

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HORMIGÓN COMPACTADO CON PAVIMENTADORA

Arias, C; Adanaqué, I; Buestán, M.

Maestría en Administración de la Producción y Gestión de Calidad

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral

04-2269388, 042269287 Guayaquil-Ecuador

cristian.arias@holcim.com, iadanaque@hotmail.com, mbuestan@espol.edu.ec

RESUMEN

Este artículo trata sobre la aplicación de las técnicas de Diseño de Experimentos en el proceso de elaboración de hormigón compactado con pavimentadora, el estudio nace debido a que se han generado problemas con clientes importantes y cuantiosas pérdidas de producto terminado.

Se realizó primero un diagnóstico de la situación actual, logrando detectar con un grupo de expertos cuales serían los factores que influyen directamente la calidad del producto, se estableció también cuales serían los niveles de cada factor y cual sería la variable respuesta. Luego se eligió un diseño factorial fraccionado tipo 2^{5-2} con cinco factores, puesto que el proyecto debía ajustarse a un presupuesto y no podían ser más de 12 experimentos.

Una vez realizados los experimentos, se detectaron los factores más influyentes en el proceso y cual era el comportamiento de la variable respuesta dependiendo de los niveles que utilizaba cada uno de estos factores. Finalmente se citan las conclusiones y recomendaciones que nos permiten optimizar el proceso como resultado del estudio.

SUMMARY

This article is about the application of the technique of Design of Experiments in the paved concrete's process with roller. This project was born because of a high generation of problems with important clients and plentiful lost of finished product.

First, it was made a diagnose of the real situation. A group of experts achieved to detect which would be the factors that have direct influence in the quality of the product. They also established the levels of each factor and the answer variable. After they selected a fraction factorial design 2^{5-2} with five factors, due to the fact that the analysis had to fit to budget and only 12 experiments could be made.

Once the experiments were finished, the more influential factors in the process were detected and which was the behavior of the answer variable depending on the levels that used each factor. Finally the conclusions and recommendations are quoted, that will allow the optimization the process as a result of the analysis.

Palabras claves: Hormigón, mezcla, aditivo, pavimentadora, operador.

1. EL HORMIGÓN PREMEZCLADO Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN

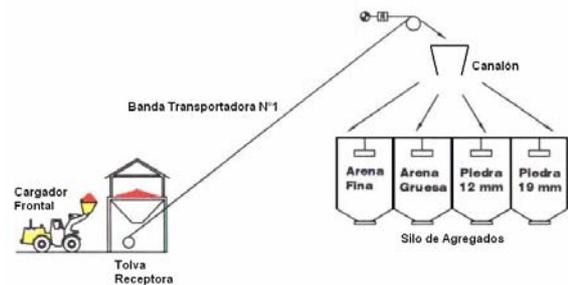
1.1. Definición de hormigón premezclado.

El hormigón es un material compuesto, que consiste de manera esencial en una mezcla uniforme, entre cemento, agua, agregados de diversos tamaños y aditivos.

El cemento y el agua se combinan químicamente y cuando se seca forma un material parecido a la roca.

El porcentaje de los elementos que componen el hormigón es de 45% de agregado fino (arena), 34% de agregado grueso, 13% de cemento y 8% de agua.

El hormigón premezclado se dosifica y se mezcla en la planta hormigonera, fuera del sitio del proyecto, y se entrega por medio de camiones hormigoneros en el área de construcción en estado fresco.



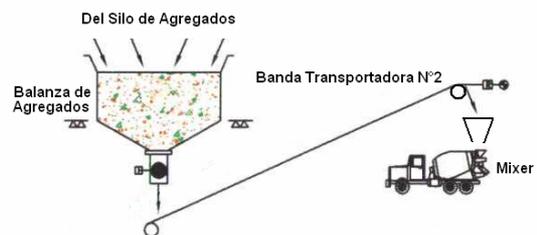
El silo de agregados alimenta a una balanza (celdas de carga) y la cantidad de material lo determina el tipo de hormigón a producirse.

La balanza de dosificación de agregados alimenta de material a una banda transportadora de rodillos (Banda Transportadora 2), que descarga el material a la tolva de dosificación hacia los camiones Mixer, la descarga es directa y en seco.

1.2. Descripción del proceso de elaboración del hormigón premezclado.

Se puede describir el proceso de elaboración del hormigón premezclado de la siguiente manera:

El material agregado es transportado por camiones (bañeras y volquetes), desde la mina de agregados hasta la Planta



Hormigonera y su peso es controlado al ingreso a la planta.

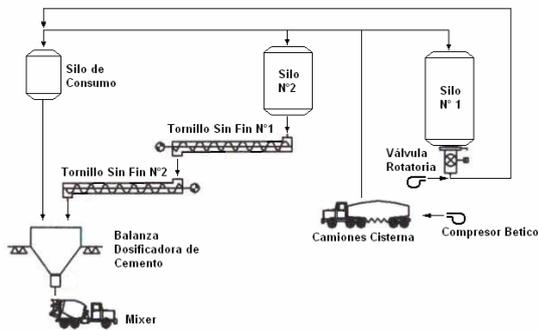
El material agregado es apilado en campos abiertos y según el tipo de material. Al material agregado se le da un tratamiento de hidratación (una corrección de humedad para el diseño).

Un Cargador Frontal alimenta de material agregado a una tolva receptora, y esta a su vez alimenta de material a una banda transportadora de rodillos (Banda Transportadora 1), que transporta el material hasta el Silo de agregados. En el interior del Silo existen varios compartimentos, en donde el material se distribuye mediante un canalón a cada compartimiento según su tipo.

El Cemento es trasladado desde las plantas de Cemento en camiones cisternas hasta la planta Hormigonera y su peso es controlado al ingreso a la planta. El Cemento es descargado a través de un compresor hacia los silos de reserva o stock (Silo 1 y Silo 2 de 350ton y 105ton respectivamente). Mediante un transportador Neumático (soplador y una válvula rotatoria), el cemento es transportado al silo de consumo; al sufrir una falla en el transporte neumático, existe un transporte por medio de un Tornillo sin fin que se encuentra en silo 2 y alimenta a otro transportador de Tornillo sin fin que alimenta a la balanza dosificadora de cemento y esta a su vez directamente a los camiones hormigoneros. Todos los silos tienen un sistema de aereador y vibradores eléctricos que cumplen la función de evitar que el cemento se pegue a las paredes de los silos.

El Silo de consumo de cemento alimenta a una balanza mediante una válvula tipo mariposa, en donde la cantidad de

cemento lo determina el tipo de hormigón a producirse.



La dosificación de agua se la realiza mediante una bomba y un contador de agua.

La dosificación de aditivos se controla mediante sensores y una bomba.

La mezcla entre cemento, agregados, agua y aditivo se produce en el tambor de transporte de los camiones Mixer.

El hormigón se traslada hacia los lugares de construcción en los camiones Mixer.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTIFICO

2.1 DEFINICION DEL PROBLEMA CIENTIFICO

En Ecuador, en el campo de la construcción, existen deficiencias en el proceso de elaboración de Hormigón compactado con Pavimentadoras, lo cual ha generado problemas con clientes importantes y cuantiosas pérdidas de Producto terminado.

Por lo cual se intenta descubrir los factores que afectan directamente en la calidad del HCP y cual sería el diseño óptimo que garantice la calidad correspondiente.

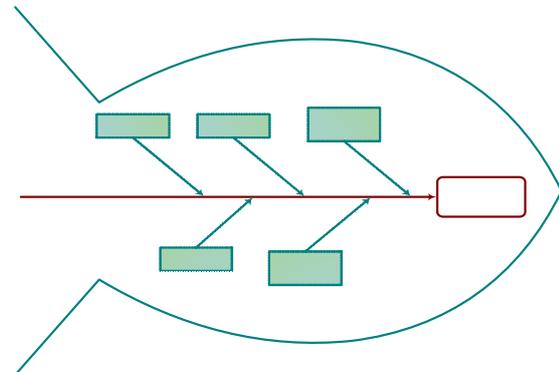
2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN DEL HCP

El porcentaje de Compactación medido por un Densímetro nuclear, es la variable de respuesta que se obtiene para determinar la calidad del HCP.

Para determinar los factores que influyen en la calidad del HCP (Porcentaje de compactación), se realizó una tormenta de ideas con especialistas en el Tema del

HCP, de donde se anotaron los siguientes factores:

DIAGRAMA CAUSA-EFECTO: FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN DEL HCP



De donde

Porcentaje de Aditivo: Es fundamental, puesto que es el que da la característica aglutinante que permite aumentar la compactación, pero en mucha cantidad o en mínima cantidad sería un agente que le reste compactación al HCP. Se han decidido trabajar a dos niveles: Un nivel al 5% y otro nivel al 10%.

Pavimentadora: Es fundamental, puesto que, al no estar el equipo mecánicamente apto, no se logrará una compactación adecuada. En la Planta se cuenta con dos equipos de Pavimentación, los cuales están codificados con los números 1005 y 1006.



Pavimentadora 1006

Operador de Pavimentadora: Es fundamental, puesto que una mala operación o buena operación del equipo hace que mejore o disminuya el nivel de compactación del HCP.

En la Planta se cuenta con dos Operadores, el uno con poca experiencia: Sr. Peña y otro con gran experiencia: Sr. Ponce.

Tipo de Mezcla de Hormigón: Es fundamental, puesto que, dependiendo de la cantidad de cemento de la Mezcla se logra obtener un HCP más compactado, en donde el limitante es que mientras más cemento contenga la Mezcla el margen de utilidad disminuirá. Por efectos, de hacer un proyecto que logre cuantificar ganancias se intentará Trabajar con dos Tipos de Mezclas: Una Mezcla con Bajo contenido de cemento y una mezcla con Mediano contenido de cemento. No se consideran mezclas de alto contenido de cemento, puesto que es un producto costoso y no podría competir en el mercado.

Temperatura Hormigón: Es fundamental, puesto que el paso del Hormigón a Concreto (Proceso de Compactación y endurecimiento) es una Reacción Endotérmica, en donde la temperatura de la mezcla juega un papel importante.

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.-

Optimización del proceso de elaboración de hormigón compactado con pavimentadora

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

- ▶ Determinar una tecnología de diagnóstico que permita detectar los problemas que inciden en una mala compactación del HCP.
- ▶ Determinar las causas principales de los factores que inciden en la compactación del HCP.
- ▶ Diseñar una tecnología adecuada que permita lograr aumentar el

porcentaje de compactación del HCP a un bajo costo.

- ▶ Validar la tecnología diseñada y comprobar su efectividad con un decremento en los costos de Producción de HCP.

Para efectos de acercamiento al tema que vamos a resolver, es importante conocer los siguientes términos:

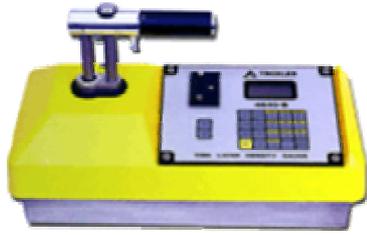
Factor de compactación (Compacting factor).- Es la relación que se obtiene dividiendo la masa observada del hormigón, que llena un recipiente de tamaño y forma normalizados al permitir que caiga dentro de dicho recipiente bajo condiciones de ensayo normalizadas, por la masa de hormigón totalmente compactado que llena el mismo recipiente.

Densímetro nuclear

El uso de medidores de nucleares ha sido ampliamente extendido en diversas aplicaciones industriales (medidores de espesor de papel, control de llenado, medidores de humedad, medidores de densidad etc.).



El densímetro nuclear es un medidor nuclear que sirve para cuantificar la densidad y la humedad en control de compactación (carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, represas de agua, estructuras de tierra, puentes y otras estructuras, etc.), en construcción de asfaltos (superficies de carreteras, parqueaderos, etc.), en control de humedad de suelos y en investigaciones geofísicas in situ.



El densímetro nuclear tiene dos fuentes radiactivas una es de Cs-137 el cual es un emisor de radiación gamma y sirve para cuantificar la densidad.

Hormigón compactado con pavimentadora

El pavimento rígido (HCP) es utilizado en el mundo entero como sinónimo de desarrollo y progreso por las muchas ventajas que éste ofrece sobre otros métodos de pavimentación. En Estados Unidos y Alemania son la base de su sistema interestatal de carreteras.



En América del Sur, son pocos los países que cuentan con experiencia en este tipo de tecnologías.

La primera parte consiste en preparar la capa base, operación que requiere remover la capa superficial y compactar el suelo. También conocida como la preparación de la sub-rasante, esta etapa comprende todas las operaciones necesarias para obtener una superficie de apoyo del pavimento que sea lisa, compacta y homogénea. Una vez preparada la sub-rasante, se puede proceder al colocado del hormigón.

La pavimentadora extiende, compacta y termina el hormigón en una sola pasada. Sobre la capa base, y mientras la misma mantenga sus condiciones de estabilidad y humedad, se coloca el hormigón, en descargas sucesivas, distribuyéndolo en todo el ancho de la calzada o faja a

hormigonar y con un espesor tal que, al compactarlo, resulte el indicado para el pavimento en las especificaciones del proyecto.

Una vez compactado el hormigón, se procede a la fase de terminación del mismo, dando a la superficie características de textura tales que al mismo tiempo faciliten el rodamiento y la hagan antideslizante.

Finalmente se mide el Porcentaje de Compactación con el densímetro nuclear.

4. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

Para la realización del siguiente proyecto se asignó un presupuesto de 8000 USD, por lo cual se pueden realizar no más de 12 experimentos.

Por lo tanto se va a utilizar un diseño factorial fraccionado tipo 2^{5-2} con cinco factores, lo cual nos da un total de 8 experimentos.

Cada experimento toma una duración de dos horas y media, por lo cual se los hará dos por cada día de la semana, de ocho a una de la tarde.

FACTORES Y NIVELES DE EXPERIMENTACIÓN

MEZCLA	
BAJO CEMENTO	
MEDIO CEMENTO	
PORCENTAJE ADITIVO	
5%	
10%	
PAVIMENTADORA	
1005	
1006	
OPERADOR PAV	
PONCE	
PEÑA	

TEMP. HORMIGON
25°C
30°C

VARIABLE DE RESPUESTA

La variable de respuesta es el porcentaje de Compactación, el cual debe ser mayor o igual al 95%, caso contrario el producto es rechazado.

EXPERIMENTACIÓN

Para la experimentación, por medio de Minitab se obtiene una matriz de experimentación aleatoria:

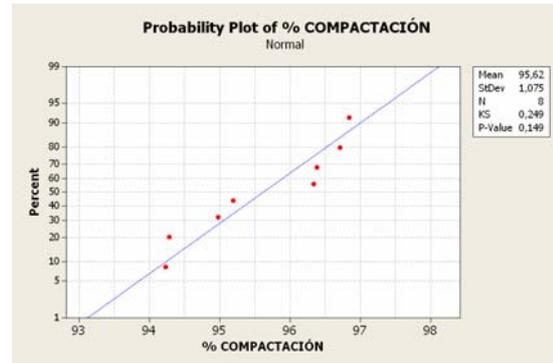
MEZCLA	PORCENTAJE ADITIVO	PAVIMENTADORA	OPERADOR PAV	TEMP. HORMIGON
BAJO CEMENTO	5%	1005	PONCE	30°C
MEDIO CEMENTO	10%	1005	PONCE	25°C
BAJO CEMENTO	10%	1005	PEÑA	30°C
MEDIO CEMENTO	10%	1006	PONCE	30°C
MEDIO CEMENTO	5%	1006	PEÑA	30°C
BAJO CEMENTO	10%	1006	PEÑA	25°C
MEDIO CEMENTO	5%	1005	PEÑA	25°C
BAJO CEMENTO	5%	1006	PONCE	25°C

Una vez obtenidos los datos podemos observar que:

MEZCLA	% ADITIVO	PAVIMENTADORA	OPERADOR PAV	TEMP. HORMIGON	% COMPACTACIÓN
BAJO CEMENTO	5%	1005	PONCE	30°C	96,34
MEDIO CEMENTO	5%	1005	PEÑA	25°C	94,23
BAJO CEMENTO	10%	1005	PEÑA	30°C	96,71
MEDIO CEMENTO	10%	1005	PONCE	25°C	94,98
BAJO CEMENTO	5%	1006	PONCE	25°C	96,38
MEDIO CEMENTO	5%	1006	PEÑA	30°C	94,28
BAJO CEMENTO	10%	1006	PEÑA	25°C	96,84
MEDIO CEMENTO	10%	1006	PONCE	30°C	95,19

En ciertos casos no se obtiene el porcentaje de compactación igual o superior al 95%.

Una vez tomados los datos (Variable de respuesta) se procede a realizar el test de Normalidad (Kolmogorov-Smirnov)



Con lo cual se asegura que los datos (Variable de respuesta) se ajustan a una curva normal.

Luego de donde se procede al análisis del Diseño Factorial Fraccionado:

Ecuaciones Generadoras

$$1. D = AB$$

$$2. E = AC$$

Ecuación Generatriz

$$I + ABD + ACE + BCDE$$

$$A + BD + CE + ABCDE$$

$$B + AD + CDE + ABCE$$

$$C + AE + BDE + ABCD$$

$$D + AB + BCE + ACDE$$

$$E + AC + BCD + ABDE$$

$$BC + DE + ABE + ACD$$

$$BE + CD + ABC + ADE$$

Pruebas de Hipótesis:

Factor A: Tipo de Mezcla

H_0 : No hay efecto debido al factor A

H_1 : Si hay efecto debido al factor A

Factor B: % de Aditivo

H_0 : No hay efecto debido al factor B

H_1 : Si hay efecto debido al factor B

Factor C: Pavimentadora

H_0 : No hay efecto debido al factor C

H_1 : Si hay efecto debido al factor C

Factor D: Operador de Pavimentadora

H_0 : No hay efecto debido al factor D

H_1 : Si hay efecto debido al factor D

Factor E: Temperatura Hormigón

H_0 : No hay efecto debido al factor E

H_1 : Si hay efecto debido al factor E

Fractional Factorial Design

Factors: 5
 Base Design: 5. 8
 Resolution: III
 Runs: 8
 Replicates: 1
 Fraction: 1/4
 Blocks: 1
 Center pts (total): 0

* NOTE * Some main effects are confounded with two-way interactions.

Design Generators: D = AB. E = AC

Defining Relation: I = ABD = ACE = BCDE

Estimated Effects and Coefficients for % COMPACTACIÓN (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		95,6188
MEZCLA	-1,8975	-0,9487
% ADITIVO	0,6225	0,3112
PAVIMENTADORA	0,1075	0,0537
OPERADOR PAV	0,2075	0,1037
TEMP. HORMIGON	0,0225	0,0112
% ADITIVO*PAVIMENTADORA	0,0625	0,0313
% ADITIVO*TEMP. HORMIGON	0,0175	0,0087

Analysis of Variance for % COMPACTACIÓN (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	8,08626	8,08626	1,61725	*	*
2-Way Interactions	2	0,00843	0,00843	0,00421	*	*
Residual Error	0				*	*
Total				7		8,09469

Estimated Coefficients for % COMPACTACIÓN using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	95,6188
MEZCLA	-0,948750
% ADITIVO	0,311250
PAVIMENTADORA	0,0537500
OPERADOR PAV	0,103750
TEMP. HORMIGON	0,0112500
% ADITIVO*PAVIMENTADORA	0,0312500
% ADITIVO*TEMP. HORMIGON	0,00875000

Least Squares Means for % COMPACTACIÓN

	Mean
MEZCLA	
BAJO CEMENTO	96,57
MEDIO CEMENTO	94,67
% ADITIVO	
5%	95,31
10%	95,93
PAVIMENTADORA	
1005	95,57
1006	95,67
OPERADOR PAV	
PEÑA	95,52
PONCE	95,72
TEMP. HORMIGON	
25°C	95,61
30°C	95,63

% ADITIVO*PAVIMENTADORA		
5% 1005		95,29
10% 1005		95,85
5% 1006		95,33
10% 1006		96,02
% ADITIVO*TEMP. HORMIGON		
5% 25°C		95,31
10% 25°C		95,91
5% 30°C		95,31
10% 30°C		95,95

Alias Structure

I + MEZCLA*% ADITIVO*OPERADOR PAV + MEZCLA*PAVIMENTADORA*TEMP. HORMIGON + % +ADITIVO *PAVIMENTADORA * OPERADOR PAV*TEMP. HORMIGON

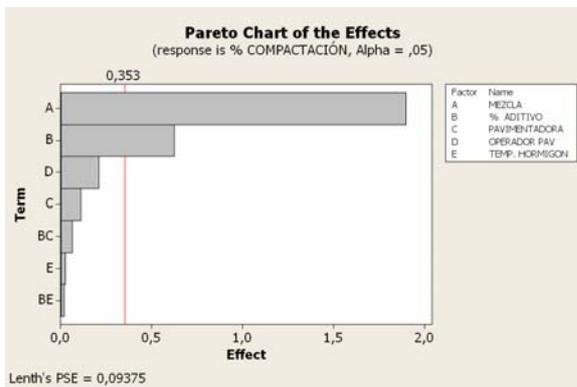
MEZCLA + % ADITIVO*OPERADOR PAV + PAVIMENTADORA*TEMP. HORMIGON + MEZCLA*% ADITIVO* PAVIMENTADORA* OPERADOR PAV*TEMP. HORMIGON

% ADITIVO + MEZCLA*OPERADOR PAV + PAVIMENTADORA*OPERADOR PAV*TEMP. HORMIGON + MEZCLA*% ADITIVO*PAVIMENTADORA*TEMP. HORMIGON

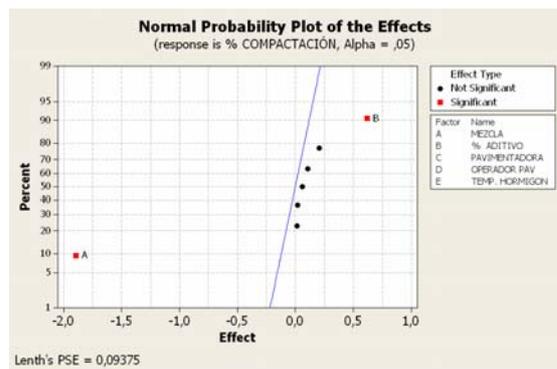
PAVIMENTADORA + MEZCLA*TEMP. HORMIGON + % ADITIVO*OPERADOR PAV*TEMP. HORMIGON+ MEZCLA*% ADITIVO*PAVIMENTADORA*OPERADOR PAV

OPERADOR PAV + MEZCLA*% ADITIVO
 + % ADITIVO*PAVIMENTADORA*TEMP.
 HORMIGON + MEZCLA*
 PAVIMENTADORA*OPERADOR PAV*
 TEMP. HORMIGON
 TEMP. HORMIGON + MEZCLA
 *PAVIMENTADORA + % ADITIVO
 *PAVIMENTADORA*OPERADOR PAV
 +MEZCLA*% ADITIVO*OPERADOR
 PAV*TEMP. HORMIGON
 % ADITIVO*PAVIMENTADORA +
 OPERADOR PAV*TEMP. HORMIGON +
 MEZCLA*% ADITIVO*TEMP. HORMIGON
 +MEZCLA*PAVIMENTADORA*OPERADOR
 PAV
 % ADITIVO*TEMP. HORMIGON +
 PAVIMENTADORA*OPERADOR PAV +
 MEZCLA*% ADITIVO*PAVIMENTADORA
 + MEZCLA*OPERADOR PAV*TEMP.
 HORMIGON

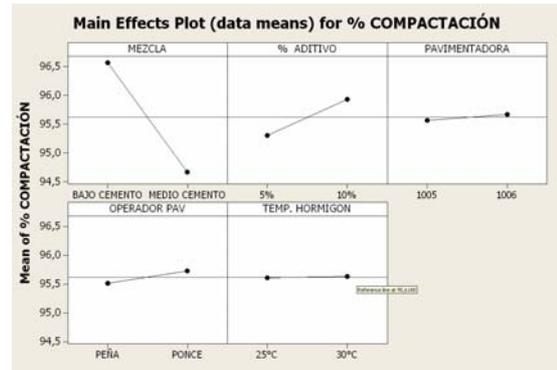
Según el diagrama de Pareto que se muestra a continuación, se puede observar claramente que se tienen dos efectos significativos, los cuales son : El Tipo de Mezcla y el Porcentaje de Aditivo.



Con el Gráfico de Daniel, que se muestra a continuación, se corrobora que se tienen dos efectos principales que son significativos:



En la siguiente gráfica se puede observar que el Porcentaje de Compactación del HCP aumenta para el caso del tipo de Mezcla a bajo nivel, a un 10% de Aditivo (Nivel Alto), Utilizando la Pavimentadora moderna 1006, con el Operador de Mayor experiencia y a una temperatura del Hormigón de 30°C.



Como se puede visualizar, una mayor pendiente afecta directamente a la variable de respuesta, con lo cual La Mezcla y el Porcentaje de Aditivo son dos factores principales y significativos. Los otros factores podemos indicar que son despreciables en el orden de significancia (No afectan en más del 0,3% del Porcentaje de Compactación).

EXPERIMENTACIÓN FINAL

Según el presupuesto asignado para el proyecto, se tienen 4 Experimentos, los cuales nos ayudarán a corroborar lo descrito en líneas anteriores.

Se va a proceder a experimentar considerando:

Tipo de Mezcla: Nivel Bajo Cemento
 Porcentaje de Aditivo: Nivel Alto 10%
 Temperatura Hormigón: 30°C Nivel Alto
 Para el caso de las Pavimentadoras y Operadores, se va a experimentar aleatoriamente con ellos con el fin de determinar Estadísticos básicos que me permitan concluir el proyecto.

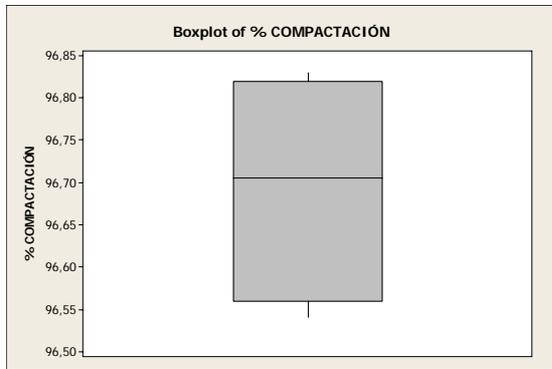
	C1-T	C2-T	C3-T	C4	C5-T	C6
	MEZCLA	%ADITIVO	TEMPERATURA HORMIGON	PAVIMENTADORA	OPERADOR	% COMPACTACIÓN
1	BAJO CEMENTO	10%	30°C		1005 PEÑA	96,54
2	BAJO CEMENTO	10%	30°C		1005 PONCE	96,83
3	BAJO CEMENTO	10%	30°C		1006 PEÑA	96,62
4	BAJO CEMENTO	10%	30°C		1006 PONCE	96,79

Con lo cual podemos observar satisfactoriamente que el Porcentaje de Compactación supera el 95%. De donde se obtienen los siguientes Estadísticos:

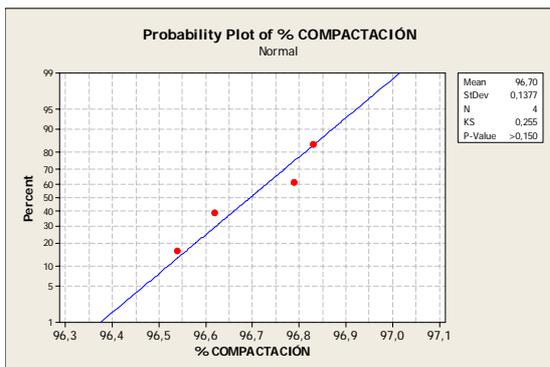
Descriptive Statistics: % COMPACTACIÓN

Variable	Compactación
Mean	96,695
StDev	0,138
Variance	0,019
Minimun	96,540
Median	96,705
Maximun	96,830

Adicionalmente se obtiene el siguiente diagrama de cajas



Se realiza el test de Normalidad de los datos:



Con los datos tomados podemos efectuar un análisis de un diseño factorial completo 2² el cual nos arroja los siguientes resultados:

Full Factorial Design

Factors:	2	Base Design:	2. 4
Runs:	4	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	0

All terms are free from aliasing.

Design Table

Run	A	B
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Factorial Fit: % COMPACTACION versus PAVIMENTADORA. OPERADOR

Estimated Effects and Coefficients for % COMPACTACION (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		96,6950
PAVIMENTADORA	0,0200	0,0100
OPERADOR	0,2300	0,1150
PAVIME*OPERADOR	-0,0600	-0,0300

Analysis of Variance for % COMPACTACION (coded units)

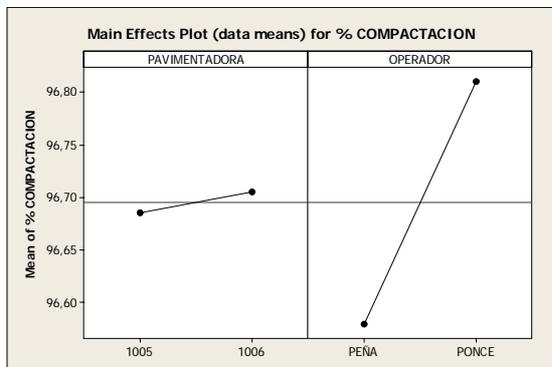
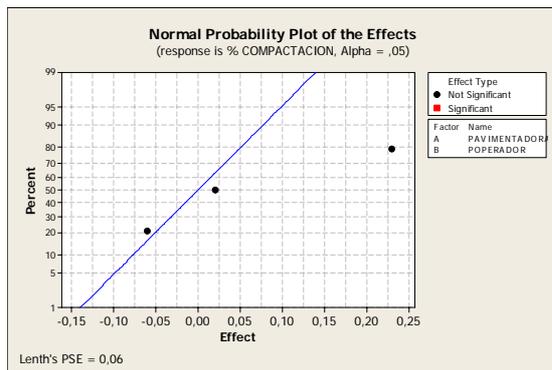
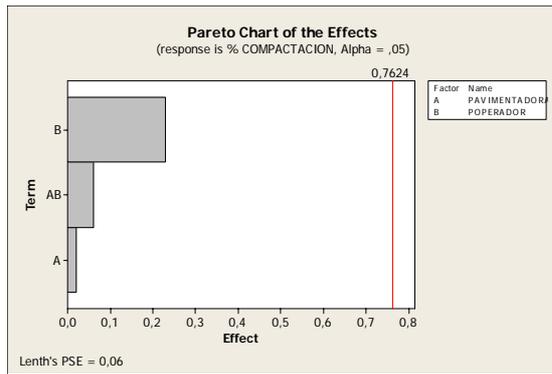
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0,053300	0,053300	0,026650	*	*
2-Way Interactions	1	0,003600	0,003600	0,003600	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	3	0,056900				

Estimated Coefficients for % COMPACTACION using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	96,6950
PAVIMENTADORA	0,0100000
POPERADOR	0,115000
PAVIM*OPERADOR	-0,0300000

Least Squares Means for % COMPACTACION

	Mean
PAVIMENTADORA	
1005	96,69
1006	96,71
OPERADOR	
PEÑA	96,58
PONCE	96,81
PAVIMENTADORA*OPERADOR	
1005 PEÑA	96,54
1006 PEÑA	96,62
1005 PONCE	96,83
1006 PONCE	96,79



Lo cual nos confirma a breves rasgos que los efectos ocasionados por los factores Operador y Pavimentadora no son significantes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez culminado el presente proyecto, se puede concluir que los efectos principales que impactan directamente en el Porcentaje de Compactación del HCP, son:

**Tipo de Mezcla
Porcentaje de Aditivo**

Se recomienda trabajar con mezclas con un contenido medio de cemento, con lo cual se obtiene un margen de utilidad mayor, debido a que no se insiste en colocar más cemento para lograr el porcentaje de compactación deseado. Adicionalmente al contenido medio de cemento se recomienda utilizar un 10% de aditivo. Considerando estos factores a los niveles indicados se asegura que la compactación requerida por los clientes.

Adicionalmente hay que considerar que una descalibración de la Máquina Pavimentadora o una mala operación de la misma tiraría al traste el porcentaje de compactación. Para lo primero, se lo controla con un buen Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con lo cual la Compactación dependería necesariamente de una buena Operación de la máquina pavimentadora.

Se concluye que la temperatura del Hormigón no influye, y es un efecto no significativo.

Con el presente proyecto se logra resolver un problema que hasta ahora ha causado pérdidas económicas y el desconcierto al respecto de los factores que inciden en la compactación.

Finalmente se logró obtener un nivel de compactación adecuado utilizando una mezcla pobre en cemento, lo cual da un mayor margen de utilidad con respecto a la mezcla rica en cemento, lo cual es ganancia para la empresa por cada metro cúbico de HCP vendido.

6. BIBLIOGRAFÍA

1.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS, PHD. RAMÓN FRANCIS, APUNTES MAPRO-ESPOL, GUAYAQUIL-ECUADOR, OCTUBRE 2006.

2.- ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS, HUMBERTO GUTIERREZ PULIDO & ROMÁN DE LA VARA SALAZAR, EDITOTIAL MC GRAW HILL, 1° EDICIÓN, MEXICO 2003.

3.- HORMIGÓN COMPACTADO CON PAVIMENTADORA, REVISTA LA CEMENTO NACIONAL, MAYO 2001, GUAYAQUIL-ECUADOR.