contraste de hipótesis, mediante test de independencia. Cada test de los llevados a cabo, contenía los siguientes apartados:

- a) Presentación de la tabla de contingencia de la variable objeto del test.
- b) Obtención de los grados de libertad de la variable en cuestión.
- c) Elaboración de la distribución de los valores de la tabla de contingencia, presentada en proporciones.
- d) Exposición de la tabla de frecuencias esperadas.
- e) Cálculo del valor del identificador Id.
- f) Realización de la comparativa entre el valor final del identificador Id y una distribución χ^2 con un número de grados de libertad igual al obtenido en el apartado b, considerándose un nivel de confianza del 95% y un ensayo de cola por la derecha.

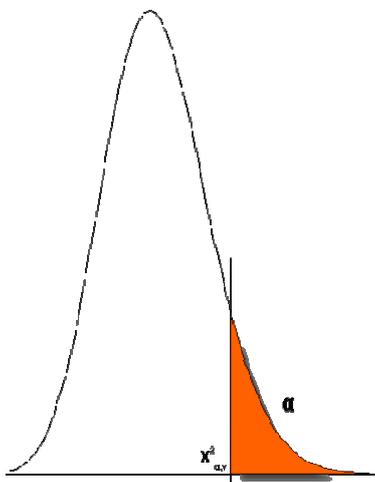


Figura 1.- Región crítica en ensayo de cola por la derecha en una distribución χ^2 .
Elaboración propia

Para realizar la mencionada comparativa se siguió el siguiente proceso: Si el valor del identificador Id obtenido en el apartado e de cada test se encontraba en la denominada como “región crítica” (zona sombreada de color naranja en la Figura 1), es decir, que el valor fuese mayor que el de la distribución χ^2 , significaba que existen evidencias suficientes como para rechazar la hipótesis nula y que, por tanto, los valores de la muestra no tienen la misma distribución. En consecuencia, si se daba el caso descrito, se podía admitir que las variables intervinientes en el test de independencia, son dependientes la una de la otra. Por el contrario, si el valor del identificador Id se encontraba fuera de la región crítica, las variables son independientes entre sí.

6. - Resultados

En la tabla que se expone a continuación, se muestra un resumen de los resultados arrojados por los test de independencia realizados a todas y cada una de las variables tenidas en consideración para la realización del estudio:

<i>RESULTADOS TESTS DE INDEPENDENCIA</i>					
<i>VARIABLE</i>	<i>IDENTIFICADOR Id</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>NIVEL DE CONFIANZA</i>	<i>VALOR DISTRIBUCIÓN χ^2</i>	<i>DEPENDENCIA CON VARIABLE OBJETIVO</i>
TIPO DE HORMIGÓN	252,67	3	95,00%	7,82	DEPENDIENTE
TIPO DE CEMENTO	7,14	9	95,00%	16,92	NO DEPENDIENTE
USO DE ADITIVO	227,90	21	95,00%	32,67	DEPENDIENTE
TIPO DE DÍA	12,92	6	95,00%	12,57	DEPENDIENTE
TIEMPO DE TRANSPORTE	39,11	9	95,00%	16,92	DEPENDIENTE
TIEMPO DE ESPERA	24,63	9	95,00%	16,92	DEPENDIENTE

Tabla 1.- Resumen de los resultados obtenidos de los test de independencia realizados. Elaboración propia

7. - Conclusiones

De los resultados de los test de independencia realizados, presentados en el anterior punto del presente artículo a través de una tabla, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Pese a que todas las variables definidas para la realización del estudio, fueron tenidas en cuenta por considerarse a priori como influyentes en el resultado final de la resistencia a compresión simple o variable objetivo, y por tanto, dependientes de ésta, los resultados de los test de independencia muestran que la variable tipo de cemento no tiene una relación de dependencia con la variable objetivo.
- Se puede afirmar que no todas las variables tienen el mismo nivel de dependencia con respecto a la variable objetivo, ya que cuanto más cercano esté el valor del identificador Id al valor

normal de la distribución χ^2 que marca la región crítica, menor será el nivel de dependencia de la variable en cuestión con respecto a la variable objetivo. De este modo, es factible mencionar que la variable tipo de día es la que menor nivel de dependencia tiene con la variable objetivo, pero esto no se puede asegurar al 100 % con este tipo de test. El estudio del nivel de dependencia de las variables con la variable objetivo será objeto en otros apartados del estudio realizado, y posiblemente dará lugar a futuros artículos.

8. - Referencias

AL-ASSADI, G; CASATI, M J.; FERNÁNDEZ, J.; GÁLVEZ, J. (2008) “Influencia de las condiciones de curado en el comportamiento del hormigón a ciclos hielo-deshielo”. Anales de la mecánica de la fractura. Madrid.

ALONSO, F.J. (1996). “Estadística para Ingenieros”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

BURÓN MAESTRO, M. (2006). “Influencia, en la resistencia a compresión del hormigón, de la temperatura ambiente elevada durante el hormigonado”. Revista cemento y hormigón. P 50-58. Madrid.

ESTEBAN, J. et al. (2005). “Estadística Descriptiva y Nociones de Probabilidad”. Thomson. Madrid.
GÓMEZ, M. S; VIDAL, S. (2006) “Influencia en la resistencia a compresión de hormigones por efecto de la temperatura ambiente”. Revista de la construcción. P 56-61. Madrid.

MURUZÁBAL, J.J. (2005). “Elementos de Estadística”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

ORTIZ LOZANO, J.A.; AGUADO DE CEA, A.; AGULLÓ FITÉ, L.; GARCÍA VICENTE, T.; ZERMEÑO DE LEÓN, M.E. (2008) “Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado”. Materiales de Construcción. P 7-22. Madrid.

PEÑA SÁNCHEZ DE RIVERA, D. (2001). “Fundamentos de Estadística”. Alianza Editorial. Madrid.
PEÑA, D. (1998). “Fundamentos de Estadística”. Alianza editorial. Madrid.