

XIV JORNADAS DEL HORMIGÓN

**“EFECTO DE LA COMPACTACIÓN EN LA RESISTENCIA
DE LOS HORMIGONES”**

Sr. Santiago Fernández

Sr. Héctor Villalobos Soto, Constructor Civil

Sr. Ciro López Valenzuela, Constructor Civil

**INSTITUTO NACIONAL DE CAPACITACIÓN
SEDE RENCA
AREA DE CONSTRUCCIÓN Y URBANISMO**

Santiago - Chile

2003

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	2
EXTRACTO	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
INTRODUCCIÓN	5
1.1 Fundamento y Delimitación del Estudio.	5
CAPÍTULO II	6
METODOLOGÍA	6
2.1 Hormigones de Pavimento	6
2.2 Hormigones Estructurales (Normales)	6
2.3 Hormigones Bombeables	6
CAPÍTULO III	7
ANÁLISIS DE RESULTADOS	7
3.1 Resultados Hormigones de Prueba.	7
Serie hormigones de pavimento	8
Resumen hormigones de pavimento	11
Serie de hormigones estructurales (normales)	13
Resumen hormigones estructurales	16
Serie de hormigones Bombeables	18
Resumen hormigones Bombeables	21
Cuadro Resumen de densidades registradas en la experiencia	22
Hormigones apisonados, revisión de norma NCH-1017 of75	22
CAPÍTULO IV	24

EXTRACTO**EFFECTO DE LA COMPACTACIÓN EN LA RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES**

La compactación adecuada del hormigón es indudablemente preponderante en el resultado final de los elementos que han sido elaborados con éste. En el estudio precedente, se pretende determinar la magnitud del mencionado efecto en la resistencia a la compresión. Es por ello, que se confeccionan hormigones de prueba en los cuales se varía el grado de compactación (apisonado, vibrado) en los especímenes, para finalmente determinar una curva que represente el fenómeno (Densidad v/s Resistencia).

Como la textura de la mezcla tanto como su docilidad representan un papel crucial en el grado de compactación aplicado, es que se desarrollan pruebas abordando los tres grandes grupos de hormigones según la utilización o el medio de colocación; Normales, Bombeables, Pavimento.

En consecuencia se dan a conocer curvas determinadas para cada tipo de hormigón, las cuales pueden servir para dirimir controversias técnicas, así como también a englobar la importancia de un correcto control y ejecución de la compactación en las obras. Mencionadas curvas, por ende, pueden ser utilizadas por organismos de certificación, Control de Calidad, Productores, Constructoras, etc.

Finalmente proponer revisar la normalización en lo referente a compactación de probetas para ensayos de resistencia a compresión, dadas las diferencias en cuanto a valores obtenidos con vibrado y apisonado.

ABSTRACT

EFFECT OF THE COMPACTION IN THE RESISTANCE OF CONCRETES

The suitable compaction of the concrete is doubtlessly preponderant in the final result of the elements that have been elaborated with this one. In the preceding study, it is tried to determine the magnitude of the mentioned effect in the compressive strength. It is for that reason, which test concretes are made in which the degree of compaction (tamped, vibrated) in specimens is varied, finally to determine a curve that represents the phenomenon (Density v/s Resistance).

As the texture of the mixture as much as their workability represents a crucial paper in the applied degree of compaction, is that the three great concrete groups are developed to tests approaching according to the use or means of positioning; Normal, Bombeables, Pavement. Consequently they occur to know curves determined for each type concrete, which can serve to dissolve technical controversies, as well as to include the importance of a correct control and execution of the compaction in works. Mentioned curves, therefore, they can be used by organisms of certification, Control of Quality, Producers, Constructors, etc.

Finally to propose to review the normalization with respect to compaction of test tubes for tests of resistance to compression, given the differences as far as values obtained with vibrated and tamped.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Fundamento y Delimitación del Estudio.

En el presente estudio se realizaron pruebas de hormigones diseñados para: estructurales (Normal), pavimento y finalmente bombeado estructural. En cada uno de éstos, se confeccionarán probetas las cuales se compactaron a una misma frecuencia de vibración, en mesa vibradora, variando el tiempo de aplicación con el fin de obtener una gama de densidades que derive en variadas resistencias de los especímenes, también se hicieron para hormigones apisonados, variando el número de golpes aplicados por cada 100 cm². Como límite inferior se confeccionaron probetas sin ningún tipo de compactación, es decir, con el hormigón en estado suelto.

La docilidad del hormigón resulta importante en la compactación final, es así que se realizará el estudio examinando el comportamiento con 3 asentamiento de cono: 4cm., 8cm. y 12 cm. Correspondientes a: Pavimentos, Estructural (Normal) y Bombeados.

Además se midió el efecto de la dosis de cemento, usando dosis variables desde 250-350 kg/m³, para cada uno de los 3 tipos de hormigón.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Se confeccionarán mezclas de prueba las cuales serán compactadas por vibrado (mesa de 3000 vpm) y apisonadas, distribuidas de la forma siguiente:

2.1 Hormigones de Pavimento

Compactación en mesa vibradora; frecuencia fija; Cono = 04 cm; dosis de cemento grado corriente de 250, 300 y 350 kg/m³; tamaño máximo 40 mm; tiempos de aplicación vibración de 0, 15, 30, 45, 60, 120 segundos.

Compactación con apisonado; Cono = 04 cm; dosis de cemento grado corriente de 250, 300 y 350 kg/m³; tamaño máximo 40 mm; número de golpes de 2, 4, 8, 16, 32 cada 100 cm² de superficie.

2.2 Hormigones Estructurales (Normales)

Compactación en mesa vibradora; frecuencia fija; Cono = 08 cm; dosis de cemento grado corriente de 250, 300 y 350 kg/m³; tamaño máximo 40 mm; tiempos de aplicación vibración de 0, 15, 30, 45, 60, 120 segundos.

Compactación con apisonado; Cono = 08 cm; dosis de cemento grado corriente de 250, 300 y 350 kg/m³; tamaño máximo 40 mm; número de golpes de 2, 4, 8, 16, 32 cada 100 cm² de superficie.

2.3 Hormigones Bombeables

Compactación en mesa vibradora; frecuencia fija; Cono = 12 cm; dosis de cemento grado corriente de 300 y 350 kg/m³; tamaño máximo 40 mm; tiempos de aplicación vibración de 0, 15, 30, 45, 60, 120 segundos.

Compactación con apisonado; Cono = 12 cm; dosis de cemento grado corriente de 300 y 350 kg/m³; tamaño máximo 40 mm; número de golpes de 2, 4, 8, 16, 32 cada 100 cm² de superficie.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resultados de los análisis efectuados a los materiales e insumos componentes de las respectivas mezclas, tanto como de los detalles de los hormigones de prueba y métodos de dosificación, son los tradicionales en uso para aplicaciones de hormigón.

3.1 Resultados Hormigones de Prueba.

En los cuadros siguientes se presentan los resultados obtenidos en los hormigones de prueba para cada tipo de hormigón especificado en el plan de trabajo. Con los resultados se realiza un procesamiento y análisis, que se materializa en gráficos y curvas definitorias acerca del concepto de Relación Densidad v/s Relación de Resistencia en los hormigones.

Se pretende determinar las correlaciones existentes, por lo tanto, se utiliza el análisis de regresiones en que se verifica que la curva más aproximada al comportamiento de la relación es de carácter logarítmico.

Así como se presentan los resultados individuales para cada hormigón, también se realiza resúmenes agrupando hormigones de acuerdo a la características propias de su utilización final (pavimento, estructural, bombeado).

En los gráficos se entrega la curva de ajuste finalmente lograda. Entre el cuadro y el gráfico, se presenta un texto en el cual se explica simplemente como repercuten los valores obtenidos en un análisis global.

Serie hormigones de pavimento

Serie Hormigón de Pavimento ; 250 kg/m³ de cemento

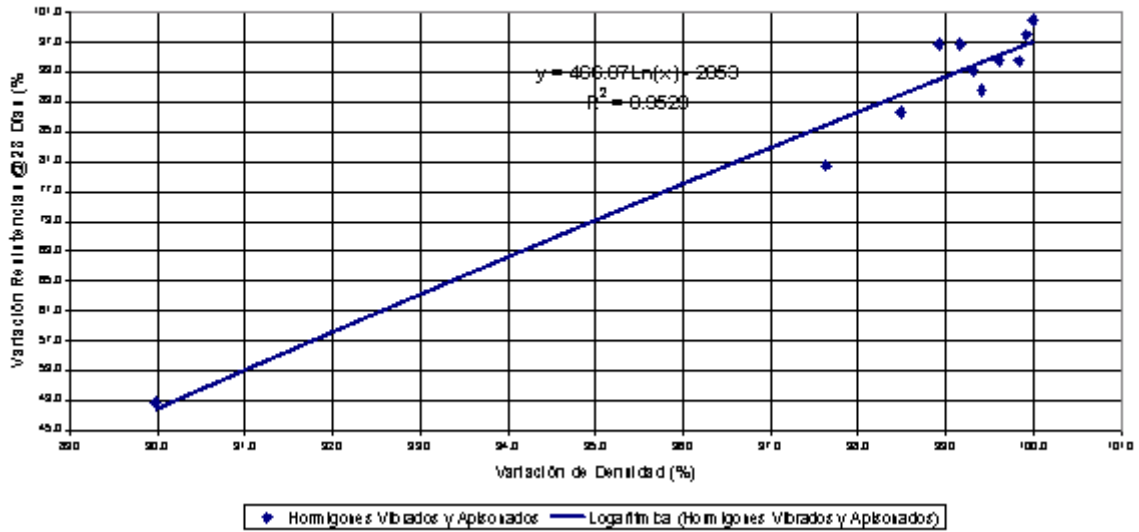
HP TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CURICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-1	4.0	149	2.216	150	2.186	2.201	Hormigon suelto	48.7	90.0
MBM-2	4.0	213	2.404	298	2.447	2.426	15 sgds. Mesa vibradora	96.8	99.2
MBM-3	4.0	211	2.395	298	2.444	2.420	30 sgds. Mesa vibradora	96.8	98.9
MBM-4	3.5	225	2.442	308	2.450	2.446	45 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-5	3.5	218	2.440	302	2.448	2.444	60 sgds. Mesa vibradora	98.1	99.9
MBM-6	4.0	213	2.434	291	2.450	2.442	120 sgds. Mesa vibradora	94.5	99.8

HP TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CURICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-7	4.0	182	2.388	248	2.388	2.388	5 golpes en 2 capas - Apisonado	80.5	97.6
MBM-8	4.0	195	2.405	270	2.413	2.409	9 golpes en 2 capas - Apisonado	87.7	98.5
MBM-9	4.0	188	2.438	279	2.425	2.432	18 golpes en 2 capas - Apisonado	90.6	99.4
MBM-10	4.0	212	2.430	287	2.428	2.429	36 golpes en 2 capas - Apisonado	93.2	99.3
MBM-11	4.0	233	2.437	291	2.436	2.437	72 golpes en 2 capas - Apisonado	94.5	99.6

En éste hormigón, un hormigón de pavimento con dosis de cemento 250 kg/m³ y un asentamiento de cono de diseño 4.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de la mezcla compactada 45 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada. Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 13%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (óptima), se obtienen resistencias disminuidas en un 8% con respecto a lo proyectado.

Comportamiento Hormigón de Pavimento
250 kg/m3 de cemento (variación en %)



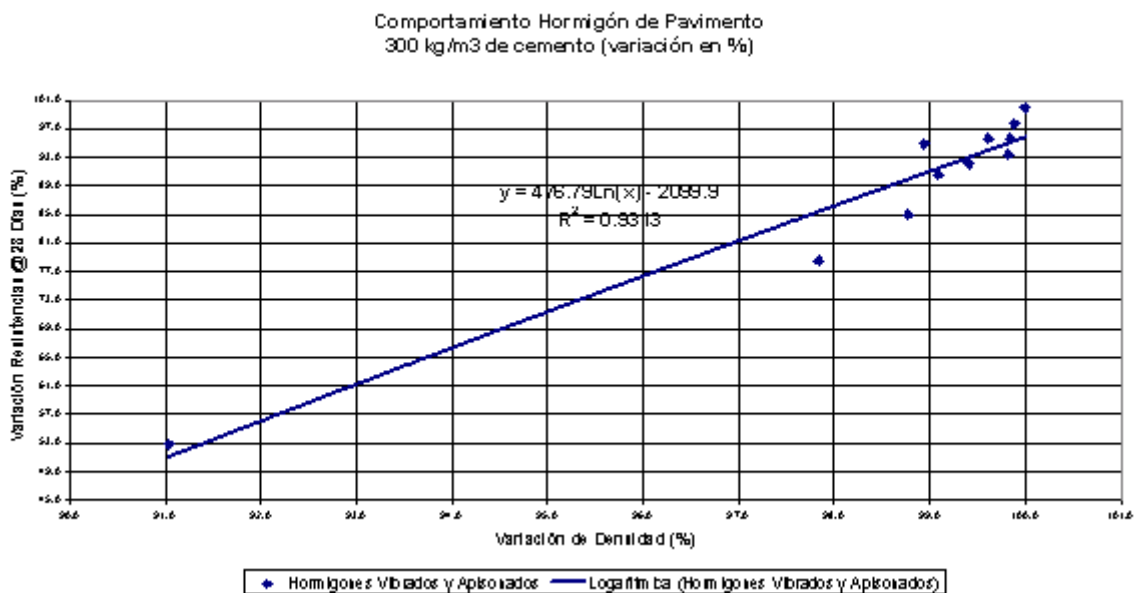
Serie Hormigón de Pavimento ; 300 kg/m3 de cemento

HP TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm3	R28	kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-12	4.0	201	2.235	207	2.220	2.228	Hormigon suelto	52.8	91.0
MBM-13	4.0	286	2.437	375	2.438	2.438	15 sgds. Mesa vibradora	95.7	99.6
MBM-14	4.5	296	2.448	375	2.438	2.443	30 sgds. Mesa vibradora	95.7	99.8
MBM-15	4.0	298	2.450	392	2.444	2.447	45 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-16	4.0	284	2.445	383	2.443	2.444	60 sgds. Mesa vibradora	97.7	99.9
MBM-17	4.0	282	2.443	366	2.442	2.443	120 sgds. Mesa vibradora	93.4	99.8

HP TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm3	R28	kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-18	4.0	231	2.397	308	2.391	2.394	5 golpes en 2 capas - Apisonado	78.6	97.8
MBM-19	4.0	273	2.419	333	2.415	2.417	9 golpes en 2 capas - Apisonado	84.9	98.8
MBM-20	4.0	258	2.431	355	2.418	2.425	18 golpes en 2 capas - Apisonado	90.6	99.1
MBM-21	4.0	309	2.416	372	2.426	2.421	36 golpes en 2 capas - Apisonado	94.9	98.9
MBM-22	4.0	313	2.434	361	2.431	2.433	72 golpes en 2 capas - Apisonado	92.1	99.4

En éste hormigón, un hormigón de pavimento con dosis de cemento 300 kg/m³ y un asentamiento de cono de diseño 4.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de la mezcla compactada 45 segundos en la mesa vibradora (al igual que su antecesor), éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada. Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 14%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (óptima), se obtienen resistencias disminuidas en un 9% respecto a lo proyectado.



Serie Hormigón de Pavimento ; 350 kg/m3 de cemento

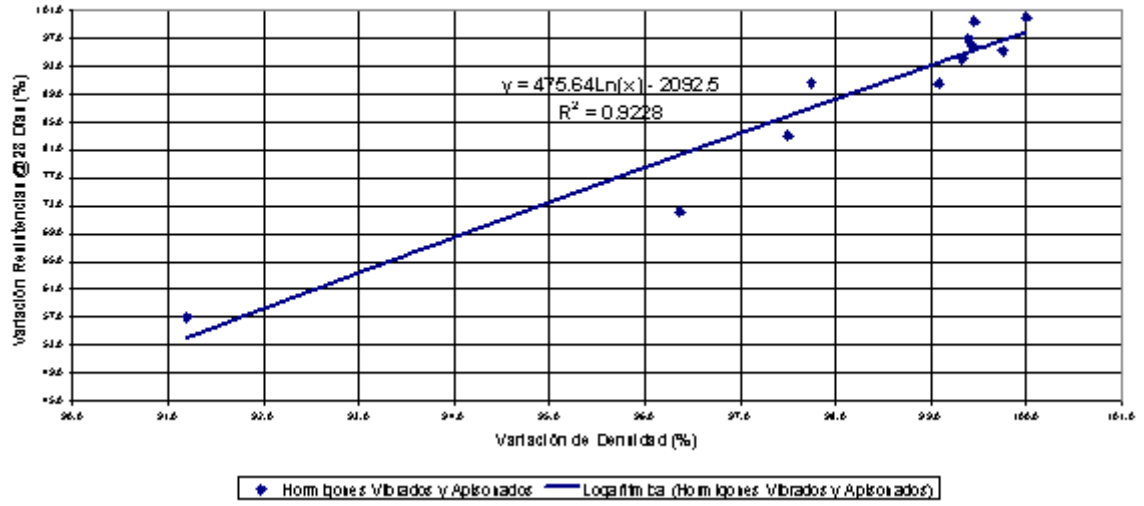
HP TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACION	VARIACION %	
		R7	kg/dm3	R28	kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-23	4.0	261	2.263	289	2.223	2.243	Hormigon suelto	57.1	91.2
MBM-24	4.5	365	2.438	458	2.436	2.437	15 sgds. Mesa vibradora	90.5	99.1
MBM-25	4.0	391	2.446	486	2.445	2.446	30 sgds. Mesa vibradora	96.0	99.4
MBM-26	4.0	403	2.441	491	2.448	2.445	45 sgds. Mesa vibradora	97.0	99.4
MBM-27	4.5	396	2.459	506	2.460	2.460	60 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-28	4.0	402	2.438	503	2.454	2.446	120 sgds. Mesa vibradora	99.4	99.5

HP TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACION	VARIACION %	
		R7	kg/dm3	R28	kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-29	4.0	318	2.391	365	2.349	2.370	5 golpes en 2 capas - Apisonado	72.1	96.4
MBM-30	4.0	347	2.398	420	2.398	2.398	9 golpes en 2 capas - Apisonado	83.0	97.5
MBM-31	4.5	353	2.406	459	2.402	2.404	18 golpes en 2 capas - Apisonado	90.7	97.7
MBM-32	4.0	382	2.441	476	2.445	2.443	36 golpes en 2 capas - Apisonado	94.1	99.3
MBM-33	4.0	380	2.456	482	2.451	2.454	72 golpes en 2 capas - Apisonado	95.3	99.8

En éste hormigón, un hormigón de pavimento con dosis de cemento 350 kg/m3 y un asentamiento de cono de diseño 4.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de la mezcla compactada 60 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada. Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

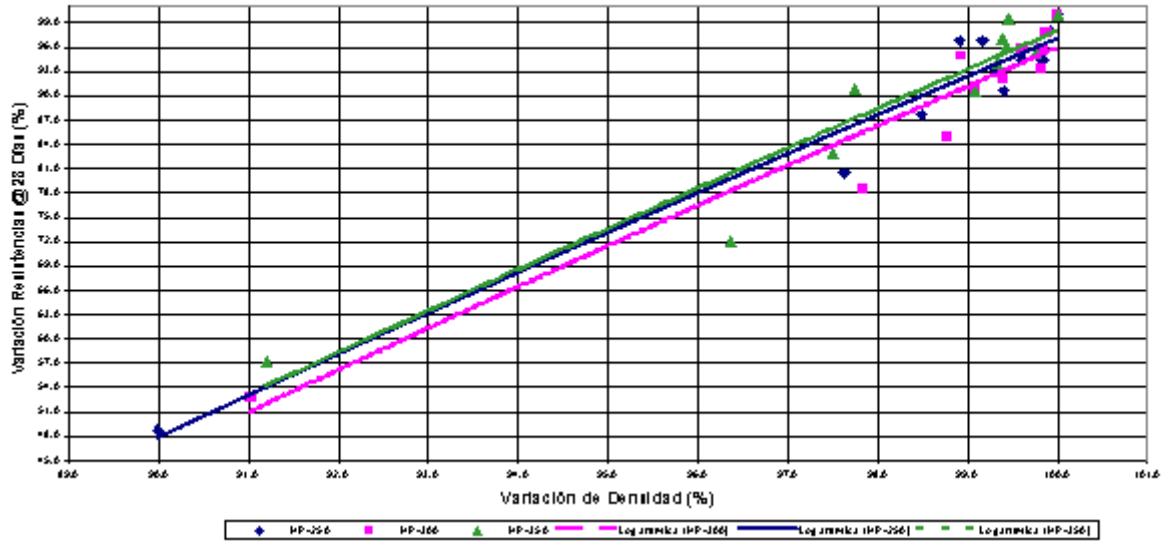
Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 10%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (óptima), se obtienen resistencias disminuidas en un 7% respecto a lo proyectado. Las menores reducciones en la resistencia respecto de las mezclas anteriores (250 y 300 kg/m3 de cemento), nos señala que el efecto debe ir en retroceso a medida que el hormigón se hace más pastoso.

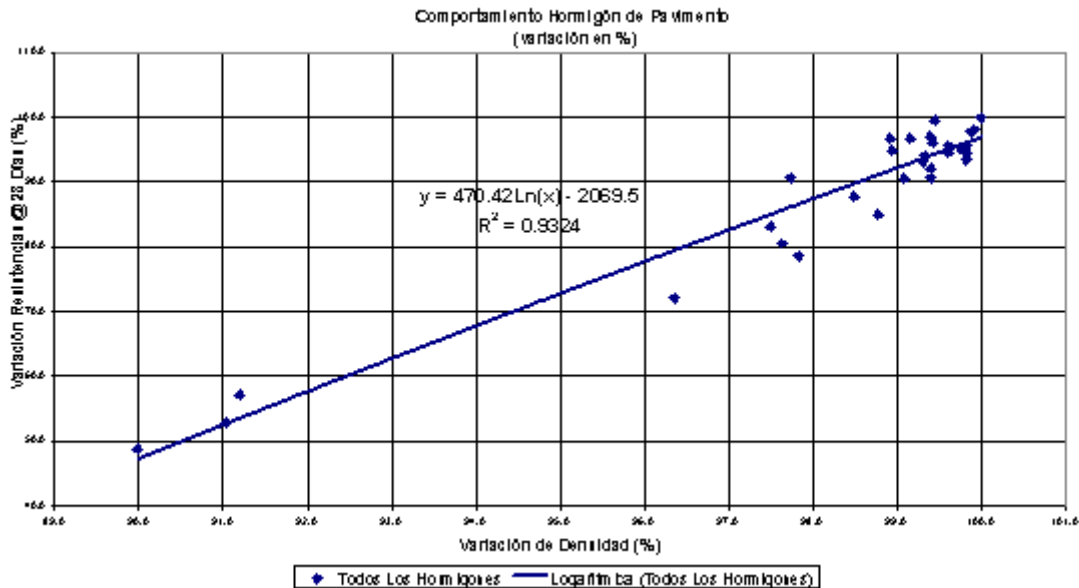
Comportamiento Hormigón de Pavimento
350 kg/m³ de cemento (variación en %)



Resumen hormigones de pavimento

Comportamiento Hormigón de Pavimento
 Diferentes dosis de cemento (variación en %)





Al agrupar las curvas obtenidas se puede señalar claramente que estas presentan un comportamiento similar. Estas entonces se resumen en el segundo gráfico en el cual se postula la curva de corrección general para los hormigones de pavimento, ésta es :

$$y = 470.42 \ln(x) - 2069.5$$

En que para una pérdida en la densidad de un 2% se producen pérdidas de resistencia promedio de 13%, y de un 7% para disminuciones en la densidad de un 1%. Con los datos entregados es notorio el efecto de la compactación en la resistencia final obtenida. A la luz de los antecedentes por tanto resulta imprescindible el corregir malas prácticas que se producen en obras como por parte de organismos certificadores.

En el caso de la confección de probetas moldeadas para verificar resistencia de hormigones, es constante que los laboratorios apisonen sus muestras por no contar con un equipo vibrador o por encontrarse en malas condiciones. De allí que a veces las muestras no representan claramente la calidad del hormigón confeccionado, y esto

puede llevar a determinaciones equivocadas de los profesionales en obra.

Es tanto así que una muestra de hormigón deficientemente compactada puede implicar alzas injustificadas en los contenidos de cemento, rechazó de estructuras, demoliciones, etc.

Serie de hormigones estructurales (normales)

Serie Hormigón E estructural (normal) ; 250 kg/m³ de cemento

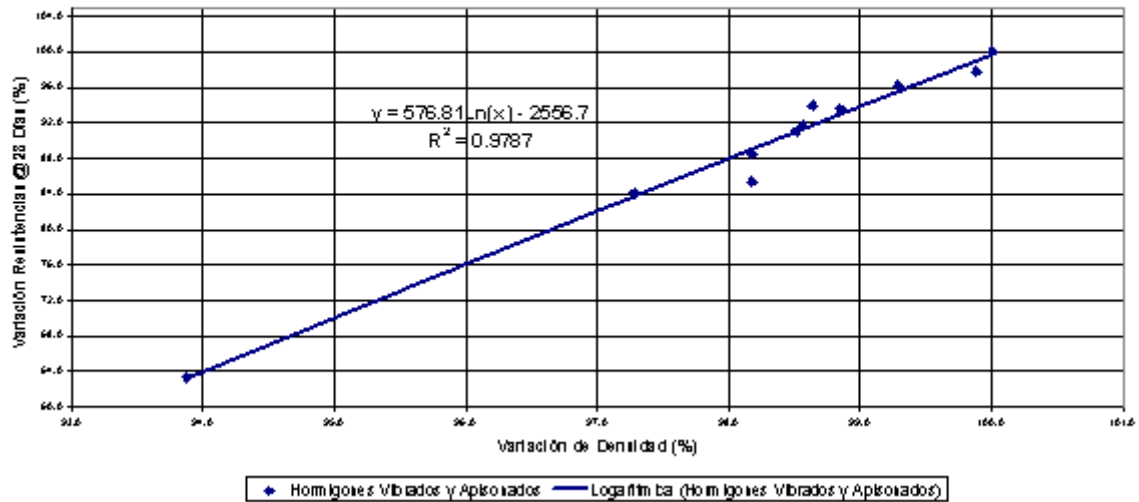
HN TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-34	8.0	154	2.305	199	2.325	2.315	Hormigon suelto	63.4	93.9
MBM-35	8.0	205	2.417	268	2.425	2.421	15 sgds. Mesa vibradora	85.4	98.2
MBM-36	8.0	205	2.423	294	2.462	2.438	30 sgds. Mesa vibradora	93.6	98.8
MBM-37	8.0	212	2.421	302	2.476	2.449	45 sgds. Mesa vibradora	96.2	99.3
MBM-38	8.0	227	2.454	314	2.478	2.466	60 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-39	8.0	224	2.435	307	2.491	2.463	120 sgds. Mesa vibradora	97.8	99.9

HN TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-40	8.0	172	2.394	264	2.398	2.396	5 golpes en 2 capas - Apisonado	84.1	97.3
MBM-41	8.0	205	2.415	278	2.421	2.418	9 golpes en 2 capas - Apisonado	88.5	98.2
MBM-42	8.0	215	2.421	288	2.434	2.428	18 golpes en 2 capas - Apisonado	91.7	98.6
MBM-43	8.0	213	2.425	286	2.428	2.427	36 golpes en 2 capas - Apisonado	91.1	98.5
MBM-44	8.0	222	2.425	295	2.434	2.430	72 golpes en 2 capas - Apisonado	93.9	98.6

En éste hormigón, un hormigón estructural (normal) con dosis de cemento 250 kg/m³ y un asentamiento de cono de diseño 8.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de la mezcla compactada 60 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada. Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 12%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (óptima), se obtienen resistencias disminuidas en un 6% respecto a lo proyectado.

Comportamiento Hormigón Estructural
250 kg/m3 de cemento (variación en %)



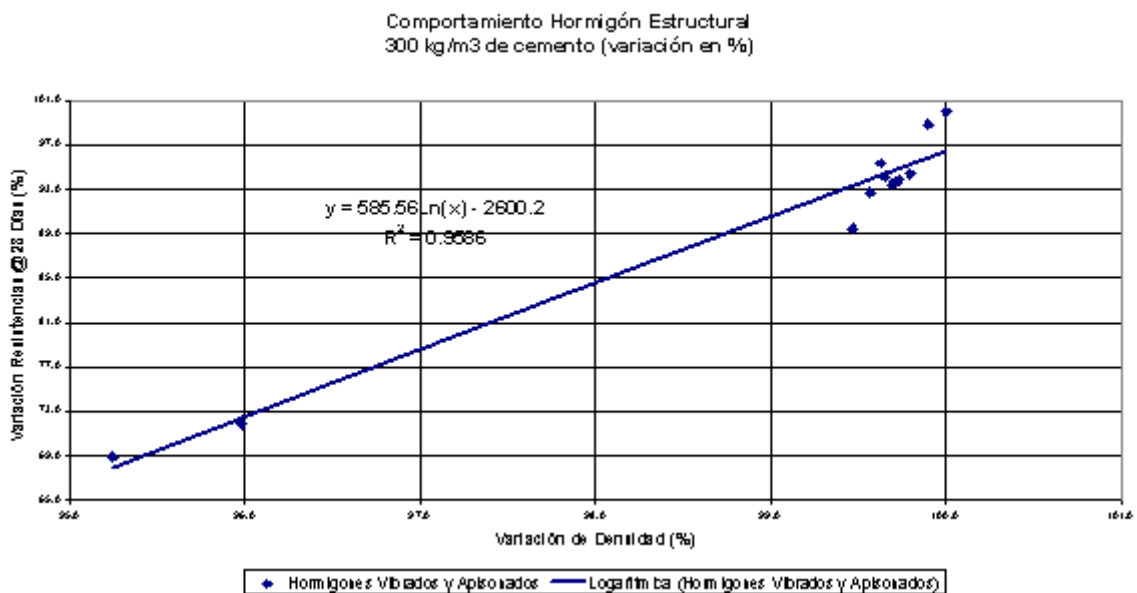
Serie Hormigón Estructural (normal) ; 300 kg/m3 de cemento

HN TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7 kg/dm3	R28 kg/dm3	R7 kg/dm3	R28 kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-45	8.0	235	2.350	293	2.332	2.341	Hormigon suelto	71.8	96.0
MBM-46	8.0	290	2.426	384	2.435	2.431	15 sgds. Mesa vibradora	94.1	99.7
MBM-47	8.5	293	2.427	383	2.438	2.433	30 sgds. Mesa vibradora	93.9	99.7
MBM-48	8.0	279	2.432	403	2.441	2.437	45 sgds. Mesa vibradora	98.8	99.9
MBM-49	8.0	294	2.433	408	2.446	2.439	60 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-50	8.0	285	2.426	381	2.437	2.432	120 sgds. Mesa vibradora	93.4	99.7

HN TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7 kg/dm3	R28 kg/dm3	R7 kg/dm3	R28 kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-51	9.0	230	2.320	281	2.326	2.323	5 golpes en 2 capas - Apisonado	68.9	95.2
MBM-52	7.5	279	2.417	365	2.435	2.426	9 golpes en 2 capas - Apisonado	89.5	99.5
MBM-53	8.0	299	2.430	378	2.427	2.429	18 golpes en 2 capas - Apisonado	92.6	99.6
MBM-54	7.5	295	2.434	385	2.434	2.434	36 golpes en 2 capas - Apisonado	94.4	99.8
MBM-55	7.5	301	2.428	389	2.432	2.430	72 golpes en 2 capas - Apisonado	95.3	99.6

En éste hormigón, un hormigón estructural (normal) con dosis de cemento 300 kg/m³ y un asentamiento de cono de diseño 8.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de la mezcla compactada 60 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada (similar a su antecesor). Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 15%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (optima), se obtienen resistencias disminuidas en un 9% respecto a lo proyectado.



Serie Hormigón E estructural (normal) ; 350 kg/m³ de cemento

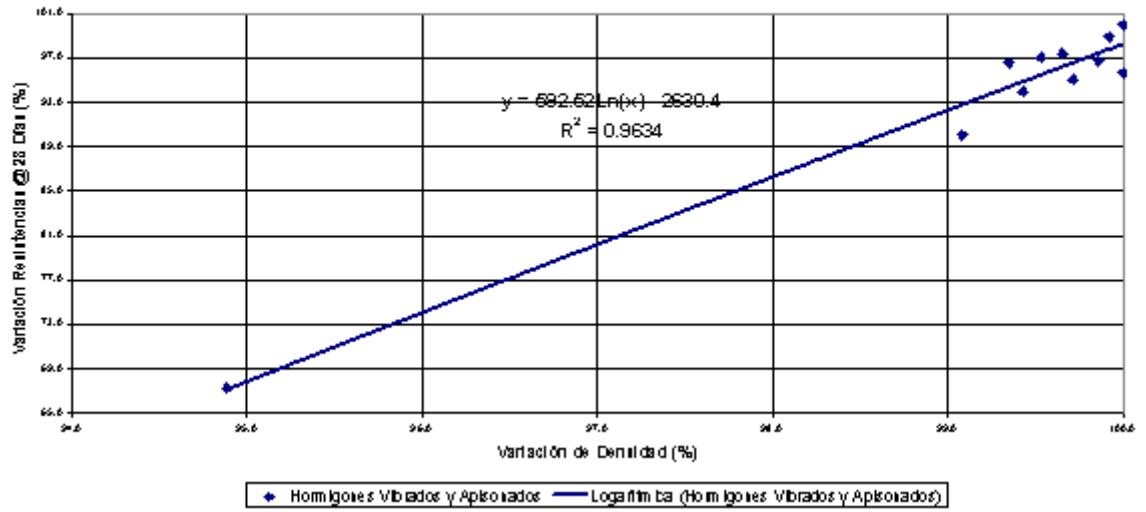
HN TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-56	8.0	245	2.322	312	2.333	2.328	Hormigon suelto	67.2	94.9
MBM-57	8.5	342	2.445	441	2.447	2.446	15 sgds. Mesa vibradora	95.0	99.7
MBM-58	8.0	348	2.448	449	2.451	2.450	30 sgds. Mesa vibradora	96.8	99.9
MBM-59	8.5	352	2.437	450	2.446	2.442	45 sgds. Mesa vibradora	97.0	99.5
MBM-60	7.5	364	2.448	464	2.458	2.453	60 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-61	8.5	356	2.452	459	2.450	2.451	120 sgds. Mesa vibradora	98.9	99.9

HN TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-62	8.5	332	2.427	418	2.434	2.431	5 golpes en 2 capas - Apisonado	90.1	99.1
MBM-63	7.5	354	2.440	436	2.438	2.439	9 golpes en 2 capas - Apisonado	94.0	99.4
MBM-64	8.0	364	2.460	444	2.446	2.453	18 golpes en 2 capas - Apisonado	95.7	100.0
MBM-65	8.0	356	2.431	448	2.443	2.437	36 golpes en 2 capas - Apisonado	96.6	99.3
MBM-66	8.0	361	2.443	452	2.446	2.445	72 golpes en 2 capas - Apisonado	97.4	99.7

En éste hormigón, un hormigón estructural (normal) con dosis de cemento 350 kg/m³ y un asentamiento de cono de diseño 8.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de la mezcla compactada 60 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada (similar a sus antecesores). Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

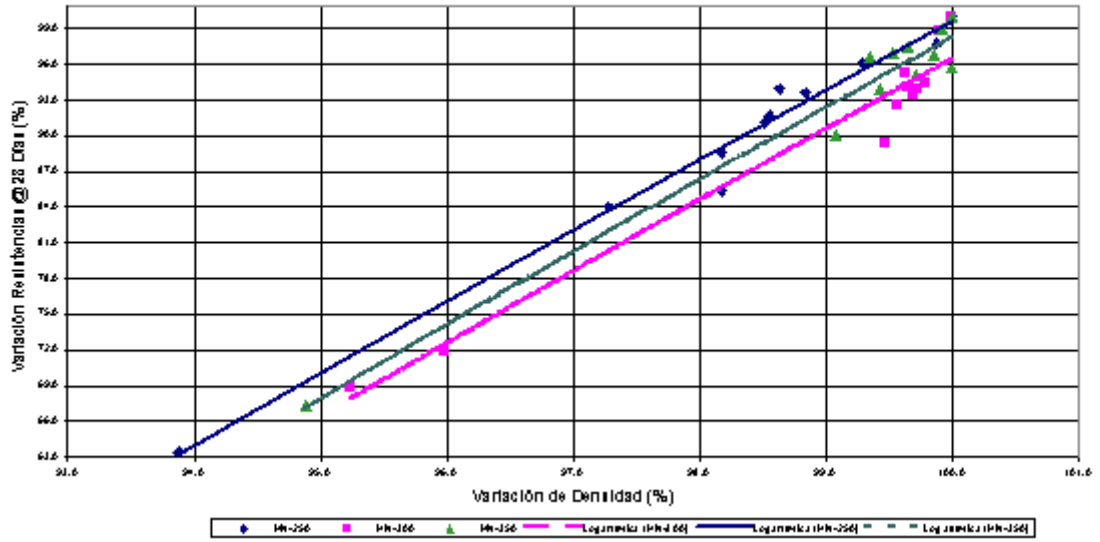
Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una perdida de resistencia de un 14%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (optima), se obtienen resistencias disminuidas en un 8% respecto a lo proyectado.

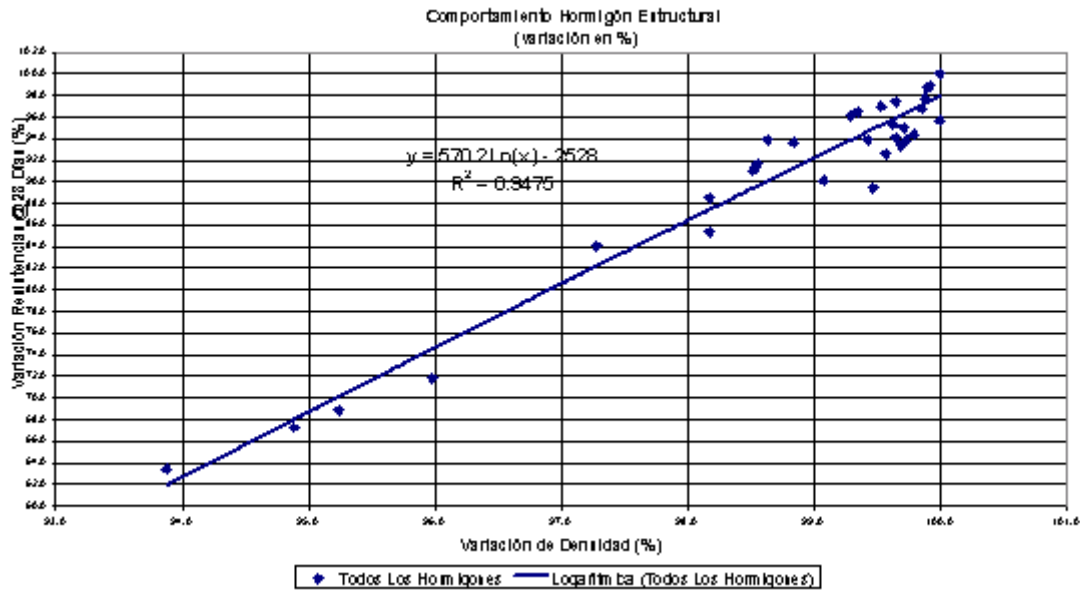
Comportamiento Hormigón Estructural
350 kg/m3 de cemento (variación en %)



Resumen hormigones estructurales

Comportamiento Hormigón Normal Estructural
 Distribución de cemento (variación en %)





Al agrupar las curvas obtenidas se puede señalar claramente que estas presentan un comportamiento similar. A raíz de lo cual se resumen en una sola en el segundo gráfico, en donde se postula la curva de corrección general para los hormigones estructurales, ésta es :

$$Y = 570.2 \ln(x) - 2528$$

Con los datos entregados, al igual que el hormigón de pavimento, es notorio el efecto de la disminución de la densidad en la resistencia obtenida.

También es importante destacar que con las mezclas vibradas se obtuvieron densidades mayores que las que fueron apisonadas. Basándose en lo que referencia la norma, es decir 8 golpes cada 100 cm² para muestras apisonadas, las probetas compactadas de esta forma precisamente no fueron en las que se obtuvo una densidad mayor, verificándose en gran parte de las mezclas que la densidad aumentaba en proporción al aumento de la razón de golpes por área de compactación.

Por cuanto es una buena práctica el compactar todas las muestras en lo posible mediante equipos vibradores.

Serie de hormigones Bombeables

Serie Hormigón Bombeable ; 300 kg/m³ de cemento

HB TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-67	11.5	247	2.350	320	2.364	2.357	Hormigon suelto	90.9	97.1
MBM-68	12.0	260	2.403	334	2.413	2.408	15 sgds. Mesa vibradora	94.9	99.2
MBM-69	12.5	280	2.424	346	2.416	2.420	30 sgds. Mesa vibradora	98.0	99.7
MBM-70	12.0	256	2.438	352	2.415	2.427	45 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-71	12.0	254	2.429	346	2.425	2.427	60 sgds. Mesa vibradora	98.0	100.0
MBM-72	11.5	256	2.425	352	2.424	2.425	120 sgds. Mesa vibradora	100.0	99.9

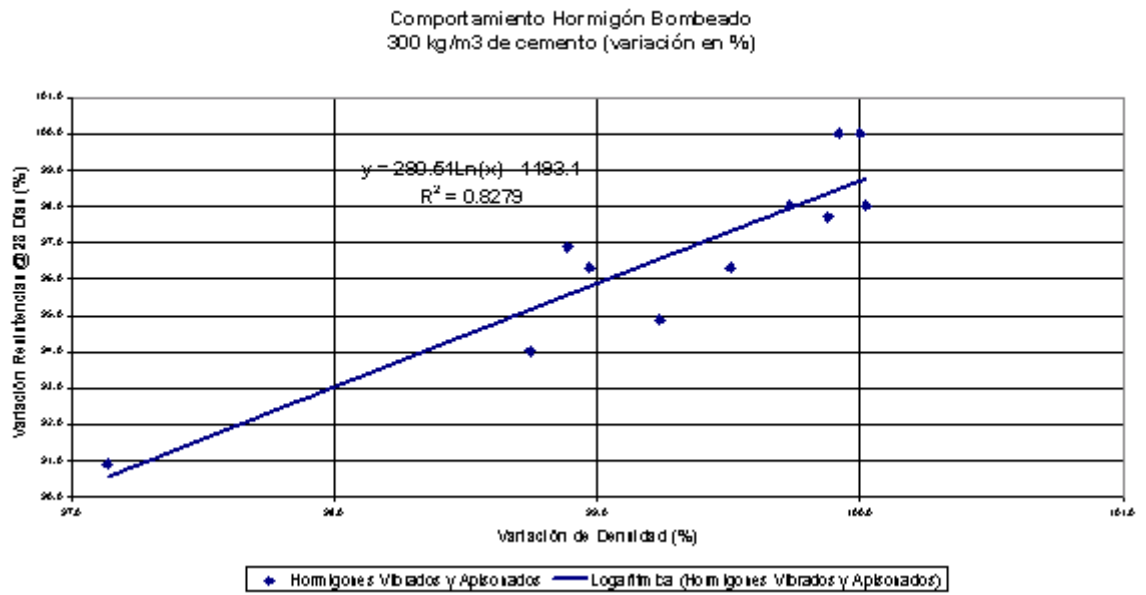
HB TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm ³	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACIÓN	VARIACIÓN %	
		R7	kg/dm ³	R28	kg/dm ³			Resistencia	Densidad
MBM-73	11.5	258	2.378	331	2.414	2.396	5 golpes en 2 capas - Apisonado	94.0	98.7
MBM-74	12.0	231	2.391	341	2.408	2.400	9 golpes en 2 capas - Apisonado	96.9	98.9
MBM-75	12.0	246	2.401	339	2.402	2.402	18 golpes en 2 capas - Apisonado	96.3	99.0
MBM-76	12.0	241	2.409	339	2.420	2.415	36 golpes en 2 capas - Apisonado	96.3	99.5
MBM-77	12.0	252	2.427	344	2.420	2.424	72 golpes en 2 capas - Apisonado	97.7	99.9

En éste hormigón, un hormigón Bombeable con dosis de cemento 300 kg/m³ y un asentamiento de cono de diseño 12.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de las mezclas compactadas 45 y 60 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencias a compresión máximas registradas. Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 7%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (óptima), se obtienen resistencias disminuidas en un 4% respecto a lo proyectado.

Lo que lleva a concluir que mientras más fina o pastosa es la mezcla, menor es el efecto de la pérdida de densidad en la resistencia. Debido a esto el comportamiento de los hormigones bombeables que son diseñados con mayor contenido de finos, presentan un comportamiento levemente distinto a los hormigones de pavimento y a los

estructurales.



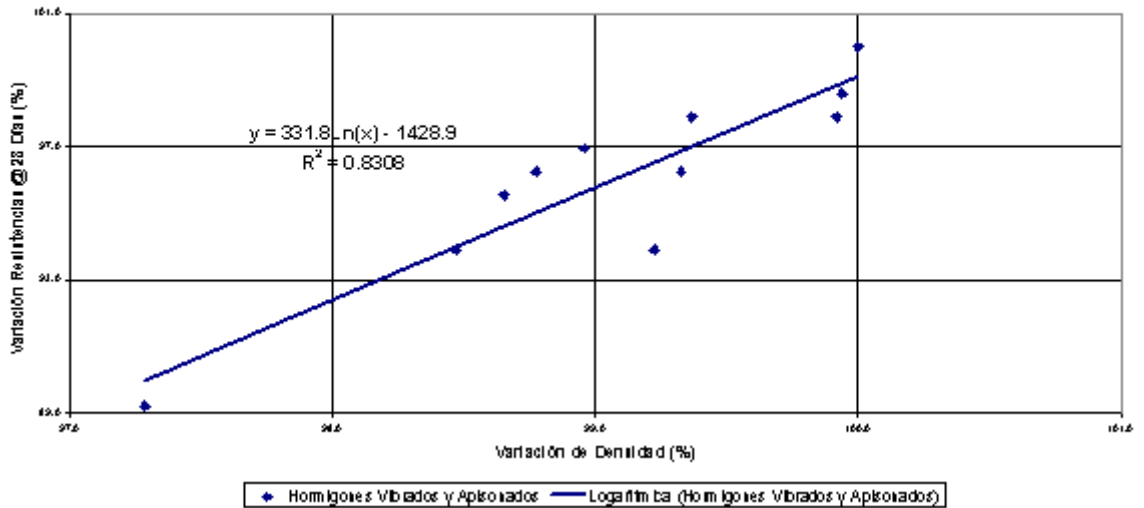
Serie Hormigón Bombeable ; 350 kg/m3 de cemento

HB TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACION	VARIACION %	
		R7	kg/dm3	R28	kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-78	12.0	279	2.377	380	2.388	2.383	Hormigon suelto	89.2	97.3
MBM-79	12.5	304	2.410	400	2.419	2.430	15 sgds. Mesa vibradora	93.9	99.2
MBM-80	11.5	313	2.435	417	2.432	2.434	30 sgds. Mesa vibradora	97.9	99.4
MBM-81	12.0	319	2.460	426	2.438	2.449	45 sgds. Mesa vibradora	100.0	100.0
MBM-82	12.0	310	2.460	417	2.434	2.447	60 sgds. Mesa vibradora	97.9	99.9
MBM-83	12.0	315	2.453	420	2.442	2.448	120 sgds. Mesa vibradora	98.6	99.9

HB TIPO	Cono obtenido cm	RESISTENCIAS COMPRESION CUBICA 20*20 CM				Densidad Promedio kg/dm3	OBSERVACIONES VARIABLE DE DOSIFICACION	VARIACION %	
		R7	kg/dm3	R28	kg/dm3			Resistencia	Densidad
MBM-84	12.0	263	2.403	400	2.420	2.412	5 golpes en 2 capas - Apisonado	93.9	98.5
MBM-85	12.0	280	2.410	407	2.422	2.416	9 golpes en 2 capas - Apisonado	95.5	98.7
MBM-86	12.0	273	2.410	410	2.428	2.419	18 golpes en 2 capas - Apisonado	96.2	98.8
MBM-87	12.0	274	2.435	410	2.430	2.433	36 golpes en 2 capas - Apisonado	96.2	99.3
MBM-88	12.0	281	2.421	413	2.426	2.424	72 golpes en 2 capas - Apisonado	96.9	99.0

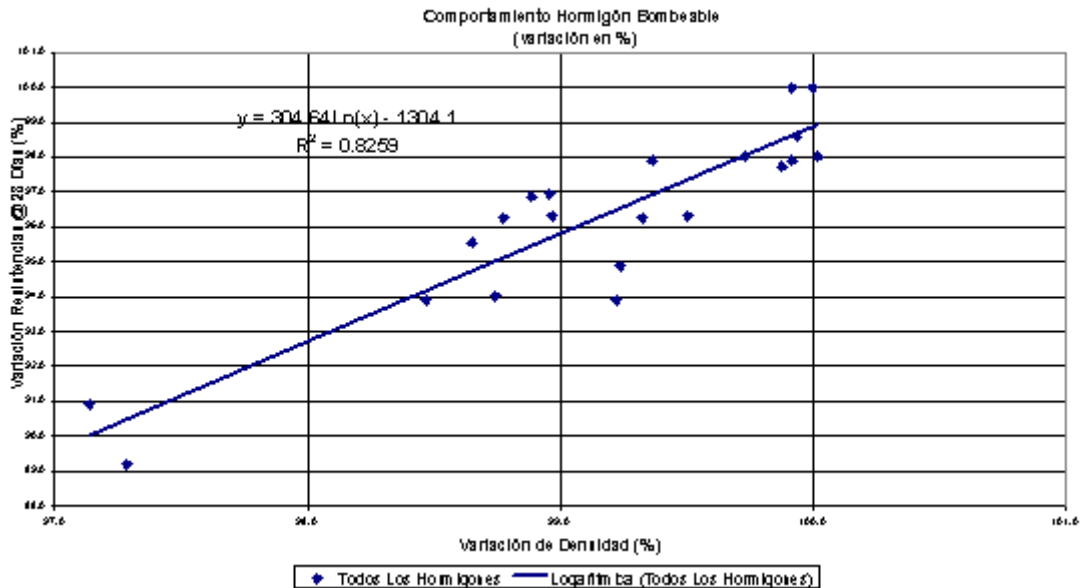
En éste hormigón, un hormigón Bombeable con dosis de cemento 350 kg/m3 y un asentamiento de cono de diseño 12.0 cm, se puede verificar que la densidad mayor es obtenida en el caso de las mezcla compactada 45 segundos en la mesa vibradora, éste valor a su vez coincide con la resistencia a compresión máxima registrada. Ambos datos están asociados a un 100%, cuya magnitud sirve de comparación con el resto de sus congéneres.

Comportamiento Hormigón Bombeado
350 kg/m³ de cemento (variación en %)



Del gráfico podemos por ejemplo deducir que si se produce una disminución de densidad de un 2%, deriva en una pérdida de resistencia de un 8%. Asimismo, si la densidad es inferior en 1% a la esperada (óptima), se obtienen resistencias disminuidas en un 4% respecto a lo proyectado.

Se reitera la tendencia planteada en mezcla anterior (HB 300 kg/m³), en que la disminución de la densidad en la resistencia, no es tan fuerte como en los hormigones de pavimento y los estructurales también llamados normales.



S e

agrupan resultados obtenidos, postulando una curva de corrección general para los hormigones bombeables, ésta es :

$$Y = 304.64 \ln(x) - 1304.1$$

Si bien la pérdida de resistencia provocada por la menor densidad es evidente, ésta resulta más leve que en el caso de los hormigones de pavimento y normales. En todo caso se mantiene la tendencia a registrar mejor comportamiento las mezcla compactadas por vibración que las apisonadas.

Cuadro Resumen de densidades registradas en la experiencia

Resumen de Densidades

N° golpes	HP250	HP300	HP350	HN250	HN300	HN350	HB300	HB350
Suelto	2.201	2.228	2.243	2.315	2.341	2.328	2.357	2.383
5	2.388	2.394	2.370	2.396	2.323	2.431	2.396	2.412
9	2.409	2.417	2.398	2.418	2.426	2.439	2.400	2.416
18	2.432	2.425	2.404	2.428	2.429	2.453	2.402	2.419
36	2.429	2.421	2.443	2.427	2.434	2.437	2.415	2.433
72	2.437	2.433	2.454	2.430	2.430	2.445	2.424	2.424
Vib.seg	HP250	HP300	HP350	HN250	HN300	HN350	HB300	HB350
Suelto	2.201	2.228	2.243	2.315	2.341	2.328	2.357	2.383
15	2.426	2.438	2.437	2.421	2.431	2.446	2.408	2.430
30	2.420	2.443	2.446	2.438	2.433	2.450	2.420	2.434
45	2.446	2.447	2.445	2.449	2.437	2.442	2.427	2.449
60	2.444	2.444	2.460	2.456	2.439	2.453	2.427	2.447
120	2.442	2.443	2.446	2.463	2.432	2.451	2.425	2.448

Hormigones apisonados, revisión de norma NCH-1017 of75

Análisis de todos los hormigones, compactados por apisonado; teniendo presente que la norma establece límites de descenso de cono para aceptar un método de compactación.

Esta norma indica, que hormigones de cono a <5 cm debe ser vibrado, $5 \leq a \leq 10$ puede ser vibrado o apisonado y $10 < a$ apisonado.

En el siguiente gráfico se puede apreciar que siguiendo el procedimiento indicado por la norma, es correcto vibrar los hormigones de cono a <5 cm, sin embargo para el rango $5 \leq a \leq 10$ el hormigón tiene una pérdida 6% aprox. Respecto de un referente compactado a máxima compacidad.

Para el caso de $10 < a$ la situación es menos perjudicial, ya que la pérdida es del orden de 4%.

Como se puede apreciar en el gráfico el grado de compactación apisonado de 18 golpes por cada 100 cm² en dos capas, no permite acercarse a una pérdida cercana a 0% aunque se aumente el número de golpes hasta 72 por cada 100 cm². Esto indica que todos los hormigones, independiente de su trabajabilidad y dosis de cemento deben ser compactados por medios mecánicos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES, IMPACTO Y RECOMENDACIONES

Los resultados son concluyentes; la pérdida en la densidad a causa de una deficiente compactación, influye de forma determinante en el desarrollo de las resistencias.

Es así, que para una disminución de 1% en la densidad, los valores de resistencia presentan bajas de entre 4% y 9%. Es decir, que si el hormigón fuese del tipo H30 supondríamos una pérdida de 12 a 27 kgf/cm² en los valores.

Si la disminución de densidad rondara el 2%, las resistencias sufrirían un deterioro de entre 8% y 14%. Es decir, que si el hormigón fuese del tipo H30 supondríamos una pérdida en la resistencia entre 24 y 52 kgf/cm².

Llamativa es la importancia del tipo de compactación que se ejerce a los especímenes o elementos de hormigón, independiente de su docilidad es recomendable que estos sean **vibrados**, ya que de esta forma se obtienen los mejores resultados.

La disminución de resistencia resulta más acentuada en hormigones de textura más gruesa (pavimentos), que los de graduación más fina (bombeados).

El comportamiento de la relación densidad v/s relación de resistencia, para cada tipo de hormigón, se puede resumir en las siguientes curvas, las cuales proponemos para utilizar en especial, en controversias técnicas en que se requieran :

Hormigones de pavimento **$y = 470.42 \text{ Ln}(x) - 2069.5$**

Hormigones normales **$y = 570.20 \text{ Ln}(x) - 2528.0$**

Hormigones Bombeables **$y = 304.64 \text{ Ln}(x) - 1304.1$**

En que y = variación de resistencia (%), x = variación de densidad (%).

Por ejemplo, si tenemos un hormigón en que he obtenido una densidad de un 99% respecto de lo esperado (1% de reducción) :

Hormigones de pavimento $y = 470.42 \text{ Ln}(99) - 2069.5$; $y = 92.14\%$

Hormigones normales $y = 570.20 \text{ Ln}(99) - 2528.0$; $y = 92.14\%$

Hormigones Bombeables $y = 304.64 \text{ Ln}(99) - 1304.1$; $y = 95.76\%$

En el caso de ser hormigón de pavimento debo esperar una pérdida en la resistencia de $100 - 92.14 = 7.86\%$. Si éste es un hormigón estructural (normal), debo esperar una disminución en la resistencia de $100 - 92.14 = 7.86\%$. Finalmente si el hormigón es bombeable, debo esperar una reducción de $100 - 95.76 = 4.24\%$ en los valores de resistencia.

Ante lo expuesto, resulta muy significativo la calidad del muestreo para controlar los hormigones de una obra determinada. Tanto es así que se debe terminar con prácticas inadecuadas, como el compactar muestras de pavimento (conos menores a 5 cm) apisonando las probetas, o el usar equipos vibradores en mal estado. Todo ello lleva a compactaciones deficientes, cuya influencia en el resultado de las resistencias no es cuantificable inmediatamente.

No importa la calidad del hormigón que se esté utilizando, si nuestros métodos de compactación son inadecuados, estaremos arriesgando de forma permanente la durabilidad de los elementos y las cualidades resistentes del producto.

La dosis de cemento, como quedó demostrado en los gráficos, no es una variable relevante, la preocupación fundamental debe estar en los métodos de consolidación usados y el estado de los equipos.