

**USO DE ADITIVOS QUÍMICOS
EN HORMIGONES PREFABRICADOS**

José Toirac Corral*

RESUMEN

La construcción prefabricada a base de elementos de hormigón armado y pretensado se ha convertido en parte integrante de la industria de la construcción.

Desde la última década del pasado siglo hasta nuestros días, los continuos avances de la ciencia y la técnica en el campo tecnológico, han hecho del prefabricado la solución más factible para la construcción y alcantarillado, edificios de apartamentos, etc., pues ventajas como la disminución de los tiempos de ejecución, el ahorro de encofrados y andamios, reducción de la mano de obra, mayor control de calidad, etc., predominan significativamente en la mayoría de los casos al compararlo con los gastos de transporte de los elementos y su conexión a pie de obra que se introducen como consecuencia de esta técnica.

Todo ello redundará en una reducción de precios gracias fundamentalmente al acortamiento notable de la ejecución, lo que permite una rápida amortización de la obra civil así como otras categorías económicas.

Es por todo lo anterior que este proceso industrial exige cada vez más la disminución de los tiempos de producción de los elementos, para lo cual, paralelamente a la tipificación de los mismos, que corresponde a valoraciones en el diseño funcional y estructural, se hace necesario introducir elementos organizativos y técnicos que agilicen cada vez más la secuencia en las distintas etapas del proceso productivo.

(*) Ingeniería, INTEC

Sobre este particular, se expondrá en este trabajo el uso y efecto de aditivos químicos plastificantes y superplastificantes en hormigones prefabricados, constituyendo una valiosa información para ingenieros y constructores que incursionan en este importante campo de la construcción.

Cabe significar que no es propósito de este trabajo entrar en comparaciones entre fabricantes o suplidores de aditivos es por ello que en ningún momento se hará alusión a los precios identificando y diferenciando los productos solo por nombres genéricos.

PALABRAS CLAVES:

Hormigón - Resistencias - Aditivos Químicos

Plastificantes - Tubos de hormigón.

Resistencias altas a edades tempranas, factor clave del hormigón prefabricado

Disminuir los tiempos en cada una de las etapas de cualquier proceso industrial sin menoscabo de la calidad ni detrimento de los costos constituye el ABC de toda producción industrializada.

El prefabricado no es una excepción y, para ello cada vez más se introducen nuevas técnicas en aras del acortamiento a continuación:

- Elaboración y ensamblaje de armaduras de acero.
- preparación del molde.
- Elaboración del hormigón.
- Hormigonado.
- Extracción de los elementos molde y almacenamiento.

El tiempo de espera para resistir los esfuerzos producidos durante la extracción del elemento del molde y su traslado a almacén que incluye además los esfuerzos del pretensado cuando esta técnica es utilizada, constituye el factor clave de todo el proceso. Es por ello que el lograr resistencias altas a edades tempranas

es sin duda el aspecto más importante para el logro de este propósito.

Función del agua en el hormigón. Su influencia en la resistencia

Para lograr un buen hormigón apto para alcanzar resistencias elevadas en corto tiempo, se hace necesario lo siguiente:

1. Agregados que presenten buena calidad mineralógica y que éstos estén libres de material arcilloso y otras materias orgánicas.
2. Agregados que presenten una granulometría continua óptima, dosificados adecuadamente de acuerdo a la marca de hormigón y a las exigencias del elemento.
3. Agregados preferentemente triturados pero evitando el exceso de formas planas y alargadas.
4. Utilizar cemento con buenas propiedades físico-químicas sin elementos puzolánicos y en cantidad necesaria para la marca de hormigón demandada.
5. Lograr una relación agua/cemento mínima, pero que permita el correcto vaciado y colocación del hormigón dentro del molde de acuerdo a la tecnología existente.
6. Realizar un eficiente y homogéneo meclado
7. Utilizar vibradores durante el vaciado de forma adecuada y sin excesos, evitando la disgregación de gruesos y finos.
8. Realizar un eficiente y mantenido curado.

De todos estos factores, el lograr disminuir el agua de amasado manteniendo la consistencia necesaria reviste un interés especial.

El agua en el hormigón hidráulico tiene una doble función:

1. Se combina con el cemento mediante la reacción conocida por hidratación.
2. Facilita la movilidad de la mezcla, su colocación y moldeo.

La cantidad necesaria para la función química se conoce como agua de combinación y toda la que se requiere en exceso sobre

ésta, en dependencia de las distintas tecnologías, se conoce como agua de amasado. Desde este punto de vista, se pudiera considerar que esta cantidad de agua adicional que no se combina químicamente funciona como un aditivo que puede facilitar extraordinariamente la laborabilidad de la mezcla. Esto no tendría inconveniente y sin dudas sería lo más económico, si no fuera por la influencia negativa que el exceso de agua tiene sobre las propiedades físico-mecánicas de la mezcla endurecida. El agua de amasado, que no se combina químicamente, que no se fija a la mezcla endurecida, se evapora progresivamente contribuyendo de este modo a su porosidad, a su permeabilidad, a la pérdida de compacidad y con esto a la disminución de la resistencia y durabilidad del hormigón. Para poder cuantificar la magnitud de este inconveniente, se ha determinado por experiencias investigativas que por cada 1 por ciento de aire contenido en el hormigón, se disminuye su resistencia en un 6 por ciento.

Es por ello que en la actualidad se ha recurrido a introducir para estos tipos de hormigones el uso de aditivos químicos que manteniendo la plasticidad o consistencia de la mezcla permitan reducir el agua de amasado. Su uso y efecto constituye el objetivo de este trabajo exponiendo sus resultados a continuación.

Aditivos químicos. Aditivos plastificantes y superplastificantes. Su efecto reductor de agua y su influencia en la resistencia a la compresión

- Aditivo químico.

La definición general de aditivo es de un producto cuya finalidad es modificar en sentido favorable propiedades para el mejor comportamiento del fresco o endurecido en las condiciones particulares de servicio del material en cada circunstancia. En resumen, la misión de un aditivo es corregir posibles defectos, mejorar e incrementar las buenas cualidades y fortalecer el hormigón en todos los aspectos.

Ahora bien, debemos tener claro que al usar un aditivo, éste no será capaz de subsanar errores de ejecución ni corregir deficiencias de las materias primas. Por el contrario, los aditivos

actúan sobre materiales de buena calidad y bien dosificados donde además se cumplan debidamente los distintos pasos de la disciplina tecnológica.

- Clasificación

Los aditivos se clasifican de acuerdo con el tipo de material químico que los constituye o por los efectos característicos que resulten de su empleo. El amplio campo de aplicación de los aditivos, la aparición de materiales nuevos o modificados y las variaciones de los efectos sobre el hormigón permiten presentar la clasificación siguiente :

- plastificantes
- superplastificantes
- introductores de aire.
- retardadores de fraguado
- aceleradores del fraguado
- aceleradores del endurecimiento
- inhibidores de la corrosión.
- generadores de gases
- generadores de espuma
- agentes de expansión de morteros y hormigón
- agentes que mejoran la resistencia a las acciones biológicas.

- Plastificantes y superplastificantes

Los aditivos plastificantes permiten disminuir el agua de amasado, actuando sobre el aumento de la resistencia a edades tempranas contribuyendo eficazmente al hacer hidrófilo al cemento con lo que se logrará una hidratación más energética.

Con la introducción de un aditivo plastificante se logran los siguientes efectos:

- Una reducción del agua de amasado (a igual laborabilidad), tanto menor cuanto menos seco es el hormigón (alrededor del

cinco al quince por ciento), esto a su vez proporciona un aumento notable en todas las resistencias mecánicas, siempre que no se utilice la reducción de agua para disminuir la dosificación del cemento.

- Un incremento en la laborabilidad al mantener constante el contenido del agua.

- Ambos efectos simultáneamente.

- La defloculación, la mejor humectación y la distribución mas uniforme de las partículas de cemento se une al incremento de cohesión y a la disminución del rozamiento interno, dando a lugar a un amasado mejor, a un transporte más seguro y a una colocación en moldes más perfecta.

- Una vez colocado un hormigón en los moldes, el agua exudable es menor porque la redujo el aditivo.

- La posible economía de cemento es otro factor importante a tener en cuenta, especialmente cuando no se requieran resistencias altas.

- Confiere al hormigón un aspecto agradable, una superficie de buena calidad y permiten realizar formas complicadas con buena apariencia.

Con los aditivos superplastificantes se logra :

- Iguales efectos que el que proporciona los aditivos plastificantes, pero además :

- Igual asentamiento conjuntamente con una reducción considerable del contenido de agua (15-35 %) o con iguales contenidos e agua incrementos notables en su fluidez.

- Hormigones superfluidos, cohesivos y fácilmente bombeables.

- Altos incrementos a edades tempranas de las resistencias mecánicas del hormigón.

- Altos incrementos de las resistencias químicas a agentes agresivos.

- Altos incrementos de la impermeabilidad.

Estudios a nivel industrial

Los estudios presentados a continuación corresponden todos a elementos presentados, los cuales exigen mayor resistencia a la compresión del hormigón a edades tempranas para asimilar los esfuerzos de compresión axial producidos al cortar los cables o generatrices de acero de alto límite elástico sin provocar además el deslizamiento de estos dentro del hormigón por falta de adherencia, propiedad íntimamente ligada a su resistencia a compresión.

Los aditivos plastificantes y superplastificantes utilizados en esta investigación se emplearán líquidos o sólidos (preparando la solución), con las dosis recomendadas por los fabricantes. Así mismo, se utilizarán aditivos tanto de producción nacional como importados.

Las experiencias industriales expuestas a continuación corresponden a :

1. Tubos de hormigón centrifugados y pretensados para presión.
2. Vigas Doble T (2T) pretensadas para edificaciones industriales.

Tubos de hormigón centrifugados y pretensados para presión.

Las tuberías de acueducto de hormigón para presión son conductos de sección circular totalmente de hormigón con armadura longitudinal pretensada con acero de alto límite elástico y elaborado por el método de centrifugación, el cual utiliza la fuerza centrífuga para revestir de hormigón un molde por su parte interna.

Este tubo no consta solamente de los cables longitudinales pues una envoltura de alambre de acero de alta resistencia a la tracción se aplica bajo tensión controlada y con un paso calculado sobre el tubo de hormigón base para inducirle una compresión

radial. Esta envoltura de alambre tiene como objetivo contrarrestar la presión de agua que pasa por el interior del tubo; pero a su vez este sunchado radial del cable hace que el tubo tienda a estirarse longitudinalmente por sus dos extremos. Semejante alargamiento origina determinadas tensiones de tracción axial, contrarrestadas mediante el pretensado longitudinal, pues la resistencia a la tracción del hormigón es relativamente pequeña.

Lógicamente, este pretensado tiene otras funciones, así por ejemplo, gracias a él, el tubo en la cuarta parte de su longitud extrema es menos sensible a los esfuerzos que se producen en el transporte y su colocación. Además se eleva su resistencia a compresión e impermeabilidad, dos factores muy importantes a lograr en estos tubos.

El proceso tecnológico de estas tuberías es el siguiente :

1. Elaboración y ensamblaje del refuerzo de las armaduras.
2. Preparación del molde que incluye el estiramiento y fijación de cables de pretensado.
3. Elaboración del hormigón que incluye la dosificación y mezclado de las materias primas componentes.
4. Hormigonado del tubo primario utilizando el método de centrifugación.
5. Curado a vapor.
6. Desmoldeo
7. Postensado radial.
8. Prueba hidrostática.
9. Hormigonado del revestimiento exterior.
10. Reparación, identificación y almacenaje.

Dosificaciones empleadas. Variantes Diseñadas.

La dosificación empleada es obtenida a partir de un programa de computación basada en iteraciones sucesivas de las combinaciones posibles de acuerdo con la granulometría de los agre-

gados al compararla con la curva continua patrón recomendada por el fabricante.

La dosis empleada para 1 m³ de hormigón es la siguiente: (mezcla de referencia).

Cemento (Portland-350)	550 Kg.
Arena (0.15 - 3mm)	638 Kg.
Granito No.1 (3 - 7mm)	654 Kg.
Granito No. 2 (7 - 15mm)	407 Kg.
Agua	220 l.

Para las variantes con aditivos se disminuye el agua. El volumen de hormigón a elaborar para 1 m³, considera la compactación del hormigón fresco así como pequeñas pérdidas lógicas ocurrientes en el proceso de llenado del tubo, ahora bien, éstas dosificaciones para 1 m³ es convertida proporcionalmente al volumen del tubo primario a centrifugar, es decir, se realiza una amasada para cada tubo.

Características generales y uso del aditivo superplastificante “A” utilizado en el estudio.

Descripción del producto

El superplastificante “A” es un aditivo producido sobre la base de la condensación del ácido sulfonado de Naftaleno y Formaldehído. Este producto se comercializa en polvo, pero se usa en solución al 42%.

Utilización de Aditivo. Dosis y Resultados.

Aditivo en polvo	42%
Agua	58%

Con estas proporciones se obtiene un líquido de color castaño oscuro con una densidad de 1.20 kg/litro.

Los mayores rendimientos del aditivo según el suplidor se logran entre el 0.3% y el 0.9% del producto en polvo en función del contenido de cemento de la liga.

La cantidad de aditivo en solución a utilizar por M³ de hormigón se determina en función del contenido de cemento en peso del mismo empleando la fórmula siguiente :

$$V = C.A / K.D$$

Donde :

V = Volumen en litros del aditivo en solución

C = Peso del cemento en Kg. Para 1 m³ de hormigón

A = Porcentaje de aditivo en polvo

D = Densidad del aditivo en solución

K = Concentración del aditivo

Variantes a investigar

Las variantes en cuestión para el estudio son las siguientes:

1. Dosificación sin aditivo (mezcla de referencia)
2. Con aditivo (al 0.3%)
3. Con aditivo (al 0.6%)
4. Con aditivo (al 0.9%)
5. Con aditivo (al 0.6%) y reducción de 50Kg de cemento.

La relación agua/cemento de 0.4, recomendada para este caso en la mezcla de referencia (variante 1), produce asentamientos entre 5 y 6 cm según el cono de Abrams. Con ello se logra una correcta colocación del hormigón y un eficiente llenado del tubo.

Inferencia y conclusiones de los resultados obtenidos

Después de un cuidadoso proceso industrial y de una rigurosa toma de muestra altamente representativa para el estudio en cuestión se obtuvieron los resultados expresados en la Tabla No.1. Las principales inferencias y conclusiones son las siguientes:

a) A medida que aumenta el aditivo los porcentajes de reducción del agua de amasado son mayores, lo cual demuestra el carácter reductor del aditivo.

b) Para todas las edades, los valores de resistencias en forma decreciente corresponden al orden siguiente:

4 - Con aditivo al 0.9%

3 - Con aditivo al 0.6%

2 - Con aditivo al 0.3%

5 - Con aditivo al 0.6% y reducción de 50Kg de cemento

1 - Sin aditivo (mezcla de referencia).

Cabe significar que la variante (5) obtuvo con menos cemento más resistencia a la compresión que la (1), la cual deja ver a las claras el efecto negativo del agua en los valores de resistencia a compresión del hormigón.

c) Se destaca en sentido general, que cuando usamos aditivos los valores de resistencia a edades tempranas son significativamente más altos que cuando no empleamos éste. Sin embargo, al analizar las variantes con aditivos entre sí, mantienen una proporción correspondiente en todas las edades. Por otra parte, es de señalar que no existen incrementos muy marcados entre las resistencias logradas a las 12 horas y 72 horas, lo cual demuestra que este aditivo (permite obtener altas resistencias a edades tempranas).

d) En cuanto a la evaluación de la prueba industrial reflejada en la tabla No.2, donde se mantuvieron invariables todos los aspectos influyentes en cada una de las etapas del proceso tecnológico antes mencionado, los resultados se corresponden a los reflejados en la Tabla No. 1, es decir, a mayor resistencia a compresión del hormigón, mayor cantidad de tubos con presión de diseño.

TABLA No. 1
 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION

VARIANTES No.	Tipo	ADITIVO (1/M3)	AGUA (1/M3)	PROBETAS 12 Hrs.	RESISTENCIA A 72 Hrs.	COMPRESION KS/CM ² 7 dias	ASENTAMIENTO (cms)	REDUCCION DE AGUA %
1	Sin aditivo	-	220	156	180	234	322	6.0
2	Aditivo al 0.3%	3.27	200	193	220	270	356	6.5
3	Aditivo 0.6%	6.56	182	240	253	305	396	6.0
4	Aditivo al 0.9%	9.82	175	289	306	350	435	6.5
5	Aditivo al 0.6% y reduccion de 50kg de cemento	5.95	175	165	196	260	350	6.0
								20.5

Nota: Se ensayaron para las diferentes edades 6 probetas en cada variante, lo cual hace un total de 120 testigos analizados. A los 7 dias de elaborados estas muestras se sometieron a una carga de 10 atmósfera, sin ocurrir penetración de humedad alguna, para el ensayo se trabajó con agua aireada utilizando un permeámetro.-

RESISTENCIA A COMPRESION TUBERIAS DE HORMIGON
PARA LAS DISTINTAS VARIANTES DISEÑADAS

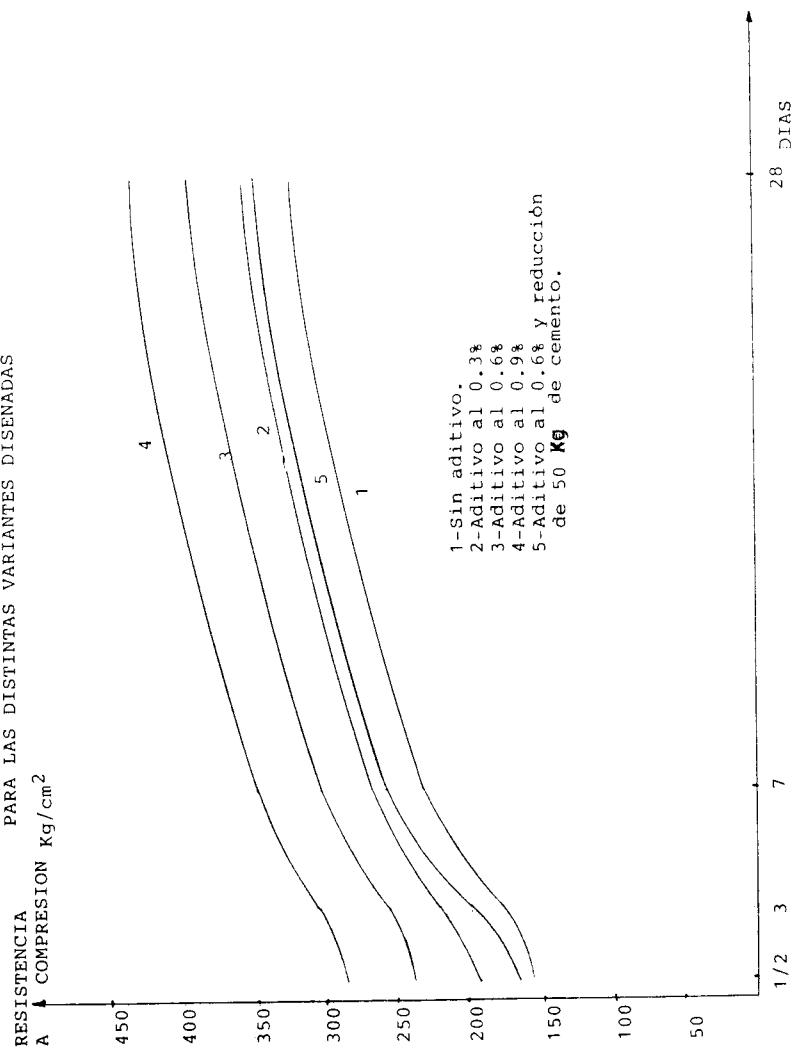


TABLA No. 2
EFFECTIVA LOGRADA EN LOS TUBOS ELABORADOS POR CADA VARIANTE

No.	Variante	Total de Tubos	Tubos sin presión Total	Tubos sin presión %	Tubos con presión Total	Tubos con presión %
1	Sin aditivo	25	5	20	20	80
2	Aditivo al 0.3%	25	2	7.5	22	92.5
3	Aditivo al 0.6%	25	1	4	24	96
4	Aditivo al 0.9%	25	0	0	25	100
5	Aditivo al 0.6% y reducción de 50 Kg de cemento	25	1	4	24	96

Tubos sin presión: Son aquellos que presentan defectos de conformación o que no cumplen con la presión de diseño establecida durante la prueba hidrostática. Estos tubos pasan a ser usados en alcantarillado.

Tubos con presión: Son aquellos que cumplen con la presión de diseño y que son probados hidrostáticamente. Para nuestro estudio presión de diseño = 0.7 Mpa.

Vigas DOBLE T (2T) presentadas para edificaciones industriales.

Las vigas 2T de hormigón pretensado son elementos estructurales aptos para salvar luces de medida y gran longitud tanto en entresijos como en cubiertas.

El caso que nos ocupa corresponde a una sección típica de 10.90 m de largo provista de tres cables por nervio de ½" de diámetro y 270 KSI tensados a 3300 lbs. Estos cables están formados por siete alambres de alto límite elástico tensados en forma de torón, los mismos son anclados en uno de los extremos del molde o "cama" y estirados en el otro extremo mediante gatos hidráulicos y fijados por medio de "choques" cónicos con estrías interiores para garantizar un perfecto agarre.

El molde o "cama" de 180m de longitud permite producir 16 elementos en cada vaciado efectuado el mismo alrededor de las 60 horas si se utiliza una mezcla sin aditivos, tiempo en el cual el hormigón alcanza una resistencia de unos 180 Kg/cm² que permite asimilar los esfuerzos de tracción axial producidos por los cables al ser cortados sin deslizarse, además del esfuerzo de izaje tanto en el desmoldeo como en su traslado al almacén.

Dosificaciones empleadas. Variantes Diseñadas.

La dosis empleada (mezcla de referencia) para 1 m³ de hormigón es la siguiente :

Cemento (Portland - 350).....	575Kg
Arena (0.15 - 4.76 mm).....	794Kg
Gravilla (6.35 - 12.70 mm).....	500Kg
Grava (12.70-19.05 mm).....	696Kg
Agua.....	230 l.

Con esta cantidad de agua se logran asentamientos entre 8.5 y 9.5 cm buenos para colocar el hormigón con ayuda de vibradores.

Los aditivos a utilizar en este caso, se fabrican, comercializan y emplean en forma líquida.

Para el estudio se tomaron dos plastificantes y dos superplastificantes tanto de producción nacional como importados. Como aclaramos en la introducción, sólo es propósito de esta investigación exponer el efecto del uso de estos tipos de aditivos de manera general sin entrar en comparaciones propias de la competencia, es por ello que los indentificamos por nombres genéricos y letras para su diferenciación.

Aditivos	Dosis recomendada por el fabricante
Plastificante "B"	de 4 a 8 onzas /100 lb de cemento
Plastificante "C"	de 2 a 6 onzas /100 lb de cemento
Superplastificante "D"	de 8 a 16 onzas /100 lb de cemento
Superplastificante "E"	de 8 a 30 onzas /100 lb de cemento

Inferencia y conclusiones de los resultados obtenidos

Cabe significar que en el estudio realizado a nivel industrial se mantuvieron inalterables todas las etapas del proceso; asimismo, la toma de muestra fue altamente representativa y los ensayos realizados a nivel de laboratorio tuvieron un excelente rigor técnico.

De los resultados obtenidos expresados en la Tabla No. 3 se obtienen las inferencias y conclusiones siguientes :

a) Los plastificantes y superplastificantes usados en las dosis indicadas mantienen el mismo asentamiento de la mezcla a pesar de disminuir el agua en un 15% y un 25% aditivos.

b) Para las dos edades estudiadas, los valores de resistencia en forma decreciente corresponden al orden siguiente:

- (5) Superplastificante "A"
- (4) Superplastificante "D"
- (3) Plastificante "C"
- (2) Plastificante "B"

(6) Superplastificante “E” con reducción de 50 kg de cemento

(1) Mezcla de referencia sin aditivo

La variable (6) obtuvo con menos cemento más resistencia a compresión que la (1), lo cual deja ver a las claras el efecto negativo del agua con los valores de resistencia a compresión del hormigón.

c) El uso de superplastificante permite realizar el corte de cables y como consecuencia la preparación para el próximo vaciado a las 24 horas acortando de este modo el tiempo de la etapa de hormigonado y extracción de los elementos del molde para su almacenamiento.

TABLA No. 3
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION

VARIANTE No.	ADITIVO	DOSIS (ONZ/100lb cemento)	AGUA (l)	RESISTENCIA 24 Hrs.	K ⁹ CM ² 48 Hrs.	ASENTAMIENTO (cm)
1	-	-	220	137	169	9.5
2	"B"	6	195	160	224	10
3	"C"	6	195	175	226	9.5
4	"D"	12	173	220	251	9
5	"E"	12	173	230	285	9
6*	"E"	12	180	150	215	9

Nota:

- Se tomaron 6 probetas para cada edad y en cada variante
- El coeficiente de variación fue de 0.05 (muy bueno)
- * A la variante 6 se le redujo 50kg de cemento.

RESISTENCIA A COMPRESION VICAS DOBLE T
PARA LAS DISTINTAS VARIANTES DISENADAS

