



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Base de Agregados Estabilizados con Cemento”

### TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

### INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Rommel Javier Correa Alvarez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que forman parte del Centro Técnico del Hormigón, que de uno u otro modo colaboraron para la realización de éste trabajo, de manera especial al Ing. Hugo Egúez, Director de Tesis, por su valiosa ayuda.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado al  
esfuerzo y apoyo que día a día  
me ha brindado mi querida  
familia: MIS PADRES Y MIS  
HERMANOS



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN




---

Ing. Hugo Egúez A.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Eduardo Santos B.  
VOCAL




---

Ing. Carmen Terreros de V.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)



Rommel Javier Correa Alvarez

---

Rommel Javier Correa Alvarez



## RESUMEN

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Este trabajo enfoca el análisis de comportamiento de materiales triturados que se los utiliza para base y subbase para carreteras, mezclados con bajas proporciones de cemento y humedad, influenciadas por una carga de compactación.

Los materiales utilizados se los obtuvo de 4 canteras: Calizas Huayco que tritura piedra caliza, cantera Verdú y Cantera Luzagui, que trituran basalto y cantera Cadmen que tritura material aluvial del río Bulubulu.

De estos materiales utilizados se da a conocer diferentes propiedades físicas necesarias para los diferentes metodologías utilizadas en laboratorio, se incluye también como capítulo un método para distintas clases de materiales, desarrollado por la PCA, Portland Cement Association, para el diseño de espesor de bases estabilizadas con cemento y la respectiva dosificación de la mezcla.

Con los materiales obtenidos se realizaron 5 pruebas considerando el origen de los agregados, se presenta en el capítulo 7 los resultados de todos los ensayos realizados, y su respectivo análisis en el siguiente capítulo.

Se realizó una de éstas pruebas a escala industrial, de cuya experiencia da origen a los capítulos 4 y 6 de este trabajo.

Finalmente en el capítulo 9 se da a conocer las conclusiones obtenidas de todas las pruebas realizadas, como también su respectiva recomendación.

# INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL .....	IV
INDICE DE GRAFICOS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE FOTOS.....	XIV
INDICE DE ANEXOS.....	XVI

## CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.1 Bases: Bases granulares, bases estabilizadas con cemento	3
1.2 Objetivos.....	6

## CAPITULO 2

2. AGREGADOS. ....	7
2.1 Tipos de agregado.....	8
2.1.1 Agregado natural.....	10
2.1.2 Agregado triturado.....	10
2.2 Propiedades de los agregados.....	10
2.2.1 Densidad.....	10





2.2.2	Peso Volumétrico.....	BIBLIOTECA FICT ESPOL	12
2.2.3	Absorción y Porosidad.....		15
2.2.4	Granulometrías.....		17
2.2.4.1	Granulometría de agregados finos.....		19
2.2.4.2	Granulometría de agregados gruesos.....		21
2.2.4.3	Módulo de finura.....		22
2.2.4.4	Límites granulométricos propuestos.....		23
2.2.5	Abrasión de los Angeles.....		25
2.2.6	Resumen de las propiedades de los agregados utilizados.....		26

### **CAPITULO 3**

#### **3. DISEÑO DE LA BASE DE AGREGADOS ESTABILIZADA**

	CON CEMENTO (BAEC).....		29
3.1	Diseño de espesor de la BAEC.....		29
3.1.1	Características de la relación Carga – Deformación.....		30
3.1.2	Resistencia a la fatiga.....		31
3.1.3	Carga por rueda y radio del área cargada.....		34
3.1.4	Radio del área de contacto para ejes tándem y trídem.....		37
3.1.5	Concepto de consumo por fatiga.....		37
3.1.6	Manejo de los ábacos de diseño.....		39
3.1.7	Ejemplo de diseño de espesor de suelo cemento.....		42
3.2	Dosificación de la Base.....		45
3.2.1	Método simplificado de la Portland Cement Association.....		48

3.2.1.1 Método A.....	48
3.2.1.2 Método B.....	52
3.2.2 Ejemplo de utilización del método simplificado de la PCA.....	54
3.3 Consideraciones tomadas para el desarrollo de este trabajo.....	59

## **CAPITULO 4**

4. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	62
4.1 Procedimiento constructivo.....	64
4.2 Ventajas.....	70
4.3 Usos.....	74

## **CAPITULO 5**

5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.....	75
5.1 Materiales Utilizados.....	75
5.1.1 Agregados.....	75
5.1.2 Cemento.....	83
5.1.3 Aditivo Polyheed R1.....	85
5.1.4 Agua.....	86
5.2 Equipos.....	86
5.3 Metodologías.....	87
5.3.1 Granulometrías.....	88
5.3.2 Prueba Proctor.....	92
5.3.3 Preparación de las muestras.....	98

5.3.4 Prueba de ultrasonido.....	108
5.3.5 Resistencia a la compresión de las muestras.....	109

**CAPITULO 6**

6. PRUEBA A ESCALA INDUSTRIAL.....	112
6.1 Prueba San Eduardo 1.....	112
6.2 Prueba San Eduardo 2.....	123
6.3 Obtención de las probetas y ensayos.....	126

**CAPITULO 7**

7. RESULTADOS.....	134
7.1 Prueba 1.....	136
7.2 Prueba 2.....	142
7.3 Prueba 3.....	149
7.4 Prueba 4.....	158
7.5 Prueba 5.....	165
7.6 Prueba San Eduardo 1 y 2.....	171



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

**CAPITULO 8**

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	182
8.1 Análisis de probetas obtenidas en el ensayo proctor, a 7 días.....	183
8.2 Análisis de probetas con la humedad óptima a distintas edades....	187
8.3 Análisis de probetas con la humedad óptima de igual edad.....	191

8.4 Análisis de la prueba no. 3.....	193
8.5 Análisis de los resultados de la Prueba San Eduardo.....	196
8.5.1 Compactación.....	196
8.5.2 Densidad de núcleos.....	200
8.5.3 Resistencia a la compresión de núcleos a los 7 días.....	204
8.5.4 Prueba de ultrasonido de varios núcleos a los 7 días.....	207
<b>CAPITULO 9</b>	
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	209
ANEXOS.....	212
BIBLIOGRAFIA.....	221

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.1	Distribución de cargas de tráfico.....	5
Gráfico 2.1	Límites granulométricos para agregado fino.....	20
Gráfico 2.2	Límites granulométricos establecidos para este trabajo.....	24
Gráfico 2.3	Límites granulométrico establecidos por el MOP.....	26
Gráfico 3.1	Abaco para el diseño de espesor en suelo-cemento fino-granular.....	35
Gráfico 3.2	Abaco para el diseño de espesor en suelo-cemento grueso-granular.....	35
Gráfico 3.3	Areas equivalentes para llantas simples y dobles.....	36
Gráfico 3.4	Radio del área de contacto.....	36
Gráfico 3.5	Ejemplo de calculo de espesor de BAEC.....	45
Gráfico 3.6	Abaco de densidad aparente máxima estimada Método A...	49
Gráfico 3.7	Abaco de contenido de cemento Método A.....	50
Gráfico 3.8	Abaco de resistencia mínima a 7 días Método A.....	51
Gráfico 3.9	Abaco de densidad aparente máxima estimada Método B...	52
Gráfico 3.10	Abaco de contenido de cemento Método B.....	53
Gráfico 3.11	Abaco de resistencia mínima a 7 días Método B.....	55
Gráfico 3.12	Ejemplo: Calculo de densidad aparente máxima estimada...	56
Gráfico 3.13	Ejemplo: Calculo de contenido de cemento.....	56
Gráfico 3.14	Ejemplo: Calculo de resistencia mínima a 7 días.....	58
Gráfico 3.15	Muestras que pasan los ensayos ASTM D559 y D 560.....	60
Gráfico 4.1	Traslape de fajas.....	70
Gráfico 5.1	Cemento.....	84
Gráfico 5.2	Curva granulométrica de la mezcla de agregados.....	92
Gráfico 5.3	Ensayo proctor, curva de densidad – humedad.....	97
Gráfico 5.4	Prueba de ultrasonido.....	108
Gráfico 6.1	Tramo realizado en prueba San Eduardo 1.....	114
Gráfico 6.2	Forma de tendido de Prueba San Eduardo 1 y 2.....	123
Gráfico 6.3	Traslape de fajas.....	125
Gráfico 6.4	Ubicación del calado de probetas de prueba San Eduardo...	126
Gráfico 6.5	Grafico L/D vs Factor ASTM C-42.....	129
Gráfico 7.1	Granulometría del agregado grueso Piedra # 56.....	136
Gráfico 7.2	Granulometría del agregado grueso Piedra # 78.....	137
Gráfico 7.3	Granulometría del agregado fino Arena Triturada Homog....	138
Gráfico 7.4	Mezcla de materiales Prueba 1.....	139
Gráfico 7.5	Ensayo Proctor, curva de densidad humedad prueba 1.....	140
Gráfico 7.6	Granulometría del agregado grueso Piedra # 56.....	142
Gráfico 7.7	Granulometría del agregado grueso Piedra # 78.....	143
Gráfico 7.8	Granulometría del agregado fino Arena Natural Peralta 6....	144



Gráfico 7.9	Granulometría del agregado fino Arena Natural Guayaquil 2.	145
Gráfico 7.10	Mezcla de materiales Prueba 2.....	146
Gráfico 7.11	Ensayo Proctor, curva de densidad humedad prueba 2.....	147
Gráfico 7.12	Granulometría del agregado grueso Subbase 38mm.....	149
Gráfico 7.13	Granulometría del agregado fino subbase 5mm.....	150
Gráfico 7.14	Granulometría del agregado fino Arena Natural Guayaquil 2.	151
Gráfico 7.15	Mezcla de materiales Prueba 3.....	152
Gráfico 7.16	Ensayo Proctor (3% de cemento), curva de densidad humedad prueba 2.....	153
Gráfico 7.17	Ensayo Proctor (4% de cemento), curva de densidad humedad prueba 2.....	154
Gráfico 7.18	Granulometría del agregado grueso Base IIA Luzagui.....	158
Gráfico 7.19	Granulometría del agregado grueso ½ a 1 ½ Luzagui.....	159
Gráfico 7.20	Granulometría del agregado fino 3/8 Verdú.....	160
Gráfico 7.21	Granulometría del agregado fino Cisco Luzagui.....	161
Gráfico 7.22	Mezcla de materiales Prueba 4.....	162
Gráfico 7.23	Ensayo Proctor, curva de densidad humedad prueba 4.....	163
Gráfico 7.24	Granulometría completa piedra base Cadmen.....	165
Gráfico 7.25	Granulometría del agregado fino Silo 2-2 reserva municipal.	166
Gráfico 7.26	Granulometría del agregado fino Arena Natural Peralta 4.....	167
Gráfico 7.27	Mezcla de materiales Prueba 5.....	168
Gráfico 7.28	Ensayo Proctor, curva de densidad humedad prueba 5.....	169
Gráfico 7.29	Granulometría del agregado grueso Subbase 38mm.....	171
Gráfico 7.30	Granulometría del agregado fino subbase 5mm.....	172
Gráfico 7.31	Granulometría del agregado fino Arena Natural Guayaquil 2.	173
Gráfico 7.32	Mezcla de materiales Prueba San Eduardo 1.....	174
Gráfico 7.33	Mezcla de materiales Prueba San Eduardo 2.....	175
Gráfico 7.34	Ubicación de las perforaciones de donde se obtuvieron las probetas (núcleos).....	177
Gráfico 8.1	Resistencia de probetas de prueba proctor, prueba 1 .....	183
Gráfico 8.2	Resistencia de probetas de prueba proctor, prueba 2 .....	183
Gráfico 8.3	Resistencia de probetas de prueba proctor (al 3% de cemento), prueba 3 .....	184
Gráfico 8.4	Resistencia de probetas de prueba proctor (al 4% de cemento), prueba 3 .....	184
Gráfico 8.5	Resistencia de probetas de prueba proctor, prueba 4 .....	185
Gráfico 8.6	Resistencia de probetas de prueba proctor, prueba 5 .....	185
Gráfico 8.7	Resistencia vs tiempo, prueba 1.....	187
Gráfico 8.8	Resistencia vs tiempo, prueba 2.....	187
Gráfico 8.9	Resistencia vs tiempo, prueba 3 (al 3 % de cemento).....	188
Gráfico 8.10	Resistencia vs tiempo, prueba 3 (al 4 % de cemento).....	188
Gráfico 8.11	Resistencia vs tiempo, prueba 4.....	189
Gráfico 8.12	Resistencia vs tiempo, prueba 5.....	189
Gráfico 8.13	Resistencia de probetas a los 7 días.....	191



Gráfico 8.14	Resistencia de probetas a los 14 días.....	191
Gráfico 8.15	Resistencia de probetas a los 28 días.....	192
Gráfico 8.16	Resistencia vs tiempo prueba 3, (al 3 y 4% de cemento).....	193
Gráfico 8.17	Velocidad del sonido prueba 3 (al 3 % de cemento).....	194
Gráfico 8.18	Velocidad del sonido prueba 3 (al 4 % de cemento).....	195
Gráfico 8.19	Densidad de campo, capa de 30 cm de espesor prueba San Eduardo 1.....	197
Gráfico 8.20	Densidad de campo, capa de 15 cm de espesor prueba San Eduardo 1.....	198
Gráfico 8.21	Densidad de campo, primera capa de 15 cm de espesor prueba San Eduardo 2.....	199
Gráfico 8.22	Densidad de campo, primera capa de 15 cm de espesor Pasado rodillo, prueba San Eduardo 2.....	199
Gráfico 8.23	Densidad de campo, segunda capa de 15 cm de espesor prueba San Eduardo 2.....	200
Gráfico 8.24	Densidad aparente de núcleos, parte superior prueba San Eduardo 1.....	201
Gráfico 8.25	Densidad aparente de núcleos, parte inferior prueba San Eduardo 1.....	201
Gráfico 8.26	Densidad aparente núcleos de prueba San Eduardo 1.....	202
Gráfico 8.27	Densidad aparente de núcleos, parte superior prueba San Eduardo 2.....	203
Gráfico 8.28	Densidad aparente de núcleos, parte inferior prueba San Eduardo 2.....	203
Gráfico 8.29	Densidad aparente núcleos de prueba San Eduardo 2.....	204
Gráfico 8.30	Resistencia a la compresión simple núcleos prueba San Eduardo 1.....	205
Gráfico 8.31	Resistencia a la compresión simple núcleos prueba San Eduardo 2.....	205
Gráfico 8.32	Velocidad del sonido en varios núcleos prueba San Eduardo 2.....	207

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación según el origen de la roca.....	9
Tabla 2	Densidades de varias rocas.....	12
Tabla 3	Masa unitaria de varias rocas.....	14
Tabla 4	Absorción de varios agregados.....	17
Tabla 5	Peso mínimo de muestra para cribado.....	18
Tabla 6	Límites granulométricos para agregado fino Norma ASTM C 33-9919.....	19
Tabla 7	Tamices serie estándar.....	22
Tabla 8	Cálculo del módulo de finura.....	23
Tabla 9	Materiales utilizados.....	26
Tabla 10	Propiedades de los materiales utilizados.....	28
Tabla 11	Coefficientes de consumo de fatiga.....	40
Tabla 12	Ejemplo Aplicaciones de cargas en la vida de diseño.....	42
Tabla 13	Cálculo del factor de fatiga.....	43
Tabla 14	Fracciones de suelo según su tamaño.....	47
Tabla 15	Contenido típico de cemento para los distintos ensayos.....	59
Tabla 16	Materiales utilizados - procedencia.....	76
Tabla 17	Ejemplo de mezcla de materiales.....	91
Tabla 18	Tipos de ensayos proctor.....	93
Tabla 19	Dosificación de las diferentes pruebas .....	135
Tabla 20	Resistencia de probetas (Ensayo proctor) C. Huayco Prueba 1 .....	141
Tabla 21	Resistencia de probetas con humedad optima 5.9% C. Huayco Prueba 1.....	141
Tabla 22	Resistencia de probetas (Ensayo proctor) C. Huayco Prueba 2 .....	148
Tabla 23	Resistencia de probetas con humedad optima 5.5% C. Huayco Prueba 2.....	148
Tabla 24	Resistencia de probetas (Ensayo proctor al 3% de cemento) C. Huayco + arena natural Prueba 3.....	155
Tabla 25	Resistencia de probetas (Ensayo proctor al 4% de cemento) C. Huayco + arena natural Prueba 3.....	155
Tabla 26	Resistencia de probetas con humedad optima 5% (al 3% de cemento) C. Huayco + arena natural Prueba 3.....	156
Tabla 27	Resistencia de probetas con humedad optima 4.3% (al 4% de cemento) C. Huayco + arena natural Prueba 3.....	156
Tabla 28	Velocidad de sonido de probetas con humedad optima 5% (al 3% de cemento) C. Huayco + arena natural Prueba 3.....	157
Tabla 29	Velocidad de sonido de probetas con humedad optima 4.3%	



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**



	(al 4% de cemento) C. Huayco + arena natural Prueba 3.....	157
Tabla 30	Resistencia de probetas (Ensayo proctor) C. Luzagui + arena natural fina Prueba 4.....	164
Tabla 31	Resistencia de probetas con humedad optima al 6.5% C. Luzagui + arena natural fina Prueba 4.....	164
Tabla 32	Resistencia de probetas (Ensayo proctor) C. Cadmen + arena natural fina Prueba 5.....	170
Tabla 33	Resistencia de probetas con humedad optima al 5.7% C. Cadmen + arena natural fina Prueba 5.....	170
Tabla 34	Densidades de campo de pruebas San Eduardo 1 y 2.....	176
Tabla 35	Pesos de rodillos utilizados en prueba San Eduardo.....	177
Tabla 36	Densidad aparente de especimenes calados en pruebas San Eduardo 1.....	178
Tabla 37	Densidad aparente de especimenes calados en pruebas San Eduardo 2.....	179
Tabla 38	Resistencia a la compresi3n simple y pruebas de Ultrasonido de probetas caladas .....	180
Tabla 39	Resistencias de cilindros realizados en prueba San Eduardo 2.....	181
Tabla 40	Prueba de ultrasonido de cilindros realizados en prueba San Eduardo 2.....	181
Tabla 41	C3lculo de humedad de mezcla realizada durante la prueba San Eduardo 2.....	181

## INDICE DE FOTOS

Foto 1	Pavimentadora Vögele.....	63
Foto 2	Guías de pavimentadora.....	64
Foto 3	Inicio del tendido de la BAEC.....	65
Foto 4	Medición de la densidad de campo por medio de densímetro nuclear .....	67
Foto 5	Corte en el borde de la base para colocar faja siguiente.....	68
Foto 6	Compactación manual de junta longitudinal.....	69
Foto 7	Compactación con rodillo.....	69
Foto 8	Arena Peralta y piedra ASTM 56 – C. Huayco.....	76
Foto 9	Piedra ASTM 78 – C. Huayco.....	77
Foto 10	Arena Triturada homogeneizada – C. Huayco.....	77
Foto 11	Arena Peralta – C. Huayco.....	78
Foto 12	Grueso de subbase 38 mm – C Huayco.....	78
Foto 13	Arena Guayaquil 2 y finos de subbase triturado 5 mm Arenera Guayaquil y C Huayco respectivamente.....	79
Foto 14	Piedra base II A Luzagui.....	79
Foto 15	Piedra ½ -1 ½ Luzagui .....	80
Foto 16	Piedra 3/8 Verdú.....	80
Foto 17	Cisco Luzagui.....	81
Foto 18	Piedra Base Cadmen.....	81
Foto 19	Silo 2-2 Reserva municipal La Troncal.....	82
Foto 20	Cantera Luzagui.....	82
Foto 21	Peso de los agregados.....	99
Foto 22	Peso del cemento.....	99
Foto 23	Peso de las diferentes cantidades de agua.....	100
Foto 24	Peso del aditivo.....	100
Foto 25	Preparación de moldes para probeta.....	101
Foto 26	Mezcla de los materiales.....	101
Foto 27	Mezcla de componentes sin el agua.....	102
Foto 28	Mezcla de componentes + agua + aditivo.....	102
Foto 29	Mezcla húmeda lista para realizar probetas.....	103
Foto 30	Compactación de las capas en moldes.....	104
Foto 31	Compactación de una capa en el molde.....	104
Foto 32	Enrazado del molde listo para su extrusión.....	105
Foto 33	Extrusión parcial de probeta.....	106
Foto 34	Extrusión total de probeta.....	106
Foto 35	Curado de las probetas, cámara de humedad.....	107
Foto 36	Aparato para prueba de ultrasonido.....	109
Foto 37	Protección de probeta contra pérdida de humedad.....	110



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

Foto 38	Cappeado de la probeta.....	110
Foto 39	Aplicación de carga a la probeta (compresión simple).....	111
Foto 40	Líneas guía para la pavimentadora vögele.....	113
Foto 41	Línea guía para el operador de la pavimentadora.....	114
Foto 42	Superficie de la base.....	115
Foto 43	Verificación de espesor de base (30 cm).....	116
Foto 44	Verificación de deflexión transversal.....	116
Foto 45	Verificación de deflexión longitudinal.....	117
Foto 46	Verificación de deflexión longitudinal.....	117
Foto 47	Verificación de deflexión longitudinal.....	118
Foto 48	Prueba de densidad de campo.....	118
Foto 49	Compactación de la BAEC (30 cm de espesor).....	119
Foto 50	Inicio del tendido de base tramo a.....	120
Foto 51	No se logra confinamiento de bordes.....	120
Foto 52	Tendido de base Tramo b .....	121
Foto 53	Bordes de base de 15 cm de espesor.....	122
Foto 54	Prueba de densidad de campo.....	122
Foto 55	Compactación de la junta longitudinal.....	124
Foto 56	Perforación de base para obtener probetas.....	127
Foto 57	Taladro y broca de diamante.....	127
Foto 58	Probeta extraída BAEC.....	128
Foto 59	Probetas extraídas de BAEC.....	128
Foto 60	Probetas a cortar.....	130
Foto 61	Corte en las bases de la probeta.....	130
Foto 62	Probetas cortadas.....	131
Foto 63	Probetas listas para ponerle camping.....	131
Foto 64	Balanza de Arquímedes (calculo de la densidad).....	132
Foto 65	Peso de probeta en balanza de Arquímedes.....	132
Foto 66	Probetas a ensayarse a compresión simple.....	133
Foto 67	Prueba de compresión simple.....	133

## INDICE DE ANEXOS

### **Anexo 1**

1 Diseño de un pavimento rígido.....	212
1.1 Cálculo de espesor de losa para una subbase granular de.....	214
30 cm de espesor	
1.2 Cálculo de espesor de losa para una subbase estabilizada Con cemento de 15 cm de espesor.....	215
1.3 Comparación económica entre la base granular sin estabilizar y una la estabilizada .....	216
1.4 Tablas y fórmulas utilizadas para el cálculo.....	217

### **Anexo 2**

2 Clasificación del suelo.....	219
2.1 Sistema de clasificación AASHTO.....	219
2.2 Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	220

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCION

El presente trabajo trata sobre Bases de Agregados Estabilizadas con un bajo porcentaje de Cemento Pórtland Puzolánico 1P, realizadas con agregados de diferentes canteras cercanas a la zona de Guayaquil, se eligió trabajar con un porcentaje de cemento del 4% con respecto a la densidad seca, con este porcentaje se obtuvieron resistencias mayores de 6 MPa a los 7 días, que era la meta propuesta. También se probaron mezclas con porcentajes de Cemento del 3% pero no se lograron realizar las probetas por ser muy baja la cantidad de cemento utilizado, por lo que se procedió a trabajar con el 4% de cemento en todas las pruebas, obteniendo las probetas necesarias para por medio de ensayos de resistencia a la compresión y ultrasonido poder sacar información del comportamiento de los distintos materiales. Otros porcentajes superiores al 4% no se probaron, basándonos en investigaciones hechas por el ACI, donde expresa específicamente el comité ACI 230.1 R (gráfico 3.15, Pág. 60) que con una resistencia a la compresión simple de 6 Mpa a los 7 días, permite que las mezclas cumplan con los requisitos de durabilidad.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Se realizó una prueba a escala industrial de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento, donde se pudo afinar detalles del método constructivo para este tipo de bases, y se elaboró un capítulo en este trabajo.

### **1.1 Antecedentes**

La técnica de mezclar cemento Pórtland con material pétreo que le da a éste material, la propiedad de impermeabilidad que no tiene y al mismo tiempo le aumenta la resistencia, fue usada ya hace siglos en China donde se mezclaba tierra y cal para la realización de grandes construcciones.

A este material empleado por los chinos se lo conoce actualmente con el nombre de "mortero chino". A partir de estas pruebas y con la aparición del Cemento, se obtienen mejores resultados dando inicio a la técnica del suelo-cemento.

El uso de ésta técnica se lo realizaba con ayuda de máquinas para trabajos agrícolas, donde se mezcla el suelo con el cemento con la aradora. Un ejemplo de este forma de uso lo encontramos en Saracota Florida, donde en 1915 se procedió a mezclar conchas, arena y cemento [1]

En Norteamérica el uso de suelos granulares (bases) estabilizadas con cemento ha tenido gran acogida para la construcción de vías, pistas de aeropuertos, protección de canales.

#### **1.1.1 Bases: Bases Granulares, Bases de Agregados Estabilizadas con Cemento**

La base es la capa de la estructura de un pavimento situada bajo la capa de rodadura, su función es eminentemente resistente constituyendo en un elemento importante de la estructura, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y, su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tráfico suelen corresponder a la intensidad del tráfico pesado.

Un amplio rango de materiales son adecuados para su elaboración, siendo los más comunes los materiales granulares naturales, triturados, mixtos, tratados con un material ligante (mezclas bituminosas, mezclas estabilizadas con cemento).

En nuestro país el Ministerio de Obras Públicas MOP en su manual contempla rangos granulométricos que deben cumplir los suelos

granulares para ser considerados como una base del tipo I, II, III o IV.

Las **Bases de Agregados Estabilizados con Cemento** que para facilidad se abrevia como "**BAEC**", son producto de una mezcla física de agregados pétreos, cantidades medidas de cemento Portland y agua, que endurece después de compactarse y curarse para formar un material de pavimento durable.[1]

Algunas veces se usan otras designaciones, tales como bases estabilizadas con cemento o bases de agregados tratados con cemento

La BAEC es ampliamente usada como base para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas.



BIBLIOTECA PROF  
ESPOL

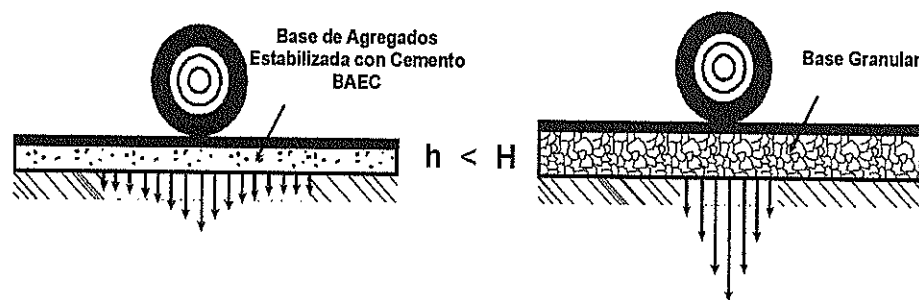
Como una consecuencia de la incorporación de cemento y por el desarrollo de resistencia, el espesor de la BAEC es menor que el requerido para bases granulares que soporten el mismo tráfico, porque la rigidez de la BAEC hace que las cargas de tráfico se distribuyan sobre un área mayor, haciendo disminuir los



esfuerzos sobre la subbase o sobre la subrasante.

Con la BAEC no sucede como con las bases granulares que pueden fallar cuando la interacción entre las partículas se pierde. Esta falla puede ocurrir cuando las partículas del suelo de la subrasante, forzadas a subir por las cargas del tráfico, penetran en la base.

La Impermeabilidad de la BAEC se mejora con respecto a la de una base granular por lo que es resistente a los ciclos de enfriamiento y de lluvia, y a los daños causados por las variaciones climáticas. Además, como consecuencia del fenómeno de hidratación del cemento, continúa ganando resistencia con la edad. [1]



**Gráfico 1.1 Distribución de las cargas de tráfico [1]**

## 1.2 Objetivos

Este trabajo tiene como finalidad, mezclar distintos materiales granulares originados por trituración, cumpliendo un límite granulométrico propuesto, estabilizándolos con cemento Pórtland, de manera que obtengamos resistencias iguales o superiores a 6 MPa a la edad de 7 días y estudiar su comportamiento a edades superiores, para poder ser utilizado como parte de la estructura de una vía, una pista de aeropuerto, lugares de estacionamiento, etc.

# CAPITULO 2



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## 1. AGREGADOS [2].

"Agregado", se le llama a un material de construcción relativamente inerte que disperso en la pasta de cemento confiere al hormigón principalmente, estabilidad de volumen y mayor durabilidad.

Debido a que el agregado ocupa entre el 85 y el 90% del volumen total de una mezcla de agregados estabilizada con cemento, se debe poner especial cuidado en su selección y dosificación.

Son varias las funciones que debe brindar un sistema de construcción, se citan las más importantes:

1. Resistencia interna adecuada y estabilidad para asimilar presiones superficiales con pocas deformaciones.
2. Resistencia a los efectos de deterioro causados por el clima y por agentes químicos.
3. Resistencia a los efectos de deterioro causados por la aplicación de cargas estáticas y dinámicas.
4. Resistencia a fuerzas internas y sus efectos como expansión y contracción.

5. Compatibilidad entre el cemento y el agregado.
6. Cumplimiento de normas aceptables de desempeño cuando se expone a tráfico superficial. Al respecto se deben considerar las siguientes propiedades de superficie:

- Resistencia al deslizamiento
- Rugosidad superficial
- Brillo y reflexión de luz
- Porosidad
- Desgaste por abrasión de neumáticos
- Propiedades acústicas
- Propiedades electrostáticas
- Aspecto

## **2.1 Tipos de Agregados**

Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a:

- a) Composición mineralógica – origen: Rocas Igneas, Sedimentarias, Metamórficas.
- b) Fuente de obtención de los mismos: Naturales, Triturados
- c) Modo de preparación: Agregados producidos con propósitos especiales, por ejemplo agregados de acero para hormigón pesado.

- d) Tamaño: Los agregados de acuerdo a su tamaño se clasifican en gruesos, aquellos que tienen más de 5mm y finos, aquellos menores o igual a 5mm

A continuación detallo el origen de algunos agregados que se encuentran en nuestro medio:

<b>Tabla 1. Clasificación según el origen de la roca [2].</b>	
Rocas Igneas	Granito Sienita Diorita Gabbro Peridotita Pegmatita Basalto Vidrio Volcánico
Rocas Sedimentarias	Conglomerado Arenisca Limolita Argilita-Lutita Caliza Chert
Rocas Metamórficas	Mármol Metacuarcita Gneiss Hornfel Pizarra Filita Esquisto Anfibolita Serpentinita

En este trabajo de investigación el material utilizado es una mezcla de materiales triturados (caliza, basalto) y arenas naturales, las cuales se mezclaron en distintas proporciones para poder cumplir especificaciones granulométricas necesarias que mas adelante doy a conocer.

### **2.1.1 Agregado Natural.**

Un agregado natural se considera al material granular que resulta de la disgregación y desgaste de las rocas. De forma general la mayoría de agregados naturales son de origen aluvial.

### **2.1.2 Agregado Triturado.**

Un agregado triturado es aquel material producido por la trituración de bloques de rocas extraídas por corte o explosión de grandes formaciones rocosas. Con este proceso se puede obtener de la trituración de una misma roca material para base, ripio, material fino (polvo, cisco) etc.

## **2.2 Propiedades de los Agregados [2]**

### **2.2.1 Densidad**

Las Rocas son un compuesto de una o más variedades de minerales, la densidad de la misma será determinada por los

tipos de minerales presentes en ella y por el empaquetamiento granular de los mismos.

Existen varios tipos de densidad, así tenemos la **ABSOLUTA** definida como la relación del peso de un sólido "excluyendo poros", con respecto a un volumen igual de agua destilada y libre de gases a determinada temperatura. Esta densidad es de determinación laboriosa. La roca debe pulverizarse. Afortunadamente para los fines de la tecnología del hormigón, esta densidad no se requiere para los trabajos. La **densidad APARENTE** se la define como la relación del peso del sólido secado al horno a 100 °C por 24 horas, con relación al peso de igual volumen de agua, incluyendo en el volumen del sólido los poros impermeables pero no los capilares.

La **densidad SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (sss)** es la relación del peso del sólido en condición sss, incluyendo el agua en todos sus poros permeables con relación al peso de igual volumen de agua. Esta última es la que se utiliza a efectos de dosificaciones de hormigón ya que el agua que contienen los poros no toma parte en la reacción química del cemento y, por tanto, se puede considerar como parte del agregado.

Las normas INEN 856 y 857 describen la metodología a seguir para la determinación de la densidad para árido fino y grueso respectivamente.

La densidad del agregado es utilizada para el cálculo de proporciones de los materiales en la dosificación de hormigón. El valor de la densidad no mide la calidad del agregado. A continuación se presentan valores de densidades aparentes de diversos tipos de rocas.

<b>Grupo de la Roca</b>	<b>Densidad Relativa Promedio</b>	<b>Rango de Densidad Relativa</b>
Basalto	2,80	2,6 - 3,0
Pedernal	2,54	2,4 - 2,6
Granito	2,69	2,6 - 3,0
Arenisca	2,69	2,6 - 2,9
Hornfel	2,82	2,7 - 3,0
Caliza	2,66	2,5 - 2,8
Pórfido	2,73	2,6 - 2,9
Cuarcita	2,62	2,6 - 2,7

**Tabla 2. Densidades de varias rocas.**

### **2.2.2 Peso Volumétrico**

El valor de la masa unitaria o peso volumétrico es útil cuando se desea manejar el árido por volumen ya sea en la dosificación, como en la adquisición y transporte del mismo.



Para cuantificar la masa unitaria, se valoran dos estados de la mezcla del árido, uno suelto y el otro compactado. La prueba se efectúa en un cilindro metálico de diámetro y profundidad prefijado según lo indica la norma ASTM C29, la que establece varias capacidades en los cilindros dependiendo del tamaño máximo del agregado en la distribución granulométrica.

Para encontrar la masa unitaria compactada se llena el recipiente en 3 capas compactando la mezcla con 25 golpes proporcionados por una varilla de borde redondeado de 16 mm de diámetro; la masa unitaria suelta se la obtiene llenando el material en el cilindro dejándolo verter de poca altura y evitando la compactación. Una vez completado el llenado, se procede a enrasar el nivel superior del cilindro con la varilla, en ambos casos es necesario finalizar enrasando el material. Posteriormente, se procede a pesar la cantidad de material que ocupó el recipiente; la masa unitaria se obtiene al dividir el peso de material para el volumen que ocupó, ya sea en condición suelta o compactada.

El peso volumétrico suelto suele ser aproximadamente un 90 a 95% del compactado.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Cuando se conoce la densidad del material se puede calcular el contenido de vacíos que existe en el árido a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Contenido de Vacíos} = 1 - \frac{\text{Masa Unitaria}}{\text{Densidad Del Arido}}$$

Las masas unitarias alcanzan su mayor densidad cuando el árido se encuentra seco, ésta condición es más evidente en las arenas. Cuando el agregado se encuentra con agua superficial es más difícil compactarlo debido al efecto de esponjamiento. Por esta razón, cuando se informe un resultado de masa unitaria realizado a un árido húmedo deberá especificarse en el reporte la humedad que tenía el árido en el momento de la prueba, a efectos de tener en cuenta el efecto de esponjamiento.

TIPO	PROCEDENCIA	RANGO GRANULOMETRICO	MUS Kg/m <sup>3</sup>	MUC Kg/m <sup>3</sup>
Puzolana (Chasqui)	Latacunga	0,0 - 9,5	425	-----
Diabasa	Chivería - Guayas	5,0 - 12	1450	1650
Caliza Triturada	Huayco - Guayaquil	5,0 - 25,0	1315	1450
Chert Triturado	Guayaquil	5,0 - 19,0	1200	1355
Grava Aluvial	Shumiral - Azuay	5,0 - 38,0	1675	1820
Cisco Basáltico	Picoazá - Manabí	0,2 - 5,8	1275	1510

**Tabla 3. Masa Unitaria de varias rocas [2].**



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

### 2.2.3 Absorción y Porosidad de los Agregados

La porosidad de los agregados influye notablemente en la densidad del agregado, además afecta en la interfase entre el agregado y la pasta cementicia. El tamaño de los poros puede determinar la resistencia que ofrece el agregado ante el hielo y deshielo. Además, un agregado poroso ofrece a más de su superficie externa, un área adicional interna que puede afectar su estabilidad química. Por otra parte, agregados porosos ofrecen menor resistencia al desgaste y abrasión. La porosidad disminuye la densidad aparente de los agregados.

Los poros en el agregado pueden encontrarse aislados o interconectados. Poros interconectados permiten una mayor conducción de agua a través de ellos aumentando la absorción del agregado. La absorción en el agregado es de mucha importancia para el cálculo de agua de amasado y para determinar la relación agua/cemento efectiva que es el parámetro más importante utilizado en el cálculo de la resistencia del hormigón.

Los agregados pueden presentar 4 estados de humedad (contenido de agua):



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

- 1) **SECADO TOTAL:** El material ha sido secado al horno a 100 - 105 °C durante 24 horas. No existe agua en su interior.
  
- 2) **SECADO AL AIRE:** El material ha sido secado al natural y contiene una pequeña cantidad de agua sin llegar a saturar su interior.
  
- 3) **SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS):** El material ha sido sometido a una saturación total en agua durante 24 horas. Éste ha absorbido agua, que lo mantiene saturado internamente, tal es el caso, que en este estado el agregado no tiene capacidad de absorber agua ya que se encuentra saturado y no humedece o moja a cualquier material en contacto con el mismo. Esta condición del árido es temporal y solo se llega a ella para efectos del cálculo de la absorción del agregado.
  
- 4) **HÚMEDO:** El material se encuentra internamente saturado y su superficie contiene agua libre que puede mojar o humedecer a cualquier material en contacto con el agregado.

La absorción del agregado se la determina de la siguiente

manera:

$$\text{Absorción}\% = \frac{\text{PesoMat.Est.SSS} - \text{PesoMat.Seco}}{\text{PesoMat.Seco}} * 100$$

A continuación se presentan valores de absorción de algunas rocas del país.

TIPO	PROCEDENCIA	RANGO GRANULOMETRICO mm	ABSORCION %
Arena de mar	Atahualpa, Guayas	0 - 1,2	2,1
Grava aluvial	Chanlud, Azuay	12 - 38	1,9
Caliza triturada	C. Huayco, Guayaquil	5 - 25	2
Chert	Guayaquil	5 - 25	4,2
Diabasa	Chivería, Guayas	5 - 12	1,2
Arena natural	R. Boliche, Guayas	0 - 4,8	2,2
Piedra pómez (Chasqui)	Tungurahua	4,8 - 76	67

**Tabla 4. Absorción de varios agregados [2]**

#### 2.2.4 Granulometrías

Los agregados para hormigón se han diferenciado en dos grupos. Los finos, aquellos de tamaño inferior a 4,8 mm. (No. 4 ASTM) y los gruesos, aquellos mayores a 4,8 mm.

La forma de caracterizar los agregados en una distribución granulométrica es utilizando la variable peso versus el intervalo

granulométrico correspondiente, para tal efecto se utilizan tamices de malla cuadrada montados en marcos que se pueden apilar. La secuencia completa de muestreo se basa en teoría en la relación  $2^{1/4}$  para las aberturas de dos tamices consecutivos.

Antes de efectuar el análisis granulométrico se debe secar la muestra de agregado, con la finalidad de evitar que partículas finas se aglomeren con las gruesas. Los pesos mínimos requeridos para el análisis granulométrico del agregado grueso se presentan en la tabla 5. según la norma INEN 696 (ASTM C 136)

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO		PESO MINIMO DE MUESTRA PARA CRIBADO Kg.
mm	in	
125.0	5	300
100.0	4	150
90.0	3 1/2	100
75.0	3	60
63.0	2 1/2	35
50.0	2	20
37.5	1 1/2	15
25.0	1	10
19.0	3/4	5
12.5	1/2	2
9.5	3/8	1

**Tabla 5.**

De la misma manera esta norma establece un peso mínimo de 300 g para agregado fino



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

### 2.2.4.1 Granulometría de los Agregados Finos

La norma ASTM C 33, permite un amplio rango en la granulometría del agregado fino. La granulometría más apropiada para el agregado fino depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla de hormigón, y del tamaño máximo del agregado grueso; por ejemplo, cuando se utiliza un agregado grueso de tamaño pequeño se debe elegir arenas que se acerquen al lado fino de la norma ASTM, así mismo deberá elegirse la arena si las mezclas son pobres en cemento

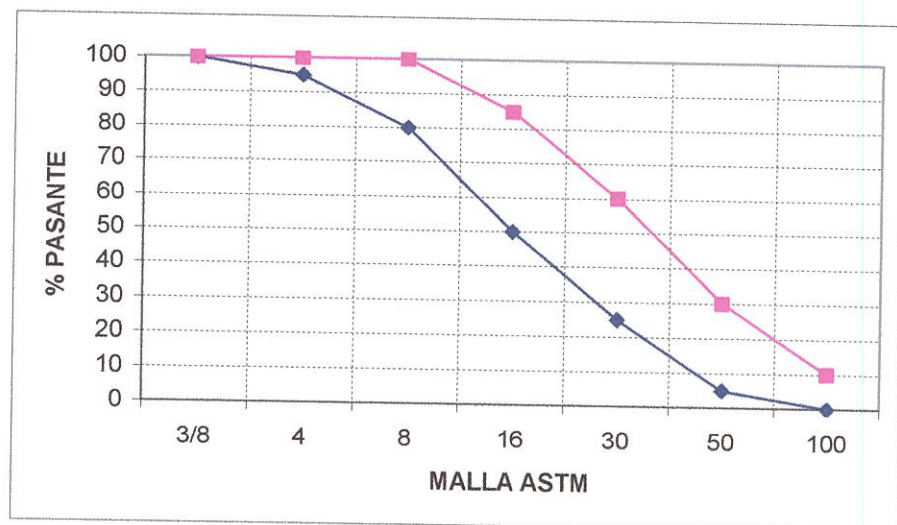
Los límites que aconseja la norma ASTM C33 - 99 se presentan a continuación:

TAMAÑO DE LA MALLA		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO	
mm	ASTM	Lim Min	Lim Max
9.52	3/8	100	100
4.75	4	95	100
2.36	8	80	100
1.18	16	50	85
0.60	30	25	60
0.30	50	5	30
0.15	100	0	10

**Tabla 6. Límites para agregados finos Norma  
ASTM C33 -99**

Otros requisitos de esta norma son:

- 1) El porcentaje de agregado fino retenido entre dos mallas consecutivas no sea mayor a 45%.
- 2) El módulo de finura se encuentre entre 2,3 y 3,1, caso contrario deberán realizarse los reajustes necesarios de la proporción entre agregado grueso y fino.
- 3) En pisos de hormigón donde se requiera un buen acabado, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% pasante malla ASTM No. 50 y un 3% pasante malla ASTM No. 100.



**Gráfico 2.1. Límites granulométricos para agregado fino según Norma ASTM C 33 - 99**



#### 2.2.4.2 Granulometría de los Agregados Gruesos

La norma ASTM C 33 permite un amplio rango de granulometrías en los agregados gruesos.

Uno de los parámetros más importantes para elegir la granulometría del agregado grueso a utilizar es el tamaño máximo del agregado. Existen dos definiciones; la primera, **Tamaño Máximo del Agregado** es el menor tamaño de malla por el cual todo el agregado debe pasar. **El Tamaño Máximo Nominal de un agregado**, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla del tamaño máximo nominal puede retener de 5 al 15% del agregado, dependiendo del número del tamaño.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento de hormigón y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del elemento

de hormigón.

2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre armaduras de refuerzo.

### 2.2.4.3 Módulo de Finura

A veces se utiliza un solo factor proveniente de los cálculos del análisis granulométrico: el módulo de finura, el cual se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los **tamices de la serie estándar** dividido para 100

Tamices Serie Estándar	
ASTM	mm
3"	76
1 1/2"	38
3/4"	19
3/8"	9.5
No. 4	4.8
No. 8	2.4
No.16	1.18
No. 30	0.6
No. 50	0.3
No. 100	0.15

**Tabla 7.**

El valor del módulo de finura es más alto mientras más grueso es el agregado. A continuación se expone un ejemplo para el cálculo del módulo de finura.

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RET. g	RETENIDO %	RET. ACUMULADO %	PASANTE ACUM. %
76mm 3"	0.0	0.0	0.0	100.0
50mm 2"	0.0	0.0	0.0	100.0
38mm 1 1/2"	76.0	0.3	0.3	99.7
25mm 1"	2109.0	8.6	9.0	91.0
19mm 3/4"	3065.0	12.6	21.5	78.5
12.5mm 1/2"	2180.0	8.9	30.5	69.5
9.5mm 3/8"	2180.0	8.9	39.4	60.6
4.8mm No. 4	3960.0	16.2	55.6	44.4
FONDO	10860.0	44.5	100.1	0.1

MODULO DE FINURA: \_\_\_\_\_ 6.2

**Tabla 8. Cálculo del Modulo de Finura**

De la tabla el porcentaje del retenido acumulado de cada uno de los tamices de la serie estándar de abertura menor al de la malla No. 4 se asume del 100%

#### 2.2.4.4 Límites Granulométricos Propuestos

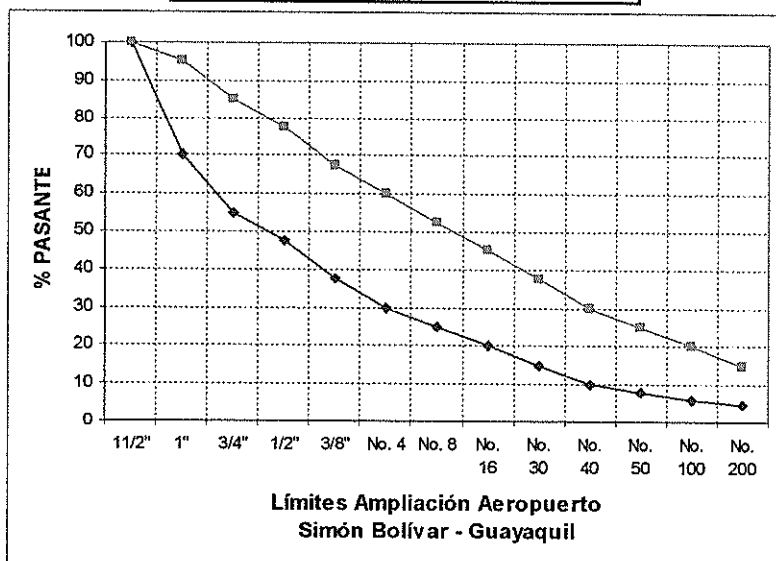
En el presente trabajo, se utilizaron los límites granulométricos especificados para la base estabilizada con cemento de la nueva ampliación del aeropuerto Simón Bolívar de la ciudad de Guayaquil, que se presenta en la siguiente página, gráfico 2.2.



Estos límites propuestos se compararon con los límites granulométricos que propone El Ministerio de Obras

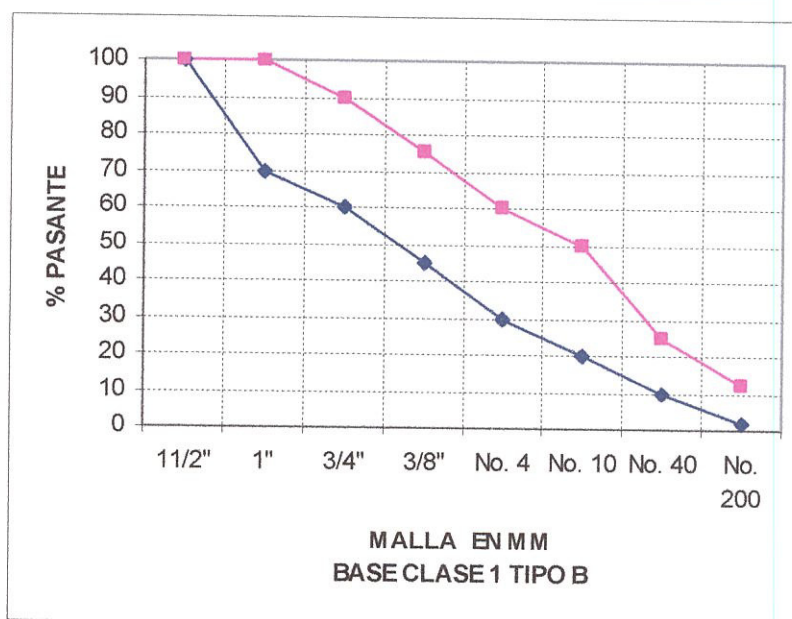
Públicas MOP en su Manual 400 Estructura del Pavimento Sección 404, quien establece 4 tipos de bases, realizando la comparación con los límites propuestos en el presente trabajo se llega a la conclusión que éstos, son muy similares a la de una base clase 1 tipo B del MOP [3]

TAMAÑO DE LA MALLA		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO	
mm	ASTM	Lim Min	Lim Max
38.10	1 1/2"	100	100
25.40	1"	70	95
19.00	3/4"	55	85
12.70	1/2"	48	78
9.50	3/8"	38	68
4.76	No. 4	30	60
2.40	No. 8	25	53
1.18	No. 16	20	45
0.60	No. 30	15	38
0.43	No. 40	10	30
0.30	No. 50	8	25
0.15	No. 100	6	20
0.075	No. 200	5	15



**Gráfico 2.2. Límites granulométricos establecidos para este trabajo**

TAMAÑO DE LA MALLA		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO	
mm	ASTM	Lim Min	Lim Max
38.10	11/2"	100	100
25.40	1"	70	100
19.00	3/4"	60	90
9.50	3/8"	45	75
4.76	No. 4	30	60
2.00	No. 10	20	50
0.425	No. 40	10	25
0.075	No. 200	2	12



**Gráfico 2.3. Límites granulométricos establecidos por el MOP para Base clase 1 tipo B [3]**

### 2.2.5 Abrasión de los Angeles

Esta prueba se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o competencia de varias fuentes de agregado que tiene las composiciones minerales similares.

Esta prueba es una medida de degradación de agregados minerales resultado de una combinación de acciones como abrasión o roce e impacto. Este análisis se lo realiza conforme la norma ASTM C 131-03.

### 2.2.6 Resumen de las Propiedades de los Agregados Utilizados

En este literal se da a conocer los materiales utilizados, su origen y sus propiedades.

Los Materiales utilizados para las distintas pruebas realizadas son los siguientes:

Nominación del Material	Cantera Procedente
Piedra ASTM 56	Calizas Huayco
Piedra ASTM 78	Calizas Huayco
Arena Triturada homogeneizada	Calizas Huayco
Arena Natural Peralta No.6	Arenera Peralta
Arena Natural Guayaquil	Arenera Guayaquil
Grueso de Subbase No. 38mm	Calizas Huayco
Fino de Subbase No. 5mm	Calizas Huayco
Piedra Base II A Luzagui	Cantera Luzagui
Piedra 1/2 - 1 1/2 Luzagui	Cantera Luzagui
Piedra 3/8 Verdú	Cantera Verdú
Cisco Luzagui	Cantera Luzagui
Piedra Base I A Cadmen (Finos)	Cantera Cadmen - Cochancay
Piedra Base I A Cadmen (Gruesos)	Cantera Cadmen - Cochancay
Material triturado 2 - 2	Reserva Estadio Municipal La Troncal

**Tabla 9. Materiales utilizados**

La obtención de los materiales se los hizo de cuatro canteras diferentes: Cantera Agregados Huayco ubicado en el Km. 15 vía a la costa, Cantera Verdú ubicado en la vía a Daule, próximo a la penitenciaría, Cantera Luzagui ubicado en la vía a Salitre, Recinto Tierra Blanca y Cantera Cadmen localizada en el Recinto Cochancay, Provincia del Cañar. Las tres primeras se encuentran cercas a Guayaquil. Todos los agregados producidos en estas canteras son obtenidos por trituración, sacando cada una de ellas diferentes tipos de productos, con nominaciones propias de la planta.

La diferencia de los agregados producidos en estas canteras esta en el origen de la roca. Agregados Huayco explota yacimientos pétreos de Caliza que es una roca sedimentaria, Cantera Verdú y Luzagui explotan yacimientos de Basalto y Diabasa, rocas de origen ígneo. La Cantera Cadmen tritura material aluvial, específicamente del río Bulubulu, en el sector de Cochancay, provincia del Cañar.

Los materiales tomados en las canteras fueron varios, donde se les practico granulometrías y mezclas entre sí, considerando el origen, para nuestro caso Caliza y Basalto, siendo los elegidos



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

los materiales mostrados en este documento, pues son los que cumplieron con los límites granulométricos que adoptamos para este trabajo, que son muy similares a los establecidos para las bases Clase 1 tipo B del MOP.

A continuación doy a conocer el valor de las propiedades de los agregados utilizados

Nominación del Material	Cantera Procedente	Densidad sss kg/m <sup>3</sup>	Absorción %	Masa Unitaria Suelta MUS kg/m <sup>3</sup>	Masa Unitaria Compactada MUC kg/m <sup>3</sup>
Piedra ASTM 56	Calizas Huayco	2620	2.0	1325	1445
Piedra ASTM 78	Calizas Huayco	2610	1.8	1300	1430
Arena Triturada homogeneizada	Calizas Huayco	2480	5.9	1465	1755
Arena Natural Peralta No.6	Peralta	2670	2.5	1535	1725
Arena Natural Guayaquil	Arenera Guayaquil	2470	6.6	1375	1450
Grueso de Subbase No. 38mm	Calizas Huayco	2620	2.1	1380	1595
Fino de Subbase No. 5mm	Calizas Huayco	2655	3.1	1455	1635
Piedra Base II A Luzagui	Luzagui	2880	1.6	1420	1630
Piedra 1/2 - 1 1/2 Luzagui	Luzagui	2880	1.1	1375	1545
Piedra 3/8 Verdú	Verdú	2780	2.9	1450	1680
Cisco Luzagui	Luzagui	2760	5.4	1620	1810
Piedra Base I A Cadmen (Finos)	Cadmen - Cochancay	2600	4.3	1850	2100
Piedra Base I A Cadmen (Gruesos)	Cadmen - Cochancay	2690	1.7		
Material triturado 2 - 2	Reserva Estadio Municipal	2575	3.5	1515	1655

**Tabla 10. Propiedades de los materiales utilizados**



# CAPITULO 3

## 3. DISEÑO DE LA BASE DE AGREGADOS ESTABILIZADA CON CEMENTO (BAEC)

### 3.1 Diseño de Espesor de la BAEC [1]

Los Pavimentos con **BAEC** se diseñan para una larga vida útil, sin perder de vista la necesidad de establecer soluciones económicas.

Los factores que deben analizarse para determinar el espesor de la **BAEC**, así como para el de la capa de rodadura que se adopte, son:

- Resistencia a nivel de la Subrasante
- Volumen de Tráfico y la distribución de cargas de los vehículos pesados
- Incrementos anuales del tráfico previsto
- Periodo de diseño del pavimento



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

El método de diseño de espesores que expongo a continuación fue tomada de una nota técnica acerca de bases de suelo-cemento del Centro Técnico del Hormigón CTH el cual toma como referencia un documento del Instituto Colombiano de Productores de Cemento sobre el proceso desarrollado por la Portland Cement Association PCA, para el diseño de espesores de bases de suelo-cemento, el cual está

fundamentado en el principio de que el suelo-cemento es un material con propiedades diferentes a cualquier otro y en algunas consideraciones teóricas ajustadas con base en ensayos sobre pavimentos existentes.

### 3.1.1 Características de la relación carga-deformación [1]

La respuesta a deflexión de las bases de suelo-cemento se ha establecido mediante amplios estudios de laboratorio realizados con diferentes suelos y con espesores variando entre 10 y 35 mm colocados sobre subrasantes de diversas calidades. En esos estudios se ha podido establecer que la respuesta del suelo-cemento a los ensayos de carga se puede predecir con una ecuación similar a las derivadas de la Teoría de Capas, así:

$$\frac{wk}{p} = \alpha \left[ \frac{a}{h} \right]^\beta \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

- w: Desplazamiento vertical, medido en el punto de aplicación de la carga, (cm)
- k: Modulo de reacción de la subrasante, (kgf/cm<sup>3</sup>)
- p: Carga unitaria aplicada, (kgf/cm<sup>2</sup>)
- a: Radio del área cargada, (cm)

- h: Espesor del pavimento, (cm)
- $\alpha$  y  $\beta$ : Variables. Para el suelo-cemento se ha encontrado que equivalen a 0,055 y 1,520 respectivamente.

### 3.1.2 Resistencia a la fatiga [1]

Los estudios de fatiga del suelo-cemento indican que esta se puede describir con una ecuación de la siguiente forma:

$$R = \frac{R_c N^\delta h^{1.5}}{2.1h - 1} \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

- R Radio de curvatura admisible para N numero de aplicaciones de la carga, (cm)
- Rc: Radio de curvatura crítico, (cm). Es función del espesor de la base.
- N : Numero de aplicaciones de carga.
- h Espesor del pavimento
- $\delta$  Exponente que varía en función del suelo así: 0,025 y 0,050 para suelos gruesos y finos respectivamente.
- Rc: Como se definió es función del espesor de la base y se puede expresar así:

$$Rc = R'c \cdot f(h)$$

Ecuación 3

En donde:

$R'c$ : Radio de curvatura básico; es constante y toma el valor de 143,51 y de 80,01 m para suelo-cemento grueso-granular y suelo-cemento fino-granular, respectivamente.

$f(h)$ : Función del espesor de la base que se ajusta a:

$$Rc = \frac{h^{1.5}}{2.1h - 1}$$

Ecuación 4

Entonces

$$Rc = \frac{R'c \cdot h^{1.5}}{2.1h - 1}$$

Ecuación 5

Sustituyendo en la ecuación 2, el valor de Rc se tiene

$$R = \frac{R'c \cdot N^\delta h^3}{(2.1h - 1)^2}$$

Ecuación 6

Posteriormente se encontró que el producto del radio de curvatura admisible R para N numero de aplicaciones, multiplicado por la deflexión vertical w bajo el área cargada era igual a un valor fijo C definido, a su vez, por el módulo de reacción de la subrasante, así:

$$C = wR \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

$$C = 0.58 \times 10^4 k^{-0.685}$$

Para suelo fino-granular (A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7) y

$$C = 1 \times 10^4 k^{-0.70}$$

Para suelo grueso-granular (A-1, A-2, A-3, A-2-4, y A-2-5).

Reemplazando los valores de  $w$  obtenidos de la Ecuación 1, el de  $R$  obtenido en la Ecuación 6, teniendo en cuenta la Ecuación 4, los valores de  $C$ ,  $R'c$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y que la carga total aplicada  $P = p a^2$  se obtiene.

$$\frac{(2.1h-1)^2}{h^{1.5}} = \frac{10PN^{0.050}}{a^{0.5} k^{0.315}} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\frac{(2.1h-1)^2}{h^{1.5}} = \frac{10PN^{0.025}}{a^{0.5} k^{0.3}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Para suelo-cemento producido con suelos fino-granulares y grueso-granulares respectivamente.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Con las Ecuaciones 8 y 9 se desarrollaron los ábacos de diseño básico para determinar los espesores de bases de suelo-cemento producido con suelos fino-granulares y grueso-granulares respectivamente.

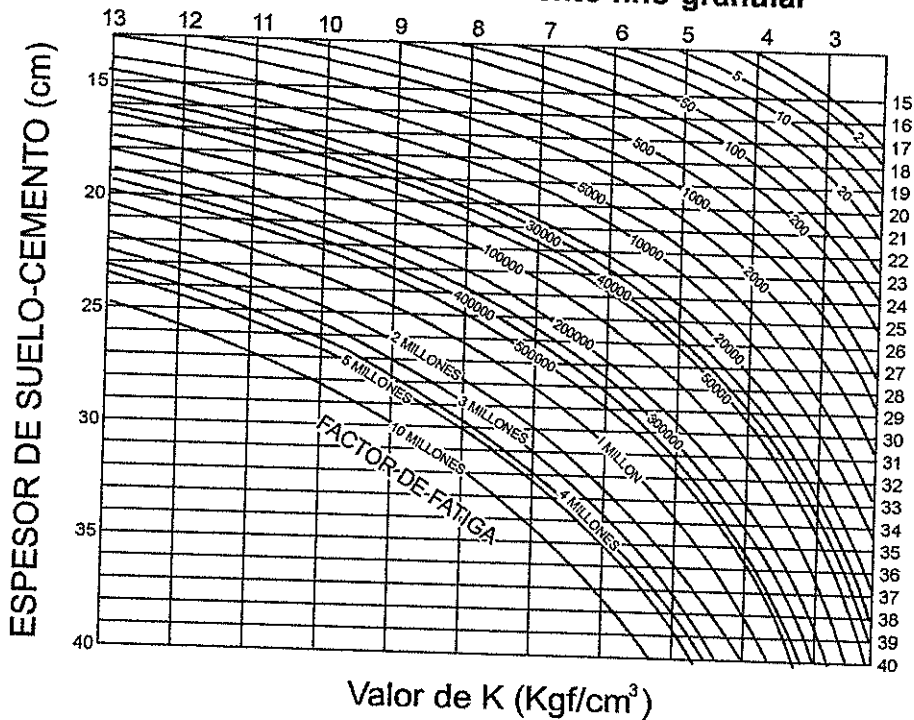
Con estas ecuaciones se pueden diseñar las bases de suelo-cemento para cargas de igual magnitud aplicadas en un área determinada. Sin embargo esta situación es poco representativa de las condiciones de circulación de las cargas sobre las vías; por ello es necesario encontrar la equivalencia entre las diferentes configuraciones de ejes y magnitud de cargas con un eje y una carga considerados como patrón, para así poder utilizar las Ecuaciones 8 y 9.

### **3.1.3 Carga por rueda y radio del Area cargada [1]**

Con el fin de simplificar los cálculos se considera en este procedimiento que las cargas son aplicadas sobre áreas circulares.

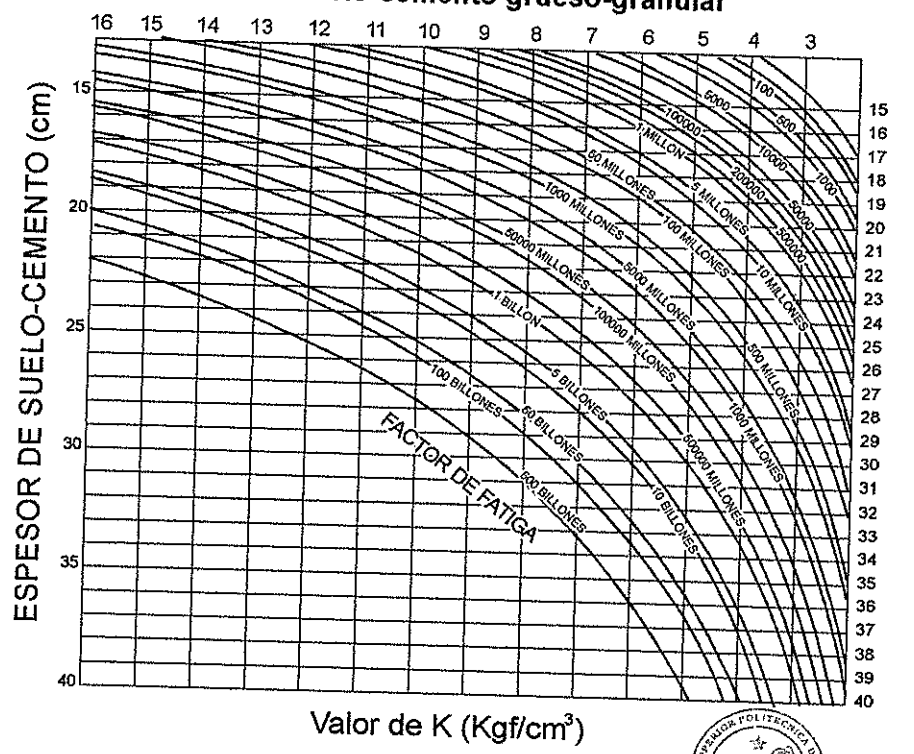
Para los ejes sencillos se supone un área circular de aplicación de carga cuya extensión es igual al área de contacto de la llanta con el suelo. Para el caso de ejes con dos llantas en cada

**Gráfico 3.1. Abaco para el diseño de espesor en suelo-cemento fino-granular**



Valor de K (Kgf/cm<sup>3</sup>)

**Gráfico 3.2. Abaco para el diseño de espesor en suelo-cemento grueso-granular**

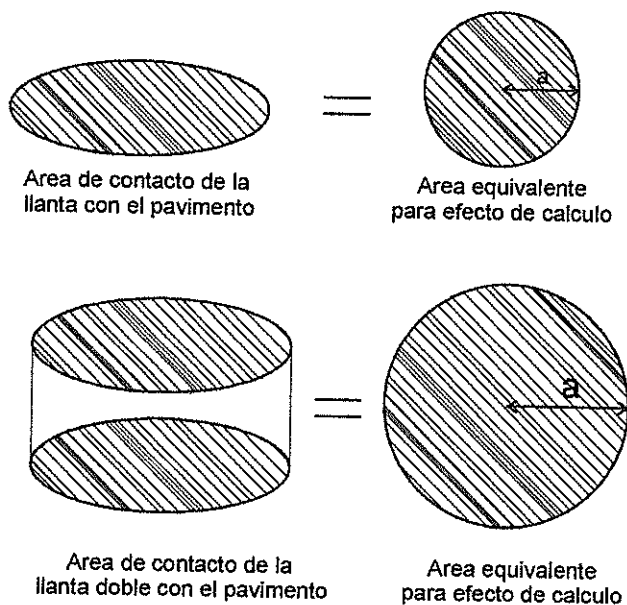


Valor de K (Kgf/cm<sup>3</sup>)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

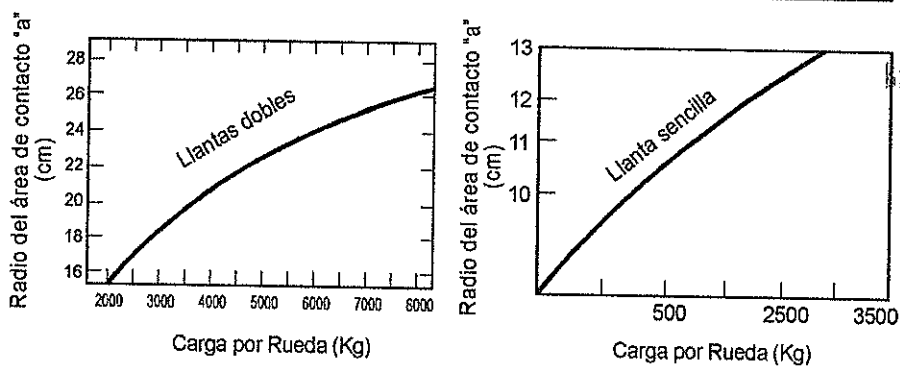
extremo (ejes de llanta doble) el tamaño del área de contacto es el de las llantas individuales mas el área entre ambas llantas.



**Gráfico 3.3. Áreas equivalentes para llanta simple y doble**

Para las cargas que normalmente circulan por las carreteras la correspondencia entre las cargas por eje y el radio del área cargada se indica en la siguiente figura.

**Gráfico 3.4. Radio del Area de contacto.**



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



### **3.1.4 Radio del Area cargada para ejes tándem y trídem [1]**

Las cargas se transmiten al suelo a través de ejes sencillos, tándem y trídem, y cada cual genera unos esfuerzos diferentes en los pavimentos. Con el fin de simplificar los cálculos y con base en estudios de campo y teóricos, se ha establecido que la equivalencia de carga del eje con los tándem y trídem (carga en el eje simple dividido por carga en el eje tándem o trídem) es de 0,60 y 0,45 respectivamente.

Las Ecuaciones para obtener el espesor del suelo-cemento (Ec. 8 y 9) están basadas en que la carga en cada extremo del eje es la mitad de la carga transmitida por él. De tal manera que para encontrar los radios del área de aplicación de las cargas se estima que las dos llantas del extremo de cada eje transmiten al suelo el 30% o el 25% de la carga aplicada en el eje tándem o trídem respectivamente.

Con la estimación anterior se calcula el radio del área circular cargada para cada caso.

### **3.1.5 Concepto de consumo por fatiga [1]**

El tránsito que circula por las vías es una colección de cargas

de diferente magnitud y se considere que cada aplicación de carga consume una parte de la resistencia del pavimento en función del peso del vehículo circulante.

De la Ecuación 8 se puede obtener el número de repeticiones de carga que se pueden aplicar a una base de suelo-cemento de un espesor dado, realizado con un suelo fino-granular, así:

$$N = \left( \frac{(2.1h - 1)^2 k^{0.315}}{10h^{1.5}} \right)^{20} \left( \frac{a^{0.5}}{P} \right)^{20} \quad \text{Ecuación 10}$$

Al paso de una sola aplicación de carga el pavimento se consume en una enésima parte de su vida útil. Al igualar los consumos de fatiga en una base de suelo-cemento de un espesor dado, por un vehículo seleccionado como patrón y otro cualquiera se relacionan así:

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_i} \quad \text{Ecuación 11}$$

sustituyendo en esta ecuación los valores dados en la ecuación 10 se tiene:

$$\frac{N_i}{N} = \frac{\left( \frac{(2.1h - 1)^2 k^{0.315}}{10h^{1.5}} \right)^{20} \left( \frac{a_i^{0.5}}{P_i} \right)^{20}}{\left( \frac{(2.1h - 1)^2 k^{0.315}}{10h^{1.5}} \right)^{20} \left( \frac{a^{0.5}}{P} \right)^{20}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Dando finalmente

$$\frac{N_i}{N} = \frac{\left(\frac{a_i^{0.5}}{P_i}\right)^{20}}{\left(\frac{a^{0.5}}{P}\right)^{20}} \quad \text{Ecuación 13}$$

De manera análoga para el suelo-cemento realizado con suelos grueso-granulares se tiene:

$$\frac{N_i}{N} = \frac{\left(\frac{a_i^{0.5}}{P_i}\right)^{40}}{\left(\frac{a^{0.5}}{P}\right)^{40}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Las Ecuaciones 13 y 14 son la representación matemática de los consumos de fatiga con la cual se calcula la Tabla de coeficientes de consumo de fatiga tabla 11, sustituyendo P por 4,1 toneladas que corresponde a la carga en cada extremo del eje de **8,2 toneladas**, considerado como **eje patrón**, y "a" su respectivo radio de aplicación de carga.

### 3.1.6 Manejo de los ábacos de diseño

Las variables con las que se entra a dichos ábacos son:



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

CARGA (Ton)	SUELO-CEMENTO	
	Suelo Grueso	Suelo Fino
<b>Ejes Simples</b>		
15	337000000	15100
14	32567000	5083
13	2873500	1579
12	188600	447
11	11260	113
10	542	113
9	21	4.8
8	0.54000	0.75
7	0.00780	0.09
6	0.00006	0.008
<b>Ejes Tándem</b>		
22	4181800	1998
21	961000	959
20	188600	444
19	7297	195
18	1195	84
17	175	34.2
16	21	13.2
15	2.6	4.8
14	0.24000	1.6
13	0.01900	0.5
12	0.00120	0.14
11	0.00006	0.036
10		0.008
<b>Ejes Trídem</b>		
35	6531370	2400
30	166335	391
29	72614	260
28	31450	172
27	5265	112
26	2056	71
25	805	45
24	287	28
23	106	17
22	35.1	10
21	10.9	0.907
20	0.00900	0.352
15	0.00004	0.101
12		0.007

**Tabla 11 Coeficientes de consumo de fatiga (PCA) [1]**

- La capacidad de soporte del suelo, evaluada mediante el modulo de reacción de la subrasante ( $k$ ) determinado con el ensayo de placa.
- El transito. La unidad de transito corresponde a mil repeticiones de cada eje. Se cuantifica mediante el factor de fatiga obtenido con base en el numero y peso de los distintos ejes que utilizaran el pavimento durante el periodo de diseño, afectado por los coeficientes de consumo de fatiga según la Tabla 11.

Las bases de suelo-cemento se deben recubrir con una emulsión asfáltica para evitar pérdidas de humedad, como curado y como protección momentánea a la abrasión, hasta colocar encima la correspondiente carpeta de rodadura.

La carpeta de rodadura a colocarse puede ser de naturaleza asfáltica o de hormigón, los espesores de la estructura final según el tipo de pavimento (rígido o flexible) dependen de los mismos factores que se analizaron para el diseño de espesor de la BAEC, cabe mencionar que el espesor de la estructura final en un pavimento de hormigón será menor al de un pavimento asfáltico.

### 3.1.7 Ejemplo de Diseño de Espesores de Suelo Cemento

#### Datos

1. Carretera secundaria de dos vías
2. Suelo-cemento grueso-granular
3. CBR de la subrasante 3.85% ( $K=3.4 \text{ Kg/cm}^3$ )
4. Periodo de diseño = 20 años
5. Aplicaciones de cargas en la vida de diseño:

CARGAS POR EJE Ton	REPETICIONES DE CARGA EN LA VIDA DE DISEÑO (20 AÑOS)
<b>Ejes Simples</b>	
9.0 - 10.0	9000
8.0 - 9.0	12100
7.0 - 8.0	9900
6.0 - 7.0	33800
5.0 - 6.0	33800
4.0 - 5.0	72600
<b>Ejes Tándem</b>	
18.0 - 19.0	5400
17.0 - 18.0	2700
16.0 - 17.0	7600
15.0 - 16.0	7200
14.0 - 15.0	12000
13.0 - 14.0	4500
12.0 - 13.0	4000
11.0 - 12.0	4000
10.0 - 11.0	4000
10.0 - 10.0	7500
9.0 - 10.0	7500
8.0 - 9.0	7500

**Tabla 12**

#### Desarrollo

Se procede al cálculo del factor de fatiga teniendo en cuenta el número de repeticiones de carga en la vida de diseño, dadas en

miles y el consumo de fatiga de un eje determinado.

A	B	C	D	E
CARGAS POR EJE Ton	REPETICIONES EN LA VIDA DE DISEÑO	REPETICIONES EN LA VIDA DE DISEÑO (en miles)	COEFICIENTE DE CONSUMO DE FATIGA	CONSUMO DE FATIGA (Cx D)
<b>Ejes Simples</b>				
9.0 - 10.0	9000	9.0	542	4878
8.0 - 9.0	12100	12.1	21	254.1
7.0 - 8.0	9900	9.9	0.54	5.346
6.0 - 7.0	33800	33.8	0.0078	0.26364
5.0 - 6.0	33800	33.8	0.00006	0.002028
4.0 - 5.0	72600	72.6	0.00000	0
<b>Ejes Tándem</b>				
18.0 - 19.0	5400	5.4	7297	39403.8
17.0 - 18.0	2700	2.7	1195	3226.5
16.0 - 17.0	7600	7.6	175	1330
15.0 - 16.0	7200	7.2	21	151.2
14.0 - 15.0	12000	12.0	2.6	31.2
13.0 - 14.0	4500	4.5	0.24	1.08
12.0 - 13.0	4000	4.0	0.01900	0.076
11.0 - 12.0	4000	4.0	0.00120	0.0048
10.0 - 11.0	4000	4.0	0.00006	0.00024
10.0 - 10.0	7500	7.5	0.00000	0
9.0 - 10.0	7500	7.5	0.00000	0
8.0 - 9.0	7500	7.5	0.00000	0
<b>Total Consumo de Fatiga</b>				49281.57
<b>Factor de Fatiga</b>				50000

**Tabla 13** Calculo del factor de fatiga

Las columnas A y B son resultado de un calculo de tránsito previo al diseño de un pavimento, (dato del ejemplo tabulado en Tabla 12) valores que nos sirve para el cálculo del factor de fatiga. La columna C es el resultado de los valores de la columna B dividido para mil.

La columna D es el valor del coeficiente de consumo de fatiga tabulado en la Tabla 11 y determinado para su correspondiente



carga por eje, columna A, para nuestro ejemplo tenemos intervalos de cargas por eje, tomamos el valor mayor.

La columna E se obtiene multiplicando los valores de la columna C por los valores de la columna D, la suma total de los valores de la columna E es el valor que se conoce como el coeficiente de fatiga para nuestros datos, para efecto de introducirlos al ábaco de diseño de espesor lo redondeamos a 50.000

Obsérvese que a medida que las cargas decrecen los efectos de fatiga disminuyen rápidamente, lo cual hace innecesario incluir las cargas bajas para el cálculo.

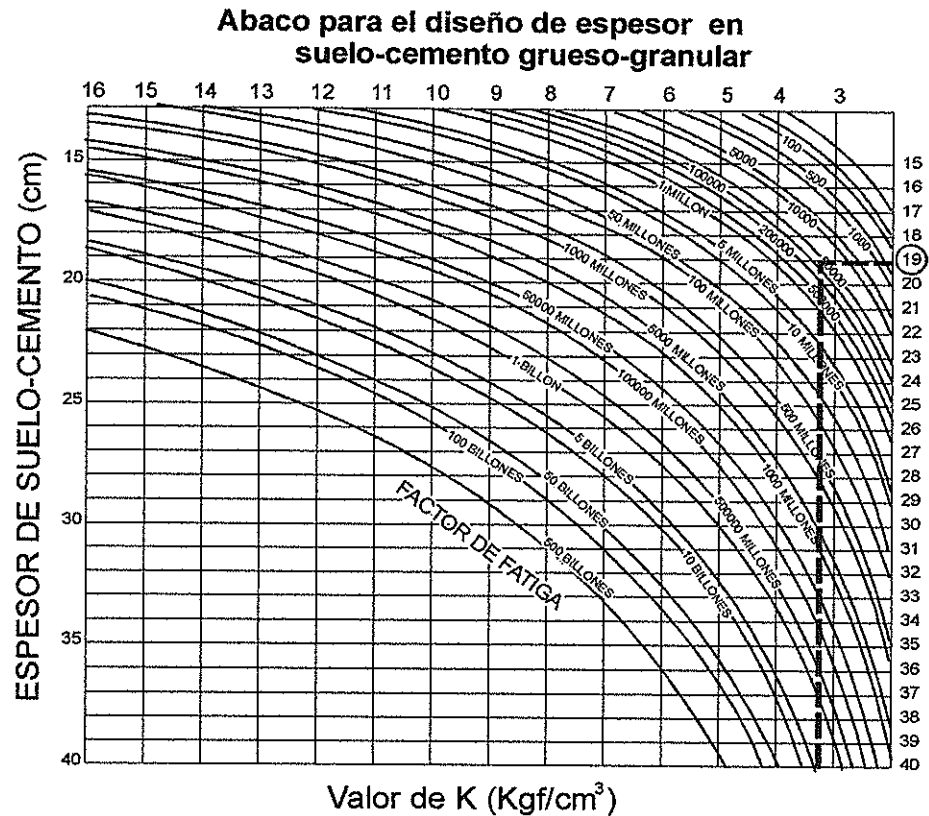
Para un factor de fatiga de 50000 (obtenido del cálculo) y un modulo de reacción de la subrasante K de  $3.4 \text{ Kg/cm}^3$  (obtenido por correlación con el CBR) obtenemos del ábaco de diseño de espesor para suelo-cemento grueso-granular (gráfico 3.2) un espesor de 19 cm de base de suelo-cemento grueso-granular (gráfico 3.5). Podemos observar que el redondeo realizado del factor de fatiga no influye de manera considerable en el espesor de la base. Como anexo realizo un diseño de un pavimento rígido, y comparo los espesores de base y losa de hormigón si



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



usáramos una BAEC y una base granular



**Grafico 3.5 Ejemplo de calculo de espesor de BAEC**

Concluyendo el calculo, para este tipo de subrasante, y transito esperado se recomienda una BAEC de 19 cm de espesor.

### 3.2 Dosificación de la Base [1]

En este trabajo se utilizarán agregados preparados en plantas de trituración combinados con arenas naturales y en algunos casos con arenas procedentes también por trituración, por lo que las mezclas obtenidas dan origen a un suelo no plástico.

Los métodos más usados para la dosificación de mezclas de suelo-cemento son los recomendados por la Portland Cement Association (PCA), el cual desarrolló el Método General para la Dosificación de Mezclas de Suelo-Cemento, aplicable a todo tipo de suelos, en vista de que con este método se requiere de alrededor de 45 días para la determinación del contenido de cemento, la PCA desarrolló un método para ser aplicado con suelos arenosos, los cuales son los más utilizados para realizar bases estabilizadas por requerir menos cantidad de cemento, al que se le llama Método Simplificado o Método Corto, y que permite llegar a esa determinación en un periodo de alrededor de 10 días.

El método simplificado considera que el suelo debe cumplir las siguientes características:

- El contenido de limo más arcilla debe ser menor al 50%
- El contenido de arcilla debe ser menor al 20%
- El porcentaje retenido en el tamiz N°4 debe ser menor de 45.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Los suelos utilizados en este trabajo son mezclas de arena natural y material grueso triturado preparado en canteras, que cumplen con estas características, por lo que aplicamos este método.

Además tanto para el método general como para el método simplificado se consideran las siguientes fracciones de suelo según su tamaño:

	Tamaño menor (mm)	Tamaño mayor (mm)
Cascajo grueso	4.8	19
Cascajo fino	2	4.8
Arena gruesa	0.42	2
Arena fina	0.05	0.42
Limo	0.005	0.05
Arcilla		menor que 0.005

**Tabla 14 Fracciones del suelo según su tamaño**

Para un determinado tipo de suelo arenoso, el contenido de cemento que se obtiene por este método no es necesariamente el mínimo, pero sí un contenido seguro, similar al que se obtiene con el método general en el que se efectúan los ensayos de durabilidad.

El proceso que se aplica con el método simplificado es el que sigue:

1. Determinación de la granulometría y del peso específico de los suelos
2. Realización del ensayo de compactación del suelo cemento (ASTM D 558-04) con contenidos de cemento determinados mediante ábacos especiales.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

3. Selección del contenido de cemento, usando los resultados del paso anterior en ábacos concebidos para el efecto, para elaborar las probetas para ensayos de compresión.
4. Comprobación del contenido apropiado de cemento mediante ensayos de compresión.

Según la granulometría de los suelos, el método se aplica bajo dos modalidades. La primera, llamada Método A se aplica cuando los suelos pasan totalmente por el tamiz N° 4 (4.8 mm); la segunda, llamada Método B, se aplica cuando los materiales tienen alguna fracción retenida en el tamiz N° 4.

### **3.2.1 Método Simplificado de la PCA**

#### **3.2.1.1 Método A**

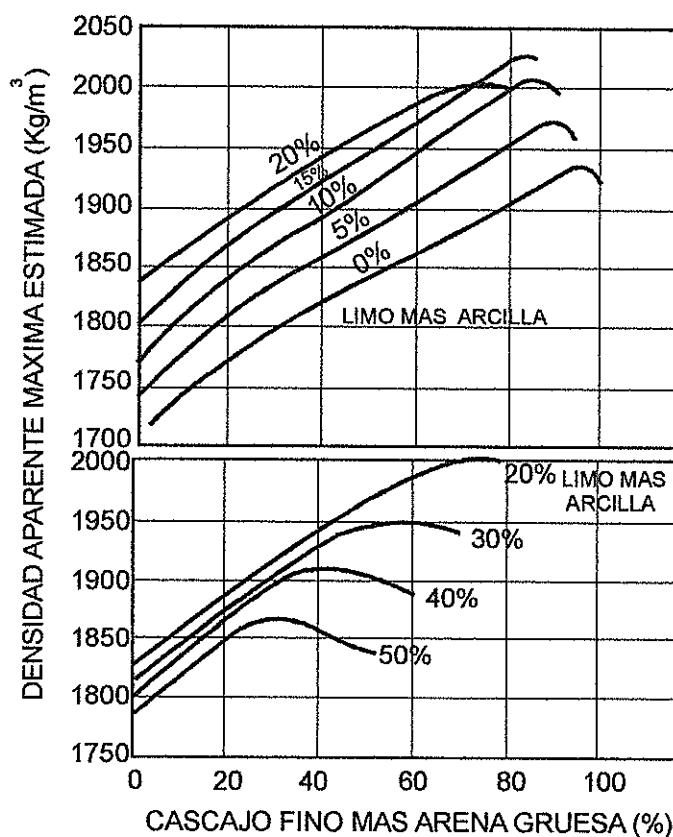
**(Cuando todo el material pasa el tamiz No. 4)**

Descripción:

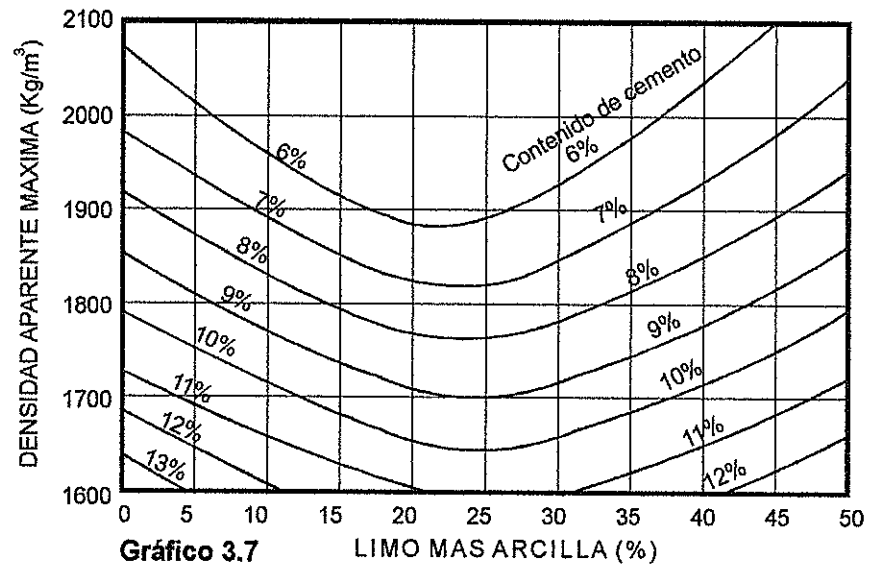
- a) Se determina la densidad aparente máxima y la humedad óptima del suelo por medio del ensayo de compresión Proctor Normal (ASTM D 558-04). El contenido de cemento para este ensayo se determina así:

- Del Gráfico 3.6, en función de los porcentajes de limo + arcilla y de cascajo fino + arena gruesa, se estima la densidad aparente máxima de la mezcla.

**Gráfico 3.6**

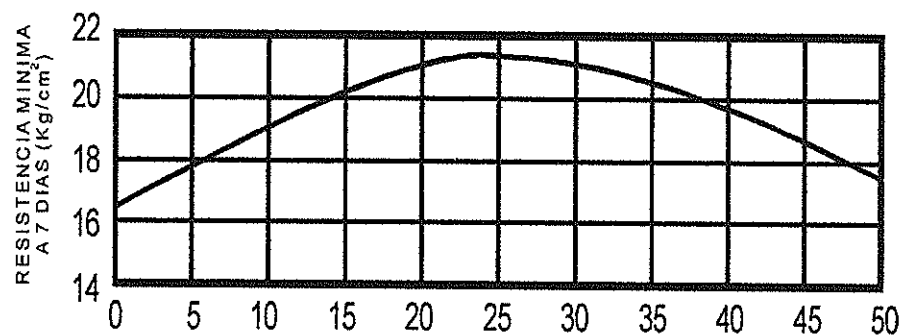


- Del gráfico 3.7, en función de la densidad aparente máxima obtenida en el paso anterior y el porcentaje de limo + arcilla se determina el contenido de cemento para el ensayo de compactación.



- b) Con la densidad aparente máxima obtenida del ensayo de compactación y el porcentaje de limo + arcilla se determina en la gráfico 3.7 anterior el contenido de cemento para el ensayo de compresión.
- c) Con el contenido de cemento obtenido en el paso b), se moldean tres probetas con la compactación del Proctor Normal. La humedad para este ensayo debe ser la óptima determinada en el ensayo del paso a).
- d) Se determina la resistencia a la compresión de las probetas, después de siete días de curado en cámara húmeda, previa inmersión de cuatro horas.

e) En el gráfico 3.8 se verifica, en función del porcentaje de limo + arcilla, la resistencia mínima a la compresión que se debe obtener de la mezcla. Si el promedio obtenido del ensayo de compresión es mayor que la resistencia mínima, se adoptará el contenido de cemento usado en el ensayo. Si el promedio de resistencias obtenido es menor que la mínima puede deberse a que el contenido de cemento sea insuficiente. En este caso se deben moldear dos cilindros de prueba, uno con el contenido de cemento usado en el ensayo y otro con un 2% mayor. Estas probetas se someterán a los ensayos de durabilidad (ASTM D 559-96 y ASTM D 560-96) y se evaluarán de acuerdo con el Método General de Dosificación.



**Gráfico 3.8** LIMO MAS ARCILLA (%)

### 3.2.1.2 METODO B

(Cuando hay material retenido en el tamiz N° 4)

Descripción:

- a) Se determina la relación humedad – densidad (ASTM D 558-04). El contenido de cemento para este ensayo se calcula así:
  - De la Gráfico 3.9 siguiente, en función de los porcentajes de limo + arcilla y de cascajo fino y grueso, se estima la densidad aparente máxima de la mezcla.

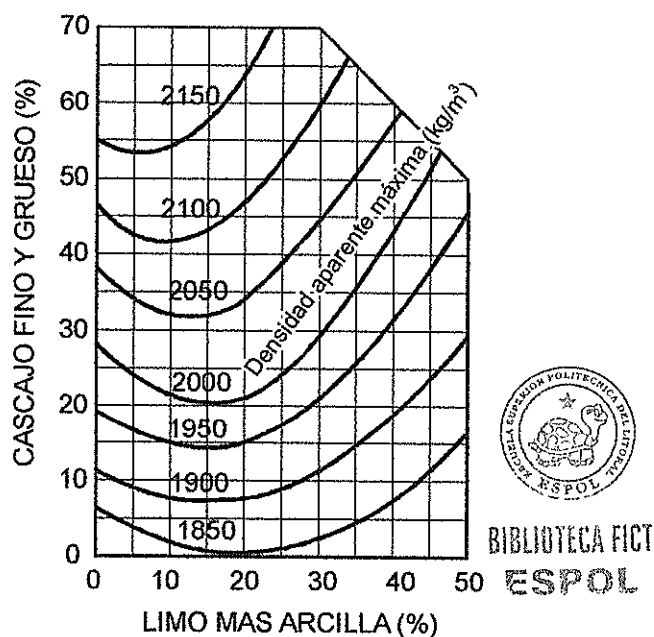


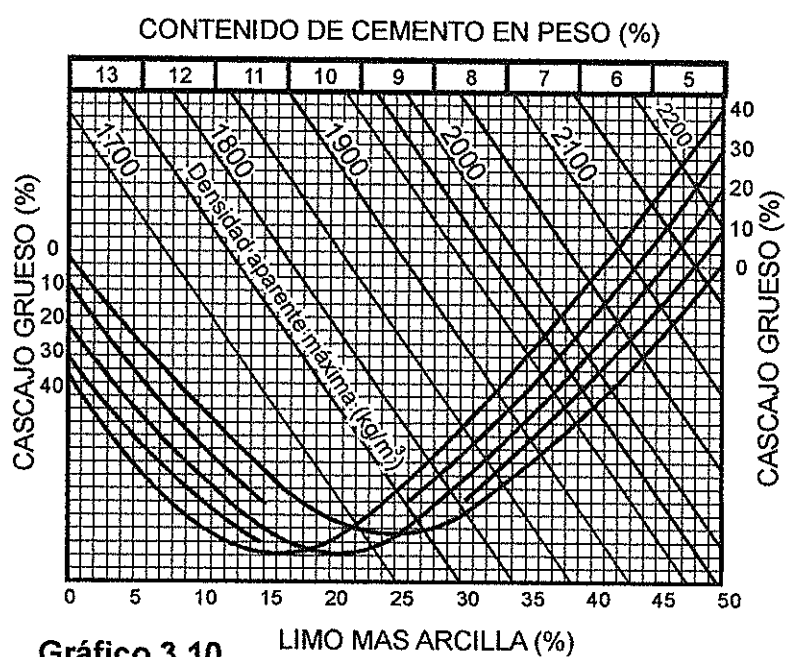
Gráfico 3.9



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



- De gráfico 3.10, en función de los porcentajes de cascajo grueso y de limo + arcilla y de la densidad máxima aparente obtenida del paso anterior se determina el contenido de cemento para el ensayo de compactación.



- b) Con la densidad máxima aparente obtenida del ensayo de compactación y de los porcentajes de cascajo grueso y de limo + arcilla, se determina en el gráfico 3.10 el contenido de cemento para el ensayo de compactación.

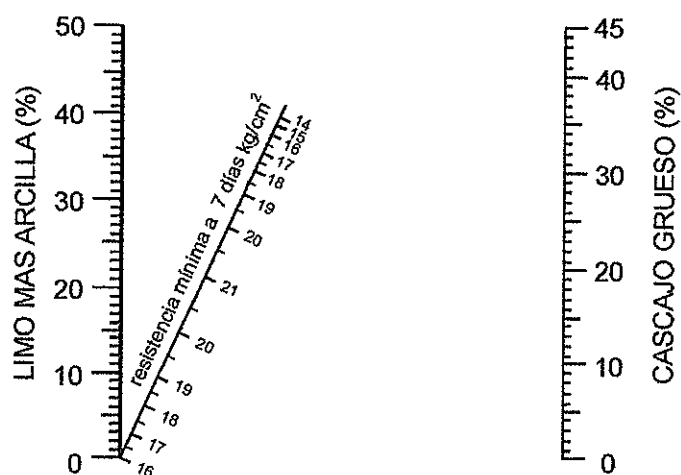
- c) Con el contenido de cemento indicado en el paso b) se moldean tres cilindros de prueba con la compactación del Proctor Normal. La humedad para este ensayo debe ser la óptima determinada en el ensayo de compactación (paso a).
- d) Se determina la resistencia a la compresión de los cilindros de prueba después de siete días de curado en cámara húmeda, previa inmersión de cuatro horas en agua.
- e) Se verifica en el gráfico 3.11, en función de los porcentajes de cascajo grueso y de limo + arcilla, la resistencia mínima a la compresión que se debe obtener de la mezcla. La evaluación de los resultados es igual que en el caso de suelos que pasan totalmente en el tamiz de 4.8 mm (N°4), indicado en el literal e) del Método A.

### 3.2.2 Ejemplo de utilización del método simplificado de la PCA.

El suelo a utilizarse tiene la siguiente composición:



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

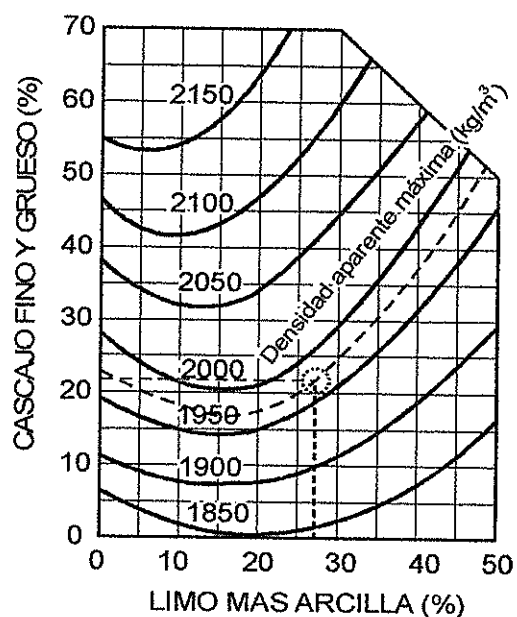


**Gráfico 3.11**

Cascajo grueso	20%
Cascajo fino	03%
Arena gruesa	19%
Arena fina	31%
Limo	12%
Arcilla	15%

Como el suelo tiene menos del 20% de arcilla y menos del 45% de cascajo grueso (material retenido en el tamiz N° 4), se puede usar el método simplificado. Además como tiene material retenido en el tamiz N° 4, debe aplicarse el Método B.

- a) En el gráfico 3.9, con 27% de limo + arcilla y de 23% de cascajo grueso + cascajo fino, la densidad máxima aparente se estima en  $1975 \text{ kg/m}^3$ . (Gráfico 3.12)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Gráfico 3.12

En el gráfico 3.10, con 27% de limo + arcilla y 20% de cascajo grueso, y con una densidad de 1975, se obtiene un contenido de cemento del 5% para el ensayo de compactación (Gráfico 3.13).

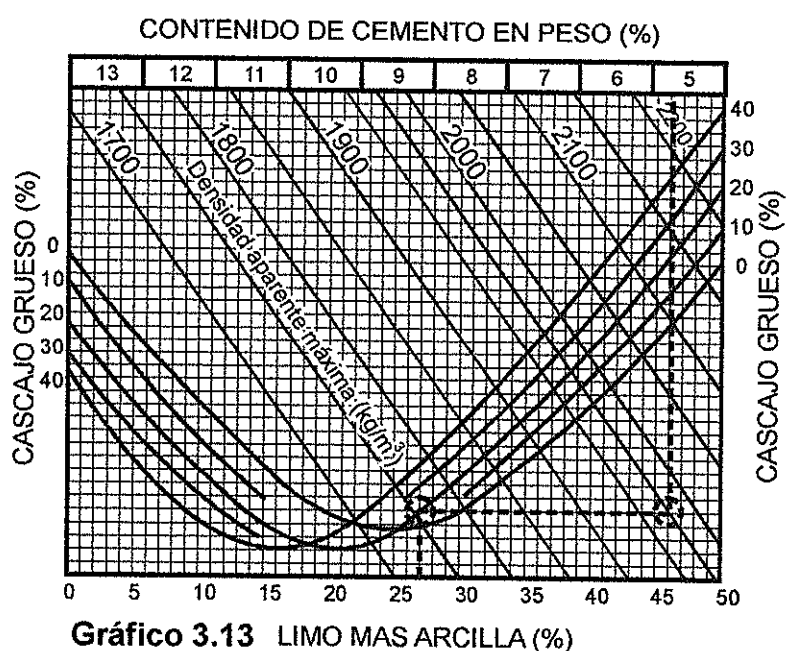
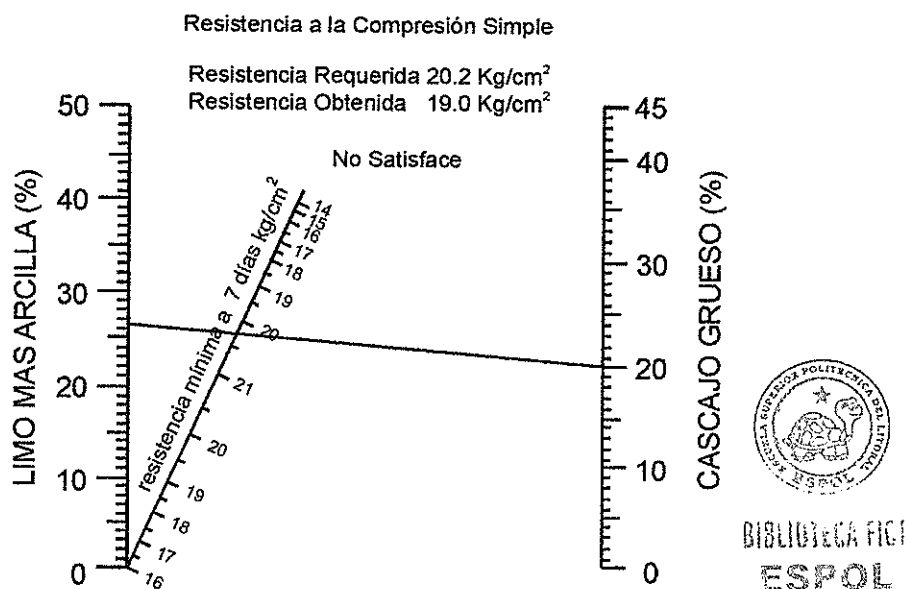


Gráfico 3.13 LIMOS MAS ARCILLA (%)

Una vez realizado este ensayo en laboratorio se obtiene una densidad máxima aparente de  $2000 \text{ kg/m}^3$  y una humedad óptima del 8.7%, se puede continuar con el paso siguiente.

- b) En el gráfico 3.10, con una densidad de  $2000 \text{ kg/m}^3$  se obtiene un contenido de cemento de 5% igual al anterior.
- c) Se moldean tres cilindros de prueba con 5% de cemento en peso.
- d) Se determina la resistencia a la compresión de los cilindros de prueba a los siete días. Se obtiene una resistencia promedio de  $19 \text{ kg/cm}^2$ , se puede continuar con el paso siguiente.
- e) En el gráfico 3.11, con 27% de limo + arcilla y 20% de cascajo grueso, se establece que la resistencia debe ser superior a  $20.2 \text{ kg/cm}^2$ , (figura 3.14) y por lo tanto deben hacerse ensayos adicionales.

Se moldean entonces dos cilindros de prueba, uno con 5% y otro con 7% de cemento en peso. Estos cilindros se someten a



**Gráfico 3.14**

ensayos de durabilidad (ASTM D 559) por humedecimiento y secado. Como resultado de esta prueba se obtiene una pérdida de peso de 11% y 7% respectivamente. Según las características de nuestro suelo se asemejan a la de un suelo A 2-4, y según lo que indica el Método General de Dosificación de la PCA, Tabla 15, se recomienda para este tipo de suelos un contenido de cemento de 5% es aceptable, aunque con ese contenido de cemento no se haya obtenido una resistencia a la compresión superior a la recomendada por el Método Simplificado.

Clasificación AASHTO para suelos	Clasificación ASTM para suelos	Rango típico de requerimiento de cemento, * porcentaje por peso	Contenido típico de cemento para ensayo de densidad y humedad (ASTM D558) porcentaje por peso	Contenidos típicos de cemento para ensayos de durabilidad (ASTM D559 y D506) porcentaje por peso
A-1-a	GW, GP, GM SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

\* No incluye suelos orgánicos o poco reactivos. Además, se puede requerir cemento adicional para condiciones severas de exposición como en protección de taludes.

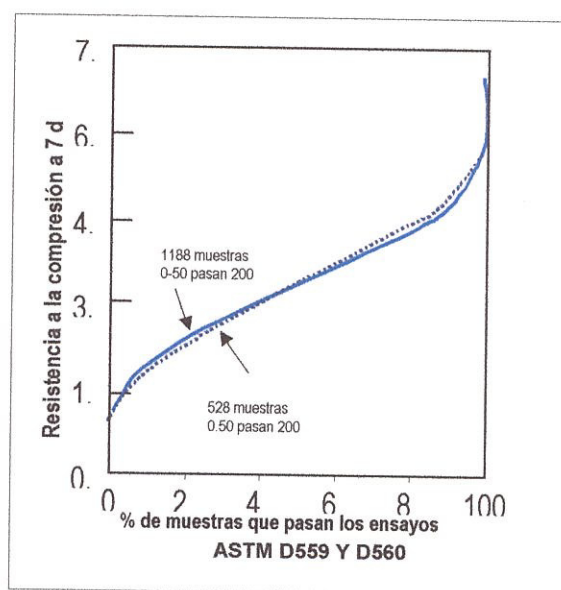
**Tabla 15**

### 3.3 Consideraciones tomadas para el desarrollo de este trabajo

En muchas aplicaciones de suelo cemento, tanto los requisitos de resistencia como de durabilidad, deben ser fijados para conseguir una vida de servicio satisfactoria. Para poder mantener la masa de suelo-cemento permanentemente compacta así como la estabilidad frente a los efectos de retracción y de fuerzas expansivas, debe determinarse el contenido de cemento requerido para el suelo a usarse en la mezcla.

En la figura siguiente puede apreciarse como, con mayores resistencias a la compresión, pueden obtenerse mejores

características de durabilidad. Una resistencia a la compresión de 6 MPa permite que todas las mezclas cumplan con los requisitos de durabilidad, pero esta resistencia podría ser superior a la requerida por algunos tipos de suelo-cemento por lo que resultarían mezclas innecesariamente onerosas. [1]



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

**Gráfico 3.15 ACI 230.1R**

Tomando en consideración lo expuesto, para este trabajo se considero como propósito alcanzar a los 7 días una resistencia a la compresión simple mayor a 6 MPa.

Dado que los materiales utilizados en mis 5 pruebas son materiales usados como bases y subbases granulares y que se las estabilizó



inicialmente con un 4% de cemento, se consiguió el objetivo deseado, superándolo ampliamente, se probó bajar a un 3% el contenido de cemento, pero se tubo problemas con la preparación de las probetas, no se obtenía una compactación del material y las probetas se desmoronaban, a pesar de esto se consiguió realizar algunas, lo resultados arrojaron que a los 9 días daban una resistencia de 6.17 MPa. resultado alentador pero se prefirió seguir trabajando con un 4%.

# CAPITULO 4

## 4. PROCESO CONSTRUCTIVO DE BASE DE AGREGADOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO

Para la colocación de la **Base de Agregados Estabilizada con Cemento, BAEC**, se necesita tener preparado la subrasante o material de subbase, haciendo referencia a su compactación, bombeo, cotas del proyecto.

Después de realizado estos trabajos preliminares se procede a la colocación de la **BAEC**, el procedimiento a detallarse mas adelante hace uso de las siguientes consideraciones:

- La preparación de la BAEC se la realiza en una planta dosificadora.
- El equipo a utilizarse para el tendido de la BAEC es una maquina Pavimentadora.

Para nuestro caso específicamente se utilizó en las 2 pruebas hechas una Pavimentadora Vögele, la cual es una máquina que tiende la base en un ancho de faja de 4.15 m y que avanza longitudinalmente con ayuda de sensores que siguen una línea guía (una piola equidistante a la

subrasante) a ambos lados de la faja, para mantener el espesor de la base uniforme en todo el largo de la vía.



Foto 1 Pavimentadora Vögele



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

A continuación detallo el procedimiento constructivo para el tendido de la **BAEC**

#### 4.1 Procedimiento Constructivo.

- 1) Se procede a fijar las líneas guía para la pavimentadora, respetando el ancho de faja a utilizar, como el espesor de base a realizar. Se humecta el tramo donde se va a colocar la base.

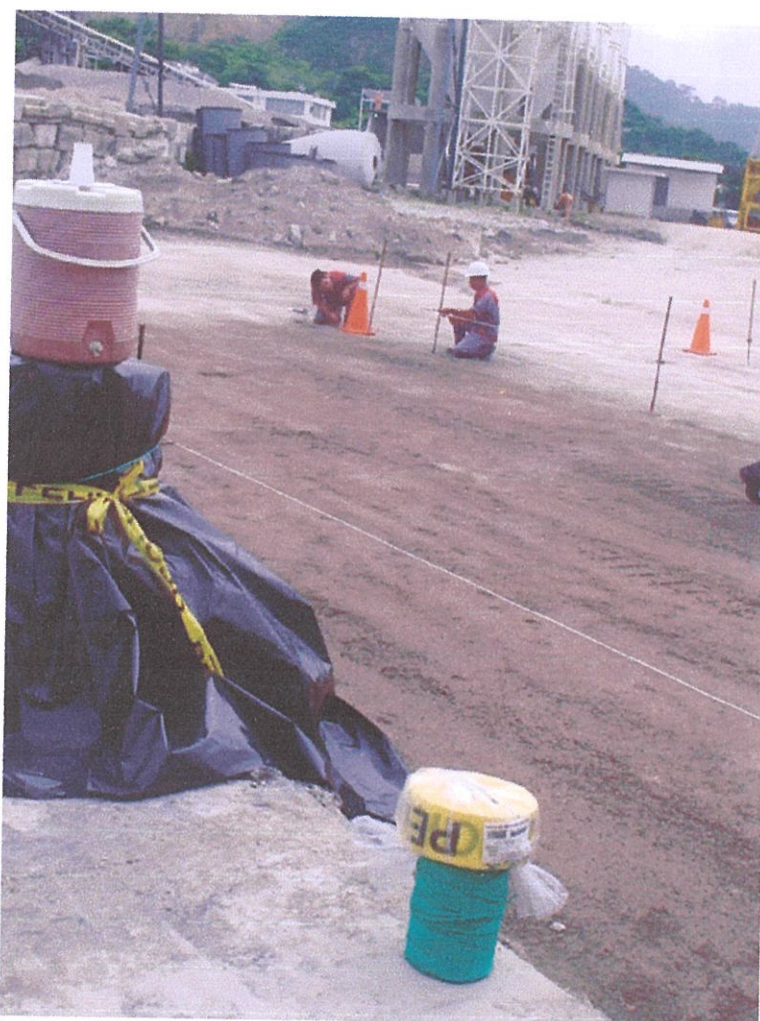


Foto 2 Guías de pavimentadora

- 2) Se coloca la pavimentadora en posición de arranque para el tendido. La mezcla preparada en la planta, se la transporta en volquetas y estas a su vez la depositan en la parte posterior de la pavimentadora. Este paso es importante, pues la máquina esta a nivel de la capa sobre la cual se colocará la base, y cuando se mueva longitudinalmente para continuar, la pavimentadora sube sobre el primer tramo tendido, donde se necesita tener elementos como tabloncillos para facilitar la subida de la máquina y no causar daños a la capa base.



**Foto 3 Inicio del tendido de la BAEC**



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

- 3) Una vez superado el primer tramo, el proceso depende ya solo de transporte de la Base dosificada en planta por medio de volquetas y depositarla en la pavimentadora para seguir avanzando longitudinalmente.

Mientras se avanza se realiza las mediciones de densidad de campo con un Densímetro nuclear, al cual se introduce como dato la densidad seca máxima obtenida mediante el ensayo Proctor Estándar realizado en laboratorio con los materiales utilizados, y este nos da el valor del Grado de compactación que se obtiene utilizando la pavimentadora. El MOP exige que la densidad de campo de en una base tiene que ser el 100% de la densidad obtenida de la prueba proctor, por lo tanto en caso de ser menor al 100% es necesario pasar el rodillo hasta conseguir este valor.

Cuando se desea obtener valores igual al 100% de Grado de compactación solo con la ayuda de la pavimentadora, es necesario tender la base en varias capas la base hasta obtener el espesor requerido. Por ejemplo en la prueba realizada en Planta San Eduardo se inició con un espesor de base de 30cm. y se llegó a obtener grados de compactación de 90 a 95% sin pasar el rodillo, se decide realizar tendidos de base de 15 cm. de espesor



BIBLIOTECA FIC I  
ESPOL

y se logra obtener grados de compactación de 96 a 98%. Este detalle explicaré mas detenidamente en el capítulo 6.



**Foto 4 Medición de la densidad de campo por medio de Densímetro nuclear**

- 4) El siguiente paso es realizar el curado de la franja de base realizada. Este se lo realiza con emulsión asfáltica, para evitar la pérdida de humedad, se la esparce con ayuda de un compresor,

en la superficie de la base de manera de cubrir toda el área. Una vez seca la emulsión asfáltica, se procede a realizar un corte en el borde de la faja donde se va a continuar poniendo otra faja de base para obtener el ancho necesario para la vía



**Foto 5 Corte en el borde de la base para colocar la faja siguiente**

- 5) En este paso se da importancia al confinamiento entre franjas, las líneas guías de la pavimentadora se las colocará lo más próximo posible a la franja existente, de manera que cuando se avance en lo mínimo sea necesario la intervención de compactadoras manuales o rodillos para este



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



sector. A continuación se detalla con fotos la experiencia realizada sobre este numeral



Foto 6 Compactación manual de junta longitudinal (borde)

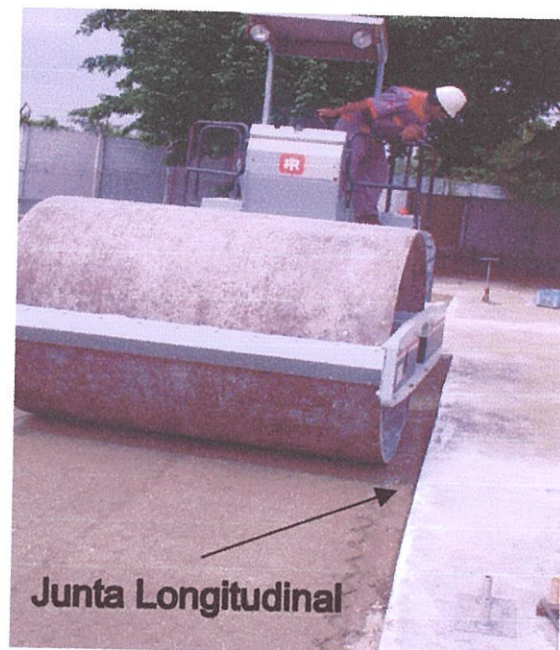


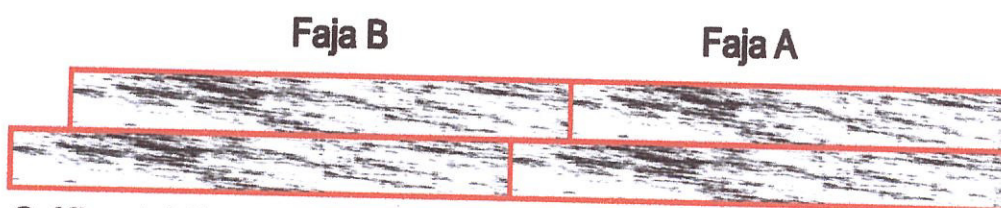
Foto 7 Compactación con Rodillo



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

- 6) Se continua con el tendido de la nueva franja tomando en cuenta el confinamiento entre franjas sea optimo a lo largo de la vía, de la misma manera una vez finalizado la nueva franja es necesario realizar el curado del mismo con la emulsión asfáltica, si se requiere una nueva franja adjunta se realiza el mismo proceso.

Este procedimiento se lo realiza cuando la base sea tendida en fajas de una sola capa. Cuando se requiera tender fajas en dos capas, el procedimiento es el mismo, solo la diferencia radica en que el ancho de faja superior es 15cm más angosta que la capa inferior, (ajuste tomada de la prueba real) como se detalla en el siguiente gráfico.



**Gráfico 4.1 Traslape de fajas longitudinales**

Adoptando este proceso para fajas de dos capas, no se tiene problemas para compactar en las zonas de confinamiento entre dos capas.

#### **4.2 Ventajas**

El uso de BAEC en el Ecuador no es de uso generalizado, lo que mas se utiliza para las carreteras son bases granulares. El MOP establece



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

en su manual, específicamente en su numeral 404-1.05. el procedimiento para ejecución de este tipo de bases, donde establece que la mezcla de los agregados para formar la base puede ser hecha en planta o en obra.

La mayoría de vías donde se ha aplicado una BAEC (Vía Duran – Tambo, a la altura de Boliche hasta el Puente Payo 1999, reparada después de ser afectada por efecto del fenómeno del niño de 1998) se uso el procedimiento donde el tendido de los materiales y su mezcla se lo realiza en obra, así mismo la distribución de cemento se lo realizó en sacos de 50 Kg.

Para obtener una mezcla homogénea de los agregados con el cemento regularmente utilizan una motoniveladora y a veces una rastra agrícola, y para humectar la mezcla, un camión cisterna, conjuntamente con un rodillo liso (cuyo peso mínimo establecido por el MOP es de 8 toneladas o rodillos vibratorios de igual o mayor energía de compactación) para compactar la BAEC. Con este método dependemos bastante de una buena dosificación en obra y un buen control en todos los procesos, de manera que tenemos que:

- Controlar la compactación para obtener: grados de compactación aceptables, según las normas del MOP, y también el espesor deseado de la BAEC.
- Controlar el Contenido de Humedad Optimo, y no influir de esta manera en la resistencia final de la BAEC

Ahora este proceso se lo realiza de manera cíclica en todos los tramos en que se ha dividido, hasta cubrir la longitud de la vía; donde se puede cerrar la vía, este proceso avanza abarcando todo el ancho de vía, pero en vías que son muy transitadas, necesariamente tiene que quedar abierto un sentido para temporalmente hacerla doble sentido con medidas de seguridad, entonces se avanzaría abarcando la vía por franjas, es lo que se hace la mayoría de las veces.

En cuanto al curado se lo realiza de manera similar al explicado en el numeral 4 del procedimiento constructivo de este capítulo, el cual contempla el MOP, y cuyo organismo también da la alternativa de curarlo manteniendo una capa de arena dispersa sobre la BAEC durante 7 días, con un espesor mínimo de 5 cm, manteniendo esta capa de arena húmeda en los tres primeros días.

Entonces explicado el proceso tradicional, trabajar con el proceso constructivo sugerido aquí tiene las siguientes ventajas:

- 1) La dosificación se la realiza en planta, de manera que se controla de la mejor manera y en forma precisa: una mezcla homogénea en toda la masa de la BAEC, las pérdidas de cemento, la cantidad necesaria de agua para obtener la humedad óptima, de esta manera se garantiza la resistencia final de la base en referencia a la obtenida con los ensayos en laboratorio.
- 2) Con la ayuda de la pavimentadora se controla un espesor de base uniforme en toda longitud de la vía, limitándonos a controlar el grado de compactación.
- 3) Los tiempos de ejecución para el tendido de la base se acortan, lo cual repercute en cuanto a economía.
- 4) Por su uniformidad superficial que se obtiene nos agiliza la ejecución de la carpeta de rodadura.
- 5) Con respecto a su espesor: el espesor requerido para la BAEC es menor al requerido por una base granular para soportar un mismo tráfico, como consecuencia de la incorporación de cemento.



BIBLIOTECA FIC1  
ESPOL

### 4.3 Usos

La BAEC es ampliamente usada para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas.

El espesor más común y que ha sido usado satisfactoriamente en gran cantidad de calles, aeropuertos de poco tráfico y carreteras secundarias, es de 150 mm. Sin embargo existen pavimentos con BAEC de espesores de 100 y 125 mm. Que han prestado buen servicio para tráfico liviano contruidos sobre una subrasante de buena capacidad de soporte. Espesores de BAEC de 175 a 300 mm. son usuales en carreteras de tráfico pesado. Existen unos pocos proyectos de aeropuertos contruidos con BAEC de 400 mm de espesor. [1]

# CAPITULO 5

## 5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

En este capítulo detallaremos materiales, equipos, metodologías para ensayar los distintos tipos de materiales utilizados, realizar el análisis granulométrico, encontrar la densidad seca máxima y humedad óptima para determinada dosificación, realizar las correcciones respectivas, realizar las probetas para probar su resistencia a la compresión a determinados días.

### 5.1 Materiales Utilizados.

Los materiales utilizados son 100% obtenidos por trituración, en todas las pruebas se les adicionó material fino como arena natural de río y arena triturada homogenizada con el objetivo de poder cumplir el límite granulométrico escogido.

En el Capítulo 2 se dio a conocer algunas propiedades físicas de los agregados, necesarias para poder realizar la dosificación de la mezcla para realizar la BAEC.

#### 5.1.1 Agregados

Los Agregados utilizados son los siguientes:

Nominación del Material	Cantera Procedente
Piedra ASTM 56	Calizas Huayco
Piedra ASTM 78	Calizas Huayco
Arena Triturada homogeneizada	Calizas Huayco
Arena Natural Peralta No.6	Calizas Huayco
Arena Natural Guayaquil	Arenera Guayaquil
Grueso de Subbase No. 38mm	Calizas Huayco
Fino de Subbase No. 5mm	Calizas Huayco
Piedra Base II A Luzagui	Luzagui
Piedra 1/2 - 1 1/2 Luzagui	Luzagui
Piedra 3/8 Verdú	Verdú
Cisco Luzagui	Luzagui
Piedra Base I A Cadmen (Finos)	Cadmen - Cochancay
Piedra Base I A Cadmen (Gruesos)	Cadmen - Cochancay
Material triturado 2 - 2	Reserva Estadio Municipal

**Tabla 16 Materiales Utilizados**



**Foto 8 Arena Peralta 6 y Piedra ASTM 56 - Calizas Huayco**





**Foto 9 Piedra ASTM 78 – Calizas Huayco**



**Foto 10 Arena Triturada Homogeneizada – Calizas Huayco**



Foto 11 Arena Peralta 6 – Calizas Huayco

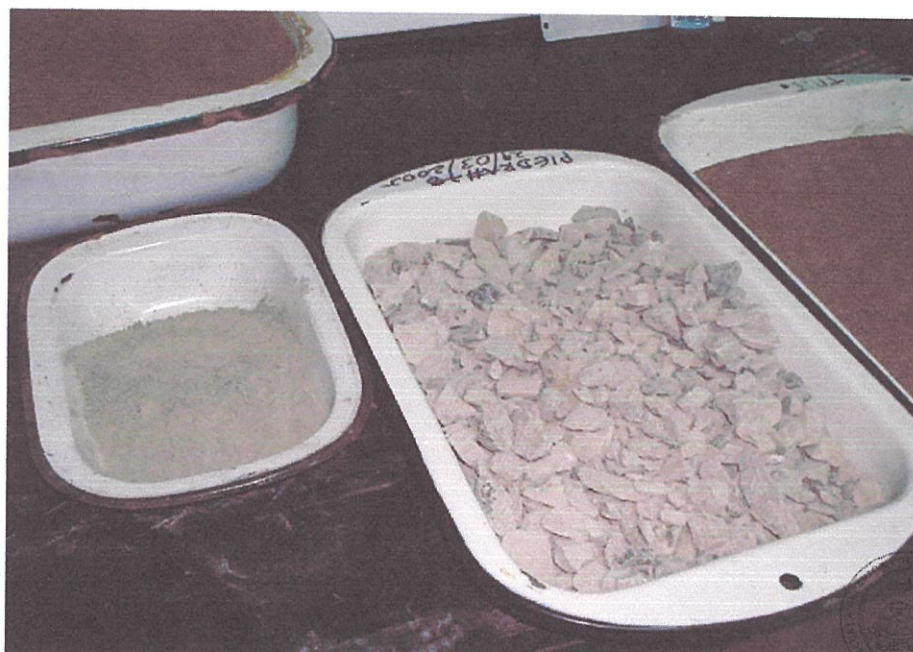


Foto 12 Grueso de Subbase 38mm – Calizas Huayco

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



**Foto 13 Arena Guayaquil 2 y Finos de subbase triturada 5mm – Arenera Guayaquil, Calizas Huayco**



**Foto 14 Piedra Base II A Luzagui**



Foto 15 Piedra ½ a 1 ½ Luzagui



Foto 16 Piedra 3/8 Verdu



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

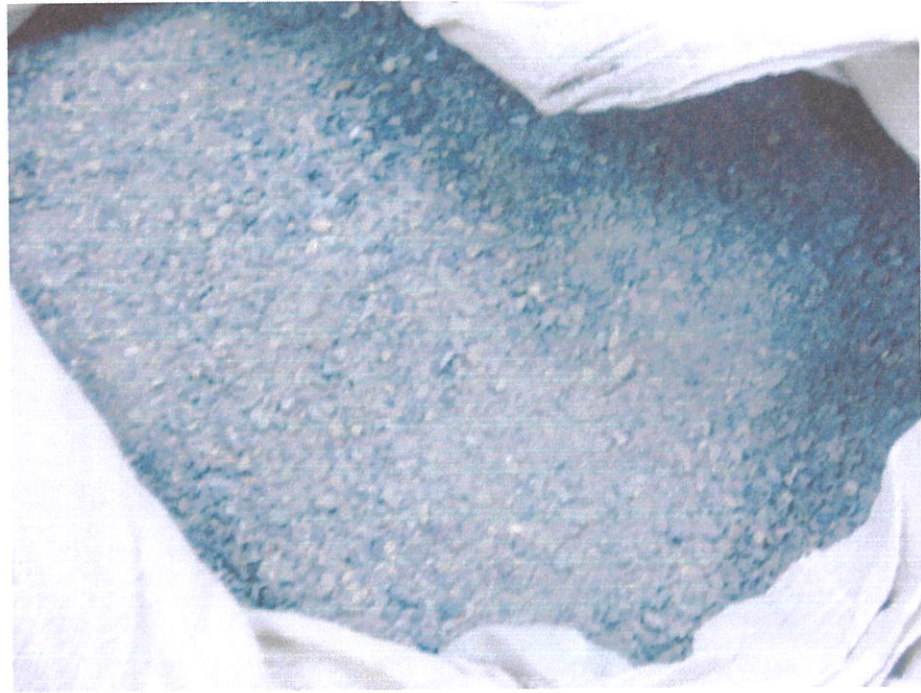
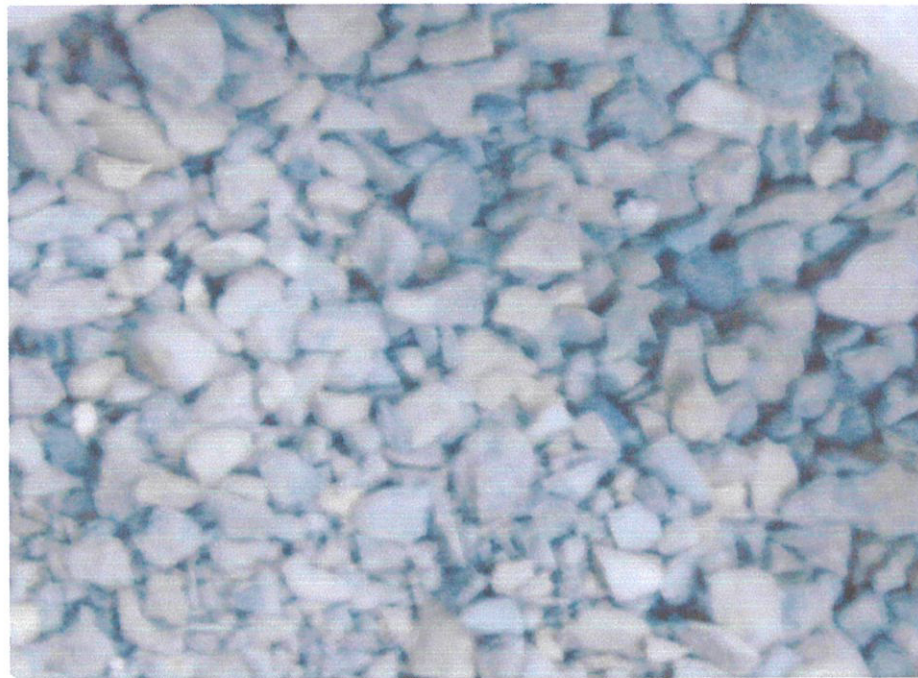


Foto 17 Cisco Luzagui



Foto 18 Piedra Base IA Cadmen

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



**Foto 19 Material triturado Silo 2-2, reserva Municipio La Troncal**



**Foto 20 Cantera Luzagui**



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

### 5.1.2 Cemento [4]

Para la mayor parte de las aplicaciones se usa normalmente cemento portland Tipo I ó Tipo II, que cumplan con la norma INEN 152 (ASTM C 150). El cemento portland puzzolánico IP (INEN 490 ó ASTM C 595) se lo puede usar por las ventajas que se obtienen al utilizar los cementos Tipo I ó II con adiciones de puzzolana.

La Portland Cement Association (PCA) establece que cualquier tipo de cemento Portland que cumpla con los requisitos y pruebas de las últimas especificaciones ASTM C 150, C 595, C 1157 ó C 91, puede ser utilizado.

Los requerimientos de cemento varían según el tipo de suelos y de las propiedades deseadas para el suelo cemento. El contenido de cemento varía entre valores tan bajos como 4% o tan altos como 16% del peso seco del suelo.

De una manera general, el contenido de cemento requerido se incrementa a medida que aumenta el contenido de arcilla de los suelos utilizados.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

El cemento utilizado en este trabajo es un cemento Pórtland puzolánico Tipo 1P marca Rocafuerte.

La característica de este tipo de cemento es que se obtiene resistencias más altas que las exigidas en la norma INEN 490 (ASTM C 595),

Su contenido de adición puzolánica le da la propiedad de tener mejores resistencias al ataque de sulfatos, mayor resistencia a la reacción álcali-agregados.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

**Gráfico 5.1 Cemento**



### 5.1.3 Aditivo Polyheed R1

Es un aditivo retardante, reductor de agua de rango medio, multicomponente y libre de cloruros, cumple con la norma ASTM C 494 para tipo B y D.

Este aditivo es representado por MBT Concretesa y recomienda una dosificación de 200 a 800 cm<sup>3</sup> por cada 100 kg de cemento y los campos de utilización son:

- Donde se desee extender el tiempo de fraguado y la trabajabilidad especialmente en climas cálidos
  
- Mejora el hormigón bombeado, reforzado, de peso ligero, y el hormigón colocado de forma convencional

Algunas indicaciones técnicas que facilita la presentación son las siguientes:

Forma: Líquido

Densidad 1.225 g/cm<sup>3</sup>

pH: 7.5

Color: Café oscuro

#### 5.1.4 Agua.

El agua es indispensable en las mezclas de suelo cemento para la hidratación del cemento portland así como para conseguir la máxima compactación de la mezcla. Los contenidos de agua en los suelos-cemento varían usualmente dentro de un rango del 10 al 13 por ciento del peso del suelo-cemento secado al horno.

Puede usarse agua potable o aguas relativamente limpias, libres de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos o materias orgánicas.

Se ha usado, con resultados satisfactorios, agua de mar. La presencia de cloruros en el agua de mar puede conducir a la obtención de resistencias tempranas



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

#### 5.2 Equipos

Los equipos utilizados para las distintas pruebas son:

- Tamizadora para agregado grueso y fino.
- Balanza de varias capacidades ( $10 \pm 0.001$  g,  $4000 \pm 0.5$  g,  $100 \pm 0.05$  Kg.)
- Utensilios para almacenar pesos conocidos de agregados, cemento, agua, aditivo.

- Utensilios para el mezclado de los materiales.
- Martillo para proctor estandar.
- Moldes para elaborar las probetas.
- Extrusora de probetas.
- Materiales para evitar la pérdida de humedad de la probeta, e identificación de la muestra (fundas, cinta adhesiva, marcadores).
- Cuarto de Curado
- Olla eléctrica para Capping
- Prensa Hidráulica para ensayos a compresión.
- Equipo de ultrasonido
- Equipos de seguridad. (Mandil, Guantes)

### **5.3 Metodologías.**

Los ensayos realizados para el análisis de las diferentes dosificaciones de las bases fueron los siguientes:

- Granulometrías.
- Prueba Proctor Estándar.
- Preparación y curado de Probetas.
- Ensayos de Resistencia a la Compresión.
- Pruebas de Ultrasonido.

### 5.3.1 Granulometrías.

Se tomo muestras de materiales de agregados gruesos, arena triturada homogeneizada, arenas naturales, que se comercializa en canteras, las dos primeras obtenidas por trituración, y lo primero que hicimos fue un análisis granulométrico conforme la norma INEN 696 (ASTM C 136). El Procedimiento es el siguiente:

- 1) Se procede a secar el material, a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- 2) Se toma una cantidad igual o superior de material según especifica la norma para el tamaño máximo nominal. Se toma como dato este peso.
- 3) Se procede a seleccionar los tamices según su abertura, y se los coloca de mayor a menor, los tamices elegidos son los que forman parte de nuestros límites granulométricos, se adicionan los tamices de la serie estándar, cuando se desea obtener datos adicionales como el módulo de finura.
- 4) Se coloca el material en la tamizadora mecánica, con un tiempo estimado, de manera que no se retenga material mas fino que el de la abertura de la malla (3 a 5 minutos en mi caso para agregado fino y grueso respectivamente).
- 5) Se procede a tomar los pesos parciales retenidos en los tamices. Se realiza la suma total para verificar que



porcentaje se perdió durante el proceso, con respecto al peso inicial. Para pérdidas superiores al 3% será necesario repetir todo el proceso.

- 6) Se procede a realizar los cálculos de los retenidos y pasantes acumulados, para determinar el módulo de finura y la curva granulométrica respectivamente.

Una vez realizado este ensayo a los agregados, se procede a verificar si cumplen con los límites granulométricos establecidos, de no ser así procedemos a realizar la mezcla de materiales de diferentes granulometrías de forma que se este dentro de estos límites.

Para realizar el cálculo de las proporciones de los distintos materiales se recurre al siguiente razonamiento:

$$MFI = Mf_1X_1 + Mf_2X_2 + Mf_3X_3 + \dots + Mf_iX_i$$

Donde:

- MFI: Modulo de finura de la curva granulométrica promedio de los límites granulométricos.

- $Mf_1, Mf_2, Mf_3, \dots, Mf_i$ : Módulos de finura de los materiales a combinarse.
- $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ : Porcentajes con los que van a entrar a formar parte de la mezcla los distintos agregados para cumplir los límites granulométricos.

Y además se debe considerar:

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_i = 100\%$$

Analizando las ecuaciones, este proceso a partir de tres o mas agregados considera mas incógnitas que ecuaciones, teniendo que por tanteo fijar valores de porcentajes (X) de varios materiales de manera de obtener solo dos porcentajes incógnitas, y verificar si los valores tomados se acoge a nuestros límites, de no hacerlo realizamos nuevamente el proceso hasta que se ajuste.

Para realizar este proceso cíclico de cálculo, se procedió a usar una hoja de excel donde ingresamos valores de los porcentajes pasantes para los distintos materiales, de manera que se ajuste a nuestros límites Granulométricos, a manera de ejemplo:



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Tesis de Grado

Material N° 1: Piedra Base IIA (Cantera Luzagui) 27/07/2005 (BASE IA)  
 Material N° 2: Piedra 1/2 a 1 1/2 (Cantera Luzagui)  
 Material N° 3: Piedra 3/8 (Cantera Verdu) 09/06/05  
 Material N° 4: Cisco (Luzagui) 27/07/2006

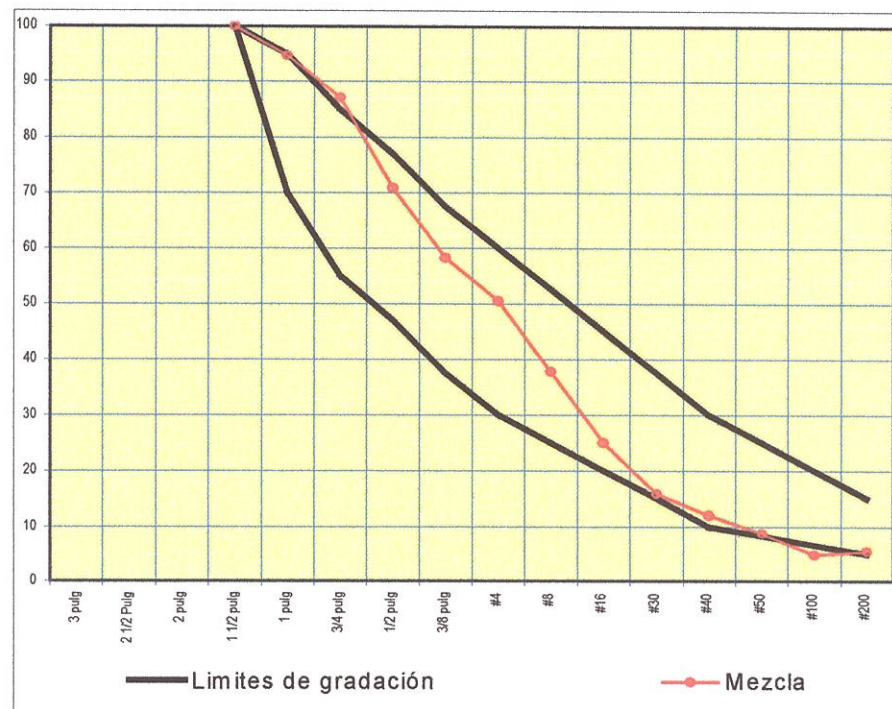
1

Tamices	Mat N° 1	25.0%	Mat N° 2	20.0%	Mat N° 3	8.0%	Mat N° 4	47.0%	Total
3	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
2 1/2	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
2	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
1 1/2	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
1	100.0	25.0	73.6	14.7	100.0	8.0	100.0	47.0	94.7
3/4	95.6	23.9	40.6	8.1	100.0	8.0	100.0	47.0	87.0
1/2	54.6	13.7	10.7	2.1	100.0	8.0	100.0	47.0	70.8
3/8	13.6	3.4	2.4	0.5	91.0	7.3	100.0	47.0	58.2
#4	0.7	0.2	0.2	0.0	40.0	3.2	100.0	47.0	50.4
#8	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.2	78.0	36.7	37.9
#16	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.6	52.0	24.4	25.0
#30	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.3	33.0	15.5	15.8
#40	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.2	25.0	11.8	12.0
#50	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.2	18.0	8.5	8.7
#100	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.2	10.0	4.7	4.9
#200	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	11.3	5.3	5.4
Mod finura	6.9	1.7	7.6	1.5	5.4	0.4	3.1	1.5	5.1

Tabla 17 Ejemplo de mezcla de materiales

Los valores en letra azul son los valores del pasante acumulado obtenidos de la granulometría de ese material, los valores de los porcentajes en que van a participar en la mezcla se los pone en los casilleros de amarillo. Conforme se ingresa se visualiza la curva granulométrica resultante de la mezcla, entonces por tanteo ingresamos valores de manera que la curva granulométrica resultante esté dentro de los límites

establecidos. Se debe considerar que la suma de los porcentajes ingresados debe ser igual a 100%.



**Gráfico 5.2 Curva Granulométrica de la mezcla agregados**

Una vez establecidos los porcentajes con que participarán los distintos agregados para la dosificación procedemos a realizar el cálculo de dosificación.

### 5.3.2 Prueba Proctor

El ensayo Proctor comprende los procedimientos para determinar la relación entre el contenido de agua y la densidad



de mezclas de suelo-cemento cuando se compactan antes de la hidratación del cemento, el procedimiento utilizado es el especificado en la norma ASTM D 558 – 04. Esta norma contempla dos métodos: A y B, y cada uno tiene sus derivados: A, B, C, y D.

Método	A	B	C	D
Material	Pasa tamiz No. 4		Pasa Tamiz No. 3/4"	
Molde usado	4"	6"	4"	6"
No. de capas	3	3	3	3
No. Golpes por Capa	25	56	25	56

Martillo de 5,5 libras - Altura de caída 12"

### Tabla 18 Tipo de ensayos proctor

**Método de Ensayo A** para material que pasa la malla No.4 (4,75 mm). Este método se usará cuando el 100% de la muestra de suelo pasa la malla No. 4 (4,75 mm).

**Método de Ensayo B:** Para material que pasa la malla de 19 mm. Este método se usará cuando parte de la muestra de suelo es retenida en la malla No. 4 (4,75 mm). Este método sólo puede ser usado en materiales con el 30% o menos retenido en la malla de 19 mm.

De las pruebas granulométricas se determino que el método a utilizar es el método B procedimiento C.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

La prueba proctor estándar consta de los siguientes pasos (Método B):

- 1) Se tamiza, previo secado del material, el agregado por el tamiz de 19 mm (3/4)
- 2) Se pesan los materiales según las cantidades obtenidas en la dosificación.
- 3) Se mezcla los agregados y el cemento de manera de tener una mezcla homogénea y una coloración uniforme.
- 4) Se adiciona una cantidad conocida de agua, de forma parcial, y se mezcla. En la última cantidad de agua se adiciona el aditivo.
- 5) Se debe tener listos los cilindros, conforme la norma a la que se hace referencia, para facilidad de retirar las muestras, se pasa aceite al molde, se procede a realizar dos muestras, llenando los moldes con el collar colocado en un total de tres capas, por cada capa se le aplica 25 golpes (energía de compactación), por medio de un martillo mecánico de 5.5 lb. La altura total de las tres capas debe ser por lo menos de 130 mm.
- 6) Se procede a retirar el collar del molde, se corta el material que sobresale el molde con un cuchillo o con la

ayuda de un enrasador, de existir alguna perturbancia producida al enrasar, se le adiciona material y se la enrasa. Se registra el peso del molde con la probeta.

- 7) Se corta un pedazo de material del collar, y se toma una muestra (mínimo 500 g) se registra el peso de la tara y de la muestra. Se la hace secar al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 12 horas. Se procede a extraer del cilindro la probeta por medio de una extrusora de muestras, se pone en una bolsa plástica para evitar pérdidas de humedad, se le identifica con alguna nomenclatura y se somete a curado en un cuarto de Humedad (Cámara de humedad).
- 8) Se repite el proceso para una misma dosificación con la diferencia que cada vez que se repite se adiciona en un punto más o menos la cantidad de agua.
- 9) Se retira del horno la muestra que se puso a secar y se registra el peso de la tara y de la muestra, luego se procede a calcular el porcentaje de humedad y densidades para ese punto. Así.

$$w\% = \frac{Ph - Ps}{Ps}$$

Donde:

W%: Porcentaje de humedad

Ph: Peso de la muestra húmeda

Ps: Peso de la muestra secada al horno

Después de obtener este dato se procede a calcular la densidad de la probeta. Para esto primero calculamos el peso seco de la probeta, utilizando el dato anterior (w%) de la siguiente manera:

$$P_s = \frac{P_h}{1 + \frac{w\%}{100}}$$

Donde:

Ps: Peso de la probeta seca

Ph: Peso de la probeta húmeda

w%: Porcentaje de humedad

Conociendo este valor podemos calcular la densidad seca, de manera similar la densidad húmeda

$$D = \frac{P}{V}$$

Donde

D: Densidad

P: Peso

V: Volumen del molde



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

A continuación doy a conocer un ensayo realizado:

RELACIONES DE DENSIDAD-HUMEDAD DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO

ASTM D 558 -96

Fecha: 02/08/05  
 Material: BASE ESTABILIZADA ( Áridos Luzagui - Verdu)  
 Interesado:  
 Procedencia: C.T.H.

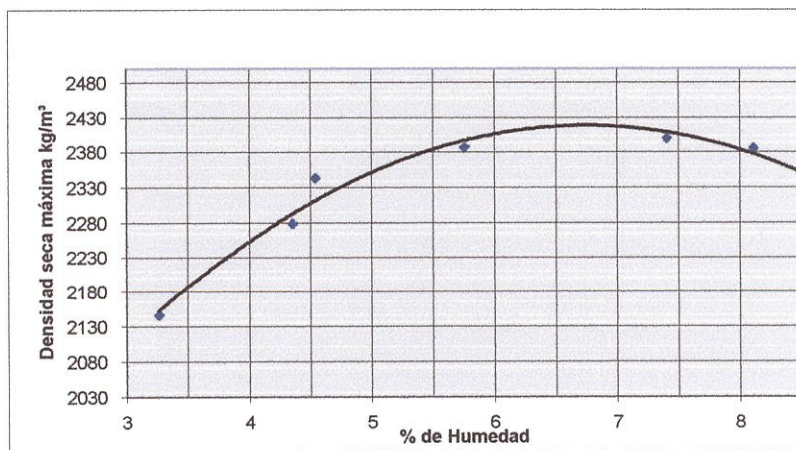
ASTM D 558 Procedimiento:	"C"	Dosificación	kg/m <sup>3</sup>
Número de capas:	3	Cemento HE :	95
Número de Golpes/Capa:	25	Piedra Base IIA Luzagui	526
		Piedra de 1/2 a 1 1/2 Luzagui	421
		Piedra 3/8 Verdu	168
Peso del martillo:	2.49 kg	Cisco Luzagui	989
		Agua Total	130
		Polyheed R1 1%	
		Densidad Humeda	2330
			Relación a/c = 0.82

Cálculo de Humedad						
RECIPIENTE No.	1	2	3	4	5	6
PESO T + S + W (g)	530.0	510.0	671.5	599.5	638.0	495.0
PESO T + S (g)	518.5	496.5	652.5	575.0	607.0	472.0
PESO W (g)	11.5	13.5	19.0	24.5	31.0	23.0
PESO T (g)	166.0	186.5	234.0	149.5	188.5	188.5
PESO S (g)	352.5	310.0	418.5	425.5	418.5	283.5
% W (%)	3.3	4.4	4.5	5.8	7.4	8.1

Cálculo de Densidad						
PESO M + S + W (g)	6557	6710	6778	6848	6898	6902
PESO M (g)	4465	4465	4465	4465	4465	4465
PESO S + W (g)	2092	2245	2313	2383	2433	2437
VOLUMEN M (cm <sup>3</sup> )	944	944	944	944	944	945
PESO SECO (g)	2026	2151	2212	2253	2265	2254
DENSIDAD HUMEDA (kg/m <sup>3</sup> )	2216	2378	2450	2524	2577	2579
DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	2146	2279	2343	2387	2400	2385

Simbología

T: Tara                      %W: % de humedad  
 S: Suelo                    M: Molde  
 W: Agua



DENSIDAD SECA MAXIMA:	2410 kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD OPTIMA:	6.5 %

Gráfico 5.3 Ensayo Proctor – Curva de Densidad-Humedad

Donde la densidad seca máxima es el máximo valor en la ordenada de la curva, y cuyo correspondiente valor en la abscisa es su contenido de humedad óptimo ( $W\% \text{ opt.}$ ).

### 5.3.3 Preparación de las Muestras

Luego de obtenido la Densidad Seca Máxima, y la Humedad Óptima por medio del proctor, procedemos a corregir la dosificación utilizada, y obtener la dosificación final para elaborar probetas, someterlas a curado y ensayarlas a compresión a varias edades.

La preparación de las probetas es similar al proceso de la prueba proctor, la diferencia radica en que se trabaja con una cantidad conocida de agua equivalente al contenido de humedad óptimo.

A continuación doy a conocer una serie de fotos donde se detallan visualmente el procedimiento para realizar la probetas.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



Foto 21 Se pesa los agregados y se los coloca en recipientes.



Foto 22 Se pesa el cemento



Foto 23 Se pesa las cantidades de agua.

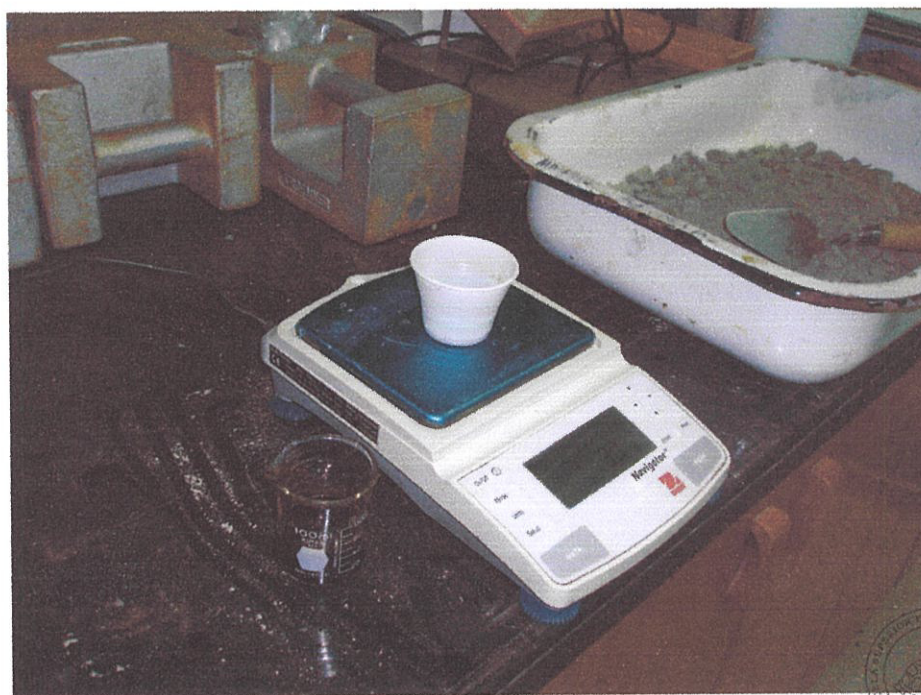


Foto 24 Se pesa el aditivo



BIBLIOTECA FICV  
ESPOL

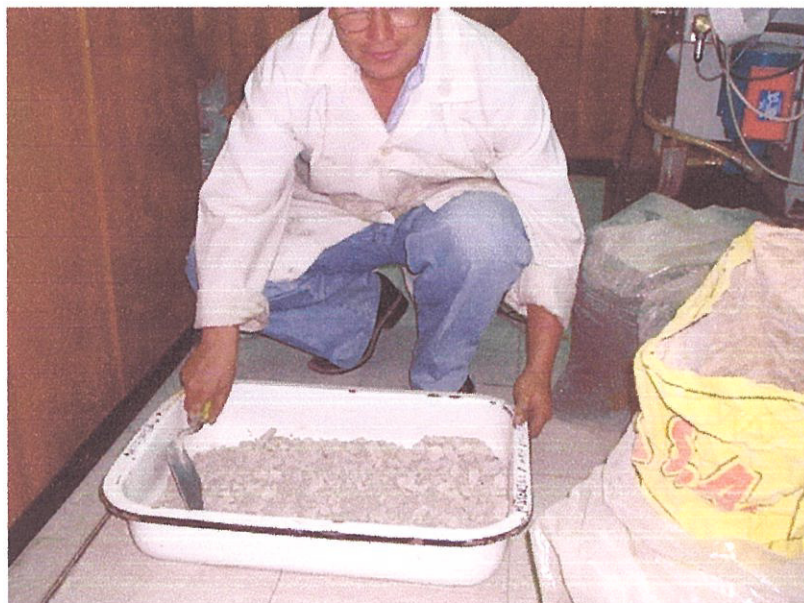




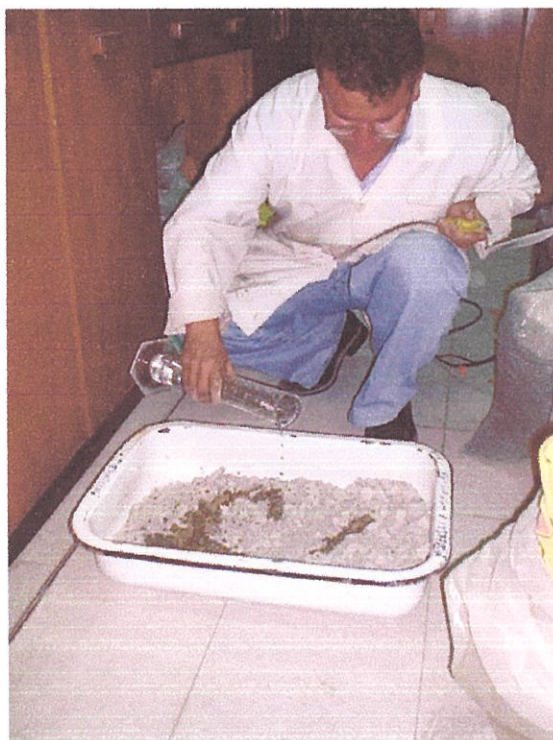
Foto 25 Se prepara los cilindros con el collar.



Foto 26 Mezcla de los materiales



**Foto 27 Mezclamos los agregados con el cemento hasta tener una mezcla homogénea.**



**Foto 28 Se procede a agregar el agua y el aditivo.**



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

Cuando se agrega el agua se lo va haciendo en cantidades parciales para ir mezclando de manera homogénea, conforme se agrega el agua se agrega el aditivo.

La última cantidad de agua se la vertía en el recipiente del aditivo para evitar dejar residuos de éste en las paredes del recipiente. Luego se procedía a llenar el cilindro en tres capas, y se lo compactaba con 25 golpes x cada capa por medio de un martillo



Foto 29 Mezcla de los agregados, cemento, agua y aditivo

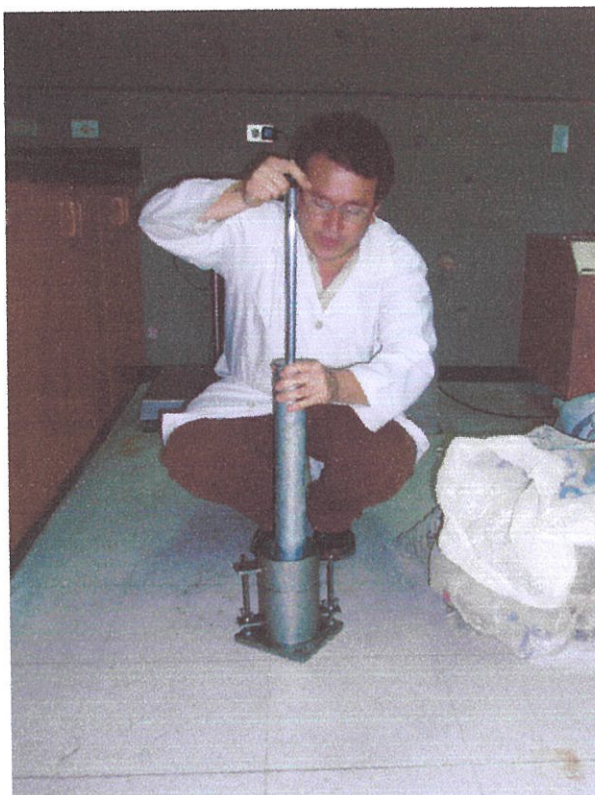


Foto 30 Compactación de las capas en los cilindros

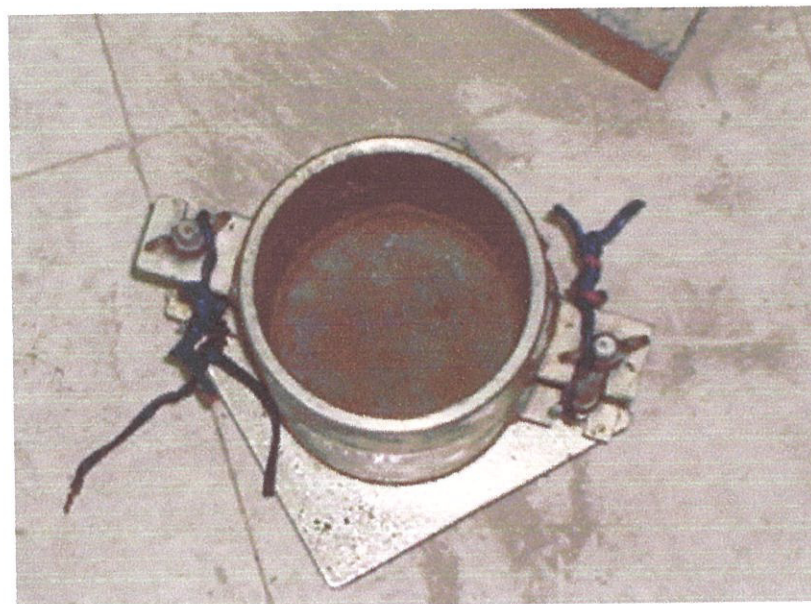


Foto 31 Compactación de una capa inicial en el cilindro



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



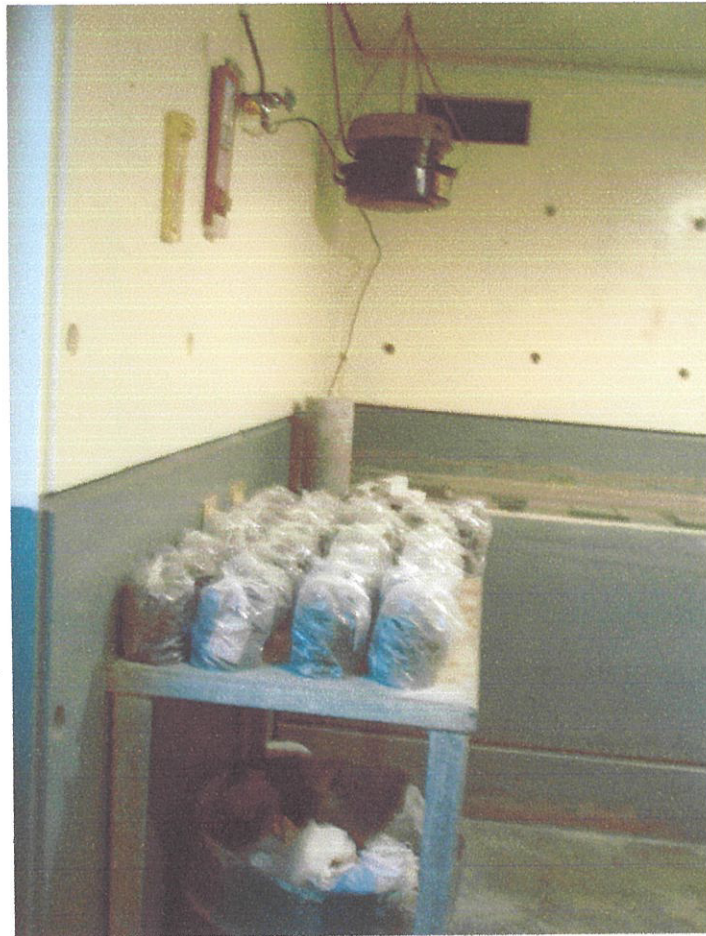
**Foto 32 Enrasado del cilindro, listo para su extrusión.**

El tiempo que tomaba desde el momento en que se adiciona el agua a la mezcla, hasta tener las dos probetas en el laboratorio fue de 30 minutos, la muestra que se tomaba del collar para sacar la humedad de ese punto se lo realizaba a los 20 minutos aproximadamente. Una vez enrasado el cilindro se registraba su peso y se procedía a su extrusión

Obtenida la probeta, se lo colocaba en una bolsa plástica, para evitar pérdidas de humedad, se almacenaba en un cuarto de humedad, como curado.



Fotos 33 y 34 Extrusión de la probeta.



**Foto 35 Curado de las probetas (Cámara húmeda)**

Las probetas obtenidas para realizar el ensayo proctor con humedades diferentes, se les realizó el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 7 días, las probetas realizadas con la humedad óptima (Corregido el proctor) se les realizó ensayos de resistencia a la compresión en grupo de a dos probetas a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días. En algunos casos se realizó a 90 días.

### 5.3.4 Prueba de Ultrasonido.

Es una prueba, para nuestro caso de sondeo que se realizó en una Dosificación para tener idea de la compactación proporcionada a las probetas. El ultrasonido es una vibración mecánica con un rango mayor al audible por el oído humano que se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido por el tiempo y velocidad con ayuda de un aparato creado para ese fin.

Rangos de sonido:

Infrasónica = 1 – 16 Hz

Sónica o audible = 16 Hz a 20 KHz

Ultrasónica = 20 KHz en adelante

Para la prueba de ultrasonido en materiales metálicos es de 0.2 a 25

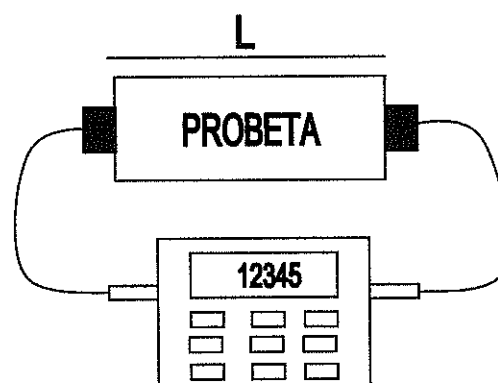


Gráfico 5.4 Prueba de ultrasonido





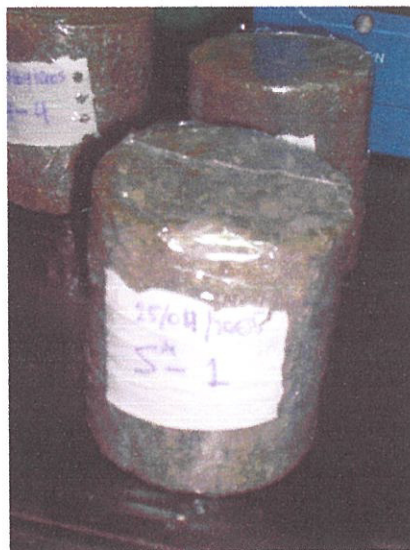
**Foto 36 Aparato para prueba de Ultrasonido**

### **5.3.5 Resistencia a la compresión de las muestras.**

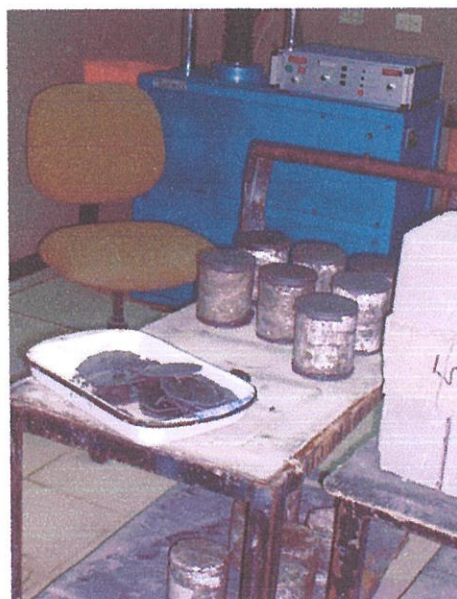
La prueba de resistencia a la compresión es un ensayo en el cual se diagnostica la manera como va ganando resistencia la probeta con el tiempo.

Para esta prueba es necesario preparar la probeta, la sacamos del cuarto de humedad, con cinta adhesiva procedemos a protegerla con la funda para no perder humedad, luego utilizando un compuesto en estado líquido caliente (mezcla de azufre con grafito) llamado capping, el cual al ambiente se solidifica, se le coloca, con ayuda de moldes, una capa de

capping en cada cara de la probeta, cuidando de que éstas sean paralelas y perpendiculares a una vertical, ésta capa tiene la función de distribuir de manera uniforme la carga aplicada sobre la superficie de la probeta.



**Foto 37 Protección contra pérdida de humedad**

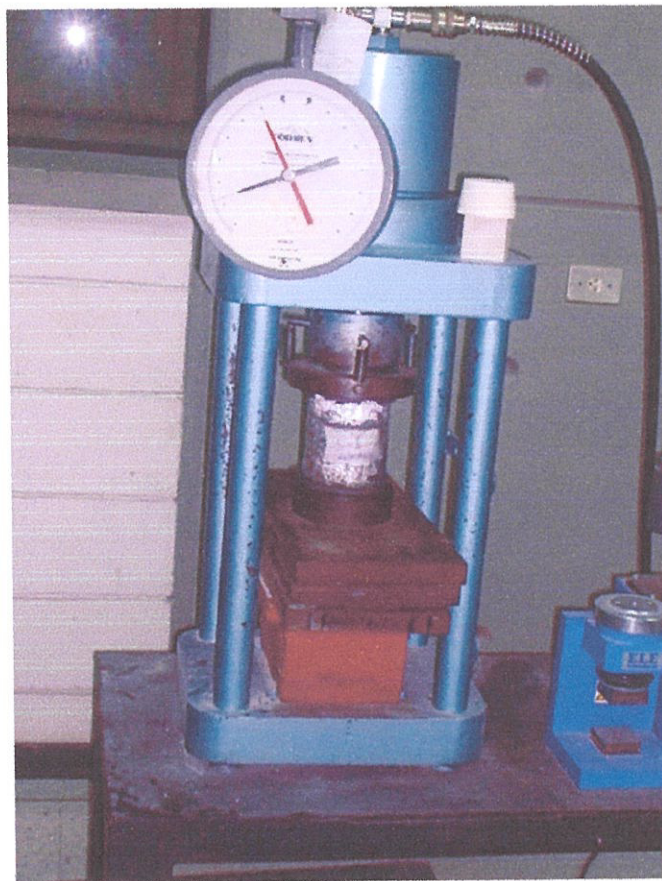


**Foto 38 Capeado de las probetas**



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

Luego de este proceso se coloca en la prensa hidráulica, y se le aplica carga a una velocidad de 1 a 2 KN/s, cuando la probeta falla el dial auxiliar queda estático marcando el valor máximo que soporto nuestra probeta, registramos este valor.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

**Foto 39 Aplicación de carga a Probeta**

Luego procedemos a realizar los cálculos para tabular los distintos valores que se obtendrá para diferentes edades.

# CAPITULO 6

## 6. PRUEBA A ESCALA INDUSTRIAL

Luego de haber analizado tres dosificaciones con distintos materiales provenientes de una misma planta de trituración en laboratorio, se hizo posible una prueba real, considerando la dosificación de la prueba 3.

La prueba se la hizo el 13 de mayo del 2005 y fue realizada en la Planta San Eduardo del Grupo Holcin, esta prueba se dividió en dos fases que la llamaremos Prueba San Eduardo 1 y Prueba San Eduardo 2.

En los siguientes numerales detallaremos la experiencia real y los correctivos necesarios que se tuvo que realizar para poder afinar el proceso constructivo de este tipo de bases, el cual fue detallado en el capítulo 4 de este trabajo.

### **6.1 Prueba San Eduardo 1**

Esta fase de la prueba probó la manera de cómo iba a arrancar el inicio del tendido de la base, determinar que grados de compactación se obtenían con la máquina, observar el estado físico de la superficie de la base.

Se preparó la subrasante, se la humecta, se ubicaron las líneas guía para la pavimentadora, se coloca una línea blanca de guía visual sobre la subrasante, se la ubica en posición de inicio. Mientras tanto la planta dosifica la mezcla para la BAEC.



**Foto 40 Líneas Guía para la Pavimentadora**



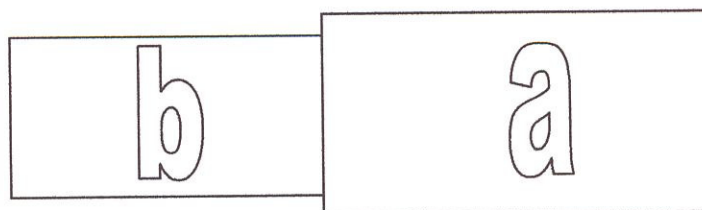
BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



**Foto 41 Línea Guía para el operador**

La Longitud probada inicial fue de 27 m la cual tuvo que ser realizada en dos tramos por haberse presentado rectificaciones. Los tramos son los siguientes:

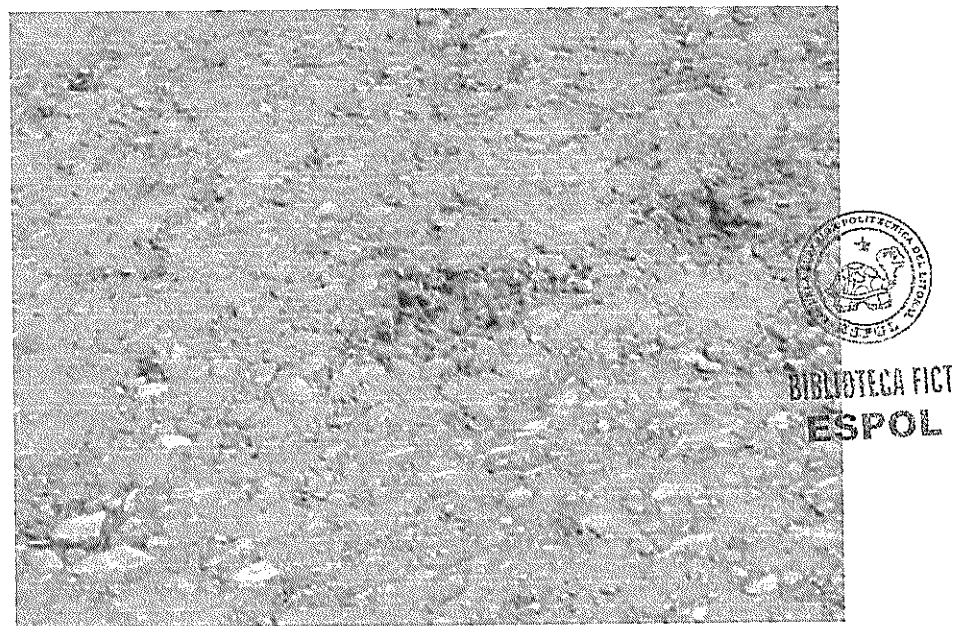
Figura	Largo	Ancho	Espesor	Volumen(m3)
b	16.8	4.15	0.3	20.92
a	10.2	4.80	0.3	14.69
Vol. Total				35.60



**Gráfico 6.1 Tramo realizado en prueba no. 1**

El primer tramo realizado fue el tramo "a", donde se inicio con un espesor de 30 cm. y se avanzó una longitud de 10.20 m.

Se realizaron verificación de espesor, deflexión longitudinal en bordes y centro de la faja de base, como también deflexión transversal, pruebas necesarias para verificar si se esta avanzando paralelamente a la subrasante, y si se esta manteniendo el espesor de base, de ser así nos garantiza que están correctamente puestas las líneas guía de la pavimentadora; también se realizaba la prueba de densidad de campo con un densímetro nuclear.



**Foto 42 Superficie de la Base**

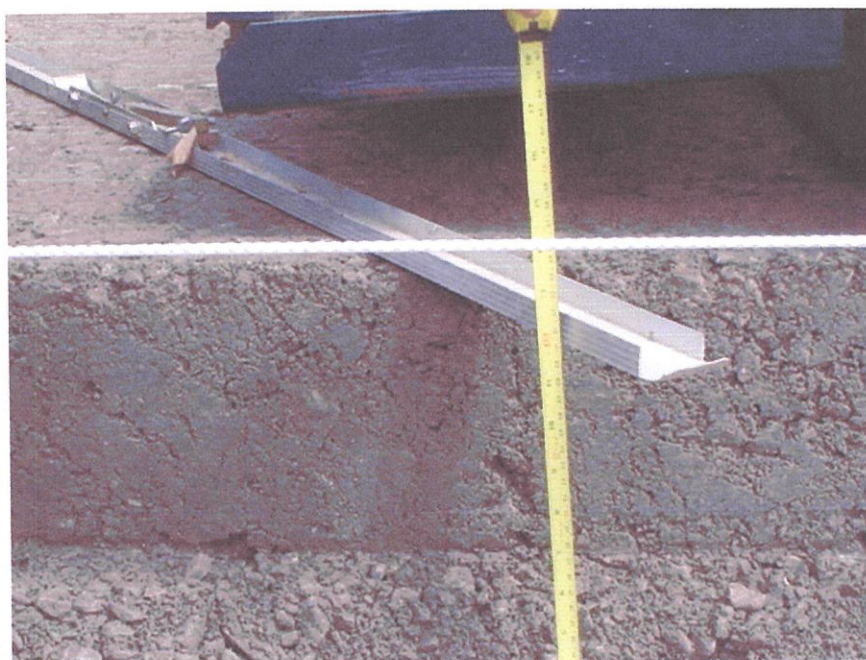


Foto 43 Verificación de espesor de Base (30 cm)



Foto 44 Verificación de planicidad transversal





BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Foto 45 y 46 Verificación de planicidad longitudinal



**Foto 47 Verificación de planicidad longitudinal**



**Foto 48 Prueba de densidad de campo.**

De los resultados obtenidos de las pruebas de densidad de campo se hizo necesario hacer un alto para corregir dos inconvenientes surgidos: Para el ancho de faja inicial adoptado de 4.80 m, no se lograba un confinamiento óptimo del borde de la base, y el grado de compactación máximo que se obtuvo con la pavimentadora era del 89%, haciendo necesario pasar rodillo para aumentar la densidad de la base, teniendo que considerar una pérdida de espesor de la base por efecto del peso del rodillo.

Se pasó rodillo al tramo "a" realizado para elevar el grado de compactación.



**Foto 49 Compactación de la base de 30 cm de espesor**



**Foto 50 Inicio del tramo "a"**



**Foto 51 No se logra confinamiento de bordes**

El problema surgido con el borde de la faja de base se debió a que existió una fuga de material en los bordes de la pavimentadora, debido a que se quiso optimizar el ancho máximo de la máquina, a esto se sumo que el espesor de base era demasiado y no se lograba grados de compactación esperados (95 %), en el centro de la faja la maquina si lograba una mejor compactación con respecto a los bordes.

Para solucionar este inconveniente se decide tender la base en dos capas de 15 cm de espesor y obtener un espesor total de 30 cm y de esta manera aumentar el grado de compactación de la base, y se reduce el ancho de faja de 4.80 a 4.15 m para obtener un buen confinamiento de los bordes de la base.



**Foto 52 Tendido de base (15 cm de espesor).**



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**



**Foto 53 Bordes de base de 15 cm de espesor.**

**(Se mejora el confinamiento de los bordes)**



**Foto 54 Prueba de densidad de campo**

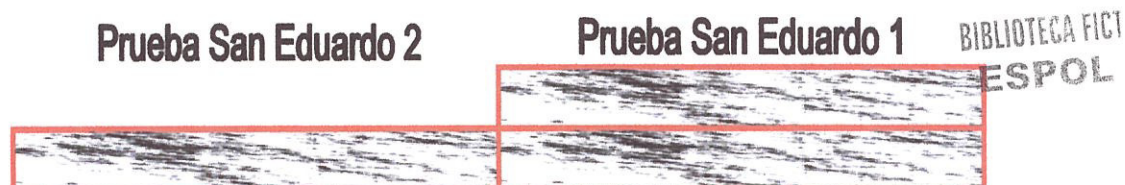


**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## 6.2 Prueba San Eduardo 2

Esta segunda fase de la experiencia, se la realizó el 23 de mayo del 2005, el propósito fue evaluar el método a utilizar para el tratamiento de la junta longitudinal entre dos fajas consecutivas.

Para esta prueba se adoptó realizar un corte vertical en todo el espesor de faja realizada en la primera prueba, para poder tener una compactación uniforme en toda la masa de la base en especial en la junta longitudinal.



**Gráfico 6.2 junta Longitudinal**

De la experiencia de la Prueba San Eduardo 1 se adoptó que el tendido de la base se lo debe realizar en dos capas de 15 cm y el ancho de faja de 4.15 m.

En el tendido de la primera capa hubo incomodidad para poder compactar el borde donde se formaba la junta, tanto con la pavimentadora, como con el rodillo, pues la pavimentadora no pudo realizar una junta pequeña uniéndolo completamente las dos fajas, por

lo que se procede a realizar la compactación por rodillo, pero aquí surge el problema de que hay que tener cuidado con el borde superior de la capa superior de la base tendida en prueba 1.

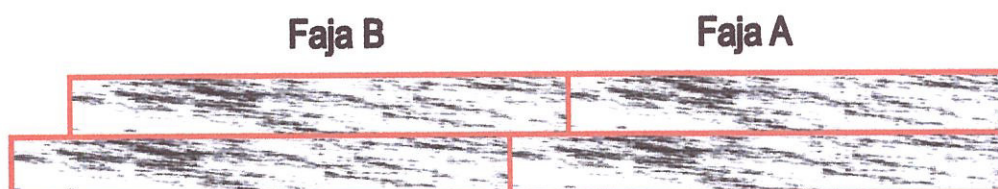
Para superar este inconveniente se procede a usar compactadoras manuales, en toda la longitud donde se forma la junta



**Foto 55 Compactación del sector de la junta longitudinal**

En la elaboración de juntas frescas longitudinales, se debe realizar un traslape de 15 cm, detallado de la siguiente manera:





**Gráfico 6.3 Traslape de fajas (Junta longitudinal)**

La primera faja a realizar Faja A consta de dos capas, teniendo que ser la capa superior 15 cm menos de ancho que la inferior, de manera que cuando nos toque realizar la faja B en el tendido de sus capas no tendríamos problemas para compactar la zona de la junta longitudinal, y el ancho de las fajas serían iguales pues por ser la capa superior de la faja A de menor ancho automáticamente quedan desfasadas las capas superiores de las próximas fajas continuas. En la última faja a tenderse, el ancho de la capa superior tendrá que compensar los 15 cm de la superior de la faja A. Adoptando esta solución se garantiza un mejor comportamiento de la base en toda su superficie.

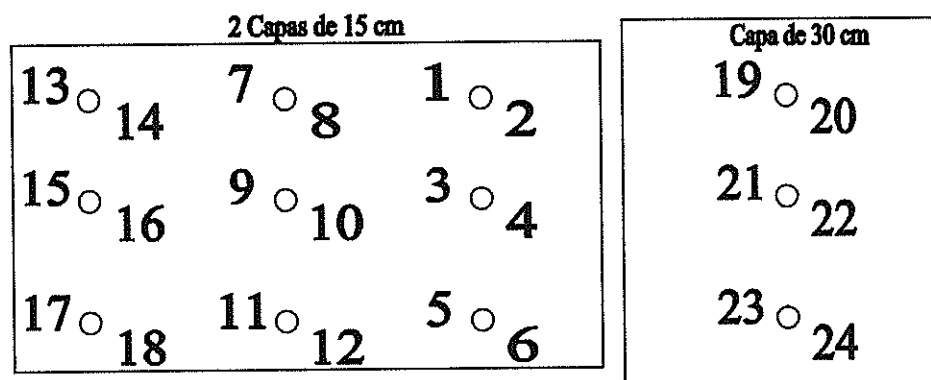
Una vez tendida la base se procedió a esparcirle una capa de emulsión asfáltica sobre su superficie, para protegerla de pérdidas de humedad, este proceso se lo conoce como curado.

### 6.3 Obtención de Probetas y Ensayos de la Base realizada en Prueba

#### San Eduardo

Se procedió a tomar muestras de la base tendida durante las dos fases. Este proceso se lo realizó con la ayuda de un taladro con una broca de diamante donde se procedió a perforar en varios puntos a la base y se obtuvo probetas a la edad de 7 días, de las dos fajas tendidas, los lugares donde se perforo fue en la parte de los bordes y en el centro de faja, cada 6 metros.

#### Prueba San Eduardo 1



#### Prueba San Eduardo 2

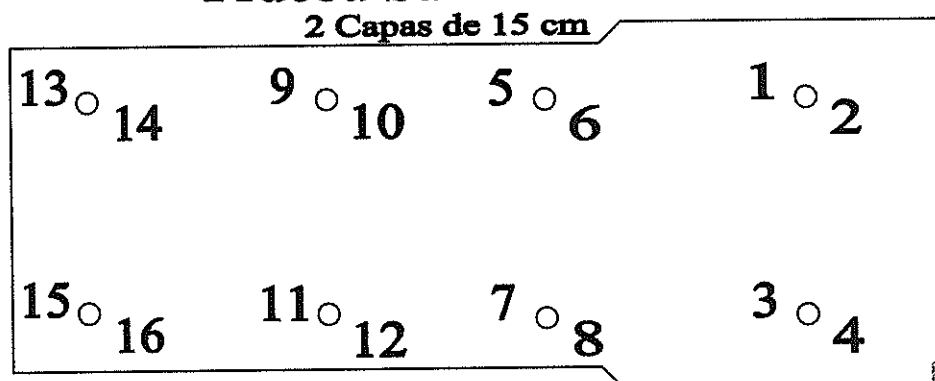
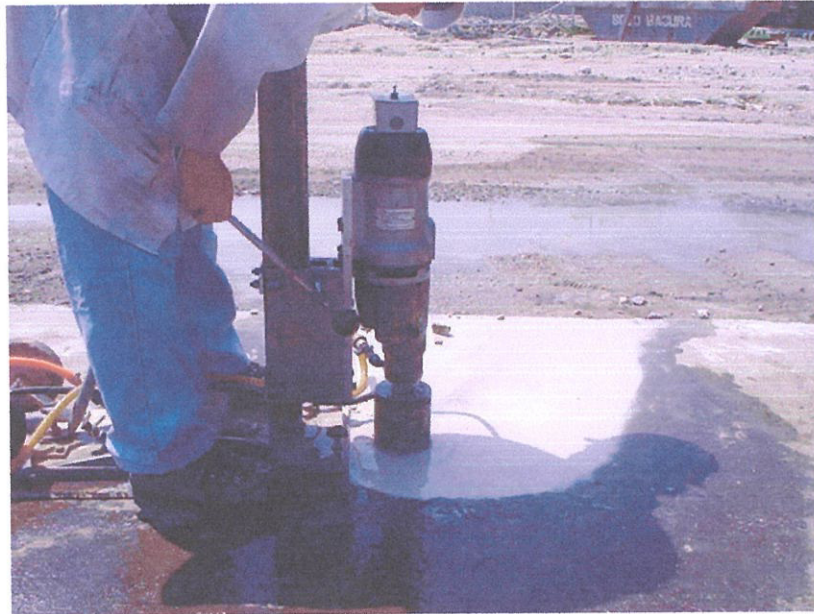


Gráfico 6.4 Ubicación del calado de probetas en la base



Se los colocó en bolsas plásticas para evitar pérdidas de humedad. Por estar la faja colocada en dos capas las probetas obtenidas salían partidas en dos, su identificación empezó desde el 1 en adelante, siendo la capa superior número impar y la capa inferior número par.



**Foto 56 Perforación en Base para obtener probetas**



**Foto 57 Taladro y broca de diamante**



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

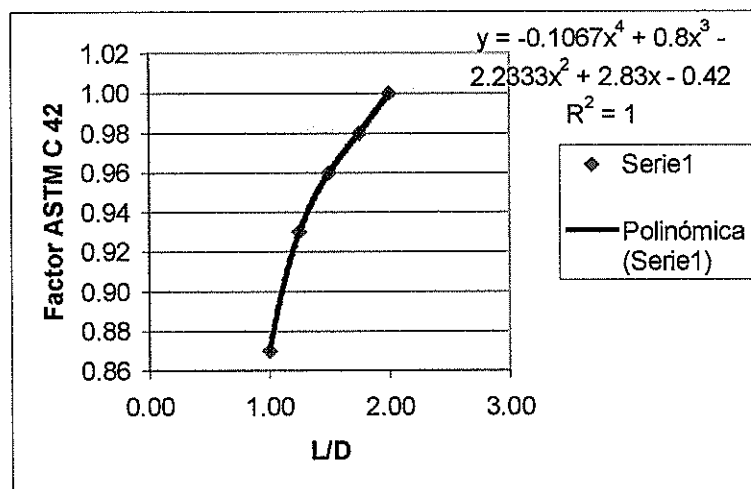
**Foto 58 Probeta extraída de base**



**Foto 59 Probetas de extraídas de base**

Antes de proceder a analizar las probetas, se procede a prepararlas realizándoles un corte en las dos bases de la probeta, de manera de formar un cilindro, conforme establece la norma ASTM C 42, la cual penaliza con un factor la resistencia de la compresión de la probeta, si la relación altura – diámetro L/D es menor a 2, quedan descartadas las probetas cuyos valores de esta relación son menores a 1. Los ensayos que se realizaron a las probetas fueron: Densidad aparente, prueba de ultrasonido y resistencia a la compresión simple.

ASTM C 42	
L/D	Factor
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87



**Gráfico 6.5 L/D vs Factor ASTM C 42**



Foto 60 Probetas a cortar



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Foto 61 Corte en las bases de la probeta



Foto 62 Probetas cortadas



Foto 63 Probetas listas para ponerles capping

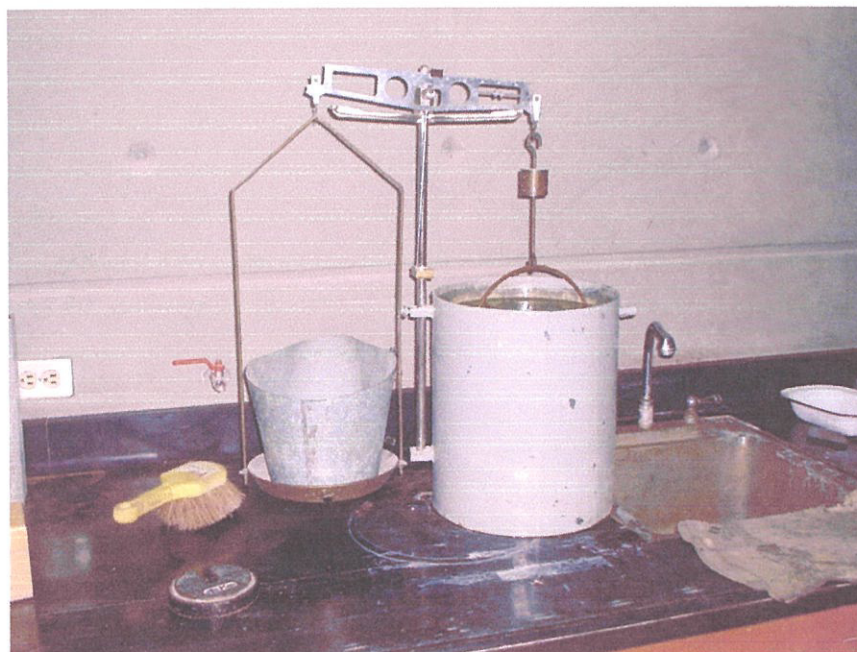


Foto 64 Balanza de Arquímedes (Calculo de densidad)



Foto 65 Peso de probeta en balanza de Arquímedes





Foto 66 Probetas listas para prueba de compresión simple



Foto 67 Prueba de compresión simple.

# CAPITULO 7

## 7. RESULTADOS

Se realizaron 5 dosificaciones diferentes, una de ellas se eligió para realizar la prueba a escala industrial. Las pruebas las he agrupado en el orden que fueron realizados y las doy a conocer junto con la dosificación final producto de la corrección de la dosificación utilizada para la prueba proctor a partir de la humedad óptima obtenida en este ensayo.

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>
Cemento HE :	95	Cemento HE :	98
Piedra ASTM # 56:	1053	Piedra ASTM # 56:	1116
Piedra ASTM # 78	105	Piedra ASTM # 78	112
Arena triturada:	947	Arena Peralta # 6 :	670
Agua Total:	130	Arena Guayaquil # 2:	335
Polyheed RI :1%:		Agua Total:	128
Densidad Húmeda :	2330	Polyheed RI :1%:	
		Densidad Húmeda :	2459
<b>Relación a/c = 0.80</b>		<b>Relación a/c = 0.82</b>	
<b>% de Cemento</b>	4.0	<b>% de Cemento</b>	4.0
<b>% Hum. Optima</b>	5.9	<b>% Hum. Optima</b>	5.5
<b>Densidad Seca max. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2200	<b>Densidad Seca max. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2330

PRUEBA 3 al 3% de cemento		PRUEBA SAN EDUARDO PRUEBA 3 al 4%	
<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>
Cemento He	74	Cemento He	99
Grueso Sub-base Piedra 38	1131	Grueso Sub-base Piedra 38	1136
Fino de Sub-base Arena Trit. 5mm	678	Fino de Sub-base Arena Trit. 5mm	681
Arena Natural Guayaquil 2	452	Arena Natural Guayaquil 2	454
Agua	117	Agua	102
Polyheed RI :1%:		Polyheed RI :1%:	
Densidad Húmeda :	2452	Densidad Húmeda :	2472
<b>Relación a/c = 0.82</b>		<b>Relación a/c = 0.82</b>	
<b>% de Cemento</b>	3.0	<b>% de Cemento</b>	4.0
<b>% Hum. Optima</b>	5.0	<b>% Hum. Optima</b>	4.3
<b>Densidad Seca max. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2335	<b>Densidad Seca max. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2370



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

PRUEBA 4		PRUEBA 5	
<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>
Cemento He	103	Cemento He	99
Piedra Base IIA Luzagui	577	Piedra Base IA (Cadmen)	1570
Piedra de 1/2 a 1 1/2 Luzagui	461	Silo 2-2 (Estadio La Troncal)	449
Piedra 3/8 Verdu	185	Arena Natural	224
Cisco Luzagui	1084	Agua	133
Agua	157	Polyheed RI :1%:	1
Polyheed RI :1%:	1	Densidad Húmeda :	2475
Densidad Húmeda :	2567		
<b>Relación a/c = 0.82</b>		<b>Relación a/c = 0.82</b>	
% de Cemento	4.0	% de Cemento	4.0
% Hum. Optima	6.5	% Hum. Optima	5.7
Densidad Seca max. (kg/m <sup>3</sup> )	2410	Densidad Seca max. (kg/m <sup>3</sup> )	2342

**Tabla 19 Dosificación de las diferentes Pruebas**

Donde el origen para los agregados es el siguiente:

Prueba 1 - Agregados Huayco

Prueba 2 - Agregados Huayco

Prueba 3 - Agregados Huayco

Prueba 4 - Agregados Luzagui – Verdu

Prueba 5 - Agregados Cadmen

Prueba San Eduardo 1 y 2. - Agregados Huayco

A continuación detallo los resultados de: las granulometrías para cada material, la combinación entre materiales para cumplir límites granulométricos, las pruebas proctor, las pruebas de ultrasonido y pruebas de resistencia a la compresión simple

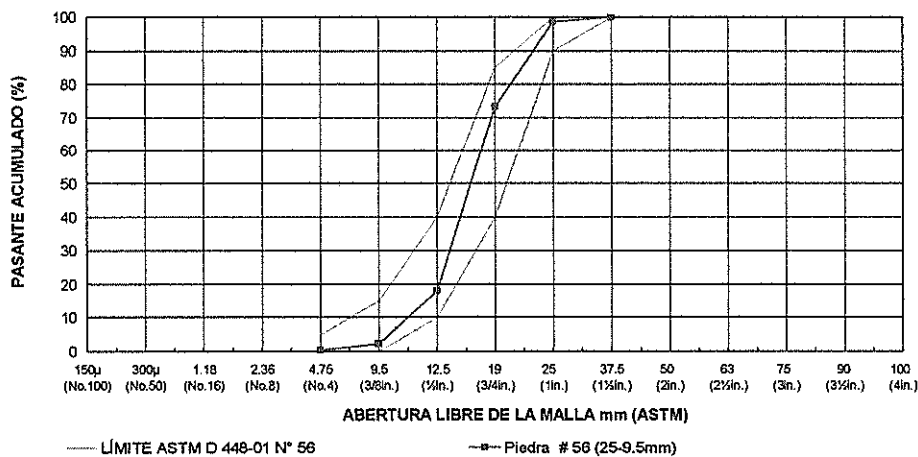
De la prueba a escala industrial se realizó además de estas pruebas, pruebas de densidad aparente de las probetas obtenidas de la base.

## 7.1 Prueba 1

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Piedra # 56 (25-9.5mm)	Solicitado por:	CTH
Fuente:	C. Huayco	Laboratorista:	
Fecha muestreo:	24/02/2005	Fecha de ensayo:	24/02/2005

Granulometría del agregado grueso INEN 696 ASTM C 448					
Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	0.0	0	0	100
25 mm	1 in.	155.0	1	1	99
19 mm	¾ in.	2895.0	25	27	73
12.5 mm	½ in.	6320	55	82	18
9.5 mm	3/8 in.	1790.0	16	98	2
4,75 mm	No. 4	203.5	2	100	0
2,36 mm	No. 8	---	---	---	---
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		49.5	0	100	0
Módulo de finura :				7.2	

## CURVA GRANULOMÉTRICA



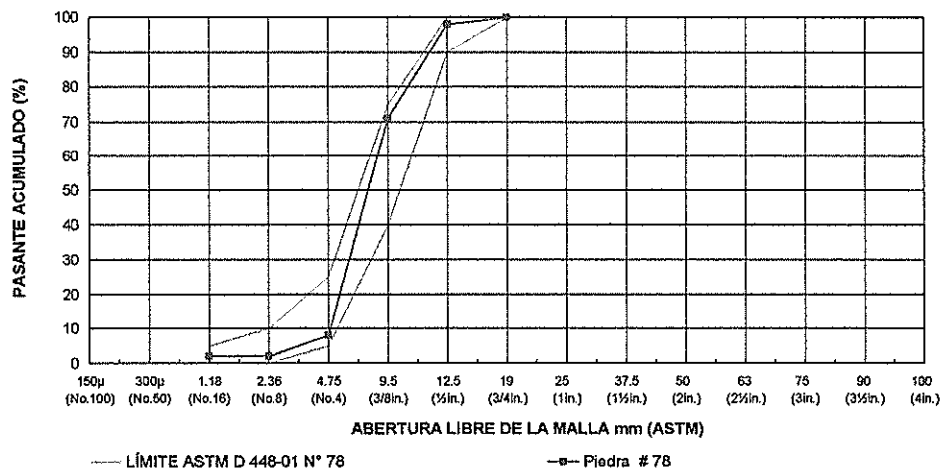
Material más fino que 70µm INEN 697 - ASTM C 117		Impureza orgánica INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)			N° Esc. Gardner

Gráfico 7.1 Granulometría del Agregado Grueso Piedra # 56

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Piedra # 78	Solicitado por:	CTH
Fuente:	C. Huayco	Laboratorista:	
Fecha muestreo:	24/02/2005	Fecha de ensayo:	24/02/2005

Granulometría del agregado grueso INEN 696 ASTM C 448					
Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	---	---	---	---
19 mm	¾ in.	0.0	0	0	100
12.5 mm	½ in.	160	2	2	98
9.5 mm	3/8 in.	2160.0	27	29	71
4.75 mm	No. 4	5040.0	63	92	8
2.36 mm	No. 8	480.0	6	98	2
1.18 mm	No. 16	0.0	0	98	2
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		160.0	2	100	0
Módulo de finura :				5.2	

## CURVA GRANULOMÉTRICA



Material más fino que 70µm INEN 697 - ASTM C 117		Impureza orgánica INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)			Nº Esc. Gardner

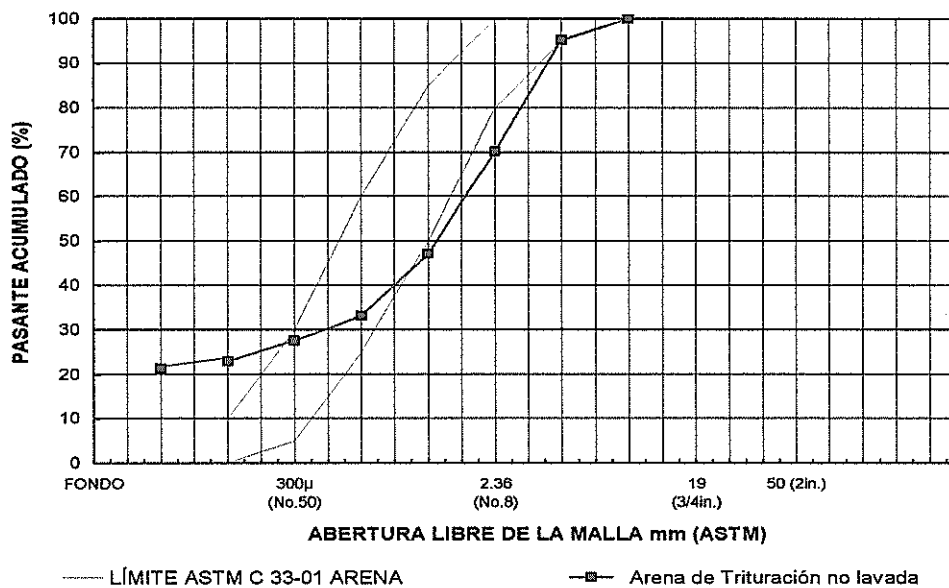
Grafico 7.2 Granulometría del Agregado Grueso Piedra # 78

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
**INEN 696 ASTM C 136**

<b>Muestra N°:</b>	<b>Periodo:</b>
<b>Tipo de agregado:</b> Arena de Trituración no lavada	<b>Solicitado por:</b> CTH
<b>Cantera:</b> C. Huayco	<b>Laboratorista:</b>
<b>Fecha de muestreo:</b> 24/02/2005	<b>Fecha de ensayo:</b> 24/02/2005

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	28.5	5	5	95
2,36 mm	No. 8	154.0	25	30	70
1,18 mm	No. 16	143.0	23	53	47
600 µm	No. 30	86.3	14	67	33
300 µm	No. 50	33.9	6	72	28
150 µm	No. 100	27.7	5	77	23
75 µm	No. 200	10.5	2	79	21
BANDEJA		131.3	21	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>3.0</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**Gráfico 7.3 Granulometría del Agregado Fino Arena Triturada**

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Tesis de Grado

Material Nº 1: Piedra ASTM# 56 (Calizas Huayco)

Material Nº 2: Piedra ASTM #78 ( Calizas Huayco )

Material Nº 3: Arena de trituración no lavada ( Calizas Huayco )

Material Nº 4:

1

Tamices	Mat Nº 1	50.0%	Mat Nº 2	5.0%	Mat Nº 3	45.0%	Mat Nº 4	Total
3	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	45.0	0.0	100.0
2 1/2	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	45.0	0.0	100.0
2	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	45.0	0.0	100.0
1 1/2	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	45.0	0.0	100.0
1	99.0	49.5	100.0	5.0	100.0	45.0	0.0	99.5
3/4	73.0	36.5	100.0	5.0	100.0	45.0	0.0	86.5
1/2	18.0	9.0	98.0	4.9	100.0	45.0	0.0	58.9
3/8	2.0	1.0	71.0	3.6	100.0	45.0	0.0	49.6
#4	0.0	0.0	8.0	0.4	95.0	42.8	0.0	43.2
#8	0.0	0.0	2.0	0.1	70.0	31.5	0.0	31.6
#16	0.0	0.0	2.0	0.1	47.0	21.2	0.0	21.3
#30	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	14.9	0.0	14.9
#40	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	13.5	0.0	13.5
#50	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5	12.4	0.0	12.4
#100	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	10.4	0.0	10.4
#200	1.4	0.7	1.7	0.1	21.3	9.6	0.0	10.3
Mod finura	7.2	3.6	5.2	0.3	3.0	1.4		5.21

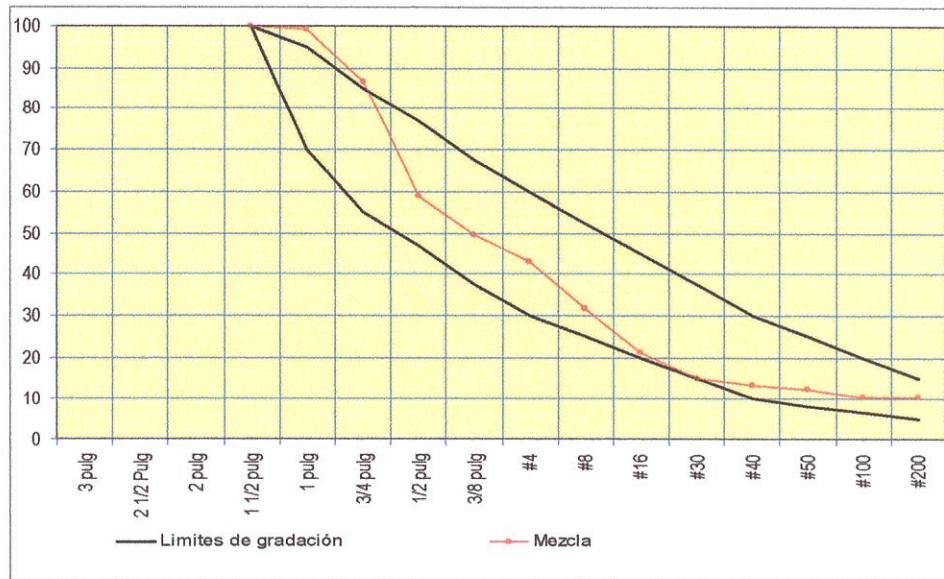


Gráfico 7.4 Mezcla de Materiales Prueba 1





## RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	Peso kg	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)
4	05/02/25	05/03/04	7	2.114	8007.79	2256.35	91.57	11.44
5			7	2.256	8167.14	2340.92	83.05	10.17
6			7	2.295	8007.79	2428.78	75.39	9.41
6			7	2.330	8007.79	2465.82	71.13	8.88
7			7	2.326	8328.07	2327.47	63.89	7.67
8			7	2.271	8167.14	2376.63	46.43	5.68
9			7	2.319	8328.07	2320.47	43.24	5.19

**Tabla 20 Resistencia de probetas (Ensayo Proctor). Aridos C. Huayco, Prueba 1**

## RESISTENCIA A LA COMPRESION

No. Muestra	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	Peso kg	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO (MPa)
1	05/03/02	05/03/07	5	2.298	8171.28	2383.29	63.46	7.77	
2				2.334	8171.28	2420.63	65.17	7.98	7.87
3		05/03/09	7	2.325	8011.85	2459.28	81.77	10.21	
4				2.347	8011.85	2441.18	70.28	8.77	9.49
5		05/03/16	14	2.349	8171.28	2395.58	74.53	9.12	
6				2.315	8011.85	2448.70	68.57	8.56	8.84
7		05/03/30	28	2.343	8332.29	2362.99	87.52	10.50	
8				2.328	8011.85	2462.46	86.03	10.74	10.62

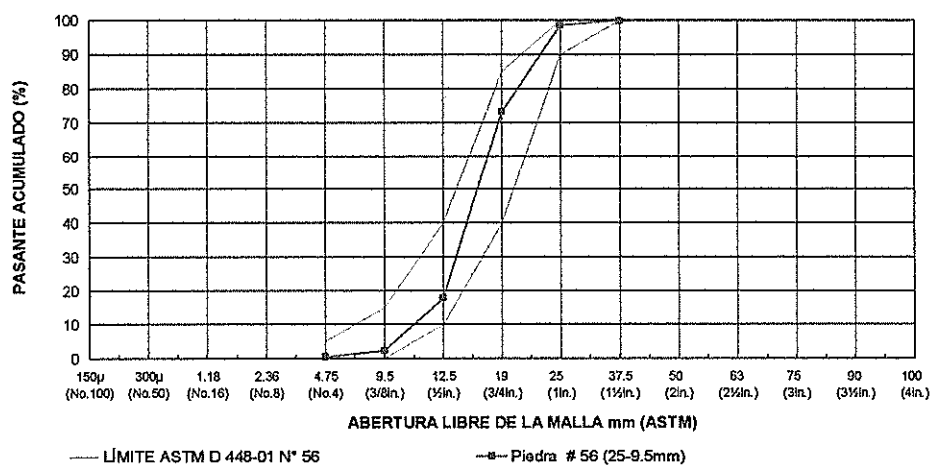
**Tabla 21 Resistencia de probetas, Humedad Optima 5.9 %. Aridos C. Huayco, Prueba1**

## 7.2 Prueba 2

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Piedra # 56 (25-9.5mm)	Solicitado por:	CTH
Fuente:	C. Huayco	Laboratorista:	
Fecha muestreo:	24/02/2005	Fecha de ensayo:	24/02/2005

Granulometría del agregado grueso INEN 696 ASTM C 448					
Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	0.0	0	0	100
25 mm	1 in.	155.0	1	1	99
19 mm	¾ in.	2895.0	25	27	73
12.5 mm	½ in.	6320	55	82	18
9.5 mm	3/8 in.	1790.0	16	98	2
4,75 mm	No. 4	203.5	2	100	0
2,36 mm	No. 8	---	---	---	---
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		49.5	0	100	0
Módulo de finura :				7.2	

## CURVA GRANULOMÉTRICA



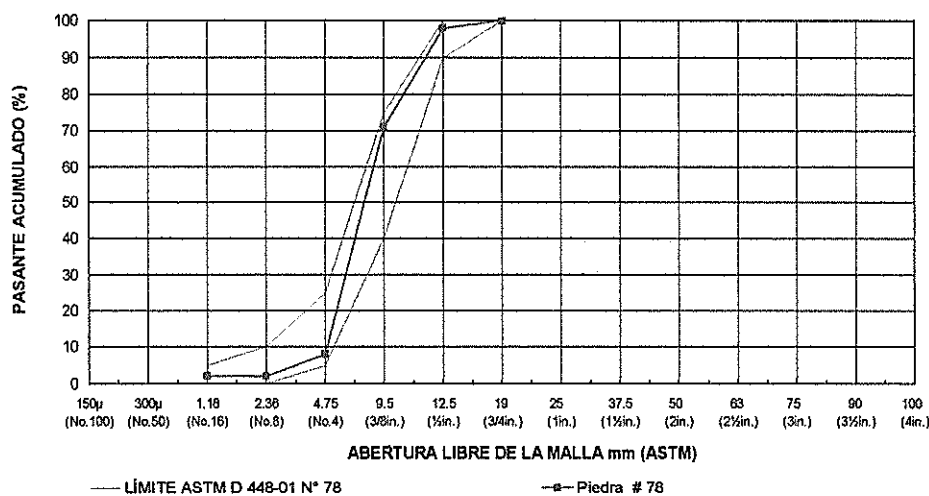
Material más fino que 70µm INEN 697 - ASTM C 117		Impureza orgánica INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)			Nº Esc. Gardner

Gráfico 7.6 Granulometría del Agregado Grueso Piedra # 56

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Piedra # 78	Solicitado por:	CTH
Fuente:	C. Huayco	Laboratorista:	
Fecha muestreo:	24/02/2005	Fecha de ensayo:	24/02/2005

Granulometría del agregado grueso INEN 696 ASTM C 448					
Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	---	---	---	---
19 mm	¾ in.	0.0	0	0	100
12.5 mm	½ in.	160	2	2	98
9.5 mm	3/8 in.	2160.0	27	29	71
4.75 mm	No. 4	5040.0	63	92	8
2.36 mm	No. 8	480.0	6	98	2
1.18 mm	No. 16	0.0	0	98	2
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		160.0	2	100	0
Módulo de finura :				5.2	

## CURVA GRANULOMÉTRICA



Material más fino que 70µm INEN 697 - ASTM C 117		Impureza orgánica INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)			Nº Esc. Gardner

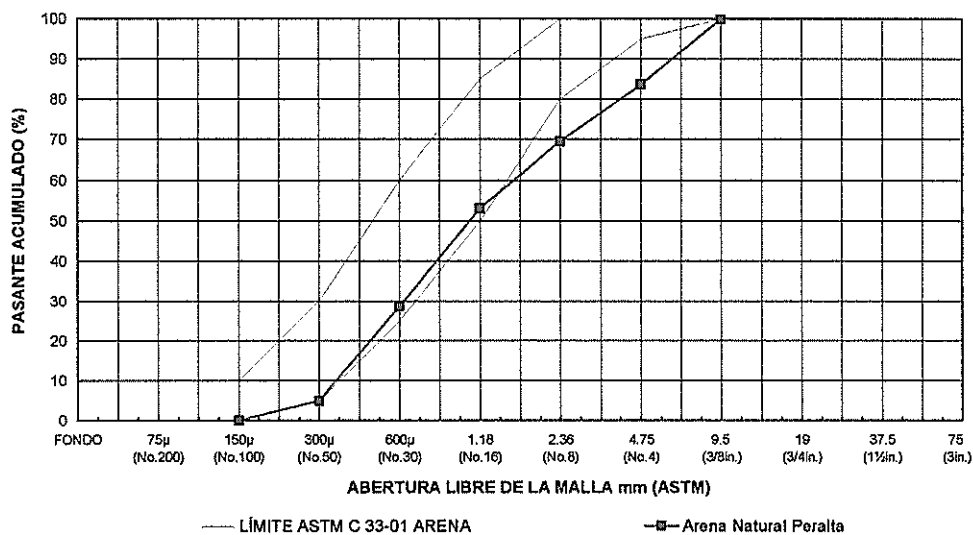
Gráfico 7.7 Granulometría del Agregado Grueso Piedra # 78

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:	6	Periodo:	
Tipo de agregado:	Arena Natural Peralta	Solicitado por:	C. Huayco
Cantera:	C Peralta	Laboratorista:	CTH
Fecha de muestreo:	25/02/2005	Fecha de ensayo:	28/02/2005

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	98.0	16	16	84
2,36 mm	No. 8	84.0	14	30	70
1,18 mm	No. 16	98.0	16	47	53
600 µm	No. 30	146.5	24	71	29
300 µm	No. 50	141.5	24	95	5
150 µm	No. 100	29.5	5	100	0
BANDEJA		0.5	0	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>3.6</b>	

CURVA GRANULOMÉTRICA



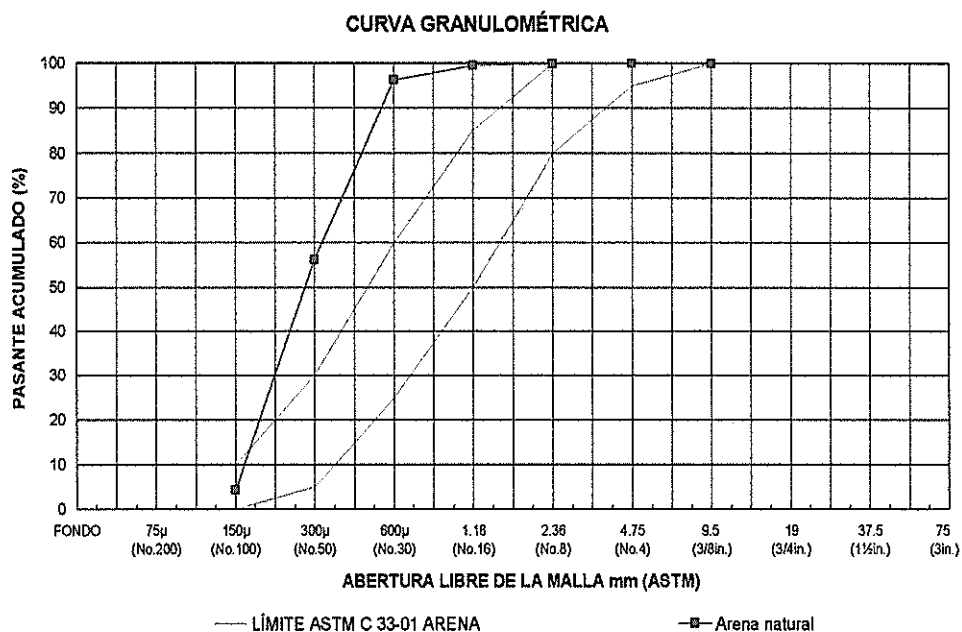
MATERIAL MAS FINO QUE 70µm	INEN 697 - ASTM C 117	IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40
Masa seca antes del lavado (g)	200	Pasante
Masa seca después del lavado (g)	198.9	0.6%
		N° Esc. Gardner

**Gráfico 7.8 Granulometría del Agregado Fino Arena Natural Peralta 6**

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:	2	Periodo:	---
Tipo de agregado:	Arena natural	Solicitado por:	C.T.H. Guayaquil
Cantera:	Arenera Guayaquil	Laboratorista:	
Fecha de muestreo:	07/03/005	Fecha de ensayo:	07/03/005

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0.0	0	0	100
2,36 mm	No. 8	0.5	0	0	100
1,18 mm	No. 16	2.0	0	0	100
600 µm	No. 30	16.0	3	4	96
300 µm	No. 50	201.0	40	44	56
150 µm	No. 100	260.5	52	96	4
BANDEJA		21.5	4	100	0
MÓDULO DE FINURA :				1.4	



MATERIAL MAS FINO QUE 70µm INEN 697 - ASTM C 117	IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40
Masa seca antes del lavado (g)	Color original
Masa seca después del lavado (g)	N° Esc. Gardner

**Grafico 7.9 Granulometría del Agregado Fino Arena Natural 2**

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Tesis de Grado

Material Nº 1: Piedra ASTM# 56 (Calizas Huayco)

Material Nº 2: Piedra ASTM #78 ( Calizas Huayco )

Material Nº 3: Arena # 6 Peralta

Material Nº 4: Arena #2 Arenera Guayaquil

1

Tamices	Mat Nº 1	50.0%	Mat Nº 2	5.0%	Mat Nº 3	30.0%	Mat Nº 4	15.0%	Total
3	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	30.0	100.0	15.0	100.0
2 1/2	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	30.0	100.0	15.0	100.0
2	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	30.0	100.0	15.0	100.0
1 1/2	100.0	50.0	100.0	5.0	100.0	30.0	100.0	15.0	100.0
1	99.0	49.5	100.0	5.0	100.0	30.0	100.0	15.0	99.5
3/4	73.0	36.5	100.0	5.0	100.0	30.0	100.0	15.0	86.5
1/2	18.0	9.0	98.0	4.9	100.0	30.0	100.0	15.0	58.9
3/8	2.0	1.0	71.0	3.6	100.0	30.0	100.0	15.0	49.6
#4	0.0	0.0	8.0	0.4	84.0	25.2	100.0	15.0	40.6
#8	0.0	0.0	2.0	0.1	70.0	21.0	100.0	15.0	36.1
#16	0.0	0.0	2.0	0.1	53.0	15.9	100.0	15.0	31.0
#30	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	8.7	96.0	14.4	23.1
#40	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	4.2	75.0	11.3	15.5
#50	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.5	56.0	8.4	9.9
#100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	2.3	2.3
#200	1.4	0.7	1.7	0.1	0.0	0.0	4.0	0.6	1.4
Mod finura	7.2	3.6	5.2	0.3	3.6	1.1	1.4	0.21	5.15

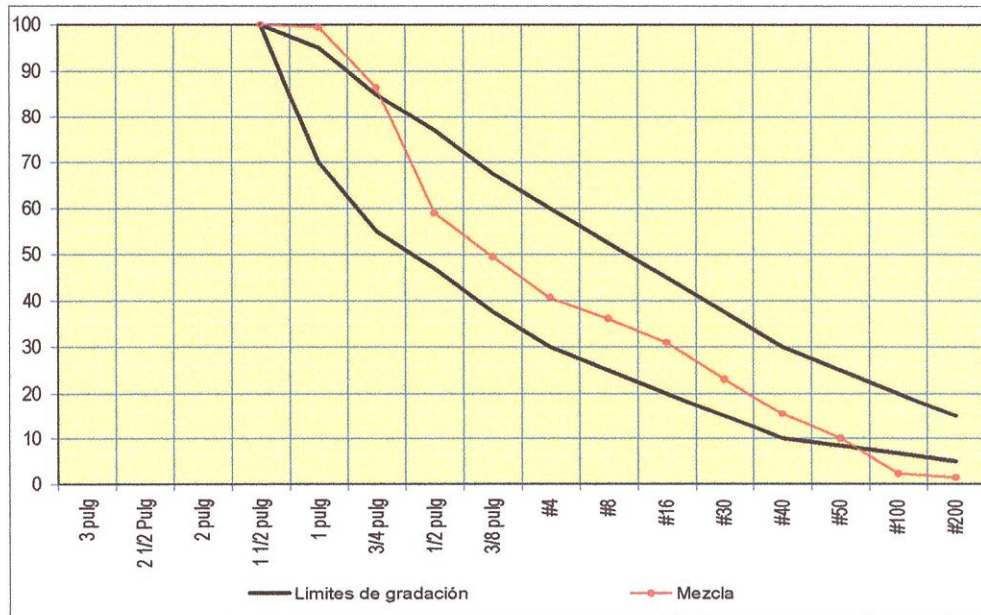


Gráfico 7.10 Mezcla de Materiales Prueba 2

**RELACIONES DE DENSIDAD-HUMEDAD DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO**  
ASTM D 558 -96

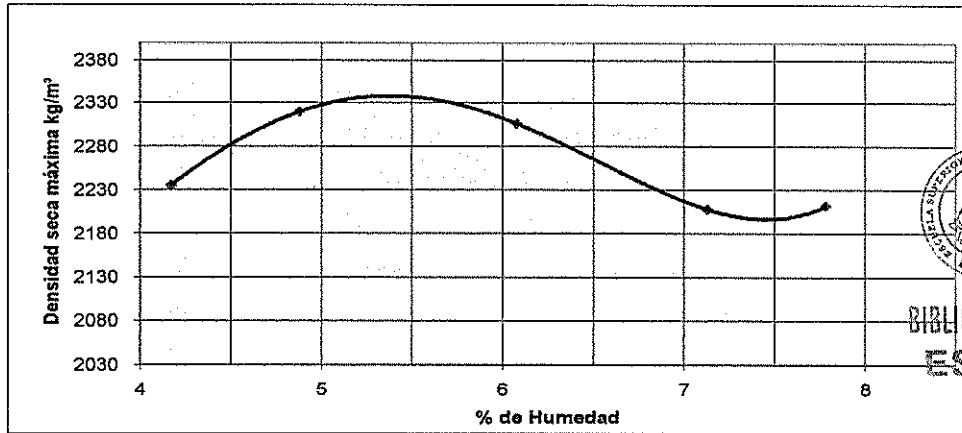
Fecha: 15/03/05  
 Material: BASE ESTABILIZADA ( Áridos C. Huayoo )  
 Interesado:  
 Procedencia: C.T.H.

ASTM D 558 Procedimiento:		"C"	<b>Dosificación</b>	kg/m <sup>3</sup>
Número de capas:	3		Cemento HE :	95
Número de Golpes/Capa:	25		Piedra ASTM # 56:	1053 50%
Peso del martillo:	2.49 kg		Piedra ASTM # 78	105 5%
			Arena Peralta # 6	632 30%
			Arena Guayaquil # 2:	316 15%
			Agua Total:	130
			Polyheed RI :1%:	
			Densidad Húmeda :	2330
			<b>Relación a/c = 0.82</b>	

Cálculo de Humedad						
RECIPIENTE No.		1	2	3	4	5
PESO T + S + W	(g)	788.0	725.5	1197.5	1163.0	794.0
PESO T + S	(g)	764.0	699.5	1161.0	1123.0	748.0
PESO W	(g)	24.0	26.0	36.5	40.0	46.0
PESO T	(g)	188.5	166.5	560.5	562.0	157.0
PESO S	(g)	575.5	533.0	600.5	561.0	591.0
% W	(%)	4.2	4.9	6.1	7.1	7.8

Cálculo de Densidad						
PESO M + S + W	(g)	6663	6762	6775	6698	6716
PESO M	(g)	4465	4465	4465	4465	4465
PESO S + W	(g)	2198	2297	2310	2233	2251
VOLUMEN M	(cm <sup>3</sup> )	944	944	944	944	944
PESO SECO	(g)	2110	2190	2177	2084	2088
DENSIDAD HUMEDA	(kg/m <sup>3</sup> )	2328	2433	2447	2365	2384
DENSIDAD SECA	(kg/m <sup>3</sup> )	2235	2320	2306	2208	2212

**Simbología**  
 T: Tara                      %W: % de humedad  
 S: Suelo                      M: Molde  
 W: Agua



DENSIDAD SECA MAXIMA:	2330 kg/m³
HUMEDAD OPTIMA:	5.5 %

**Gráfico 7.11 Ensayo Proctor – Curva de Densidad-Humedad Prueba 2**



**DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION**

% HUMEDAD	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
4-1	15/03/2005	22/03/2005	7	2157.00	8283.82	2225.53	30.55	3.69	3.69
5-1	15/03/2005	22/03/2005	7	2288.00	8380.90	2292.21	43.03	5.13	
5-2				2281.00	8235.50	2321.64	37.61	4.57	4.85
6-1	15/03/2005	22/03/2005	7	2301.00	8283.82	2289.94	35.26	4.26	
6-2				2282.50	8219.42	2304.53	32.43	3.95	4.10
7-1	15/03/2005	22/03/2005	7	2320.50	8316.12	2289.06	30.55	3.67	3.67
8-1	15/03/2005	22/03/2005	7	2243.00	8283.82	2302.46	24.66	2.98	2.98

**Tabla 22 Resistencia de probetas (Ensayo Proctor). C. Huayco + Arena Natural Fina, Prueba 2**

**DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION**

No. LAB.	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
6-1	18/03/2005	21/03/2005	3	2288.00	7995.99	2402.55	40.67	5.09	
6*-1				2232.50	8155.27	2335.75	36.20	4.44	4.76
6-2	18/03/2005	25/03/2005	7	2363.00	8155.27	2404.58	36.67	4.50	
6*-2				2307.50	8091.37	2356.86	36.91	4.56	4.53
6-3	18/03/2005	01/04/2005	14	2354.89	8155.27	2396.32	48.45	5.94	
6*-3				2296.96	8091.37	2346.10	46.56	5.75	5.85
6-4	18/03/2005	15/04/2005	28	2314.00	8123.29	2375.81	43.74	5.38	
6*-4				2193.00	8155.27	2244.62	39.02	4.79	5.08

**Tabla 23 Resistencia de probetas, Humedad Optima 5.5% C. Huayco + Arena Natural Fina, Prueba 2**



### 7.3 Prueba 3

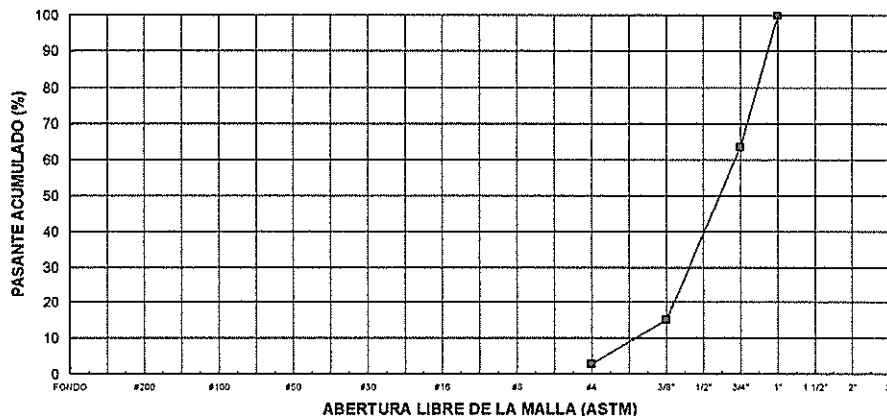
#### GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO

INEN 696 - ASTM C136

FECHA DE ENSAYO: 28/03/2005  
 FECHA DE MUESTREO:  
 MATERIAL: Grueso de Subbase 38mm  
 PROCEDENCIA: C. Huayco  
 INTERESADO:  
 MASA INICIAL: 17760.0 g

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RET. g	RETENIDO %	RET. ACUMULADO %	PASANTE ACUM. %
76mm 3"	0.0	0.0	0.0	100.0
50mm 2"	0.0	0.0	0.0	100.0
38mm 1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
25mm 1"	2237.0	12.6	12.6	87.4
19mm 3/4"	4208.5	23.7	36.3	63.7
12.5mm 1/2"	5984.0	33.7	70.0	30.0
9.5mm 3/8"	2660.0	15.0	85.0	15.0
4.8mm No. 4	2167.0	12.2	97.2	2.8
FONDO	497.5	2.8	100.0	0.0

MODULO DE FINURA: 7.2



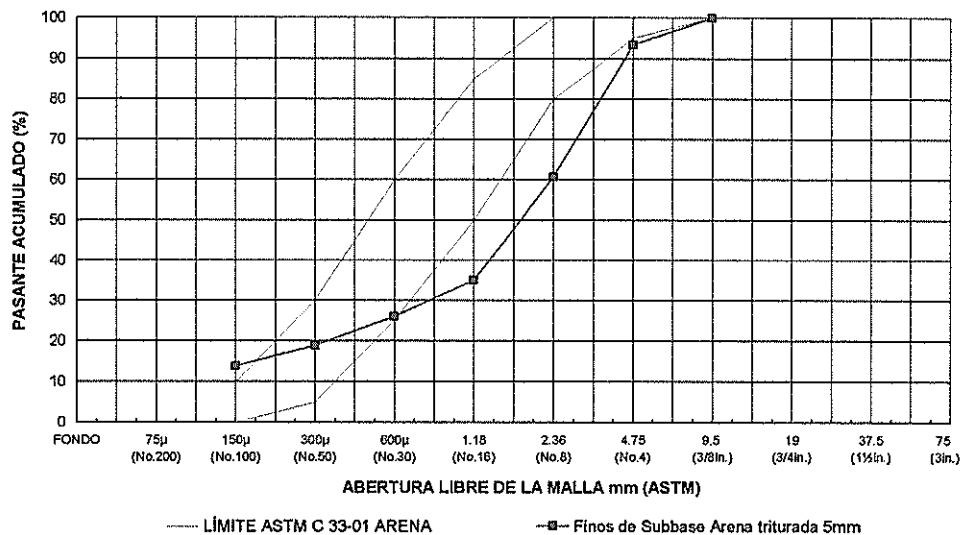
**Gráfico 7.12 Granulometría del Agregado Grueso Subbase 38 mm**

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Finos de Subbase Arena triturada 5mm	Solicitado por:	C.T.H. Guayaquil
Cantera:	C. Huayco	Laboratorista:	
Fecha de muestreo:	28/03/2005	Fecha de ensayo:	28/03/2005

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	62.8	7	7	93.4
2,36 mm	No. 8	310.1	33	39	60.8
1,18 mm	No. 16	245.4	26	65	35.0
600 µm	No. 30	85.6	9	74	26.0
300 µm	No. 50	67.5	7	81	18.9
150 µm	No. 100	47.6	5	86	13.9
BANDEJA		132.2	14	100	0.0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>3.5</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



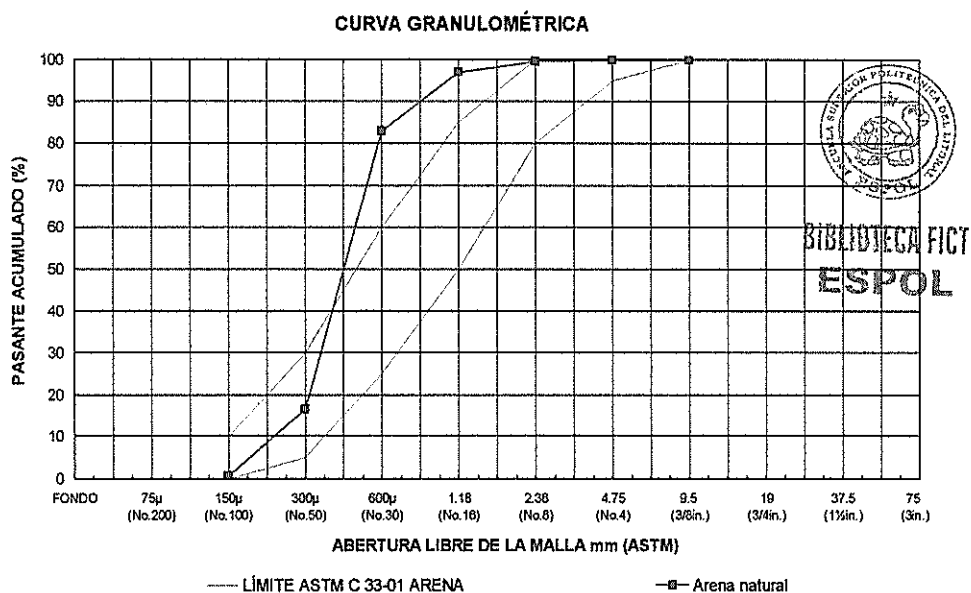
MATERIAL MAS FINO QUE 70µm INEN 697 - ASTM C 117		IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)	200	Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)	177.5	11.3%	Nº Esc. Gardner

**Gráfico 7.13 Granulometría del Agregado Fino Subbase 5 mm**

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:	3	Periodo:	---
Tipo de agregado:	Arena natural	Solicitado por:	C.T.H. Guayaquil
Cantera:	Arenera Guayaquil	Laboratorista:	
Fecha de muestreo:	07/03/005	Fecha de ensayo:	07/03/005

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0.5	0	0	100
2,36 mm	No. 8	1.5	0	0	100
1,18 mm	No. 16	13.0	3	3	97
600 µm	No. 30	70.5	14	17	83
300 µm	No. 50	331.0	66	83	17
150 µm	No. 100	79.0	16	99	1
BANDEJA		3.5	1	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>2.0</b>	



MATERIAL MAS FINO QUE 70µm INEN 697 - ASTM C 117		IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Color original	---
Masa seca después del lavado (g)		N° Esc. Gardner	---

**Gráfico 7.14 Granulometría del Agregado Fino Arena Natural Guayaquil**

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Tesis de Grado

Material Nº 1: Grueso de subbase 38mm (Calizas Huayco) 30/03/05 (BASE IB)

1

Material Nº 2: Fino de subbase 5mm. (Calizas Huayco) 30/03/05

Material Nº 3: Arena # 3 Arenera Guayaquil

Material Nº 4:

Tamices	Mat Nº 1	50.0%	Mat Nº 2	30.0%	Mat Nº 3	20.0%	Mat Nº 4	0.0%	Total
3	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
2	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
1	87.4	43.7	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	93.7
3/4	63.7	31.8	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	81.8
1/2	30.0	15.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	65.0
3/8	15.0	7.5	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	57.5
#4	2.8	1.4	93.4	28.0	100.0	20.0	0.0	0.0	49.4
#8	0.0	0.0	60.8	18.2	100.0	20.0	0.0	0.0	38.2
#16	0.0	0.0	35.0	10.5	97.0	19.4	0.0	0.0	29.9
#30	0.0	0.0	26.0	7.8	83.0	16.6	0.0	0.0	24.4
#40	0.0	0.0	22.0	6.6	50.0	10.0	0.0	0.0	16.6
#50	0.0	0.0	18.9	5.7	17.0	3.4	0.0	0.0	9.1
#100	0.0	0.0	13.9	4.2	1.0	0.2	0.0	0.0	4.4
#200	0.0	0.0	11.0	3.3	1.0	0.2	0.0	0.0	3.5
Mod finura	7.2	3.6	3.5	1.1	2.0	0.4	0.0	0.0	5.1

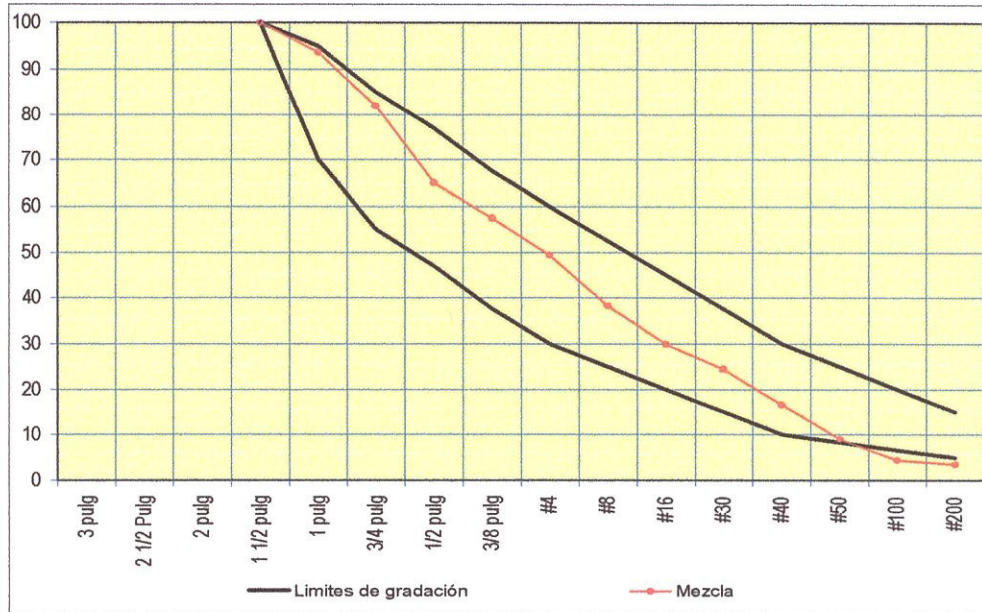


Gráfico 7.15 Mezcla de Materiales Prueba 3

## RELACIONES DE DENSIDAD-HUMEDAD DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO

ASTM D 558 -96

Fecha: 20/04/05  
 Material: BASE ESTABILIZADA 3% de cemento ( Áridos C. Huayoo )  
 Interesado:  
 Procedencia: C.T.H.

ASTM D 558 Procedimiento: "C" Dosificación kg/m<sup>3</sup>  
 Cemento HE : 70  
 Grueso de sub-base #38 1065 50%  
 Fino de sub-base 5mm 639 30%  
 Arena Guayaquil # 1: 426 20%  
 Agua Total: 130  
 Polyheed RI :1%:  
 Densidad Húmeda : 2330

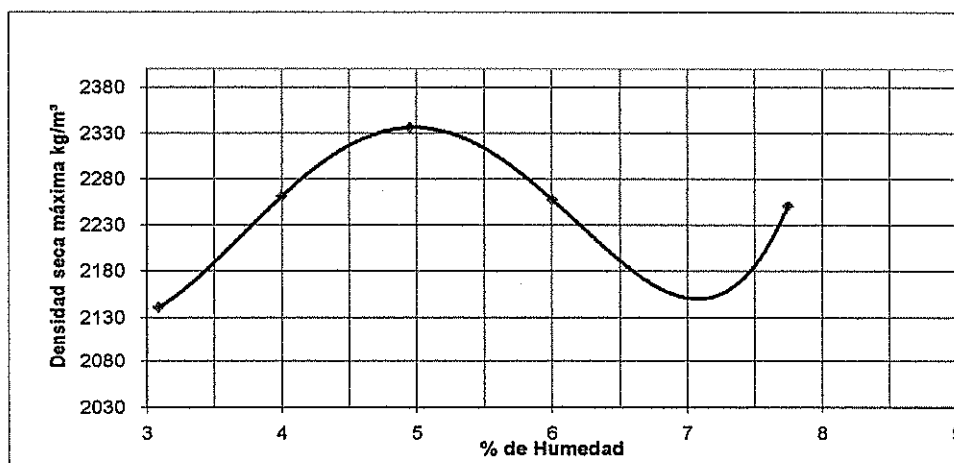
Relación a/c = 0.82

Cálculo de Humedad						
RECIPIENTE No.		1	2	3	4	5
PESO T + S + W (g)		1132.5	630.5	633.5	1030.5	825.0
PESO T + S (g)		1115.0	607.5	803.0	997.5	782.5
PESO W (g)		17.5	23.0	30.5	33.0	42.5
PESO T (g)		548.0	161.0	186.5	572.0	234.0
PESO S (g)		567.0	446.5	616.5	425.5	548.5
% W (%)		3.1	4.0	4.9	6.0	7.7

Cálculo de Densidad						
PESO M + S + W (g)		6548	6685	6779	6724	6755
PESO M (g)		4465	4465	4465	4465	4465
PESO S + W (g)		2083	2220	2314	2259	2290
VOLUMEN M (cm <sup>3</sup> )		944	944	944	944	944
PESO SECO (g)		2021	2134	2205	2131	2125
DENSIDAD HUMEDA (kg/m <sup>3</sup> )		2207	2351	2451	2393	2426
DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )		2141	2261	2336	2258	2251

*Simbología*

T: Tara                      %W: % de humedad  
 S: Suelo                     M: Molde  
 W: Agua



DENSIDAD SECA MÁXIMA:	2335 kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD ÓPTIMA:	5 %

Gráfico 7.16 Ensayo Proctor (3%) – Curva de Densidad-Humedad Prueba 3



## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
3	20/04/05	04/05/05	14	2059.6	8091.37	2126.54	41.85	5.17	
3*				2034.5	8123.29	2085.37	33.84	4.17	<b>4.67</b>
4		04/05/05	14	2249.0	8107.32	2309.77	53.16	6.56	
4*				2161.1	8075.43	2233.85	54.10	6.70	<b>6.63</b>
5		04/05/05	14	2298.6	8139.27	2355.38	60.69	7.46	
5*				2300.0	8123.29	2365.39	55.98	6.89	<b>7.17</b>
6		04/05/05	14	0.00	8075.43	0.00	0.00	0.00	
6*				0.00	8107.32	0.00	10.76	1.33	<b>0.66</b>
7		04/05/05	14	2353.73	8155.27	2423.30	54.57	6.69	
7*				2435.36	8091.37	2522.90	54.10	6.69	<b>6.69</b>
7rep.		05/05/05	14	2276.54	8123.29	2353.05	52.69	6.49	
7*rep.				2267.00	8139.27	2330.76	55.98	6.88	<b>6.68</b>

% CEMENTO: 3%

**Tabla 24 Resistencia de probetas (Ensayo Proctor 3% de cemento) C. Huayco + Arena Natural Fina, Prueba 3**

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
3	01/04/2005	08/04/2005	7	2156.5	8075.43	2232.81	45.62	5.65	
3*				2146.0	8155.27	2192.86	67.29	8.25	<b>6.95</b>
4		08/04/2005	7	2294.0	8091.37	2356.71	59.99	7.41	
4*				2292.0	8139.27	2352.53	59.52	7.31	<b>7.36</b>
5		08/04/2005	7	2346.0	8107.32	2411.40	78.59	9.69	
5*				2311.5	8139.27	2374.53	70.12	8.61	<b>9.15</b>
6		08/04/2005	7	2309.50	8091.37	2378.56	78.12	9.66	
6*				2285.00	8123.29	2338.24	63.52	7.82	<b>8.74</b>
7		08/04/2005	7	2297.00	8155.27	2368.87	71.06	8.71	
7*				2288.00	8075.43	2372.94	74.36	9.21	<b>8.96</b>

% CEMENTO: 4%

**Tabla 25 Resistencia de probetas (Ensayo Proctor 4% de cemento) C. Huayco + Arena Natural Fina, Prueba 3**

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

No. LAB	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
5-1	25/04/2005	04/05/2005	9	2231.31	8091.37	2336.99	54.10	6.69	
5*-1				2213.31	8059.51	2307.74	45.62	5.66	6.17
5-2		09/05/2005	14	2270.00	8091.37	2351.60	55.98	6.92	
5*-2				2291.31	8123.29	2360.39	46.56	5.73	6.33
5-3		23/05/2005	28	2246.84	8091.37	2308.26	62.58	7.73	
5*-3				2238.15	8107.32	2302.46	59.28	7.31	7.52
5-4		06/06/2005	42	2246.25	8123.29	2313.97	78.12	9.62	
5*-4				2241.05	8139.27	2306.01	59.75	7.34	8.48
5-5		24/07/2005	90	2265.14	8155.27	2314.60	87.31	10.71	
5*-5				2246.05	8075.43	2323.59	72.00	8.92	9.81

**Tabla 26 Resistencia de probetas, Humedad optima 5% (3% de cemento) Prueba 3**

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

No LAB	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
4-1	05/04/2005	06/04/2005	1	2302.00	8075.43	2387.46	53.39	6.61	
4*-1				2309.00	8123.29	2378.62	57.40	7.07	6.84
4-2		12/04/2005	7	2305.00	8155.27	2375.12	66.11	8.11	
4*-2				2294.50	8091.37	2386.98	63.99	7.91	8.01
4-3		19/04/2005	14	2259.50	8123.29	2331.53	70.12	8.63	
4*-3				2291.50	8107.32	2361.29	65.40	8.07	8.35
4-4		03/05/2005	28	2300.65	8027.72	2388.24	71.53	8.91	
4*-4				2247.00	8011.85	2366.75	63.52	7.93	8.42
4-5		17/05/2005	42	2241.32	8107.32	2321.21	76.71	9.46	
4*-5				2231.06	8155.27	2293.15	55.04	6.75	8.11

% CEMENTO: 4%

**Tabla 27 Resistencia de probetas, Humedad optima 4.3% (4% de cemento) Prueba 3**



## PRUEBA DE ULTRASONIDO

No. LAB.	FECHA MOLDEO	FECHA DE SONDEO	EDAD	TIEMPO $\mu$ S	LONGITUD m	VELOCIDAD m/s	VELOCIDAD PROM
5-1	25/04/2005	04/05/2005	9	38.8	0.119	3070	
5*-1				42.7	0.119	2790	2930
5-2		09/05/2005	14	36.4	0.119	3270	
5*-2				39.5	0.119	3020	3145
5-3		23/05/2005	28	40.7	0.119	2920	
5*-3				36.8	0.119	3230	3075
5-4		06/06/2005	42	37.4	0.119	3180	
5*-4				36.6	0.119	3250	3215
5-5		24/07/2005	90	37.9	0.119	3142	
5*-5				40.3	0.119	3096	3119

% CEMENTO: 3%

**Tabla 28 Velocidad de sonido de probetas Humedad optima 5% (3% de cemento) Prueba 3**

## PRUEBA DE ULTRASONIDO

No. LAB.	FECHA MOLDEO	FECHA DE SONDEO	EDAD	TIEMPO $\mu$ S	LONGITUD m	VELOCIDAD m/s	VELOCIDAD PROM
4-1	05/04/2005	06/04/2005	1	26.9	0.119	4430	
4*-1				26.9	0.119	4420	4425
4-2		12/04/2005	7	36.7	0.119	3240	
4*-2				40.7	0.119	2920	3080
4-3		19/04/2005	14	43.7	0.119	2720	
4*-3				63.3	0.119	1880	2300
4-4		03/05/2005	28	36.8	0.119	3230	
4*-4				40.7	0.119	2920	3075
4-5		17/05/2005	42	39.5	0.119	3070	
4*-5				36.8	0.119	2910	2990

% CEMENTO: 4%

**Tabla 29 Velocidad de sonido de probetas Humedad optima 4.3% (4% de cemento) Prueba 3**

## 7.4 Prueba 4

## GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO

INEN 696 - ASTM C136

FECHA DE ENSAYO: 27/07/2005

FECHA DE MUESTREO: 26/07/2005

MATERIAL: Base IIA

PROCEDENCIA: Cantera Luzagui

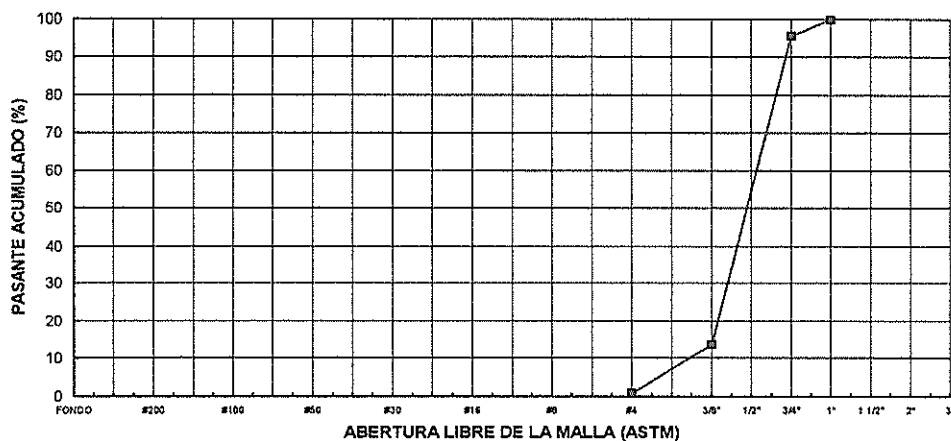
INTERESADO:

MASA INICIAL: 17000.0 g

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RET. g	RETENIDO %	RET. ACUMULADO %	PASANTE ACUM. %
76mm 3"	0.0	0.0	0.0	100.0
50mm 2"	0.0	0.0	0.0	100.0
38mm 1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
25mm 1"	0.0	0.0	0.0	100.0
19mm 3/4"	748.0	4.4	4.4	95.6
12.5mm 1/2"	6970.0	41.0	45.4	54.6
9.5mm 3/8"	6970.0	41.0	86.4	13.6
4.8mm No. 4	2197.0	12.9	99.3	0.7
FONDO	38.0	0.2	99.5	0.5

MODULO DE FINURA:

6.9



**Gráfico 7.18 Granulometría del Agregado Grueso Base II A Luzagui**

## GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO

INEN 696 - ASTM C136

FECHA DE ENSAYO: 27/07/2005  
 FECHA DE MUESTREO: 26/07/2005  
 MATERIAL: Piedra de 1/2 a 1 1/2  
 PROCEDENCIA: Cantera Luzagui  
 INTERESADO:  
 MASA INICIAL: 18240.0 g

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RET. g	RETENIDO %	RET. ACUMULADO %	PASANTE ACUM. %
76mm 3"	0.0	0.0	0.0	100.0
50mm 2"	0.0	0.0	0.0	100.0
38mm 1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
25mm 1"	4820.0	26.4	26.4	73.6
19mm 3/4"	6020.0	33.0	59.4	40.6
12.5mm 1/2"	5440.0	29.8	89.3	10.7
9.5mm 3/8"	1520.0	8.3	97.6	2.4
4.8mm No. 4	400.0	2.2	99.8	0.2
FONDO	40.0	0.2	100.0	0.0

MODULO DE FINURA:

7.6

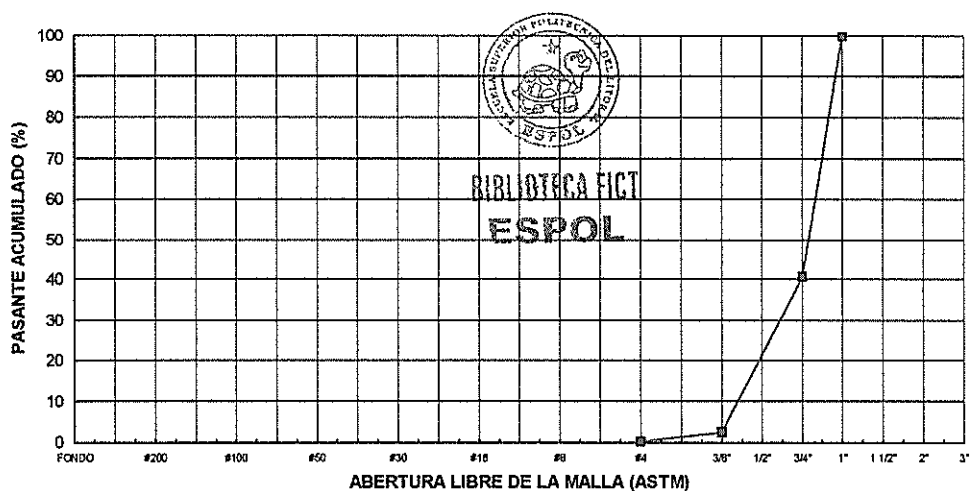


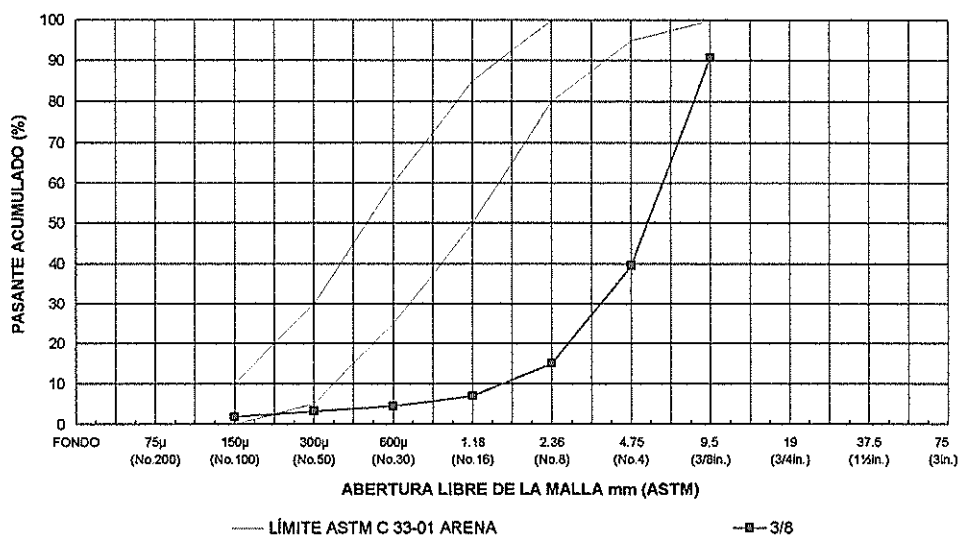
Gráfico 7.19 Granulometría del Agregado Grueso 1/2 a 1 1/2 Luzagui

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	3/8	Solicitado por:	C.T.H. Guayaquil
Cantera:	Verdu	Laboratorista:	Rommel Correa
Fecha de muestreo:	05-06-09	Fecha de ensayo:	09/06/2005

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	177.0	9	9	91
4,75 mm	No. 4	974.0	51	60	40
2,36 mm	No. 8	470.0	25	85	15
1,18 mm	No. 16	151.0	8	93	7
600 µm	No. 30	49.0	3	96	4
300 µm	No. 50	24.0	1	97	3
150 µm	No. 100	25.0	1	98	2
BANDEJA		35.5	2	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>5.4</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



MATERIAL MAS FINO QUE 70µm	INEN 697 - ASTM C 117	IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40
Masa seca antes del lavado (g)	1617	Pasante Color original
Masa seca después del lavado (g)	1548.5	4.2% N° Esc. Gardner

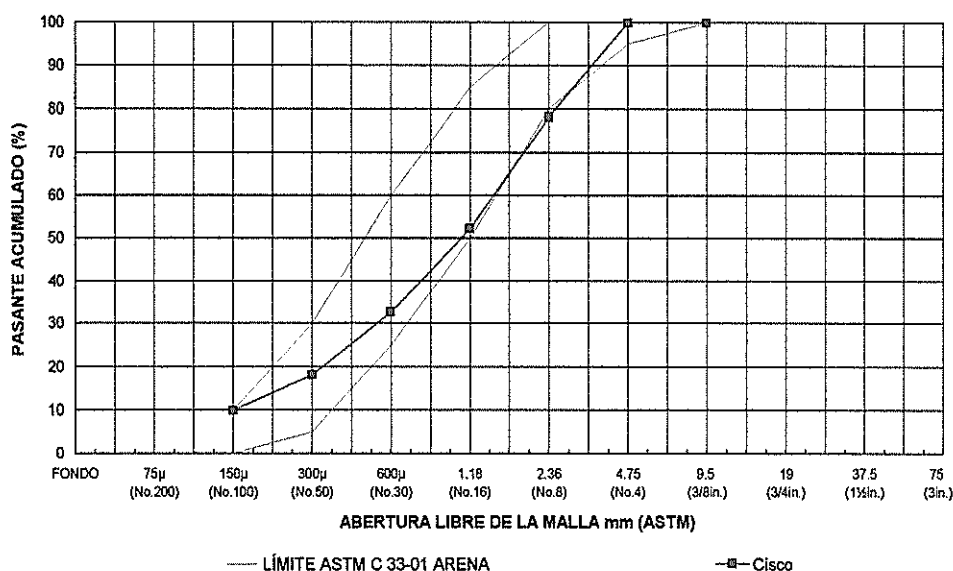
**Gráfico 7.20 Granulometría del Agregado Fino 3/8 Verdu**

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Cisco	Solicitado por:	C.T.H. Guayaquil
Cantera:	Luzagui	Laboratorista:	Rommel Correa
Fecha de muestreo:	05-07-26	Fecha de ensayo:	27/07/2005

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	1.0	0	0	100
2,36 mm	No. 8	217.0	22	22	78
1,18 mm	No. 16	260.5	26	48	52
600 μm	No. 30	196.0	20	67	33
300 μm	No. 50	145.5	15	82	18
150 μm	No. 100	82.0	8	90	10
BANDEJA		99.0	10	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>3.1</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



MATERIAL MAS FINO QUE 70μm	INEN 697 - ASTM C 117	IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40
Masa seca antes del lavado (g)	1000	Pasante
Masa seca después del lavado (g)	887	Nº Esc. Gardner

**Gráfico 7.21 Granulometría del Agregado Fino Cisco Luzagui**

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Tesis de Grado

Material Nº 1: Piedra Base IIA (Cantera Luzagui) 27/07/2005 ( BASE IA )

1

Material Nº 2: Piedra 1/2 a 1 1/2 (Cantera Luzagui)

Material Nº 3: Piedra 3/8 (Cantera Verdu) 09/06/05

Material Nº 4: Cisco (Luzagui) 27/07/2006

Tamices	Mat Nº 1	25.0%	Mat Nº 2	20.0%	Mat Nº 3	8.0%	Mat Nº 4	47.0%	Total
3	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
2 1/2	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
2	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
1 1/2	100.0	25.0	100.0	20.0	100.0	8.0	100.0	47.0	100.0
1	100.0	25.0	73.6	14.7	100.0	8.0	100.0	47.0	94.7
3/4	95.6	23.9	40.6	8.1	100.0	8.0	100.0	47.0	87.0
1/2	54.6	13.7	10.7	2.1	100.0	8.0	100.0	47.0	70.8
3/8	13.6	3.4	2.4	0.5	91.0	7.3	100.0	47.0	58.2
#4	0.7	0.2	0.2	0.0	40.0	3.2	100.0	47.0	50.4
#8	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.2	78.0	36.7	37.9
#16	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.6	52.0	24.4	25.0
#30	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.3	33.0	15.5	15.8
#40	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.2	25.0	11.8	12.0
#50	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.2	18.0	8.5	8.7
#100	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.2	10.0	4.7	4.9
#200	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	11.3	5.3	5.4
Mod finura	6.9	1.7	7.6	1.5	5.4	0.4	3.1	1.5	5.1

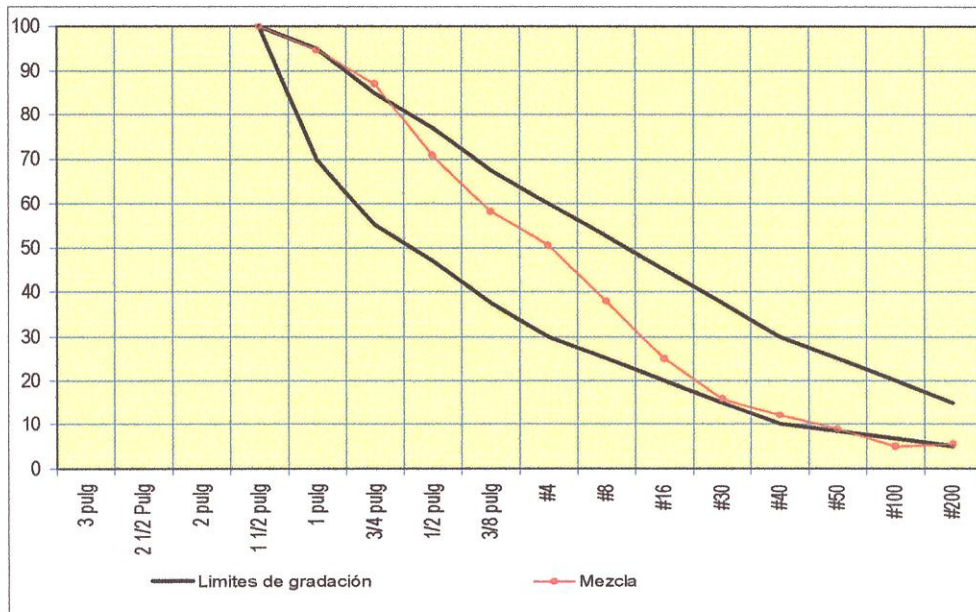


Gráfico 7.22 Mezcla de Materiales Prueba 4

**RELACIONES DE DENSIDAD-HUMEDAD DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO**

ASTM D 558 -96

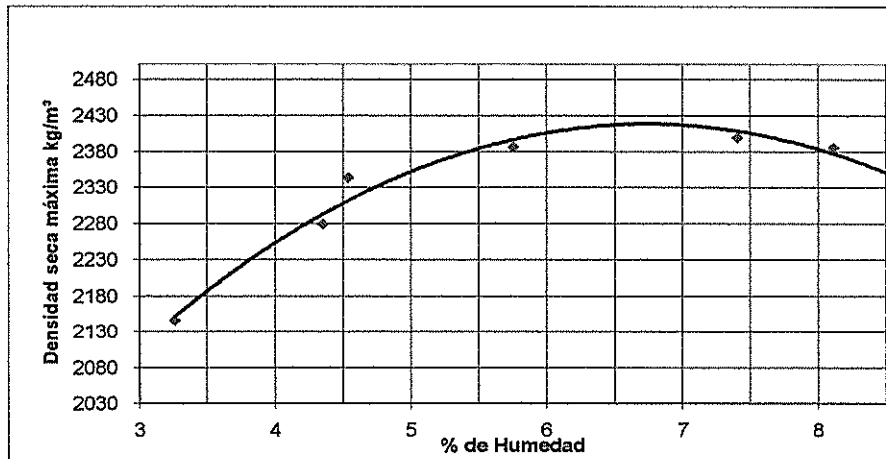
Fecha: 02/08/05  
 Material: BASE ESTABILIZADA ( Áridos Luzagui - Verdu)  
 Interesado:  
 Procedencia: C.T.H.

ASTM D 558 Procedimiento: "C" Dosificación kg/m<sup>3</sup>  
 Cemento HE : 95  
 Piedra Base IIA Luzagui 526 25%  
 Piedra de 1/2 a 1 1/2 Luzagui 421 20%  
 Piedra 3/8 Verdu 168 8%  
 Cisco Luzagui 989 47%  
 Agua Total 130  
 Polyheed R1 1%  
 Densidad Humeda 2330  
**Relación a/c = 0.82**

Cálculo de Humedad							
RECIPIENTE No.		1	2	3	4	5	6
PESO T + S + W	(g)	530.0	510.0	671.5	599.5	638.0	495.0
PESO T + S	(g)	518.5	496.5	652.5	575.0	607.0	472.0
PESO W	(g)	11.5	13.5	19.0	24.5	31.0	23.0
PESO T	(g)	166.0	186.5	234.0	149.5	188.5	188.5
PESO S	(g)	352.5	310.0	418.5	425.5	418.5	283.5
% W	(%)	3.3	4.4	4.5	5.8	7.4	8.1

Cálculo de Densidad							
PESO M + S + W	(g)	6557	6710	6778	6848	6898	6902
PESO M	(g)	4465	4465	4465	4465	4465	4465
PESO S + W	(g)	2092	2245	2313	2383	2433	2437
VOLUMEN M	(cm <sup>3</sup> )	944	944	944	944	944	945
PESO SECO	(g)	2026	2151	2212	2253	2265	2254
DENSIDAD HUMEDA	(kg/m <sup>3</sup> )	2216	2378	2450	2524	2577	2579
DENSIDAD SECA	(kg/m <sup>3</sup> )	2146	2279	2343	2387	2400	2385

**Simbología**  
 T: Tara                      %W: % de humedad  
 S: Suelo                    M: Molde  
 W: Agua



DENSIDAD SECA MAXIMA:	2410 kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD OPTIMA:	6.5 %

**Gráfico 7.23 Ensayo Proctor – Curva de Densidad-Humedad Prueba 4**

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm 2	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
3	02/08/2005	09/08/2005	7	1986.50	7853.98	2180.42	22.30	2.84	
3*				2049.00	7853.98	2268.58	25.36	3.23	3.03
4		09/08/2005	7	2277.00	8011.85	2398.35	57.87	7.22	
4*				2138.50	7853.98	2722.82	38.08	4.85	6.04
5		09/08/2005	7	2285.00	7853.98	2529.87	56.93	7.25	
5*				2308.00	7853.98	2490.37	65.40	8.33	7.79
6		09/08/2005	7	2354.50	7932.72	2504.72	57.87	7.29	
6*				2391.00	8091.37	2504.24	61.64	7.62	7.46
7		09/08/2005	7	2447.00	8091.37	2541.35	49.39	6.10	
7*				2398.50	8011.85	2537.03	58.81	7.34	6.72
8		09/08/2005	7	2442.00	8091.37	2515.03	42.79	5.29	
8*				2409.50	8091.37	2481.55	35.26	4.36	4.82

Cilindros que presentaron fallas

**Tabla 30 Resistencia de probetas (Ensayo Proctor) C Luzagui + Arena Natural Fina, Prueba 4**

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm 2	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
6.5%	22/08/2005	23/08/2005	1	2262.50	8091.37	2349.74	39.97	4.94	
				2295.00	8091.37	2466.40	32.43	4.01	4.47
		25/08/2005	3	2363.43	8107.32	2437.44	40.91	5.05	
				2427.31	8059.51	2511.87	45.62	5.66	5.35
		29/08/2005	7	2380.00	8107.32	2498.40	56.93	7.02	
				2452.00	8059.51	2611.47	73.41	9.11	8.07
		05/09/2005	14	2349.24	8011.85	2527.77	54.57	6.81	
				2412.80	8011.85	2530.71	47.98	5.99	6.40
		19/09/2005	28	2389.91	8027.72	2493.36	65.17	8.12	
				2346.19	8051.56	2446.65	66.35	8.24	8.18
		23/11/2005	93	2362.00	8107.32	2438.01	84.95	10.48	
				2371.00	8139.27	2439.73	78.12	9.60	10.04

**Tabla 31 Resistencia de probetas, Humedad Optimo 6.5%, C Luzagui + Arena Natural Fina, Prueba 4**



## 7.5 Prueba 5

## GRANULOMETRÍA COMPLETA

INEN 696 - ASTM C136

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

FECHA DE ENSAYO: 09/08/2005  
 FECHA DE MUESTREO: 09/08/2005  
 MATERIAL: Piedra Base  
 PROCEDENCIA: Cantera Cadmen Cochancay  
 INTERESADO:  
 MASA INICIAL: 18287.5 g

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RET. g	RETENIDO %	RET. ACUMULADO %	PASANTE ACUM. %
76mm 3"	0.0	0.0	0.0	100.0
50mm 2"	0.0	0.0	0.0	100.0
38mm 1 1/2"	97.5	0.5	0.5	99.5
25mm 1"	3221.0	17.6	18.1	81.9
19mm 3/4"	2400.0	13.1	31.3	68.7
12.5mm 1/2"	2080.0	11.4	42.6	57.4
9.5mm 3/8"	1380.0	7.5	50.2	49.8
4.8mm No. 4	2420.0	13.2	63.4	36.6
2,36 mm No. 8	1595.0	8.7	72.1	27.9
1,18 mm No. 16	1400.5	7.7	79.8	20.2
600 µm No. 30	1278.0	7.0	86.8	13.2
300 µm No. 50	1486.5	8.1	94.9	5.1
150 µm No. 100	657.0	3.6	98.5	1.5
FONDO	272.0	1.5	100.0	0.0

MODULO DE FINURA:

5.8

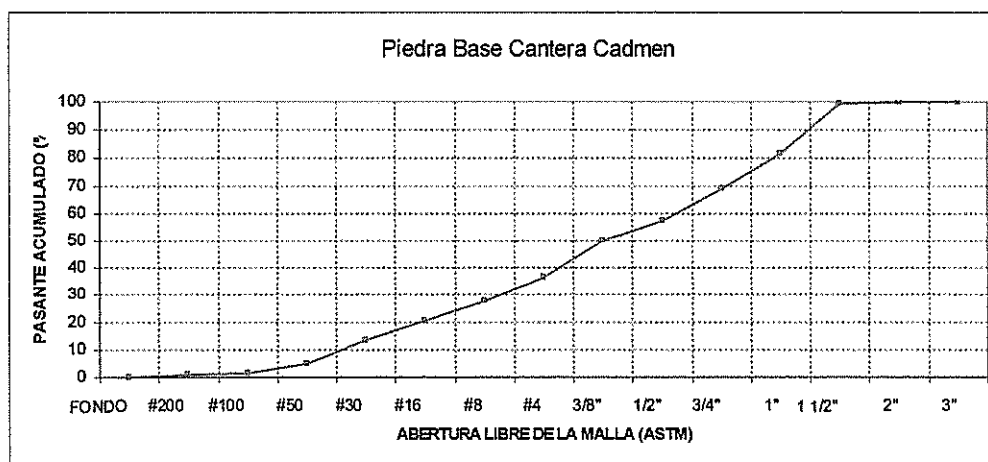


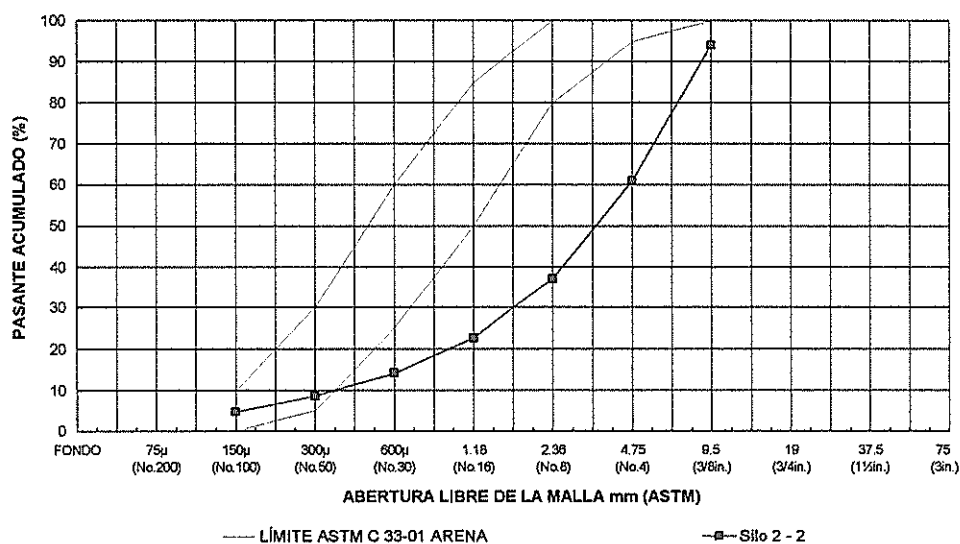
Gráfico 7.24 Granulometría completa Piedra Base Cadmen

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:		Periodo:	---
Tipo de agregado:	Silo 2 - 2	Solicitado por:	C.T.H. Guayaquil
Cantera:	La Troncal	Laboratorista:	Rommel Correa
Fecha de muestreo:	05-08-01	Fecha de ensayo:	05-08-01

Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	66.5	6	6	94
4,75 mm	No. 4	371.0	33	39	61
2,36 mm	No. 8	266.5	24	63	37
1,18 mm	No. 16	164.0	15	77	23
600 µm	No. 30	94.0	8	86	14
300 µm	No. 50	62.5	6	91	9
150 µm	No. 100	43.5	4	95	5
BANDEJA		53.5	5	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>4.6</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



MATERIAL MAS FINO QUE 70µm INEN 697 - ASTM C 117		IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)		N° Esc. Gardner	---

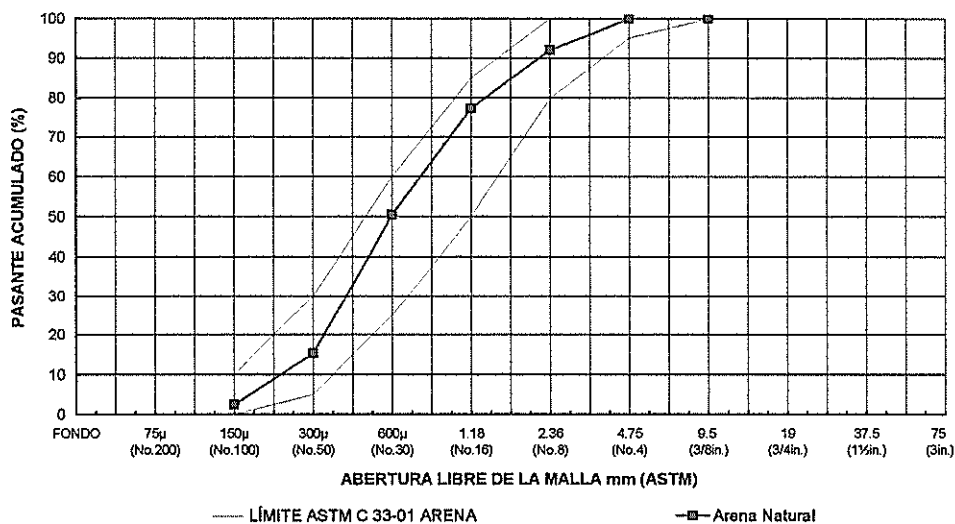
**Gráfico 7.25 Granulometría Agregado Fino Silo 2-2**

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO**  
**INEN 696 ASTM C 136**

Muestra N°:	4	Periodo:	
Tipo de agregado:	Arena Natural	Solicitado por:	C. Huayco
Cantera:	C. Peralta	Laboratorista:	CTH
Fecha de muestreo:	25/02/2005	Fecha de ensayo:	28/02/2005

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0.0	0	0	100
2,36 mm	No. 8	48.0	8	8	92
1,18 mm	No. 16	87.5	15	23	77
600 µm	No. 30	161.5	27	50	50
300 µm	No. 50	209.5	35	85	15
150 µm	No. 100	76.5	13	98	2
BANDEJA		14.5	2	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>2.6</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



MATERIAL MAS FINO QUE 70µm INEN 697 - ASTM C 117		IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)	200	Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)	199.6	0.2%	Nº Esc. Gardner

**Gráfico 7.26 Granulometría Agregado Fino Arena Natural Peralta 4**

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Tesis de Grado

Material Nº 1: Piedra Base (Cadmen) 09/08/2005

1

Material Nº 2:

Material Nº 3: Silo 2-2 (Estadio La Troncal)

Material Nº 4: Arena Natural No 4

Tamices	Mat Nº 1	70.0%	Mat Nº 2	0.0%	Mat Nº 3	20.0%	Mat Nº 4	10.0%	Total
3	100.0	70.0	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	3.0	93.0
2 1/2	100.0	70.0	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	10.0	100.0
2	100.0	70.0	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	10.0	100.0
1 1/2	99.5	69.7	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	10.0	99.7
1	81.9	57.3	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	10.0	87.3
3/4	68.7	48.1	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	10.0	78.1
1/2	57.4	40.2	0.0	0.0	100.0	20.0	100.0	10.0	70.2
3/8	49.8	34.9	0.0	0.0	94.0	18.8	100.0	10.0	63.7
#4	36.6	25.6	0.0	0.0	61.0	12.2	100.0	10.0	47.8
#8	27.9	19.5	0.0	0.0	37.0	7.4	92.0	9.2	36.1
#16	20.2	14.1	0.0	0.0	23.0	4.6	77.0	7.7	26.4
#30	13.2	9.2	0.0	0.0	14.0	2.8	50.0	5.0	17.0
#40	9.0	6.3	0.0	0.0	11.5	2.3	33.0	3.3	11.9
#50	5.1	3.6	0.0	0.0	9.0	1.8	15.0	1.5	6.9
#100	1.5	1.1	0.0	0.0	5.0	1.0	2.0	0.2	2.3
#200	2.0	1.4	0.0	0.0	2.0	0.4	1.0	0.1	1.9
Mod finura	5.8	4.1	0.0	0.0	4.6	0.9	2.6	0.3	5.2

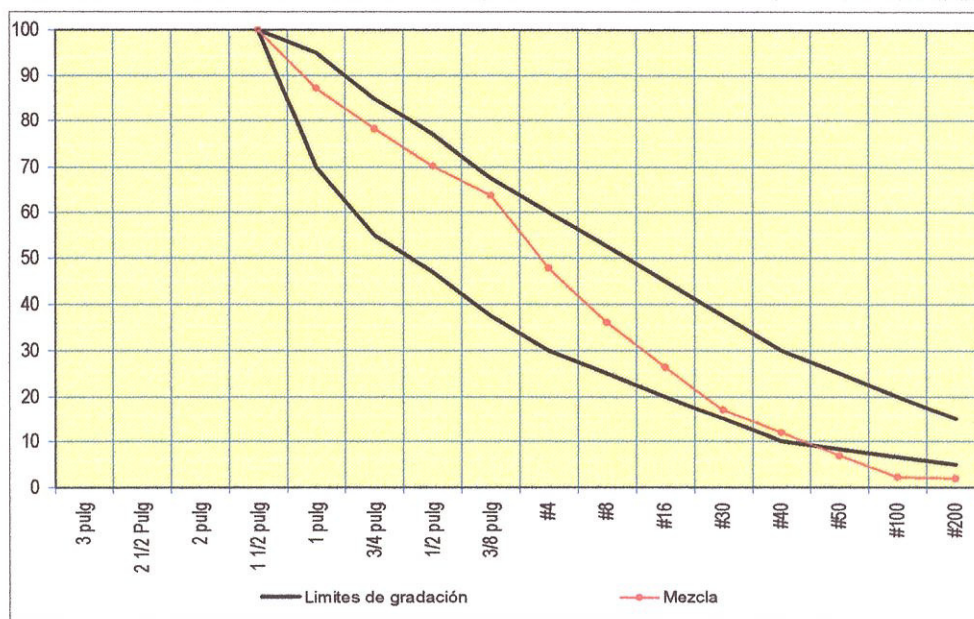


Gráfico 7.27 Mezcla de Materiales Prueba 5

## RELACIONES DE DENSIDAD-HUMEDAD DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO

ASTM D 558 -96

Fecha: 18/08/05  
 Material: BASE ESTABILIZADA  
 Interesado:  
 Procedencia: Cochancay

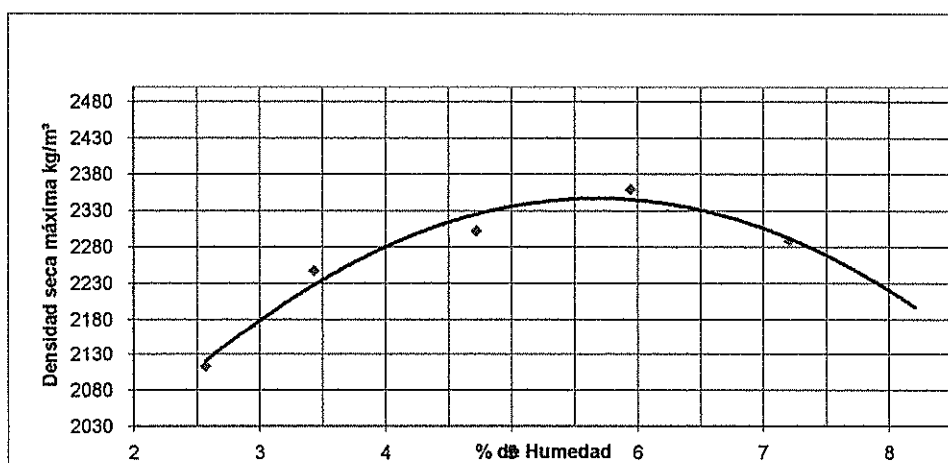
ASTM D 558 Procedimiento: "B" Dosificación kg/m<sup>3</sup>  
 Cemento HE : 95  
 Piedra Base IA (Cadmen) 1473.5 70%  
 Número de capas: 3 Silo 2-2 (Estadio La Troncal) 421 20%  
 Número de Golpes/Capa: 25 Arena Natural 210.5 10%  
 Agua Total 130  
 Peso del martillo: 2.49 kg Polyheed R1 1%  
 Densidad Humeda 2330  
 Relación a/c = 0.82

Cálculo de Humedad						
RECIPIENTE No.		1	2	3	4	5
PESO T + S + W	(g)	668.5	1641.5	810.5	1064.0	1239.5
PESO T + S	(g)	655.5	1616.5	784.5	1036.0	1194.5
PESO W	(g)	13.0	25.0	26.0	28.0	45.0
PESO T	(g)	149.5	887.5	234.0	565.0	570.0
PESO S	(g)	506.0	729.0	550.5	471.0	624.5
% W	(%)	2.6	3.4	4.7	5.9	7.2

Cálculo de Densidad						
PESO M + S + W	(g)	6510	6660	6740	6824	6781
PESO M	(g)	4465	4465	4465	4465	4465
PESO S + W	(g)	2045	2195	2275	2359	2316
VOLUMEN M	(cm <sup>3</sup> )	944	944	944	944	944
PESO SECO	(g)	1994	2122	2172	2227	2161
DENSIDAD HUMEDA	(kg/m <sup>3</sup> )	2166	2325	2410	2499	2454
DENSIDAD SECA	(kg/m <sup>3</sup> )	2112	2248	2301	2359	2269

## Simbología

T: Tara                      %W: % de humedad  
 S: Suelo                    M: Molde  
 W: Agua



DENSIDAD SECA MÁXIMA: 2342 kg/m<sup>3</sup>  
 HUMEDAD ÓPTIMA: 5.7 %

Gráfico 7.28 Ensayo Proctor – Curva de Densidad-Humedad Prueba 5

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
3	18/08/2005	25/08/2005	7	2226.88	7853.98	2444.27	38.08	4.85	
3*				2117.89	7853.98	2344.85	38.32	4.88	4.86
4			7	2278.50	8091.37	2366.36	52.69	6.51	
4*				2250.07	8011.85	2369.98	70.12	8.75	7.63
5			7	2382.80	8139.27	2466.33	58.81	7.23	
5*				2323.63	8091.37	2393.12	45.62	5.64	6.43
6			7	2302.38	7995.99	2411.57	21.12	2.64	
6*				2318.64	8059.51	2405.43	37.85	4.70	3.67

Cilindros con 2% de humedad fallaron, pues no hubo reaccion de aglutinamiento por falta de agua

**Tabla 32 Resistencia de probetas (Ensayo Proctor) C. Cadmen + Arena Natural Fina, Prueba 5**

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Humedad %	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
5.7	19/08/2005	20/08/2005	1	2327.00	7932.72	2454.75	24.89	3.14	
				2292.50	8051.56	2412.94	22.07	2.74	2.94
		22/08/2005	3	2373.50	8011.85	2458.50	59.99	7.49	
				2260.00	8011.85	2431.74	44.44	5.55	6.52
		26/08/2005	7	2333.26	8091.37	2413.09	52.21	6.45	
				2272.01	8059.51	2353.12	55.04	6.83	6.64
		02/09/2005	14	2339.00	8011.85	2463.65	65.40	8.16	
				2340.16	8059.51	2399.67	44.68	5.54	6.85
		16/09/2005	28	2301.80	8059.51	2418.29	74.83	9.28	
				2269.01	8043.61	2380.49	52.21	6.49	7.89
		23/11/2005	96	2295.00	7995.99	2411.92	72.94	9.12	
				2352.00	8059.51	2448.23	66.11	8.20	8.66

Muestra con falla al costado

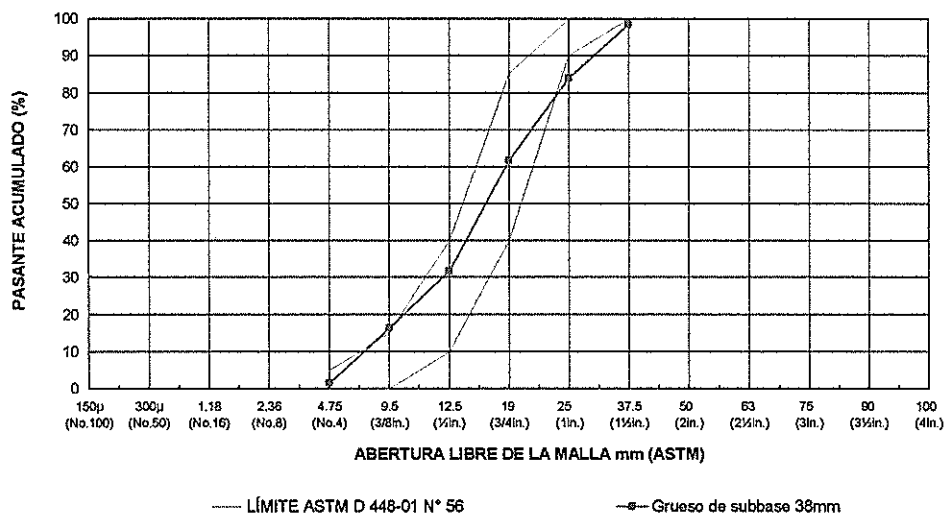
**Tabla 33 Resistencia de probetas, Humedad Optimo 5.70% C. Cadmen + Arena Natural Fina, Prueba 5**

## 7.6 Prueba San Eduardo I y II

Muestra N°:	Grueso Base IB	Periodo:	---
Tipo de agregado:	Grueso de subbase 38mm	Solicitado por:	CTH
Fuente:	C. Huayco	Laboratorista:	
Fecha muestreo:	12/05/05	Fecha de ensayo:	12/05/05

Granulometría del agregado grueso INEN 696 ASTM C 448					
Tamiz		Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	416.0	1	1	99
25 mm	1 in.	4220.0	15	16	84
19 mm	¾ in.	6340.0	22	38	62
12.5 mm	½ in.	8620	30	68	32
9.5 mm	3/8 in.	4440.0	15	84	16
4,75 mm	No. 4	4220.0	15	98	2
2,36 mm	No. 8	---	---	---	---
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		455.5	2	100	0
Módulo de finura :				7.2	

CURVA GRANULOMÉTRICA



Material más fino que 70µm INEN 697 - ASTM C 117		Impureza orgánica INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)		Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)		Nº Esc. Gardner	

Gráfico 7.29 Granulometría del Agregado Grueso de Subbase 38mm

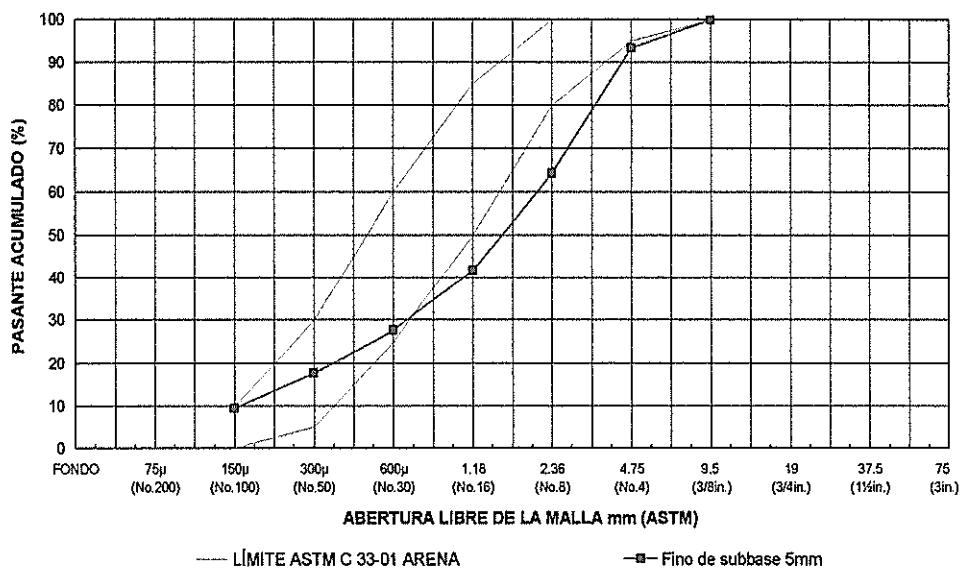
### GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:	1	Periodo:	
Tipo de agregado:	Fino de subbase 5mm	Solicitado por:	
Cantera:	C: Huayco	Laboratorista:	CTH
Fecha de muestreo:	12/05/05	Fecha de ensayo:	12/05/05

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	65.0	7	7	93
2,36 mm	No. 8	292.2	29	36	64
1,18 mm	No. 16	224.5	22	58	42
600 µm	No. 30	141.5	14	72	28
300 µm	No. 50	98.0	10	82	18
150 µm	No. 100	83.0	8	91	9
BANDEJA		94.5	9	100	0
<b>MÓDULO DE FINURA :</b>				<b>3.5</b>	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



MATERIAL MAS FINO QUE 70µm INEN 697 - ASTM C 117		IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40	
Masa seca antes del lavado (g)	900	Pasante	Color original
Masa seca después del lavado (g)	768.5	14.6%	Nº Esc. Gardner
Humedad	15.02%		

**Gráfico 7.30 Granulometría del Agregado Fino de Subbase 5 mm**



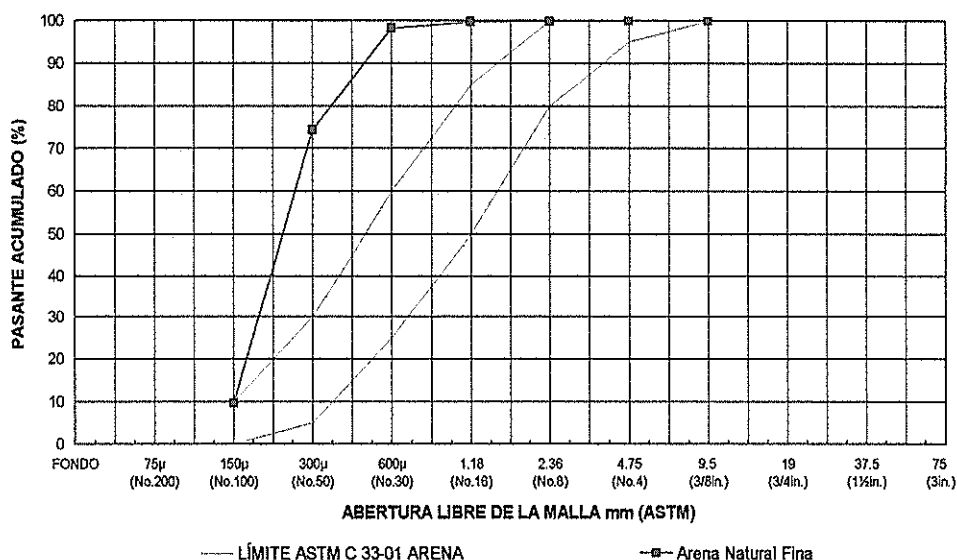
### GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

INEN 696 ASTM C 136

Muestra N°:	2	Periodo:	
Tipo de agregado:	Arena Natural Fina	Solicitado por:	
Cantera:	Arenera Guayaquil	Laboratorista:	CTH
Fecha de muestreo:	12/05/05	Fecha de ensayo:	12/05/05

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0.5	0	0	100
2,36 mm	No. 8	1.0	0	0	100
1,18 mm	No. 16	2.0	0	0	100
600 μm	No. 30	14.5	1	2	98
300 μm	No. 50	249.0	24	26	74
150 μm	No. 100	672.0	65	90	10
BANDEJA		100.0	10	100	0
MÓDULO DE FINURA :				1.2	

CURVA GRANULOMÉTRICA



MATERIAL MAS FINO QUE 70μm	INEN 697 - ASTM C 117	IMPUREZA ORGÁNICA INEN 855 - ASTM C40
Masa seca antes del lavado (g)	900	Pasante
Masa seca después del lavado (g)	879	2.3%
Humedad	7.02%	Nº Esc. Gardner

**Gráfico 7.31 Granulometría del Agregado Fino Arena Natural Guayaquil**



# Mezcla de Materiales

BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Prueba San Eduardo N° 1

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Material N° 1: Grueso de subbase 38mm (Calizas Huayco) 12/05/05 (BASE IB)

Material N° 2: Fino de subbase 5mm. (Calizas Huayco) 12/05/05

Material N° 3: Arena # 2 Arenera Guayaquil

Material N° 4:

1

Tamices	Mat N° 1	50.0%	Mat N° 2	30.0%	Mat N° 3	20.0%	Mat N° 4	0.0%	Total
3	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
2	100.0	50.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2	99.0	49.5	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	99.5
1	84.0	42.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	92.0
3/4	62.0	31.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	81.0
1/2	32.0	16.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	66.0
3/8	16.0	8.0	100.0	30.0	100.0	20.0	0.0	0.0	58.0
#4	2.0	1.0	93.0	27.9	100.0	20.0	0.0	0.0	48.9
#8	0.0	0.0	64.0	19.2	100.0	20.0	0.0	0.0	39.2
#16	0.0	0.0	42.0	12.6	100.0	20.0	0.0	0.0	32.6
#30	0.0	0.0	28.0	8.4	98.0	19.6	0.0	0.0	28.0
#40	0.0	0.0	24.0	7.2	85.5	17.1	0.0	0.0	24.3
#50	0.0	0.0	18.0	5.4	73.0	14.6	0.0	0.0	20.0
#100	0.0	0.0	13.9	4.2	10.0	2.0	0.0	0.0	6.2
#200	0.0	0.0	11.0	3.3	4.0	0.8	0.0	0.0	4.1
Mod finura	7.2	3.5	3.5	1.1	1.2	0.2	0.0	0	4.79

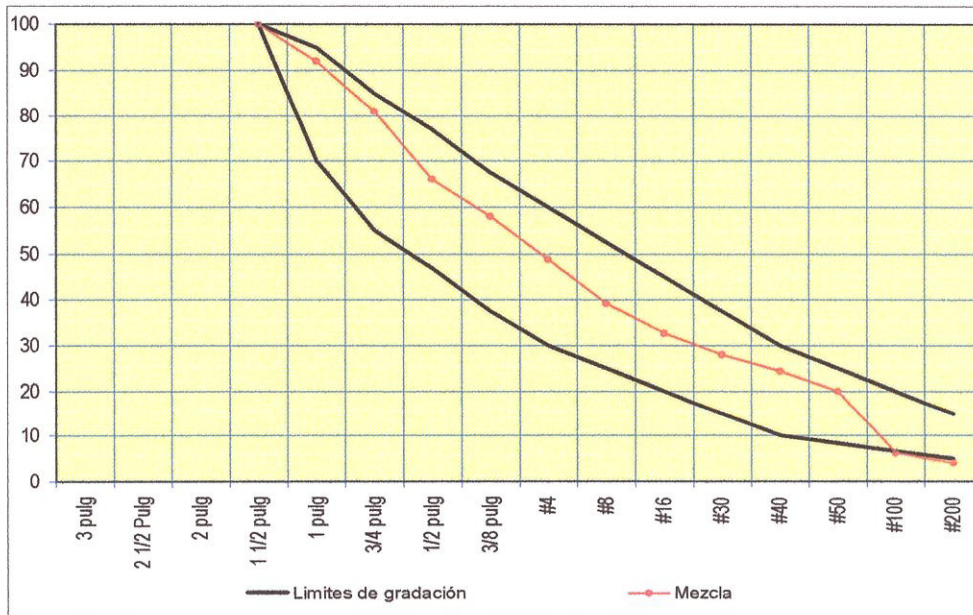


Gráfico 7.32 Mezcla de Materiales Prueba San Eduardo 1

# Mezcla de Materiales

## BASE ESTABILIZADA GRANULAR

Proyecto : Prueba San Eduardo N° 2

Material N° 1: Grueso de subbase 38mm (Calizas Huayco) 19/05/05 (BASE IB)

1

Material N° 2: Fino de subbase 5mm. (Calizas Huayco) 19/05/05

Material N° 3: Arena # 2 Arenera Guayaquil

Material N° 4:

Tamices	Mat N° 1	45.0%	Mat N° 2	32.5%	Mat N° 3	22.5%	Mat N° 4	0.0%	Total
3	100.0	45.0	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	100.0
2 1/2	100.0	45.0	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	100.0
2	100.0	45.0	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	100.0
1 1/2	99.0	44.6	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	99.6
1	84.0	37.8	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	92.8
3/4	62.0	27.9	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	82.9
1/2	32.0	14.4	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	69.4
3/8	16.0	7.2	100.0	32.5	100.0	22.5	0.0	0.0	62.2
#4	2.0	0.9	93.0	30.2	100.0	22.5	0.0	0.0	53.6
#8	0.0	0.0	64.0	20.8	100.0	22.5	0.0	0.0	43.3
#16	0.0	0.0	42.0	13.7	100.0	22.5	0.0	0.0	36.2
#30	0.0	0.0	28.0	9.1	98.0	22.1	0.0	0.0	31.2
#40	0.0	0.0	24.0	7.8	85.5	19.2	0.0	0.0	27.0
#50	0.0	0.0	18.0	5.9	73.0	16.4	0.0	0.0	22.3
#100	0.0	0.0	13.9	4.5	10.0	2.3	0.0	0.0	6.8
#200	0.0	0.0	11.0	3.6	4.0	0.9	0.0	0.0	4.5
Mod finura	7.2	3.5	3.5	1.1	1.2	0.3	0.0	0	4.9

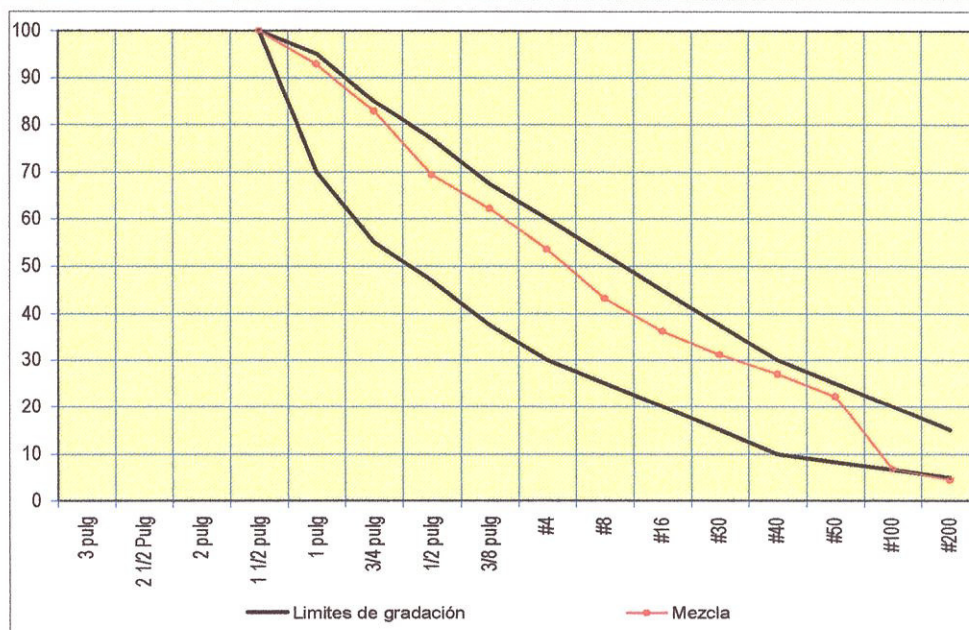


Gráfico 7.33 Mezcla de Materiales Prueba San Eduardo 2

### Resumen de resultados de CBR y Densidad de Sub Base

#### Densímetro TROXLER serie 3440

Obra: Prueba San Eduardo No. 1 Relación de compact. **Con Rod./Sin Rod.** = 1.134  
 Fecha: 13/05/2005 Relación de compact. **Sin Rod./Sin Rod.** = 1.060  
 Densidad seca referencial: 2200 kg/m<sup>3</sup> Relación de compact. **Con Rod./Sin Rod.** = 1.069  
 Humedad óptima: 5.0%

Capa	Ubicación	Prof. Lectura	DD kg/m <sup>3</sup>	WD kg/m <sup>3</sup>	%M	% PR Seco	Observaciones	
30cm		sup	1963	2074	5.6	89.2	Sin pasar Rodillo	
		sup	1892	2004	5.9	86.0		
		15cm perf	1848	1954	5.7	84.0		
		Prom. =	1901	2011	5.7	86.4		
			sup	2198	2341	6.5	99.9	Pasado rodillo
			sup	2221	2373	6.9	101.0	
			sup	2145	2279	6.2	97.5	
			15cm perf	2056	2188	6.4	93.5	
			Prom. =	2155	2295	6.5	98.0	
15cm		Sup. Centro	1904	2040	7.1	86.5	Sin pasar Rodillo	
		Sup. Extremo	2021	2143	6.0	91.9		
		Sup. Extremo	2122	2247	5.9	96.5		
		Prom. =	2016	2143	6.3	91.6		

### Resumen de resultados de Densidad de Sub Base

#### Densímetro TROXLER serie 3440

Obra: Prueba San Eduardo 2 Relación de compactación  
 Fecha: 23/05/2005 **Con Rod./Sin Rod.** = 1,035  
 Densidad seca referencial: 2200 kg/m<sup>3</sup> **Con Rod./Sin Rod.** = 1,119  
 Humedad óptima: 6,0%

Capa	Tramo	Absc.	Prof. Lectura	DD kg/m <sup>3</sup>	WD kg/m <sup>3</sup>	%M	% PR Seco	Observaciones	
1ra	Centro	0+002	sup.	1969	2095	6,4	89,5	Sin Rodillo	
	Extr. D.		sup.	2001	2133	6,6	91,0	Sin Rodillo	
	Extr. Iz.	0+006	sup.	1996	2124	6,4	90,7	Sin Rodillo	
	Extr. Iz.	0+006	0,15	1964	2079	5,9	89,3	Sin Rodillo	
	Centro	0+014	sup.	1953	2092	7,1	88,8	Sin Rodillo	
	Extr. Iz.	0+014	sup.	1975	2112	6,9	89,8	Sin Rodillo	
	Extr. D.	0+014	sup.	2088	2245	7,5	94,9	Sin Rodillo	
				Prom=	1992	2126	6,7	90,6	
		Extr. D.	0+004	sup.	2044	2170	6,2	92,9	2 pasadas rodillo: 1 vibrada+1 sin vibrar
		Centro	0+014	sup.	2077	2237	7,4	94,4	3 pasadas rodillo: 1 vibrada+1 sin vibrar
		Extr. Iz.	0+020	sup.	2064	2225	7,8	93,8	4 pasadas rodillo: 1 vibrada+1 sin vibrar
				Prom=	2062	2211	7,1	93,7	
2da	Extr. Iz.	0+002	sup.	2035	2271	8,5	92,5	Sin Rodillo	
	Centro	0+006	sup.	1670	1829	9,5	75,9	Sin Rodillo	
	Extr. Iz.	0+014	sup.	1820	1999	9,8	82,7	Sin Rodillo	
	Extr. D.	0+006	sup.	1981	2107	6,4	90,0	Sin Rodillo	
				Prom=	1877	2052	8,6	85,3	
	Extr. D.	0+005	sup.	2100	2291	8,7	95,5	2 pasadas rodillo: 2 sin vibrar	

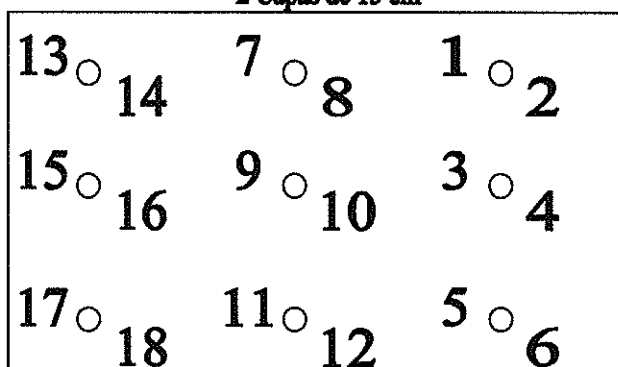
Tabla 34 Densidades de campo de prueba San Eduardo 1 y 2

PESO RODILLOS					
				Ancho de Tambor (cm)	Carga kg/cm
Rodillo Grande	6000	kg	(en tambor)	213	28.2
Rodillo Doble	5700	kg	(en 2 tambores)	144	19.8

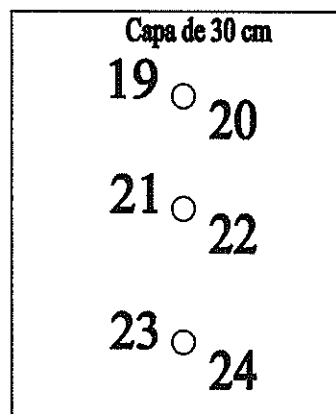
Tabla 35 Peso de rodillos utilizados en prueba San Eduardo

## Prueba San Eduardo 1

2 Capas de 15 cm



Capa de 30 cm



## Prueba San Eduardo 2

2 Capas de 15 cm

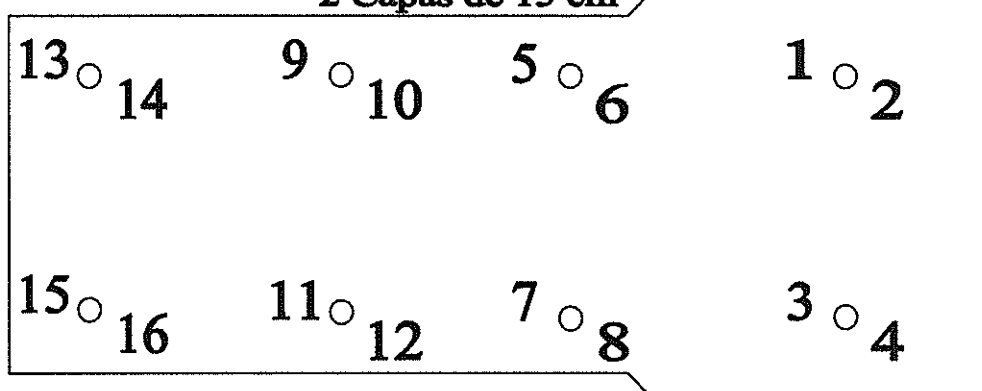


Gráfico 7.34 Ubicación de las perforaciones de donde se calaron las probetas



### Calculo de Densidad de Nucleos

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Lugar: Prueba San Eduardo 1  
Fecha moldeo: 05/13/2005  
Fecha Rotura: 05/20/2005

N° de lab. Pares = Capa Inferior ; Impares = Capa Superior

Muestra	Peso sss (g)	Peso H2O (g)	Densidad kg/m3	Dens. Prom.	Dens. Super.	Dens. Infer.	Promedio Parcial	Observaciones
1	2096,63	1216	2380,83				101,2%	Base Superior 15 cm
2	2744,65	1563	2322,73				98,7%	Base Inferior 15 cm
5	2022,00	1173	2381,63				101,3%	Base Superior 15 cm
6	2613,82	1482	2309,40				98,2%	Base Inferior 15 cm
7	2417,37	1399	2373,76				100,9%	Base Superior 15 cm
8	2430,65	1384	2322,31				98,7%	Base Inferior 15 cm
9	2445,02	1417	2378,38				101,1%	Base Superior 15 cm
10	2558,25	1480	2372,59				100,9%	Base Inferior 15 cm
13	2482,04	1438	2377,34				101,1%	Base Superior 15 cm
14	2391,50	1388	2383,16				101,3%	Base Inferior 15 cm
17	2623,62	1511	2358,06				100,2%	Base Superior 15 cm
18	2217,71	1293	2398,28				102,0%	Base Inferior 15 cm
21	1851,21	1055	2325,03	2286,06	98,8%		97,2%	Parte 1 Muestra 21-22
22	1605,46	891	2247,10			95,5%		Parte 2 Muestra 21-22
7-1	1234,12	717	2386,53	2354,16	101,5%		100,1%	Parte 1 Muestra 7
7-2	1129,46	643	2321,79		98,7%			Parte 2 Muestra 7
8-1	1266,25	726	2343,82	2308,18		99,6%	98,1%	Parte 1 Muestra 8
8-2	1103,64	618	2272,55			96,6%		Parte 2 Muestra 8
21-22	3581,55	2014	2284,31				97,1%	Base 30 cm.

Dens. Sup. Prom **2367,86** Prom Máx. Densidad Húmeda = 2352,2  
 Dens. Inf. Prom 2336,51 Prom Máx. Densidad Seca = 2225  
 Dens. Prom total 2352,18 Humedad Óptima = 5,70%  
 Relación de compact. Con Rod./Sin Rod. = **1,10**

**Tabla 36 Densidad aparente de los especimenes calados en Prueba San Eduardo 1**

## Cálculo de Densidad de Nucleos

Lugar: Prueba San Eduardo 2  
 Fecha Moldeo 23/05/2005  
 Fecha Rotura 30/05/2005

N° de lab. Pares = Capa Inferior ; Impares = Capa Superior

Muestra	Peso sss (g)	Peso H2O (g)	Densidad	Observaciones
1	2302.92	1293	2280.30	Base Superior 15 cm
2	2645.71	1467	2244.58	Base Inferior 15 cm
3	1679.18	950	2302.83	Base Superior 15 cm
4	2872.28	1594	2246.99	Base Inferior 15 cm
5	1974.04	1116	2300.64	Base Superior 15 cm
6	1543.50	863	2268.19	Base Inferior 15 cm
7	2375.64	1358	2334.46	Base Superior 15 cm
8	2624.61	1477	2287.02	Base Inferior 15 cm
9	1970.00	1096	2254.00	Base Superior 15 cm
10	2752.20	1531	2253.68	Base Inferior 15 cm
11	2644.67	1470	2251.42	Base Superior 15 cm
12	2236.50	1270	2314.02	Base Inferior 15 cm
15	2905.05	1631	2280.17	Base Superior 15 cm
16	2242.27	1251	2262.02	Base Inferior 15 cm

Dens. Sup. Prom	2286.26
Dens. Inf. Prom	2268.07
Dens. Prom total	2277.17
Prom Máx. Densidad Húmeda =	2277.2
Prom Máx. Densidad Seca =	2134
Humedad Óptima =	6.70%
Relación de compact. Con Rod./Sin Rod. =	1.08



BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL

Tabla 37 Densidad aparente de los especímenes calados en Prueba San Eduardo 2

## BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PRUEBA # 1 ( PLANTA SAN EDUARDO )

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

ASTM C 42

06/20/2005

Contenido de Cemento : 4 %

Edad: 7 dias

No. LAB.	DIÁMETRO mm	ALTURA mm	Area mm 2	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	L/D	Factor ASTM C 42	Resistencia Final MPa	Observaciones : N° de lab. Pares = Capa Inferior ; Impares = Capa Superior
1	100	103.0	7853.98	105.68	13.46	1.03	0.88	11.84	Base Superior 15 cm
2	100	140.3	7853.98	73.41	9.35	1.40	0.95	8.88	Base Inferior 15 cm
5	100	101.0	7853.98	93.43	11.90	1.01	0.87	10.39	Base Superior 15 cm
6	100	141.3	7853.98	53.16	6.77	1.41	0.95	6.44	Base Inferior 15 cm
9	100	109.2	7853.98	106.39	13.55	1.09	0.90	12.15	Base Superior 15 cm
10	100	127.0	7853.98	96.26	12.26	1.27	0.93	11.44	Base Inferior 15 cm
13	100	137.5	7853.98	60.69	7.73	1.38	0.95	7.32	Base Superior 15 cm
14	100	121.2	7853.98	110.16	14.03	1.21	0.92	12.95	Base Inferior 15 cm
17	100	121.0	7853.98	73.88	9.41	1.21	0.92	8.68	Base Superior 15 cm
18	100	104.1	7853.98	104.03	13.25	1.04	0.88	11.70	Base Inferior 15 cm
21	100	109.1	7853.98	74.59	9.50	1.09	0.90	8.52	Base de 1 capa de 30 cm

## BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PRUEBA # 2 ( PLANTA SAN EDUARDO )

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

ASTM C 42

23/05/05

Contenido de Cemento : 4 %

Edad: 7 dias

No. LAB.	DIÁMETRO mm	ALTURA mm	Area mm 2	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	L/D	Factor ASTM C 42	Resistencia Final MPa	Observaciones : N° de lab. Pares = Capa Inferior ; Impares = Capa Superior
1	100.5	96.0	7932.72	71.29	8.99	0.96	0.85	7.67	Base Superior 15 cm
2	100.5	85.0	7932.72	60.46	7.62	0.85	0.81	6.14	Base Inferior 15 cm
4	101.0	137.0	8011.85	56.93	7.11	1.36	0.94	6.71	Base Superior 15 cm
5	100.5	97.0	7932.72	72.47	9.14	0.97	0.86	7.84	Base Inferior 15 cm
7	100.5	126.0	7932.72	79.77	10.06	1.25	0.93	9.36	Base Superior 15 cm
8	101.5	122.0	8091.37	50.10	6.19	1.20	0.92	5.71	Base Inferior 15 cm
9	100.5	99.0	7932.72	37.14	4.68	0.99	0.86	4.05	Base Superior 15 cm
10	100.6	132.0	7948.51	42.79	5.38	1.31	0.94	5.06	Base Inferior 15 cm
11	101.0	127.0	8011.85	38.55	4.81	1.26	0.93	4.48	Base Superior 15 cm
12	100.5	96.5	7932.72	58.10	7.32	0.96	0.86	6.27	Base Inferior 15 cm
15	100.7	154.0	7964.32	51.51	6.47	1.53	0.96	6.22	Base Superior 15 cm
16	100.4	117.0	7916.94	47.50	6.00	1.17	0.91	5.49	Base Inferior 15 cm

cilindros que no cumplen la norma ASTM C-42

## PRUEBA DE ULTRASONIDO PRUEBA SAN EDUARDO #2

No. LAB.	FECHA MOLDEO	FECHA DE SONDEO	EDAD	TIEMPO $\mu$ S	LONGITUD m	VELOCIDAD m/s
4	23/05/05	30/05/05	7	43.50	0.137	3150.00
7				45.50	0.126	2770.00
10			7	50.50	0.132	2620.00
15				50.50	0.154	3050.00

Tabla 38 Resistencia a la compresión y prueba de ultrasonido de probetas caladas



### DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

#### CILINDROS REALIZADOS EN PRUEBA REAL

OBRA PRUEBA SAN EDUARDO 2      Fecha de Moldeo    23/05/2005  
 Fecha de Rotura            30/05/2005

No. Laboratorio	EDAD	DIÁMETRO mm	ALTURA mm	PESO g	Area mm <sup>2</sup>	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CARGA KN	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA PROM.
1-1	7	101.5	121	2181.91	8091.37	2228.59	71.53	8.84	
1*-2		101.5	119	2151.33	8091.37	2234.28	56.93	7.04	7.94

**Tabla 39 Resistencia a la compresión simple de cilindros realizados durante la prueba San Eduardo 2**

#### PRUEBA DE ULTRASONIDO

No. LAB.	FECHA MOLDEO	FECHA DE SONDEO	EDAD	TIEMPO μS	LONGITUD m	VELOCIDAD m/s
1-1	23/05/2005	30/05/2005	7	38.80	0.121	3120.00
1*-2				43.60	0.119	2730.00

**Tabla 40 Prueba de ultrasonido de cilindros realizados durante la prueba San Eduardo 2**

RECIPIENTE No.	Cálculo de Humedad		
	1	1 - 1	1* - 2
PESO T + S + W (g)	1669.7	797.2	906.5
PESO T + S (g)	1557.5	750.8	857.4
PESO W (g)	112.2	46.4	49.2
PESO T (g)	233.8	188.2	231.4
PESO S (g)	1323.7	562.6	626.0
% W (%)	8.5	8.2	7.9

**Tabla 41 Calculo de humedad realizados durante la prueba San Eduardo 2**

# CAPITULO 8

## 8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se procede a analizar los resultados dados a conocer en el capítulo anterior para las 5 pruebas, como la prueba a escala real.

Nuestro análisis enfocara al valor de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo de los distintos materiales combinados, de manera que, cumpliendo los límites granulométricos propuestos podamos obtener con proporciones del 4% de cemento, tempranamente resistencias superiores a 6 MPa.

Iniciare analizando los resultados de la resistencia a la compresión simple a la edad de 7 días de las probetas obtenidas para encontrar la curva Humedad – Densidad (Proctor), luego continuaré con los resultados de las probetas realizadas con la humedad óptima, a distintas edades.

También analizaré la Prueba 3 con mayor detalles porque se la realizó con porcentajes del 3 y el 4 % de cemento, como también los resultados obtenidos de ésta prueba, con 4% de cemento, en la prueba a escala real "San Eduardo".

### 8.1 Análisis de Probetas Obtenidas en el Ensayo Proctor a la Edad de 7 Días

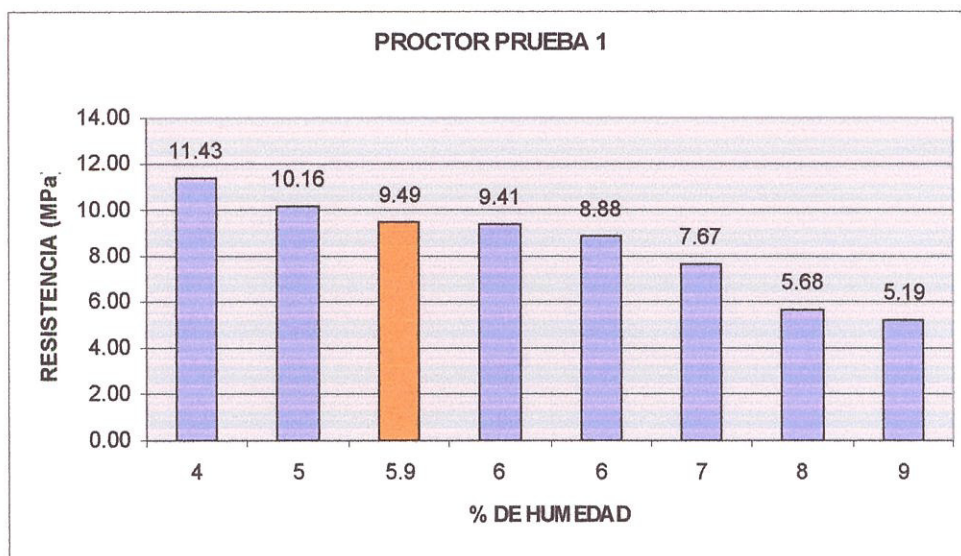


Gráfico 8.1

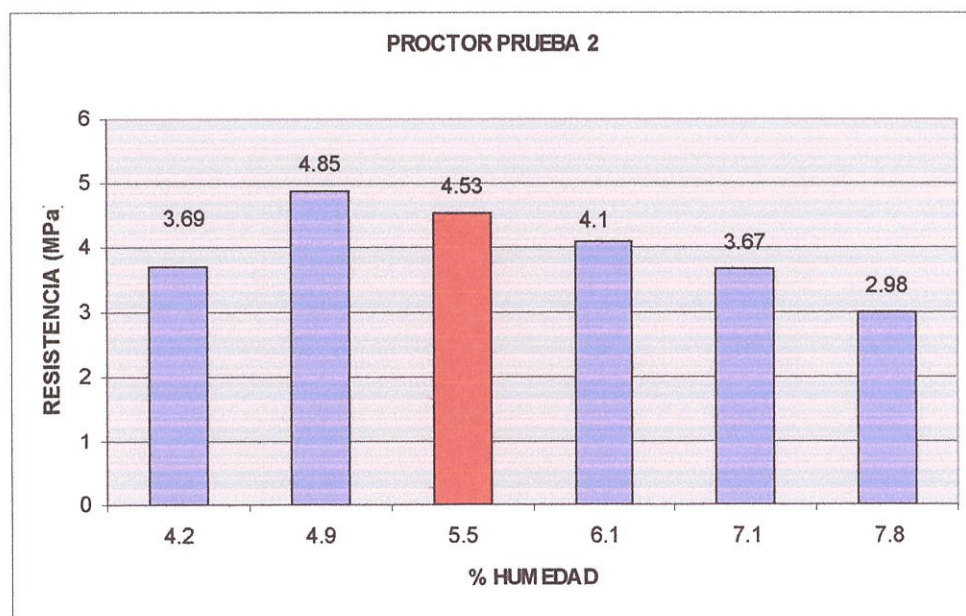


Gráfico 8.2

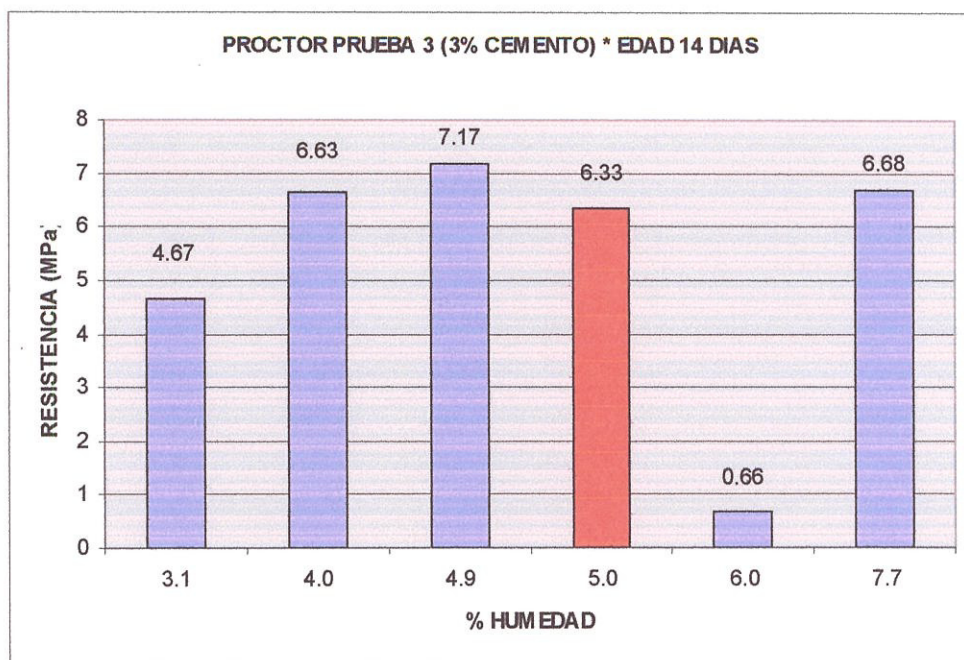


Gráfico 8.3

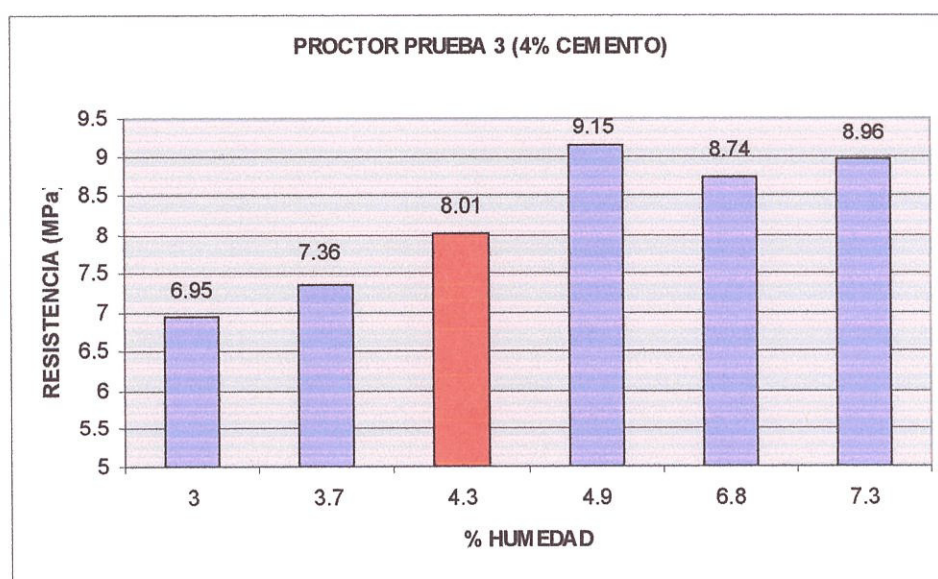


Gráfico 8.4

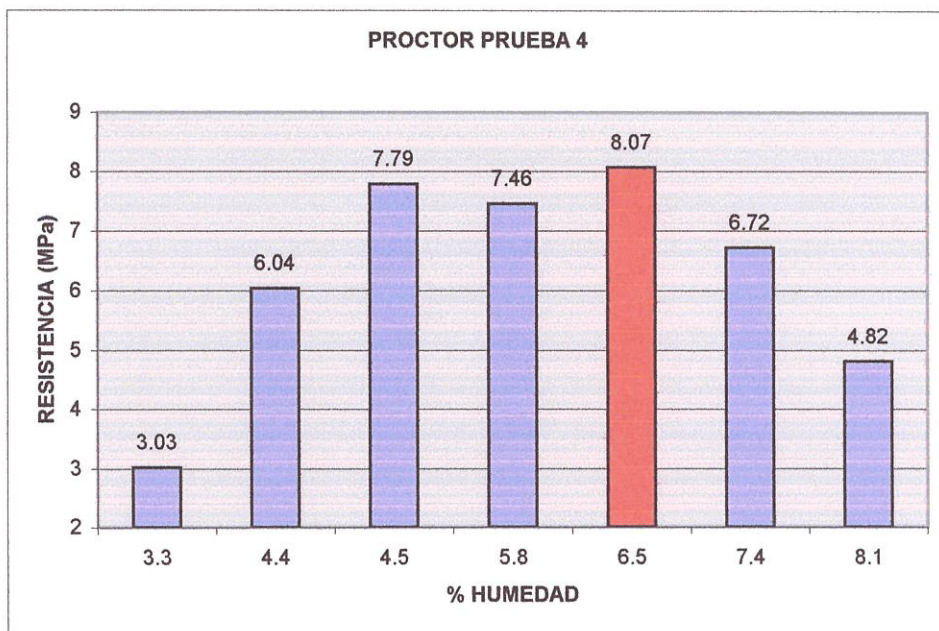


Gráfico 8.5



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

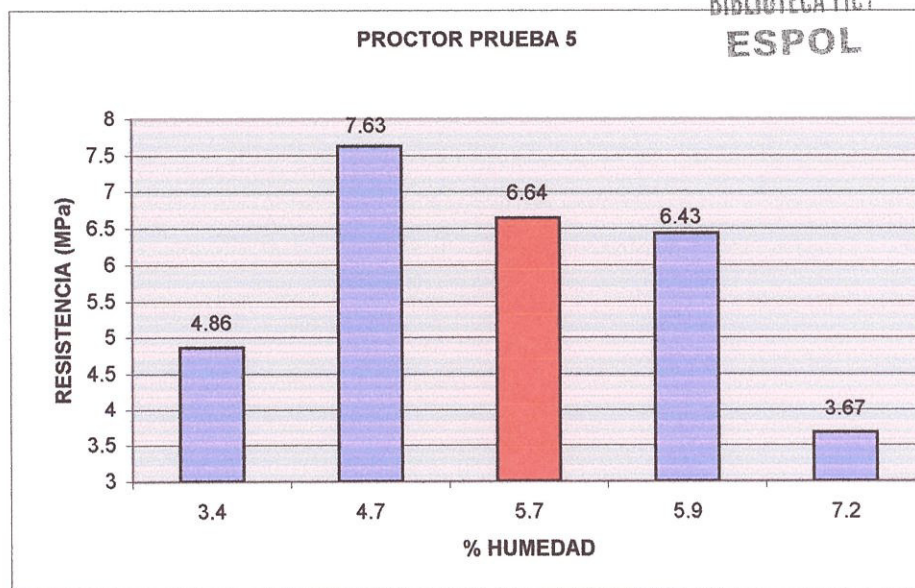


Gráfico 8.6

De los gráficos expuestos, las barras de color azul claro corresponden a los resultados de las probetas obtenidas en la prueba proctor, la barra roja corresponde a la probeta realizada con la humedad óptima (dosificación corregida) y ensayada a la misma edad.

Si observamos los valores, para cada caso, de la resistencia a la compresión de las probetas realizadas con la humedad óptima (barras rojas), podemos decir que se encuentran formando parte de los valores mas altos, sólo en un caso específico es el mas alto, prueba 4 (gráfico 8.5); por el contrario el caso de la prueba 3 (gráfico 8.4) que se encuentra por debajo de los valores altos. Estas variaciones pueden estar influenciada por dos factores:

- 1.- La dosificación que se utiliza para realizar las probetas con la humedad óptima obtenida por el ensayo proctor es una dosificación "corregida" de la dosificación que se utiliza en la prueba proctor.
- 2.- Alguna falla durante el proceso para obtener las probetas, en especial en el proceso de extracción de éstas del molde, o algún golpe durante el traslado a la cámara de curado, por ejemplo.

## 8.2 Análisis de Probetas Realizadas con la Humedad Óptima a Diferentes Edades.

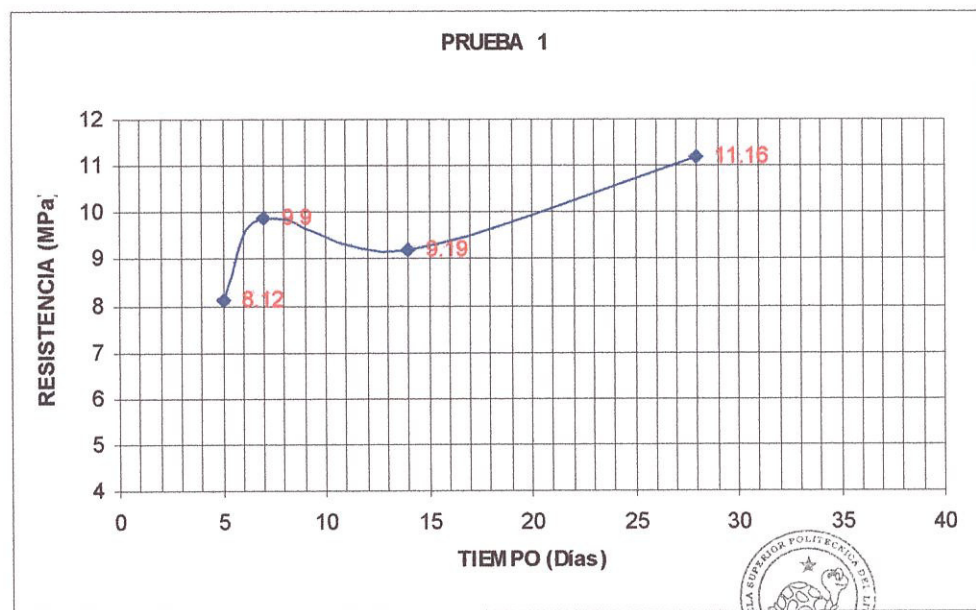


Gráfico 8.7

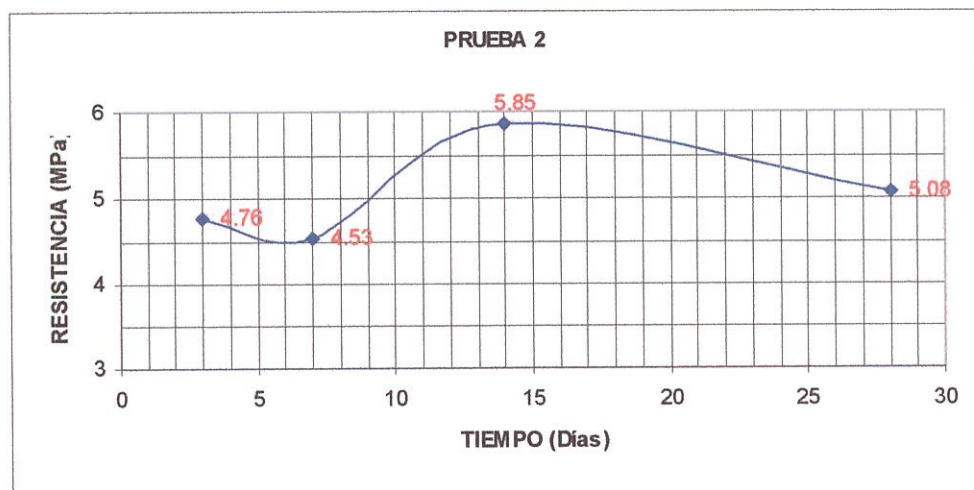
BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Gráfico 8.8

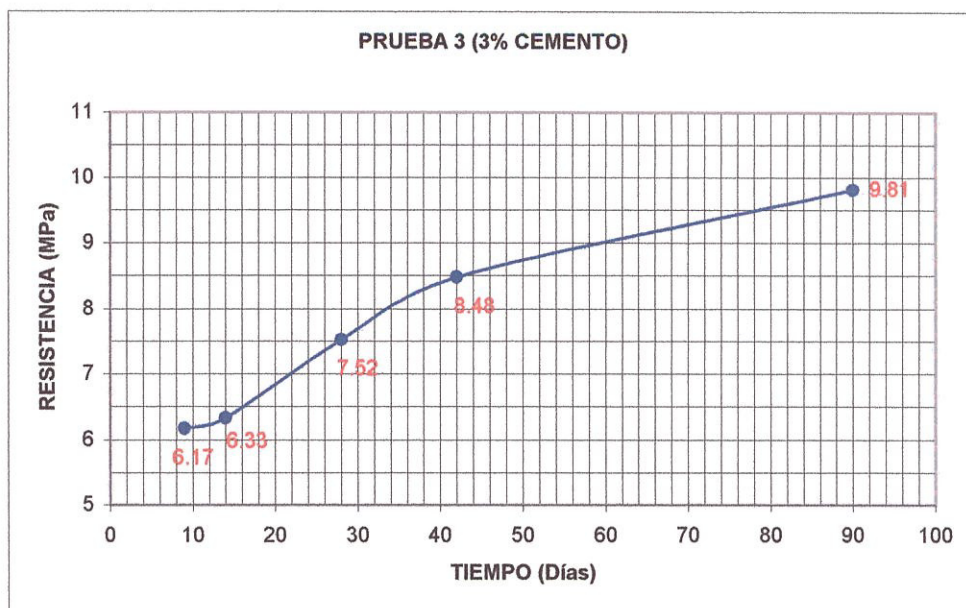


Gráfico 8.9

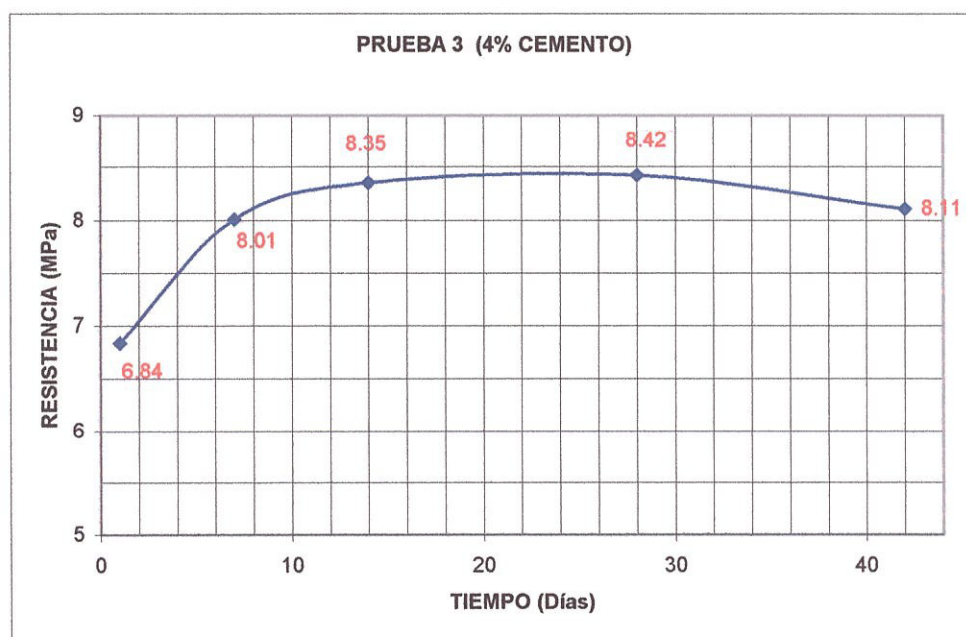


Gráfico 8.10



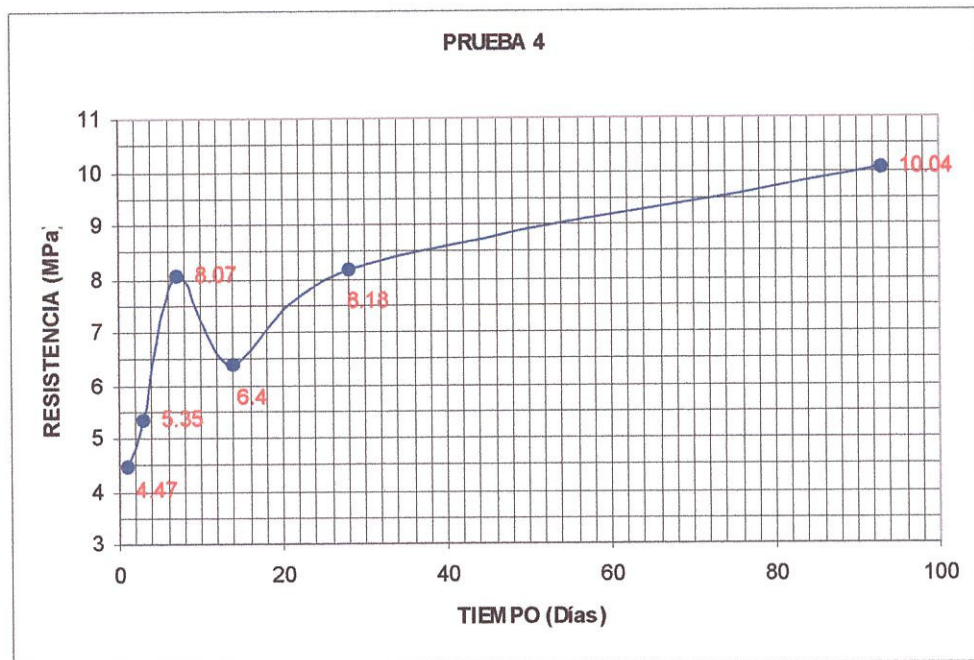


Gráfico 8.11



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

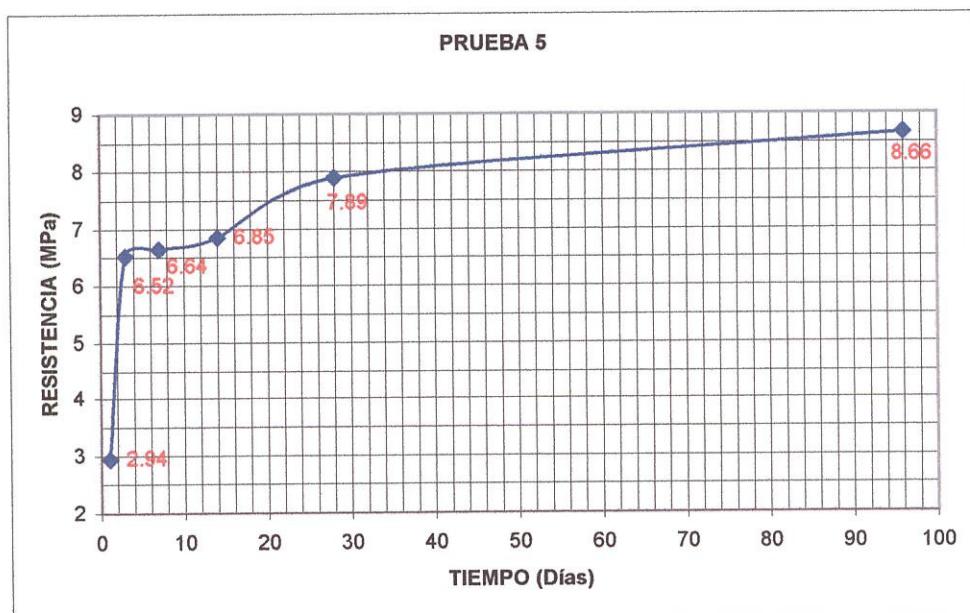


Gráfico 8.12

De los gráficos 8.7 al 8.12 observamos como el material de las distintas pruebas va ganando resistencia a la compresión, esto es visible en todos los gráficos en especial en los gráficos 8.9 a 8.12. En los gráficos 8.7 y 8.8 existe también esta tendencia, pero con valores bajos para edades de 14 y 7 días respectivamente, con respecto a los valores con edades inferiores a éstos.

Los valores bajos de resistencia obtenidos son producto, como se explico en el numeral anterior, de algún error en el proceso de obtención de la probeta dentro de laboratorio, para detectar estos errores en los resultados de los ensayos se realizaron dos probetas, el resultado final es el promedio de los dos, en este trabajo se presenta este valor, es por eso que se puede aseverar que hubo error en uno de ellos, pues sabemos que todo tipo de hormigón gana resistencia con el paso del tiempo, y nuestra base no es la excepción por contener cemento.

De las 5 pruebas realizadas, observamos que 4 pruebas cumplen con el requisito de obtener una resistencia a la compresión simple de 6 MPa. a la edad de 7 días (Norma ACI 230.1R), la única prueba que no obtuvo este valor fue la prueba 2, que a los 28 días recién se aproxima a éste valor.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

### 8.3 Análisis de Probetas Realizadas con la Humedad Óptima a Una Misma Edad

En este numeral analizaré las probetas que tienen la misma edad de las 5 pruebas diferentes. Las edades a analizar son las de 7, 14 y 28 días

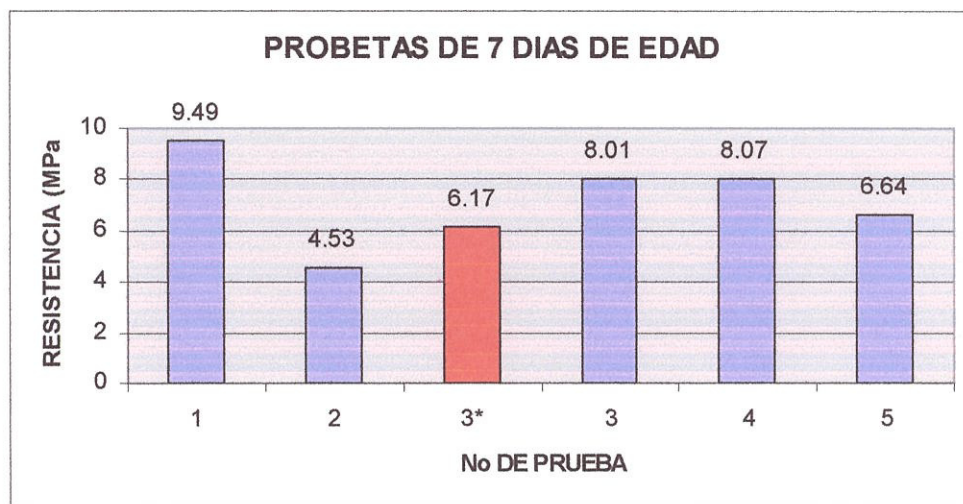


Gráfico 8.13

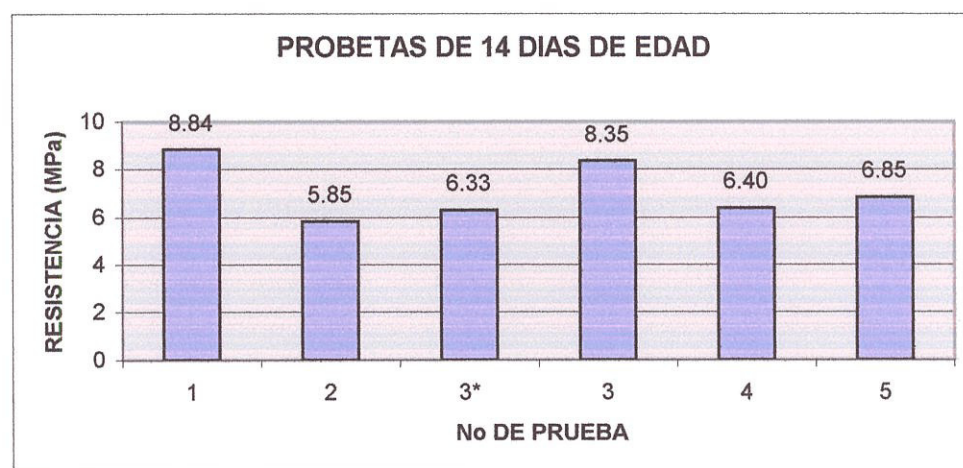
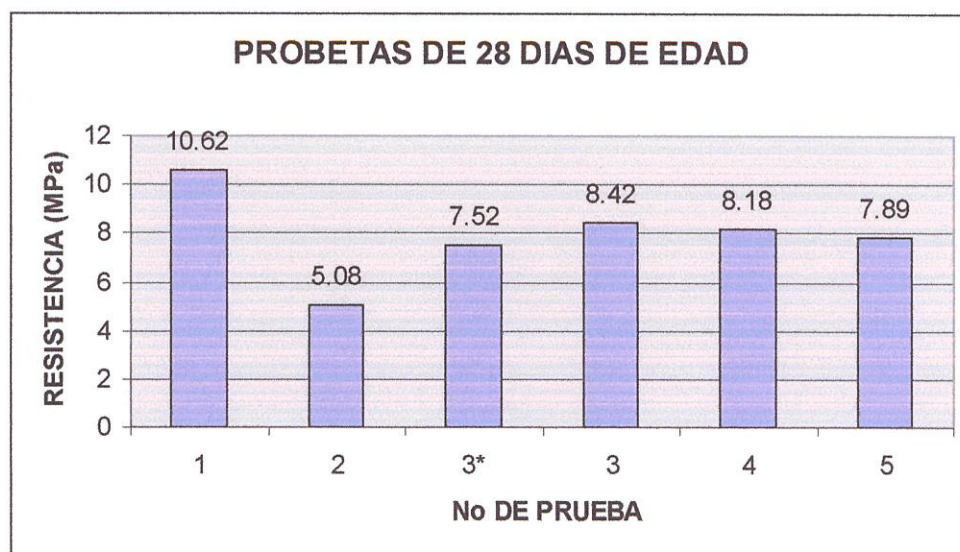


Gráfico 8.14



**Gráfico 8.15**

En estos tres gráficos la prueba 3\* hace referencia a la prueba No. 3 con el 3 % de cemento, y el valor expuesto en el grafico 8.13 referente al de la barra de color rojo es a la edad de 9 días.

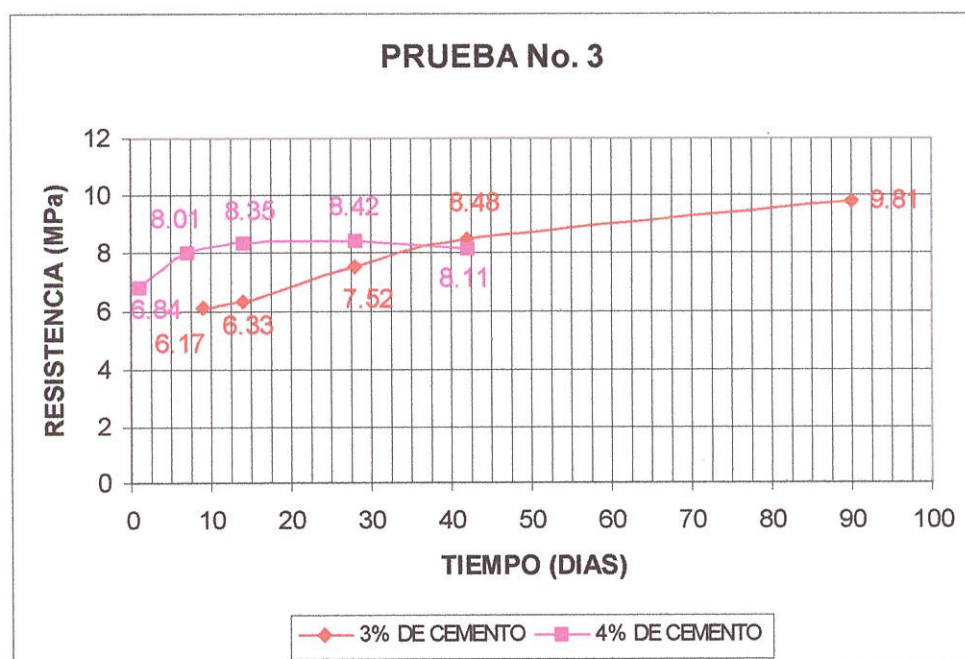
De los tres gráficos dados a conocer en este numeral podemos observar que las pruebas 1 y 3 son las pruebas que mayor resistencia dieron, seguidas por las pruebas 4, 5, 3\* y finalmente la prueba 2 que no alcanzó llegar a los 6 MPa. ni siquiera a los 28 días.

Cabe recalcar que la prueba 1 se las realizó con agregados triturados en su totalidad de piedra caliza, incluida la arena, que fue una arena triturada, la prueba 3 se la realizo también con agregados triturados

de piedra caliza pero con la diferencia que se utilizó una arena natural de río. La prueba 4 se la realizó con agregado triturado de basalto mezclado con arena natural y la prueba 5 se utilizó material del río Bulubulu triturado, así mismo mezclado con arena natural.

#### 8.4 Análisis de la Prueba No. 3

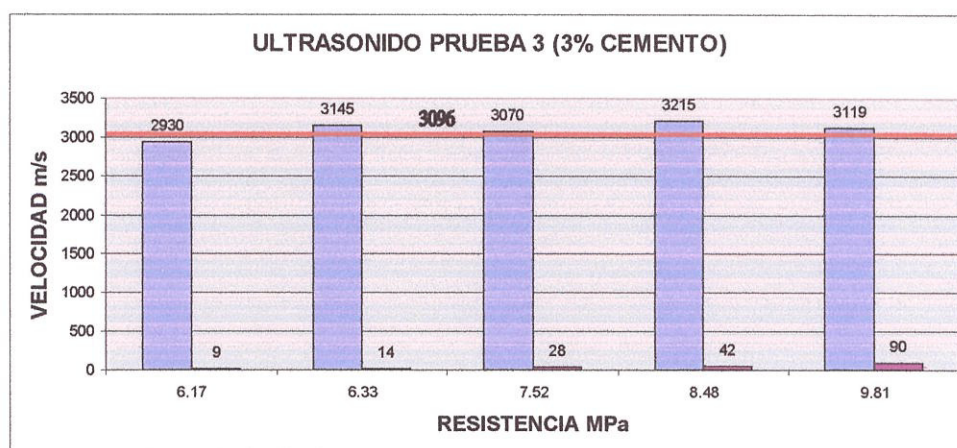
Después de las experiencias obtenidas en las pruebas 1, 2 y 3 utilizando porcentajes de cemento del 4 %, se decide bajar el porcentaje de cemento en la prueba 3 para ver si se podía obtener una resistencia mínima de 6 MPa. a los 7 días, lo cual se logró. A continuación analizo esta prueba con los 2 porcentajes de cemento realizado.



**Gráfico 8.16**

Del gráfico podemos apreciar claramente que la resistencia a temprana edad es mayor en la prueba donde se utiliza mayor cantidad de cemento, a los 7 días tiene una resistencia de 8.01 MPa mientras que la que contiene menor cantidad de cemento tiene una resistencia de 6.17 MPa. a los 9 días.

Aparte de este ensayo se le realizo una prueba de ultrasonido para tener idea de la compactación dada a las probetas.

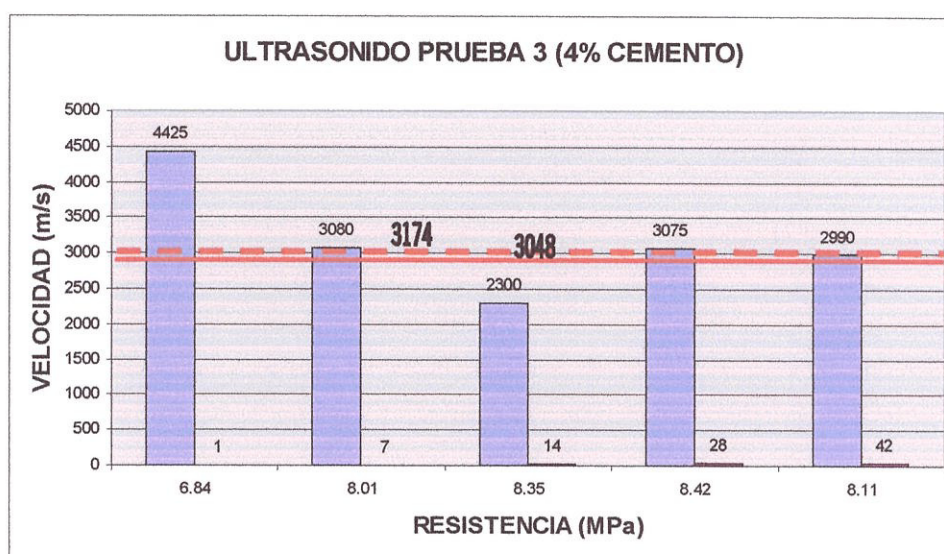


**Gráfico 8.17**

Del Gráfico 8.17 podemos observar que la velocidad del sonido en las probetas es casi uniforme, 3096 m/s, lo que nos garantiza que las probetas tienen el mismo grado de compactación, es por eso que en la curva tiempo vs resistencia (gráfico 8.9) tenemos una curva



ascendente, podríamos decir que se han minimizado los errores, y se han conseguido probetas uniformes.



**Gráfico 8.18**

Mientras que en el gráfico 8.18 se tiene dos valores aberrantes, si promediamos todos los valores tenemos una velocidad promedio del sonido en las probetas de 3174 m/s, si no tomamos en cuenta estos dos valores, tenemos una velocidad promedio de 3048 m/s. Comparando con la obtenida en el gráfico 8.17 podemos decir que están por el mismo rango, 3096 m/s. Observando el gráfico 8.10 de la curva tiempo vs resistencia correspondiente a esta prueba se tiene una curva ascendente, lo que nos permite decir que el grado de

compactación proporcionado a las probetas es similar, en cuanto a los valores existió una mala aplicación del aparato de ultrasonido.

### **8.5 Análisis de Resultados de la Prueba San Eduardo**

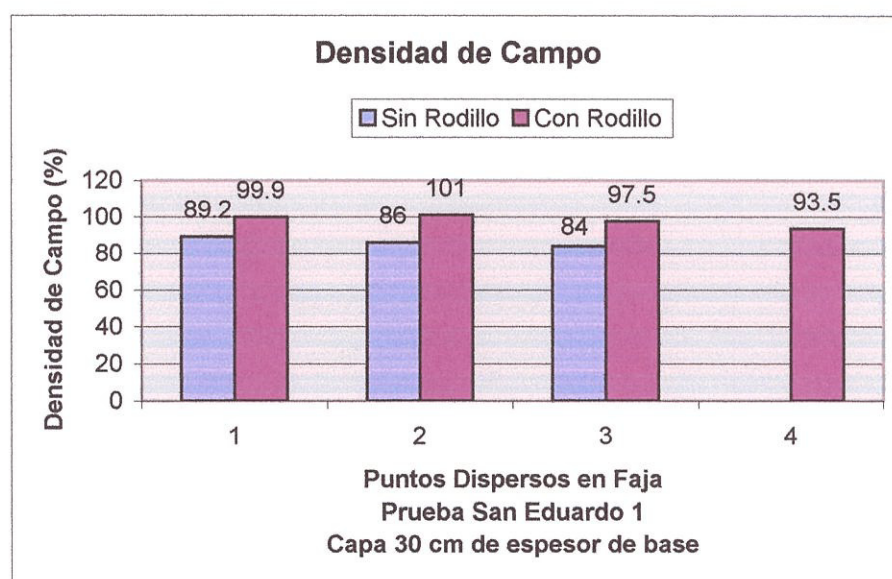
Esta prueba, se dividió en dos partes: la primera prueba se la realizó con la humedad propia obtenida en laboratorio, del 5%, y en la segunda prueba aumentamos al 6% la humedad de la mezcla, con el propósito de ver como afectaba parámetros como compactación, densidad, resistencia a la compresión, pues esta prueba se la realiza en campo donde tenemos condiciones similares a las que se tiene en una obra real, que son muy diferentes a la de laboratorio, además debemos considerar que en una obra real nos toca regular la humedad de la mezcla cuando se presentan cambios en el factor climático como sol y lluvia, que nos causan una pérdida o adición de humedad.

#### **8.5.1 Compactación**

En la primera prueba, Prueba San Eduardo 1, en el tramo donde se realizó una capa de 30 cm utilizando solo la pavimentadora Vögele se obtuvo una densidad promedio de 86.4% con respecto a la densidad seca referencial obtenida en el ensayo proctor ( $2200\text{kg/m}^3$ ), Tabla 34 del capítulo 7, el MOP

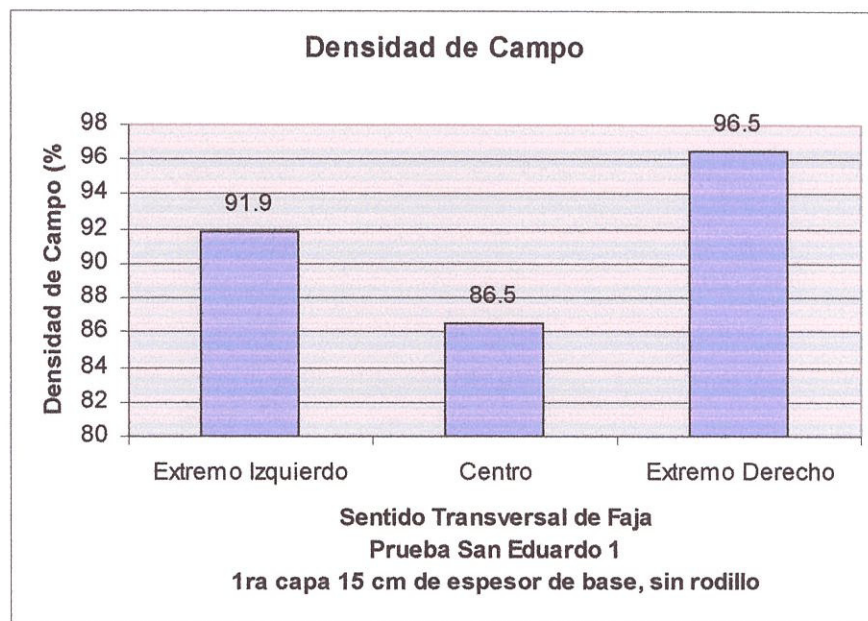


exige que esta densidad de campo sea como mínima el 100% de la densidad obtenida en el ensayo proctor, por lo que se procede a elevar su grado de compactación pasando un rodillo vibratorio de 6 toneladas y 2,13m de ancho, logrando obtener una densidad de campo promedia del 98%, como se lo muestra en el gráfico 8.19



**Gráfico 8.19**

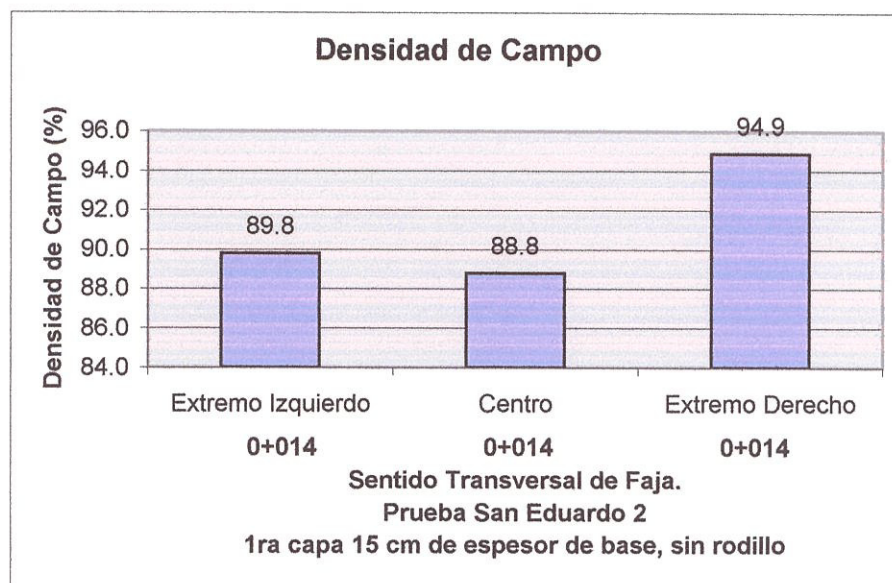
En la prueba se tomo como nuevo objetivo alcanzar, de ser posible, superar la exigencia del MOP solo utilizando la pavimentadora, y se procede a colocar 2 capas de 15 cm para cubrir los 30 cm de BAEC; se realiza mediciones solo en la primera capa obteniendo un grado de compactación promedio del 91.6 %, gráfico 8.20



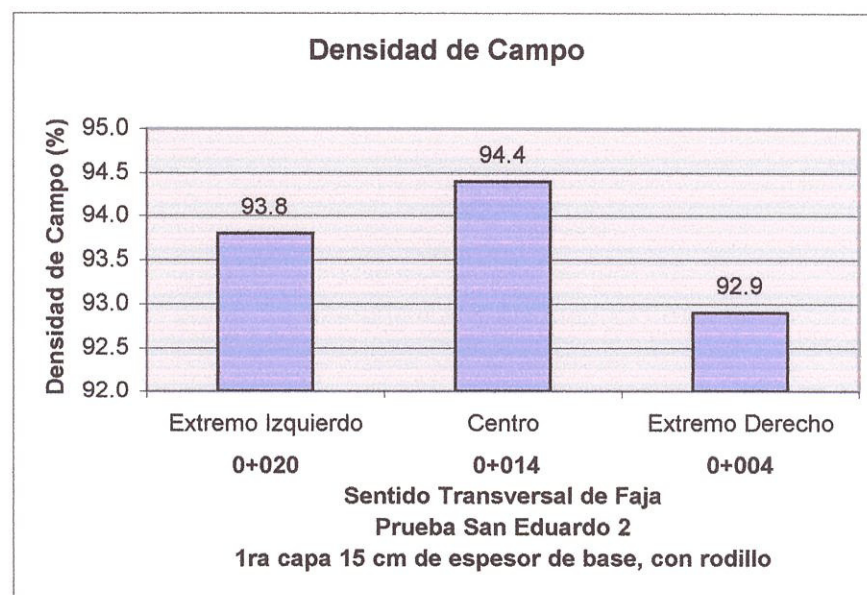
**Gráfico 8.20**

En la prueba San Eduardo 2, se realiza mas mediciones, pues solo se lograba elevar al 91.6% la densidad de campo, se eleva al 6% la humedad de la mezcla, y en la primera capa, que asienta sobre la subrasante sin pasar el rodillo se obtiene una densidad de campo promedio del 90.6% gráfico 8.21, y pasado rodillo de 2 a 4 veces con vibración obtenemos un 93.7% gráfico 8.22, al analizar los resultados observamos que la densidad en los extremos era mayor que el centro de la faja, lo que indicaba que la pavimentadora no compactaba de manera uniforme, en la prueba San Eduardo 1 ocurría lo contrario, por

lo que calibraron la máquina para que la compactación sea uniforme.

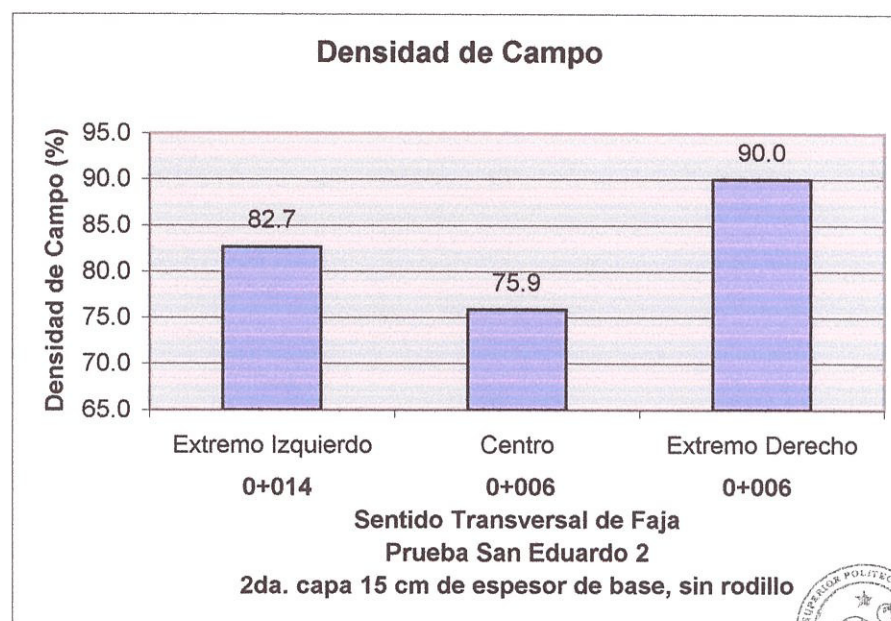


**Gráfico 8.21**



**Gráfico 8.22**

En la segunda capa que se soporta sobre la primera, sin pasar el rodillo se obtiene una densidad de campo promedio de 85.3% gráfico 8.23 y pasado el rodillo se logra elevar a 95.5%



**Gráfico 8.23**



### 8.5.2 Densidad de Núcleos

Los núcleos calados de la base a la edad de 7 días, salieron fraccionadas en dos partes, esto debido a que se tendió dos franjas de 15 cm de base estabilizada, en las Tablas 36 y 37 se da a conocer la densidad promedio de los núcleos obtenidos de la prueba real, para la prueba San Eduardo 1 tenemos una densidad promedio para los núcleos superiores de 2367.86

$\text{Kg/m}^3$  y para los núcleos de la parte inferior de  $2336.51 \text{ Kg/m}^3$  dándonos una densidad húmeda promedio total de la BAEC de  $2352.18 \text{ Kg/m}^3$  con una humedad de campo de 5.7%, gráficos 8.24. y 8.25

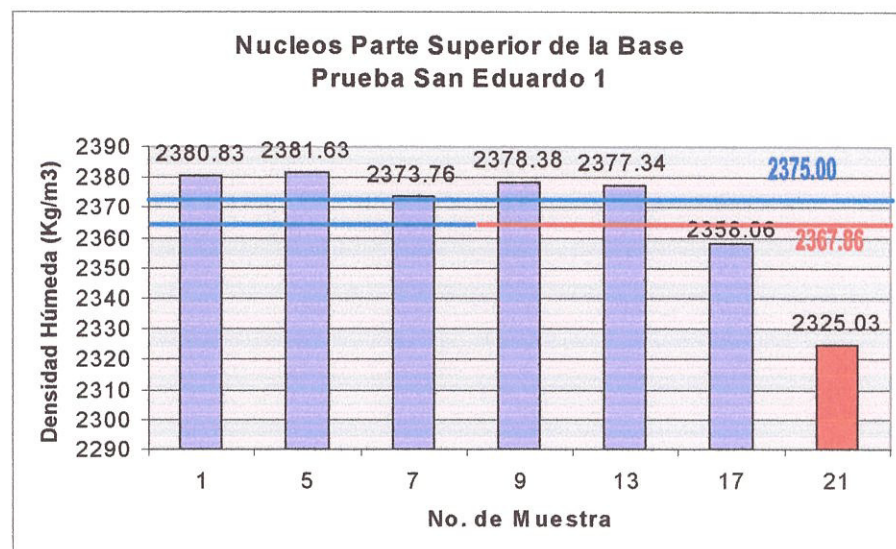


Gráfico 8.24

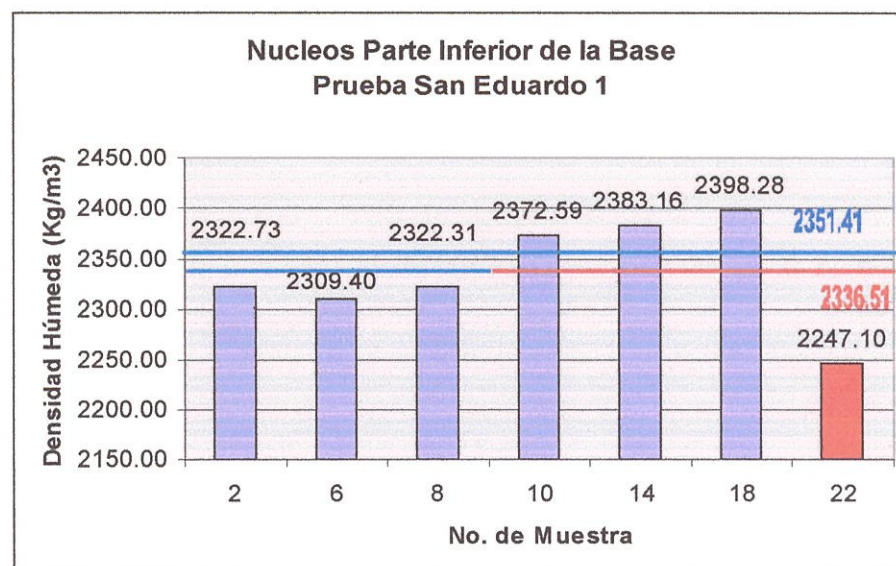
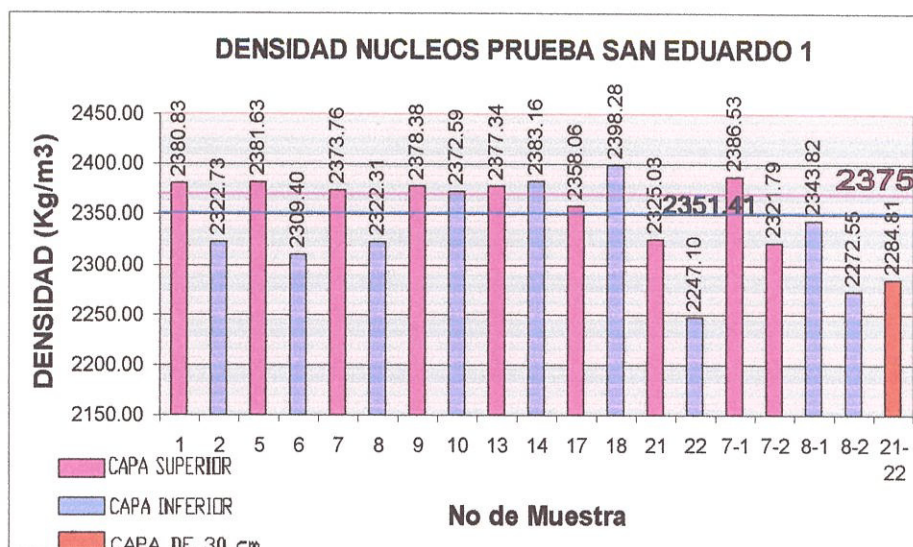


Gráfico 8.25



**Gráfico 8.26 Densidad de todos los núcleos de Prueba San Eduardo 1**

De los gráficos 8.24 al 8.26 tenemos una barra de color roja, esta pertenece al núcleo calado en la parte donde se colocó una franja de 30 cm de espesor, si observamos en los gráficos 8.24 y 8.25 vemos que éste núcleo registra densidades bajas relativas a las provenientes de capas de 15 cm de espesor, lo que fue una gran solución colocar los 30 cm de BAEC en dos franjas de 15 cm.

De la prueba San Eduardo 2 tenemos una densidad promedio para los núcleos superiores de  $2286.26 \text{ Kg/m}^3$  y para los núcleos de la parte inferior de  $2268.07 \text{ Kg/m}^3$  dándonos una

densidad húmeda promedio total de la BAEC de 2277.17 Kg/m<sup>3</sup> con una humedad de campo de 6.7%, gráficos 8.27. y 8.28

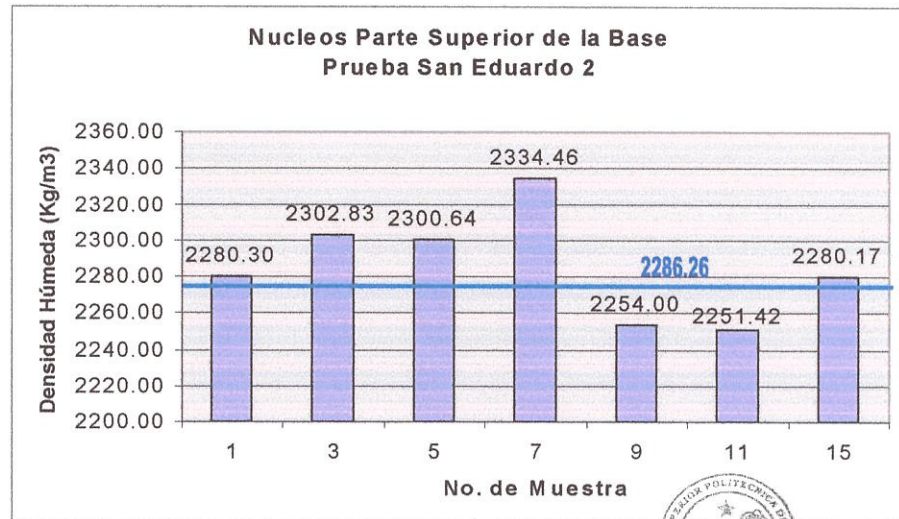


Gráfico 8.27



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

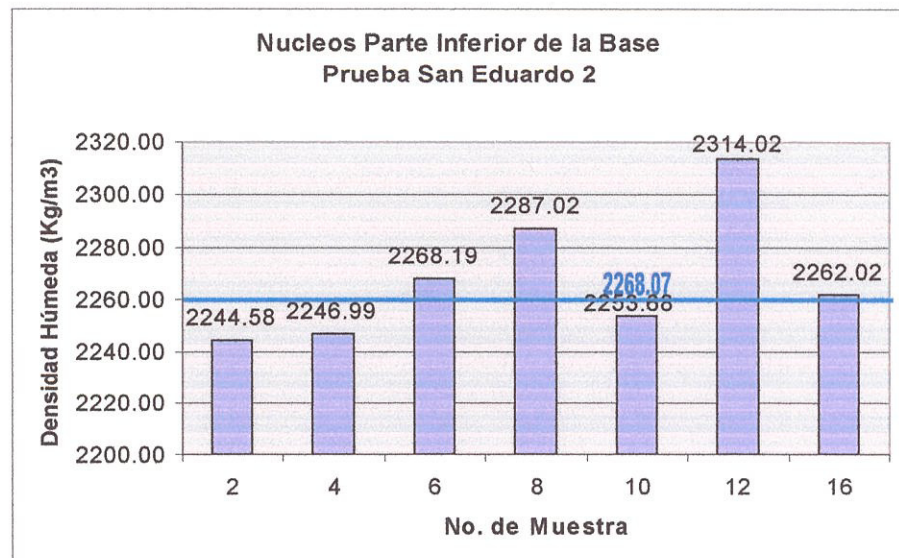
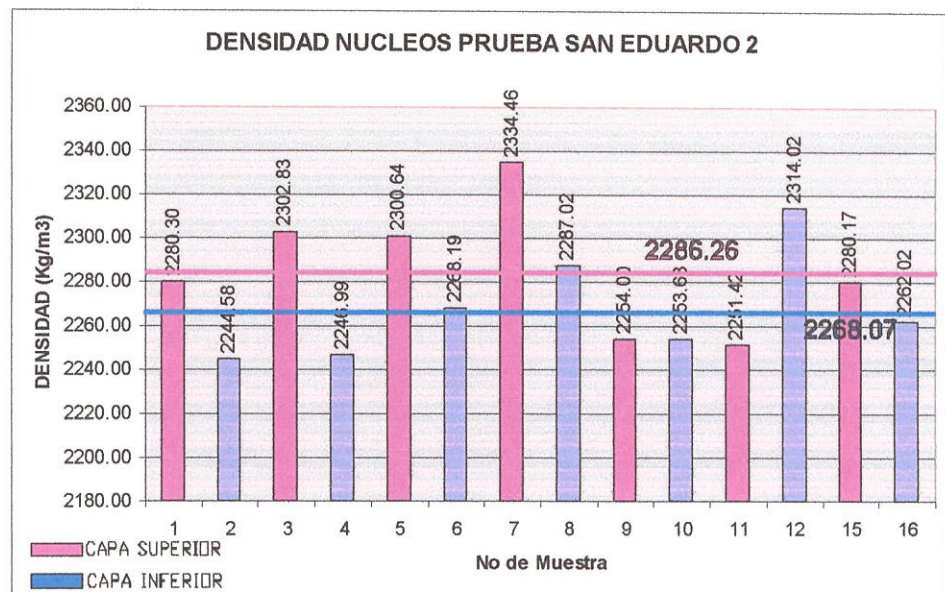


Gráfico 8.28



**Gráfico 8.29 Densidad de todos los núcleos de Prueba San Eduardo 2**

Podemos observar que los núcleos de la prueba San Eduardo 1 tienen mayor densidad que la prueba San Eduardo 2, 2352.18  $\text{Kg/m}^3$  con 2277.17  $\text{Kg/m}^3$ , esta variación está influenciada por el incremento de humedad que se le dio a la segunda prueba.

### 8.5.3 Resistencia a la Compresión Simple de los Núcleos a la Edad de 7 Días.

Se realiza un análisis de la resistencia adquirida a la edad de 7 días de los núcleos calados, penalizados por un factor que establece la Norma ASTM C – 42, que depende de la relación



geométrica del núcleo, longitud (L) y diámetro (D), se incluye también algunos núcleos que no cumplen esta norma.

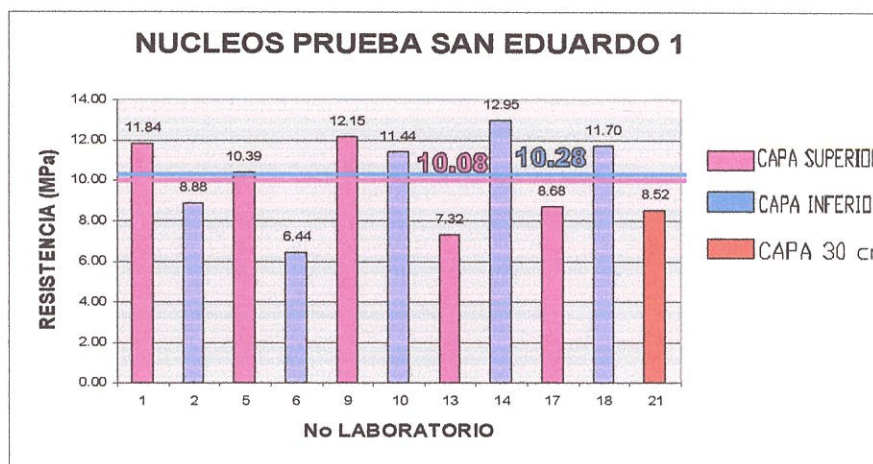


Gráfico 8.30

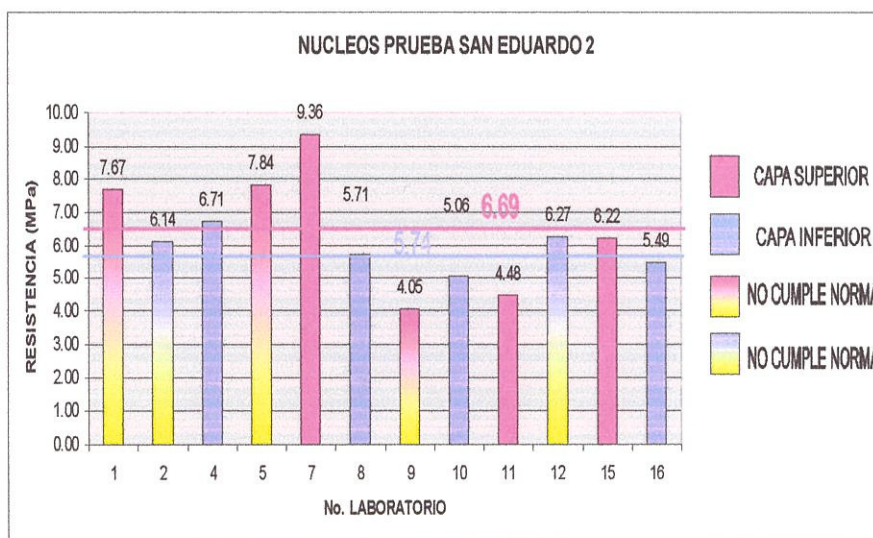


Gráfico 8.31

Los núcleos que pertenecen a la prueba San Eduardo 1 cumplen con la norma ASTM C – 42, gráfico 8.30, los núcleos

de la prueba San Eduardo 2 cuyo no de laboratorio son 1, 2, 5, 9 y 12 no cumplen con ésta norma, pero son considerados en el gráfico 8.31. La resistencia promedio total entre la capa superior y la capa inferior para la prueba San Eduardo 1 es de 10.18 MPa, mientras que en laboratorio obtuvimos una resistencia a los 7 días de 8.01 MPa, gráfico 8.13, lo cual interpreta que en campo se aumentó la resistencia.

Para la prueba San Eduardo 2 la resistencia promedio entre la capa superior y la capa inferior es de 6.21 MPa. Cabe considerar que este valor fue tomado solo de los núcleos que cumplen las propiedades geométricas de la norma ASTM C – 42.

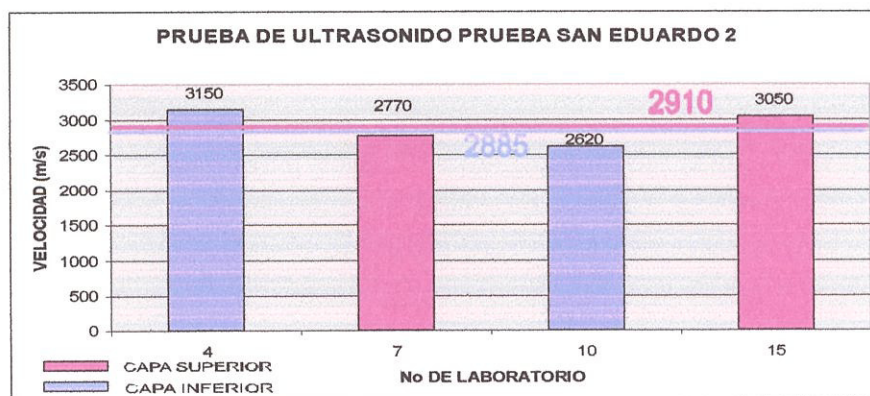
Si consideráramos todos los núcleos de la prueba San Eduardo 2 tenemos una resistencia promedio de los núcleos parte superior de 6.60 MPa y parte inferior de 5.89 MPa, dándonos una resistencia promedio del núcleo calado de 6.25 MPa, valor superior a 6.21 MPa. También comparando con los resultados de las probetas que se realizaron para control de resistencia en esta prueba (Tabla 37) tenemos que dieron un valor promedio de 7.94 MPa con una humedad del 8%,

dándonos a notar en campo hubo una disminución de resistencia.

Comparando las resistencias obtenidas en las pruebas San Eduardo 1 y 2 observamos que la resistencia de los núcleos obtenidos en la prueba 1 son mayores que los obtenidos en la prueba 2, lo cual nos da una idea de la importancia de trabajar con la humedad optima pues en la primera prueba se trabajó con esta humedad.

#### 8.5.4 Prueba de Ultrasonido de Núcleos de la Prueba San Eduardo 2 a la Edad de 7 Días.

Se procedió a realizar mediciones de ultrasonido en cuatro núcleos calados en la prueba San Eduardo 2 , a continuación represento en un gráfico estos valores



**Gráfico 8.32**

Los valores promedios para la capa superior e inferior son 2910 y 2885 m/s respectivamente, dándonos una idea de la homogeneidad que se obtuvo con el proceso realizado en las dos capas tendidas de 15 cm de espesor. Comparando con el valor obtenido de las probetas realizadas para control de resistencia (Tabla 40), de 2925 m/s observamos que estamos obteniendo en la obra real similares grados de homogeneidad que el obtenido en laboratorio.

# CAPITULO 9

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la experiencia obtenida en la prueba a escala industrial en la Planta San Eduardo, previo análisis en laboratorio de tres mezclas con agregados de origen de piedra caliza y luego dos pruebas mas con materiales de distinto origen, puedo concluir lo siguiente:

- 1.- De los tres materiales originados por trituración, cuyo origen son: Caliza, Basalto y Material aluvial (Río Bulubulu Sector Cochancay), del respectivo análisis se concluye que la mayor resistencia que se obtuvo en las pruebas a temprana edad son las pruebas donde se utilizó material triturado de piedra caliza ( Prueba 1 y 3), excepto la prueba 2 que dio valores muy bajos por falta de material fino, seguido de la prueba donde se utiliza material triturado de basalto (prueba 4) y finalmente la prueba donde se utiliza material aluvial triturado (prueba 5)
- 2.- A pesar de que el basalto es una roca de origen volcánico, mas denso y duro que la caliza, que es de origen sedimentario, no dio resistencias mas altas que la caliza, que era lo que se esperaba, entonces se concluye que los agregados triturados de piedra caliza reaccionan de mejor manera con el cemento, se puede apreciar este efecto en las

pruebas 1 y 3, donde el agregado grueso es de piedra caliza pero en la prueba no. 1 se utilizó una arena triturada de piedra caliza y en la prueba 3 se utiliza una arena de origen aluvial, (arena natural), dándonos mayor resistencia la prueba donde se utiliza arena triturada de piedra caliza (agregado fino).

- 3.- El contenido de cemento que se puede utilizar para alcanzar los 6 MPa a la edad de 7 días en los materiales utilizados de origen de piedra caliza puede ser en un rango entre el 3 y el 4% con respecto a la densidad húmeda de la mezcla, mientras que en las pruebas 4 y 5 donde no se utiliza material de piedra caliza, se hace necesario el uso del 4 % de cemento.
- 4.- En la obra, una vez tendida la capa de la base por medio de una pavimentadora, es necesario para un espesor de 15 cm pasar rodillo vibratorio de mayor peso que el utilizado (en nuestro caso se utilizó uno de 6 toneladas) de 2 a 4 veces para alcanzar un grado de compactación del 100%

En cuanto al proceso constructivo podemos recomendar lo siguiente:

- 1.- Se hace necesario el uso de rodillo para cumplir requisitos de densidad de campo que establece el MOP, por lo tanto se debe considerar la pérdida del espesor de la franja tendida, por efecto del peso del rodillo, que para nuestro caso fue de 0.2 a 0.5 cm.

- 2.- El control de la humedad en obra de nuestra base es fundamental, pues incrementos de un 1 % a la humedad óptima en la mezcla de la base nos reduce notablemente la resistencia a la compresión simple, por lo que se convierte en un factor importantísimo para nuestra base.
- 3.- Para espesores de base mayores a 15 cm es necesario tenderla en dos capas, y de forma trabada longitudinalmente como se indica en el capítulo 4, gráfico 4.1
- 4.- Una vez tendida la franja es necesario cubrir de forma inmediata la superficie con emulsión asfáltica para evitar pérdidas de humedad, y minimizar así el efecto de retracción

# Anexo 1

## 1. DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO

En este anexo a manera de ejemplo realizo un cálculo para el diseño de espesor de un pavimento rígido utilizando una base granular simple y una base granular estabilizada con cemento, el método adoptado es el propuesto por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) reformada en 1993, donde los parámetros necesarios para el diseño son valores reales de un proyecto de vialidad de la Secretaría de Desarrollo Social de México. Estos datos son los siguientes:

- CBR de la subrasante: 10 %
- Alternativa 1 Subbase de material granular triturado de 30 cm de espesor, Alternativa 2 Subbase de material granular estabilizado con cemento de 15 cm de espesor
- El % de tiempo en que la subbase esta expuesta a humedad cercana a la saturación =11% (40 días/año) y la calidad de drenaje resulta buena (liberación de agua libre 1 día) entonces Coeficiente de drenaje  $C_d = 1.05$  (Tabla 1.5)
- Índice de servicio inicial  $P_o = 4.5$
- Índice de servicio terminal  $P_t = 3.0$
- Nivel de Confianza = 95% (propuesto)
- Desviación Normal AASHTO  $S_o = 0.35$
- Resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

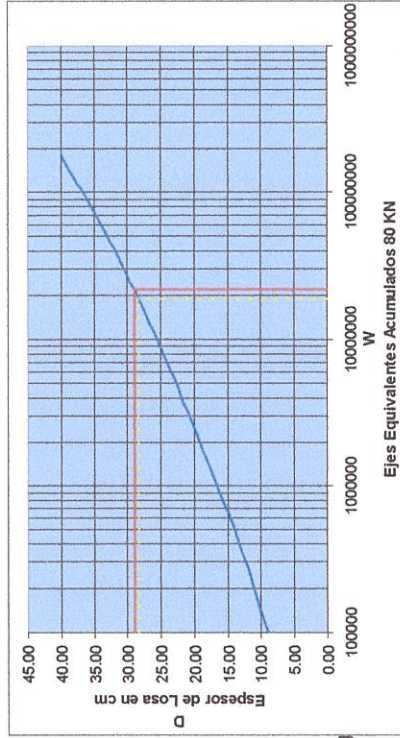


## 1.1 Cálculo de espesor de losa para una subbase granular de 30 cm de espesor

### DISEÑO DE ESPESOR DE LOSA (PAVIMENTO RIGIDO) METODO AASHTO 93

$$\text{Log}(w) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \text{Log}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \text{Log} \left[ \frac{S_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left( D^{0.75} - 18.42 \times \left( \frac{K_c}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Ejes sencillos equivalentes 8.2 ton	ESALS (w)	18950000
Modulo Elástico	Ec	274700 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo del Concreto (Modulo de Rotura)	MIR	40.7 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Reaccion Combinado	Kc	8.6 Kg/cm <sup>3</sup>
Nivel de Confianza	R	95 %
Desviación Normal	Zr	-1.64
Desviación Estandar	So	0.35
Indice de Servicio Inicial	Pi	4.5
Indice de Servicio Final	Pf	3
Coef. Transf. De Carga	J	2.7 con guarnición integ
Coef. De Drenaje	Cd	1.05
Pérdida de Serviciabilidad	ΔPSI	1.5



Espesor Calculado	D	29 cm	Iteracion D	28.28 cm
Ejes sencillos equivalentes 8.2 ton	ESALS (w)	22192430.92	ESALS (w)	18948252.15
Error	Error	-17.11 %	Error	0.01 %

**Espesor de losa = 28 cm**

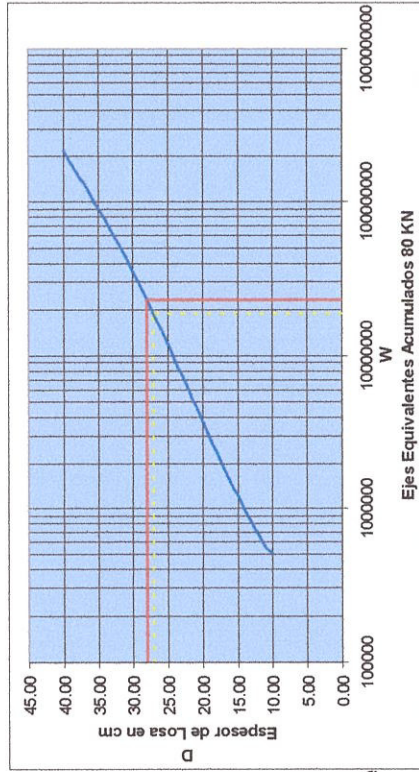
**Gráfico 1.1 Diseño de Espesor de losa para subbase granular sin tratar**

## 1.2 Cálculo de espesor de losa para una subbase granular estabilizada con cemento de 15 cm de espesor

### DISEÑO DE ESPESOR DE LOSA (PAVIMENTO RIGIDO) METODO AASHTO 93

$$\text{Log}(w) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \text{Log}(D+1) - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right) + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \text{Log}\left(\frac{S_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - 18.42 \times \left(\frac{K_c}{E_c}\right)^{0.25}\right)}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}}$$

Ejes sencillos equivalentes 8.2 ton	ESALS (w)	18950000
Modulo Elástico	Ec	274700 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo del Concreto (Modulo de Rotura)	MIR	40.7 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Reaccion Combinado	Kc	17.7 Kg/cm <sup>3</sup>
Nivel de Confianza	R	95 %
Desviación Normal	Zr	-1.64
Desviación Estandar	So	0.35
Indice de Servicio Inicial	Pi	4.5
Indice de Servicio Final	Pf	3
Coef. Transf. De Carga	J	2.7 con guarimión inte
Coef. De Drenaje	Cd	1.05
Pérdida de Serviciabilidad	ΔPSI	1.5



Espesor Calculado	D	28 cm	Iteracion D	27.03 cm
Ejes sencillos equivalentes 8.2 ton	ESALS (w)	23349390.52	ESALS (w)	18951588.23
	Error	-23.22 %	Error	-0.01 %

**Espesor de losa = 27 cm**

**Gráfico 1.2 Diseño de Espesor de losa para subbase granular estabilizada con cemento**

Del cálculo realizado podemos notar que con un espesor de 15 cm de subbase granular estabilizada con cemento obtenemos un módulo de reacción combinado  $K = 17.7 \text{ Kg/cm}^2$  y con una subbase granular sin tratamiento de 30 cm de espesor un módulo de reacción combinado  $K = 8.6$ , casi la mitad del primer valor, y que son parámetros importantes que modifican nuestro espesor de losa, para nuestro caso obtenemos espesores de 27 y 28 cm respectivamente.

### 1.3 Comparación económica entre la subbase granular sin estabilizar y una estabilizada

En la siguiente tabla se realiza una comparación de precios de los materiales que intervienen en este pavimento:

Ahorros con el uso de base granular estabilizada con cemento					
	\$/ton	\$/m <sup>3</sup>	Espesor (m)	\$/m <sup>2</sup>	Ahorro \$/m <sup>2</sup>
Base Granular	4.5	10.35	0.3	3.11	
Base estabilizada					
Sub-base granular (96%)	4.32				
Cemento (4%)	4.20				
	8.52	19.60	0.15	2.94	0.17
Costo de Carpeta de Hormigon					
Para base granular		100	0.28	28.00	
Para base estabilizada		100	0.27	27.00	1.00
<b>Total</b>					<b>1.17</b>

**Tabla 1.2 Análisis del costo de los materiales de la subbase según el espesor**

Observamos la diferencia de 1.17 dólares por metro cuadrado que se economiza usando la una BAEC

#### 1.4 Tablas y fórmulas utilizadas para el cálculo

CBR	CARACTERIZACION	OBSERVACION
<5%	Pésimo	*Sustituir el suelo por uno de mejor calidad o tratarlo
5% a 10%	Malo	* Es necesario una subbase
15% a 30%	Regular o Bueno	* Podría prescindirse la subbase
>40%	Excelente	* Podría prescindirse la subbase y la base

Tabla 1.3 Caracterización de la subrasante según su CBR [6]

$$K = 2.55 + 52.5 \times \log(CBR) \longrightarrow CBR \leq 10$$

$$K = 46 + 9.8 \times (\log(CBR))^{4.34} \longrightarrow CBR > 10$$

Ecuación 1 Formula de correlación entre CBR y K [7]

*EFECTO DE LA SUBBASE GRANULAR SOBRE LOS VALORES DE K									
Valor de K para subrasante		Valor de K para subbase por combinada							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

*VALORES DE DISEÑO PARA SUBBASE TRATADA CON CEMENTO									
Valor de K para subrasante		Valor de K para subbase							
		100 mm		150 mm		200 mm		250 mm	
MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg. <sup>3</sup>
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	-	-

Tabla 1.4 Valores de K combinada para base sin y con tratamiento con cemento respectivamente. [8]

$$\text{Log}(w) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \text{Log}(D+1) - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{0.46}}} + (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \text{Log}\left(\frac{S_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - 18.42 \times \left(\frac{K_c}{E_c}\right)^{0.25}\right)}\right)$$

**Ecuación 2 Ecuación de diseño para pavimentos rígidos sugerido por la AASHTO 93 [9]**

Calificación	C <sub>d</sub>	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
			Menos a 1%	1-5%	5-25%	Más de 25%
Excelente		2 horas	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno		1 día	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular		1 semana	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre		1 mes	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre		Nunca	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

**Tabla 1.5 Valores recomendados del coeficiente de drenaje C<sub>d</sub> para el diseño (AASHTO 93) [9]**

Soporte lateral	Si		No		Si		No		Tipo
	Con pasajuntas con sin refuerzo por temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasajunta (fricción entre agregados)				
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3-1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	-	-	
1 a 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	-	-	
3 a 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	2.5	2.9	Camino principales y autopistas
10 a 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	2.6	3.1	

**Tabla 1.6 Coeficientes de transferencia de cargas J (AASHTO 93) [9]**

# Anexo 2

## 2. CLASIFICACION DEL SUELO

### 2.1 Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema divide todos los suelos en tres categorías:

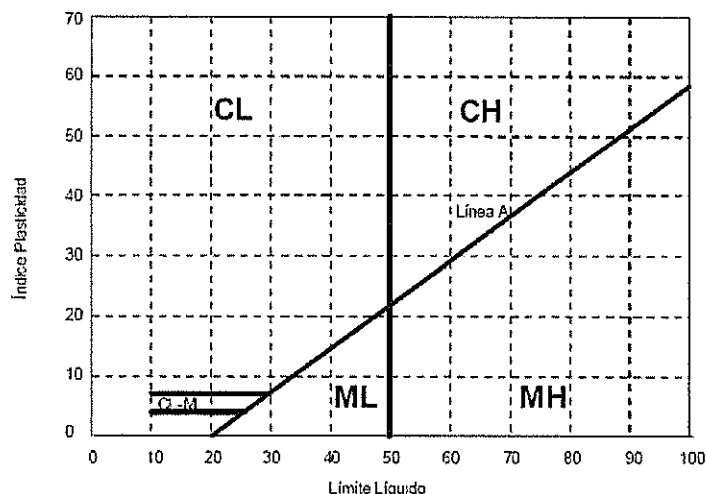
- *Granular*: cuando el 35% en peso o menos del suelo pasa por el tamiz No. 200
- *Limo-arcilla*: con más del 35% en peso del suelo pasa por el tamiz No. 200.
- *Suelos orgánicos*.

Grupo	Subgrupo	Porcentaje que pasa tamiz US No.			Carácter de la fracción que pasa tamiz 40		Índice de grupo	Descripción del suelo	Calidad para subrasante	
		10	40	200	LL	IP				
A-1	A-1-a	50 max.	50 máx.	25 máx.		6 máx.	0	Grava o arena bien graduada, puede tener finos. Mayormente gravas, puede tener arena y finos. Arena gravosa o graduada, puede tener finos.	Óptima	
	A-1-b		30 máx.	15 máx.		6 máx.	0			
			50 máx.	25 máx.		6 máx.	0			
A-2	A-2-4			35 máx.	40 máx.	10 máx.	0 a 4	Arena y gravas con exceso de finos. Arenas, gravas con limos de baja plasticidad. Arenas, gravas con finos de limos elásticos. Arenas, gravas con finos de arcillas. Arenas, gravas con finos de alta plasticidad.	Excelente a buena.	
	A-2-5			35 máx.		41 mín.	10 máx.			0
	A-2-6			35 máx.		40 mín.	11 mín.			4 máx.
	A-2-7			35 máx.		41 mín.	11 mín.			4 máx.
				35 máx.		41 mín.	11 mín.			4 máx.
A-3			51 mín.	10 máx.		No plás.	0	Arenas finas.		
A-4				36 mín.	40 máx.	10 máx.	6 máx.	Limos de baja compresibilidad.	Regular a pobre	
A-5				36 mín.	41 mín.	10 máx.	12 máx.	Limos muy compresibles, limos micáceos.		
A-6				36 mín.	40 máx.	11 mín.	16 máx.	Arcilla de compresibilidad baja a media		
A-7	A-7-5†			36 mín.	41 mín.	11 mín.	20 máx.	Arcilla de alta compresibilidad		
	A-7-6‡			35 mín.	41 mín.	11 mín.	20 máx.	Arcillas limosas de alta compresibilidad		
A-8				36 mín.	41 mín.	11 mín.	20 máx.	Arcillas de alta compresibilidad y cambio de volumen.		
								Turba, suelos muy orgánicos.	Insatisfactoria	

† Para A-7-5 IP = LL - 30  
‡ Para A-7-6 IP > LL - 30

Tabla 2.1 Referencia de la Clasificación AASHTO [6]

## 2.2 Clasificación según sistema unificada de clasificación de suelos (SUCS)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

**Gráfico 2.1 Gráfico de plasticidad para la clasificación de suelos por el sistema SUCS.[10]**

División principal		Símbolo	Mas fino que malla No. 200 (%)	Criterio de laboratorio Criterios suplementarios
Grano grueso (50% mas grueso que malla No. 200)	Gravas (50% más grueso que malla No. 4)	GW GP GM GC	0-5 0-5 12 o más 12 o más	Cu > 4 & Cc entre 1 y 3 Si no es GW IP < 4 o debajo de línea A IP > 7 y arriba de línea A
	Arenas (50% mas fino que malla No. 4)	SW SP SM SC	0-5 0-5 12 o más 12 o más	Cu > 6 & Cc entre 1 y 3 Si no es GW IP < 4 o debajo de línea A IP > 7 y arriba de línea A
Grano fino (50% mas fino que malla No. 200)	Baja compresibilidad	ML CL OL	Gráfico de plasticidad Gráfico de plasticidad Gráfico de plasticidad, olor o color orgánicos	
	Alta compresibilidad	MH CH OH	Gráfico de plasticidad Gráfico de plasticidad Gráfico de plasticidad, olor o color orgánicos	
Suelos organicos		PI	Matena orgánica fibrosa; se carboniza, quema o se pone incandescente	
Si el porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12%, se utiliza simbolo doble				
SW-SM	Si cumple con requisitos de SW y SM			
SW-SC	Si cumple con requisitos de SW y SC			
SP-SM	Si cumple con requisitos de SP y SM			
SP-SC	Si cumple con requisitos de SP y SC			
SC-SM	Si límites de Atterberg caen en zona CL-ML			
GW-GM	Si cumple con requisitos de GW y GM			
GW-GC	Si cumple con requisitos de GW y GC			
GP-GM	Si cumple con requisitos de GP y GM			
GP-GC	Si cumple con requisitos de GP y GC			
GC-GM	Si límites de Atterberg caen en zona CL-ML			

**Tabla 2.2 Clasificación unificada de suelos (SUCS)[6]**

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Bases de suelo-cemento, Bases de agregados estabilizados con cemento", Centro Técnico del hormigón, agosto del 2003
- [2] Manual técnico "Agregados para hormigón", Centro Técnico del hormigón
- [3] Manual 400 Estructura del Pavimento, sección 404, Ministerio de Obras Públicas MOP
- [4] Especificaciones Cemento Gris, Disensa
- [5] Annual book of ASTM Standard, section 4 construction, Volume 04.02 concrete and aggregates, Centro Técnico del Hormigón
- [6] "Mecánica de suelos", Laboratorio, Ing. Carmen Terreros de V., Ing Víctor Moreno L. Págs 162 - 163
- [7] "Diseño de Pavimentos IC56", Laboratorio de pavimentos, grupo 2 La Subrasante, Ing Mauricio Salgado Torres M.Sc.  
  
[http://fing.javeriana.edu.co/ingenieria/dep\\_ing\\_civil/profesores/jaortiz/documentos/Laboratorio%20Pavimentos/02\\_la%20subrasante.pdf](http://fing.javeriana.edu.co/ingenieria/dep_ing_civil/profesores/jaortiz/documentos/Laboratorio%20Pavimentos/02_la%20subrasante.pdf)
- [8] Ingeniería de Pavimentos parra Carreteras, Alfonso Montejo Fonseca, 2da Edición Pág. 324, Centro Técnico del Hormigón
- [9] Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias de México, Instituto Mexicano del Transporte, manual normativo, tomo 14, Págs. 32 – 60  
  
[http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/sancho/manuales/manuales\\_normativos\\_vialidad/Tomo14.PDF](http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/sancho/manuales/manuales_normativos_vialidad/Tomo14.PDF)
- [10] Mecánica de suelos práctica, Ing Carmen Terreros de Varela, enero del 2000, págs 29 - 40