ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN PARA HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO Y BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PARA SU USO EN LAS VÍAS DE MANABÍ"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Juan Pablo Valle Gómez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. Hugo Egüez Alava Director de Tesis por su aporte valioso en la realización de este trabajo e invaluable ayuda en todo momento, y a mis compañeros del Centro Técnico del Hormigón quienes de uno u otro modo colaboraron en el desarrollo de esta tesis.

D E D I C A T O R I A

Gracias a Dios por todas sus bendiciones y por ayudarme culminar con felicidad una etapa más en mi vida.

A mis padres, quienes han sido mi guía con su ejemplo y cuyo esfuerzo me ha permitido alcanzar este propósito.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gastón Proaño C.
SUBDECANO DE LA FICT
PRESIDENTE

Ing. Hugo Egüez Alava.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Santos B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Juan Pablo Valle Gómez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL……..II

ÍNDICE DE FIGURAS…….III

ÍNDICE DE TABLAS……IV

ABREVIATURAS……V

SIMBOLOGÍA……....VI

RESUMEN……VII

CAPÍTULO 1 1

1. INTRODUCCION…….. 1

. 1.1. Antecedentes……...……2

1.2. Objetivos……...……...……...…3

CAPÍTULO 2 5

2. BASES DE AGREGADOS ESTABILIZADAS CON CEMENTO (BAEC).

2.1.Procedimiento de trabajo……..……...…12

2.1.1. Preparación inicial……12

2.1.1.1. Escarificación, Pulverización y Prehumedecido……...13

2.1.2. Procesamiento de la base estabilizada con cemento…….15

2.1.2.1. Esparcimiento del cemento Portland……..15

2.1.2.2. Mezclado en seco 16

2.1.2.3. Aplicación del agua y mezcla húmeda……..……17
2.1.2. 4. Compactación 19
2.1.2.5. Acabado 20
2.1.2.6. Curado 21
2.1.2.7. Verificación de densidad 22
2.2. Ventajas……..22
2.3. Usos……23
2.4. Carácterísticas mecánicas BAEC……..23
2.5. Procedimientos experimentales……24
2.5.1.Materiales utilizados……24
2.5.1.1. Cemento. 24
2.5.1.2. Agregados. 26
2.5.1.3. Aditivos. 27
2.5.1.4. Agua. 28
2.5.2. Metodología Empleada. 29
2.5.2.1. Pruebas de Granulometría (ASTM C136) ……29
2.5.2.1.1. Objetivo. 29
2.5.2.1.2. Equipos utilizados. 29
2.5.2.1.3 Procedimiento. 30
2.5.2.2. Pruebas Proctor Standard (ASTM D558). 32
2.5.2.2.1. Objetivo 32
2.5.2.2.2. Equipos utilizados. 32
2.5.2.2.3. Procedimiento. 35
2.5.2.3. Preparación de la BAEC. 38
2.5.2.4. Elaboración en laboratorio de muestras de la mezcla. 41
2.5.2.5. Elaboración de Ensayos. 46
2.5.2.5.1. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM D1633). 46

CAPÍTULO 3 49
3. EL HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO 49
3.1 Proceso Constructivo……49
3.1.1 Colocación de la capa de HCR. 49
3.1.1.1 Trabajos Previos. 49
3.1.1.2 Provisión del Hormigón. 50
3.1.1.3 Construcción de Maestras de Hormigón. 50
3.1.1.4. Determinación del porcentaje de compactación. 52
3.1.1.5 Rodillado para compactación final..... 53
3.1.1.6 Corte de Juntas para HCR. 53
3.2. Ventajas……57
3.3. Usos……57
3.4. Características Mecánicas del HCR……57
3.4.1 Resistencia a la Compresión del HCR. 58
3.4.2 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral del HCR. 58
3.4.3 Resistencia a la flexión del HCR. 58
3.4.4 Otras propiedades. 59
3.5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES……59
3.5.1 Materiales utilizados en el HCR. 60
3.5.1.1. Cemento. 60
3.5.1.2. Agregados. 61
3.5.1.3. Aditivos. 62
3.5.1.4. Agua. 64
3.5.2. Metodología Empleada. 64
3.5.2.1. Pruebas de Granulometría (ASTM C136) 4
3.5.2.1.1. Objetivo. 64
3.5.2.1.2. Equipos utilizados. 64
3.5.2.1.3. Procedimiento. 66

3.5.2.2. Prueba Proctor Modificado (ASTM D1557)..... 67
3.5.2.2.1. Objetivo 67
3.5.2.2.2. Equipos utilizados. 68
3.5.2.2.3. Procedimiento. 71
3.5.3. Preparación de mezclas de hormigón. 74
3.5.4. Elaboración en laboratorio de muestras de hormigón. 77
3.5.4.1. Elaboración de especimenes de HCR. 79
3.5.5. Elaboración de Ensayos.....84
3.5.5.1. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39)..... 84
3.5.5.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral (ASTM C496)..... 87
3.5.5.3 Ensayo de resistencia a la flexión (ASTM C78)..... 89
CAPÍTULO 4…….…93
4. ESTUDIOS EN LA VÍA…….……93
4.1 Información Preliminar (Estudio del Honorable Consejo Provincial de Manabí)……..……...93
4.1.1. Medición de espesores de pavimentos. ……...94
4.1.2. Conteo Vehicular.....94
4.1.3. Composición de Tráfico.....95
4.1.3. Valores de C.B.R. calculado en base al módulo resiliente 97
4.2 Estudio de C.B.R. de campo (ASTM D 4429)……97
4.2.1 Estudio de CBR de campo realizado en el Tramo Jipijapa – El Anegado.....98
4.2.2 Estudio de CBR de campo realizado en el Tramo Montecristi – Portoviejo……104
4.3. Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado..109
CAPÍTULO 5……..110

5. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADO SOBRE BAEC Y HCR.....111

5.1 Ensayos para BAEC……112
5.1.1.Granulometrías ASTM (C136)……112
5.1.1.1.Granulometrías material base clase 1A retenido en 3/8”…….112
5.1.1.2.Granulometrías material base clase 1A pasante de 3/8”……..113
5.1.1.3.Combinación granulométrica de los materiales…….114
5.1.2. Compactación Próctor Estándard (ASTM D 558)……..…115
5.1.3. Resistencia Mecánica …….……..…116
5.1.3.1. Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en muestras de BAEC a 7 días (4% de cemento) y diferentes porcentajes de agua……..116
5.1.3.2.Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en muestras de BAEC (4% de cemento) a diferentes edades……...…..116
5.1.3.3.Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en muestras de BAEC (5% de cemento) a diferentes edades……...…..117
5.2 Ensayos para HCR..……119
5.2.1.Granulometrías ASTM (C136)……119
5.2.1.1.Granulometría basalto piedra No. 6 – TM. 19 mm……119
5.2.1.2.Granulometría basalto piedra No. 7 – TM. 12 mm……120
5.2.1.3.Granulometría arena de trituración homogenizada……..121
5.2.1.4.Granulometría arena natural de mar……...……122

5.2.1.5.Combinación granulométrica de los materiales ……..….123
5.2.2. Compactación Próctor Modificada (ASTM D 1557)…..……..…124
5.2.3. Resultados de los ensayos de resistencia mecánica del HCR...124
5.2.3.1. Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM C39) en muestras de HCR a distantes edades……125
5.2.3.2. Resultados del ensayo de flexión (ASTM C78) en muestras de HCR ……126
5.2.3.3. Resultados del ensayo de tracción por compresión diametral (ASTM C496) en muestras de HCR……127
CAPÍTULO 6……...129
6. DETERMINACIÓN DE ESPESORES…..…….…….…….....…..……129
6.1 Determinación de espesores de BAEC……129
6.1.1. Valor K de reacción de la Subrasante BAEC……...…129
6.1.2. Número diario de repeticiones (A) de la carga de rueda simple130
6.1.3. Período de diseño (Per)……...…….…..131
6.1.4. Crecimiento de Tráfico Anual (r)..……...…….…..131
6.1.5. Factor de Crecimiento de Tráfico Anual (F).....132
6.1.6. Número de repeticiones de la carga de vehículos de 8.2 Toneladas durante el período de diseño (NR)…..……...……..132
6.2 Determinación de espesores de HCR..……134
6.2.1 Módulo de Elasticidad (E)…….……134
6.2.2 Coeficiente de Poisson (μ)…….……..135
6.2.3 Módulo de Reacción de la Subrasante (k)……135
6.2.4 Máxima carga de rueda simple……...……136
6.2.5 Presión de Inflado de Neumáticos (p)……...……136
6.2.6 Número de ruedas (N)…….....……136
6.2.7 Separación entre los Centros de las Ruedas (s)…….....137
6.2.8 Módulo de Rotura del HCP…….....137

6.2.9 Número de repeticiones de la carga de rueda simple durante el período de diseño (NR)…….....137
6.3 Análisis de Costos……...……139
CAPÍTULO 7……...142
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....142
7.1. Conclusiones……142
7.2 Recomendaciones……143
BIBLIOGRAFÍA……...145

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Transmisión de esfuerzos……..6
FIGURA 2.2. Granulometría recomendada por PCA ……..9
FIGURA 2.3. Gradación para BAEC (Centro Técnico del Hormigón) …….10
FIGURA 2.4 Muestra de los agregados Finos y Gruesos……27
FIGURA 2.5 Aditivo POLYHEED RI……28
FIGURA 2.6 Tamizadoras Mecánicas para Agregados……30
FIGURA 2.7 Balanza para determinar los pesos retenidos……..31
FIGURA 2.8 Vista frontal de un molde metálico ……33
FIGURA 2.9 Dimensiones del molde metálico……33
FIGURA 2.10 Dimensiones del martillo metálico……34
FIGURA 2.11 Horno para secado de muestras……..35
FIGURA 2.12 Muestras depositadas en fundas plásticas……36
FIGURA 2.13 Procedimiento de Compactación ASTM D558 ……37
FIGURA 2.14 Cemento y Agregados para mezcla de la BAEC……..39
FIGURA 2.15 Pesaje del Aditivo POLYHEED RI……...39
FIGURA 2.16 Mezcladora de artesa……40
FIGURA 2.17 Mezclado de la BAEC……41
FIGURA 2.18 cilindros metálicos de 150 x 300 mm.....42
FIGURA 2.19 Martillo eléctrico de compactación……..43
FIGURA 2.20 Procedimiento ASTM C1435 de Compactación de cilindros 44
FIGURA 2.21 Desencofrado y curado de muestras……45
FIGURA 2.22 Prensa SOILTEST 3000 lb……..47
FIGURA 2.23 Procedimiento de rotura (ASTM D1633) de muestras de BAEC ……48
FIGURA 3.1 Ubicación de las maestras de confinamiento……51
FIGURA 3.2 Colocación de las capa de HCR……52
FIGURA 3.3 Control de la densidad de la capa de HCR……52
FIGURA 3.4 Compactación con rodillo vibratorio……53
FIGURA 3.5 Aserrado de juntas en la capa de HCR……54
FIGURA 3.6 Esquema de corte de juntas de HCR……55
FIGURA 3.7 Esquema de sello de juntas de HCR……55
FIGURA 3.8 Esquema gráfico del procedimiento constructivo HCR …….56
FIGURA 3.9 Muestras de los agregados Finos y Gruesos……..62
FIGURA 3.10 Aditivo POLYHEED RI……..63
FIGURA 3.11 Tamizadoras Mecánicas para Agregados……65
FIGURA 3.12 Balanza para determinar los pesos retenidos……..67
FIGURA 3.13 Vista frontal de un molde metálico……68

FIGURA 3.14 Dimensiones del molde metálico……..69
FIGURA 3.15 Dimensiones del martillo metálico……70
FIGURA 3.16 Horno para secado de muestras……..71
FIGURA 3.17 Muestras depositadas en fundas plásticas……72
FIGURA 3.18 Procedimiento de Compactación ASTM D1557……73
FIGURA 3.19 Cemento y Agregados para mezcla del HCR……74
FIGURA 3.20 Pesaje del Aditivo POLYHEED RI……75
FIGURA 3.21 Mezcladora de artesa……..76
FIGURA 3.22 Mezclado del HCR ……78
FIGURA 3.23 Molde metálico de 150 x 300 mm……..77
FIGURA 3.24 Molde metálico de 100 x 200 mm……..79
FIGURA 3.25 Molde metálico viga 150 x 150 x 500 mm……79
FIGURA 3.26 Martillo eléctrico de compactación……80
FIGURA 3.27 Procedimiento ASTM C1435 de Compactación de cilindros 81
FIGURA 3.28 Procedimiento de llenado de vigas……82
FIGURA 3.29 Secuencia de desencofrado y almacenamiento de muestras83
FIGURA 3.30 Prensa “ELE” 3000 kN……85
FIGURA 3.31 Procedimiento de rotura (ASTM C39) de muestras de HCR 86
FIGURA 3.32 Platina de apoyo para TCD……..88
FIGURA 3.33 Procedimiento de rotura (ASTM C496) de muestras de HCR89
FIGURA 3.34 Equipo utilizado con prensa “ELE” 3000 KN……91
FIGURA 3.35 Procedimiento de rotura (ASTM C78) de vigas de HCR…….92
FIGURA 5.1 Curva granulométrica de material base clase 1A retenido 3/8" ……..113
FIGURA 5.2 Curva granulométrica de material base clase 1A retenido 3/8" ……..114
FIGURA 5.3 Combinación Granulométrica para BAEC……..115
FIGURA 5.4 Curva densidad máx vs %humedad……115
FIGURA 5.5 Desarrollo de resistencia obtenida por la BAEC (4% de cemento)……..117
FIGURA 5.6 Desarrollo de resistencia obtenida por la BAEC (5% de cemento)……..118
FIGURA 5.7 Curva granulométrica basalto piedra No. 6……120
FIGURA 5.8 Curva granulométrica basalto piedra No. 7……121
FIGURA 5.9 Curva granulométrica de arena de trituración……122
FIGURA 5.10 Curva granulométrica de arena natural de mar……123
FIGURA 5.11 Combinación granulométrica ACI 325.10R…..……124
FIGURA 5.12 Curva densidad máx vs %humedad……..……124
FIGURA 5.13 Desarrollo de resistencia obtenida por HCR....……125
FIGURA 5.14 Desarrollo de resistencia a la flexión obtenida por HCR....…126
FIGURA 5.15 Gráfico de resistencias vs porcentajes de muestras que pasan pruebas ASTM D559 y D560.....127
FIGURA 6.1 Ábaco para determinar el espesor de BAEC en función del valor k de la subrasante y del Número de repeticiones (NR)…….....…133

FIGURA 6.2 Configuración de eje simple rueda doble en cada punta……..137
FIGURA 6.3 Determinación de espesor de HCR……...138
FIGURA 6.4 Estructura del pavimento……138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Gradación de agregados para BAEC ……...7
Tabla 2.2 Límites granulométricos según MOP……8
Tabla 2.3. Gradación para BAEC (CTH)……..10
Tabla 2.4. Propiedades de la BAEC……12
Tabla 2.5. Características mecánicas de la BAEC……24
Tabla 2.6 Características Físicas del cemento Pórtland IP (HE)……26
Tabla 2.7. Propiedades físicas del aditivo……28
Tabla 3.1 Características Físicas del cemento Pórtland 1P (HE)……61
Tabla 3.2 Propiedades físicas del aditivo……64
Tabla 4.1 Medición de espesores de las capas del pavimento existente….94
Tabla 4.2 Resultado del conteo de vehículos……95
Tabla 4.3 Composición porcentual del tráfico……95
Tabla 4.4 Composición numérica del tráfico obtenida en una semana……..96
Tabla 4.5 Composición numérica del tráfico obtenida en un día……96
Tabla 4.6 Tasas de crecimiento……96
Tabla 4.7 Valores de Módulo Resiliente y CBR proporcionados por el HCP Manabí…….……97
Tabla 4.8 Resultado del C.B.R. en El Anegado ……98
Tabla 4.9 Resultado del C.B.R. en 0,7 Km. al sur de El Anegado……99
Tabla 4.10 Resultado del ensayo de C.B.R. en Los Vergeles……100
Tabla 4.11 Resultado del C.B.R. en Sta. Teresita……101
Tabla 4.12 Resultado del C.B.R. en 0,8 Km. al norte de El Anegado……..102
Tabla 4.13 Resultado del ensayo de C.B.R. en El Anegado……103
Tabla 4.14 Resultado del C.B.R. Montecristi 1.5 Km. al este……104
Tabla 4.15 Resultado del C.B.R. Montecristi 4.0 Km. al este……105
Tabla 4.16 Resultado del C.B.R. Montecristi 6.7 Km. al este……106
Tabla 4.17 Resultado del C.B.R. Montecristi 9.0 Km. al este……107
Tabla 4.18 Resultado del C.B.R. Montecristi 11.3 Km. al este……..108
Tabla 4.19 Resultado del C.B.R. Montecristi 14.0 Km. al este……..109
Tabla 4.20 Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado ……..110

Tabla 5.1 Resultado de granulometría material base clase 1A retenido 3/8” ……..112
Tabla 5.2 Resultado de granulometría material base clase 1A pasante 3/8”… ……..113
Tabla 5.3 Dosificación con 4% de cemento……..114
Tabla 5.4 Resultados del ensayo de compresión simple en muestras de BAEC……116
Tabla 5.5 Resultados del ensayo de compresión simple en muestras de BAEC……117
Tabla 5.6 Dosificación con 5% de cemento……..117
Tabla 5.7 Resultados del ensayo de compresión simple en muestras de BAEC……118
Tabla 5.8 Resultado de granulometría basalto piedra No.6……..119
Tabla 5.9 Resultado de granulometría basalto piedra No.7……..120
Tabla 5.10 Resultado de arena de trituración homogenizada……...121
Tabla 5.11 Resultado de granulometría de arena natural de mar……122
Tabla 5.12 Dosificación para HCR……..123
Tabla 5.13 Resultados de compresión simple en HCR……..125
Tabla 5.14 Resultados de flexión en HCR……126
Tabla 5.15 Resultados del ensayo T.C.D. en HCR……127
Tabla 5.15 Dosificación para BAEC……..128
Tabla 5.16 Dosificación para HCR……128
Tabla 6.1 Composición numérica del tráfico obtenida en un día……...130
Tabla 6.2 Total de vehículos equivalentes a camión de 8.2 Ton……...131
Tabla 6.3 Repeticiones equivalentes a camión de 8.2 Ton……132
Tabla 6.4 Valores del módulo "k" en función de la Base granular cementada ……..135
Tabla 6.5 Valores correspondientes a la construcción del pavimento usando HCR y BAEC……..139
Tabla 6.6 Tabla comparativa de costos entre varios tipos de pavimento…140

ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
PCA	Portland Cement Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
CTH	Centro Técnico del Hormigón
cm	centímetro
cm^3	centímetro cúbico
g	gramo
g / m3	gramo – metro cúbico
° C	grados Centígrados
GPa	Giga Pascal
h	hora
HCP	Hormigón compactado con pavimentadora
HCR	Hormigón compactado con rodillo
BAEC	Base de Agregados Estabilizada con Cemento
HE	Cemento High Early
HR	Humedad relativa
INEN	Instituo Ecuatoriano de Normalización
Kg	Kilogramo
Kg / m^3	Kilogramo – metro cúbico
Km	Kilómetro
kN	Kilo Newton
kN / seg	Kilo Newton - segundo
lb	libra
lt/m^3	litro – metro cúbico
m	metro
m^2	metro cuadrado
m^3	metro cúbico
mg	miligramo
mm	milímetro
mm^2	milímetro cuadrado
MPa	Mega Pascal
MPa/m	Mega Pascal/metro
MR	Módulo de rotura
m/s	metro – segundo
s	segundo
CBR	California Bearing Ratio
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
$/$m^2$	Dólar – metro cuadrado
$/$m^3$	Dólar – metro cúbico
TCD	Tracción por compresión diametral

SIMBOLOGÍA

HCP	Hormigón compactado con pavimentadora
HCR	Hormigón compactado con rodillo
MR	Módulo de rotura
H	Hormigón
T	Tara
W	Agua
%W	Porcentaje de humedad
M	Molde
A	Área
V	Volumen
$	Dólares americanos
X	Media
a/c	Relación agua cemento
b	Base
h	Altura
L	Longitud
P	Fuerza
I	Inercia
f'c	Resistencia a la compresión

RESUMEN

El presente trabajo trata acerca del diseño de hormigón compactado con rodillo (HCR) y de una base de agregados estabilizada con cemento (BAEC) este sistema constructivo surge ante la necesidad de aprovechar las bondades del hormigón compactado, ya que este permite obtener altas resistencias con un bajo contenido de cemento, lo cual significa máxima economía, por esta razón se diseñó un hormigón utilizando HCP con un contenido de cemento de 300 kg/m^3 y una capa de BAEC con un contenido de cemento de 120 kg/m^3 con el fin de obtener una capa de agregados más rígida con el fin de reducir espesores y soportar las presiones por la expansión de la arcilla sobre las que trabajará. A partir de esto se elaboró especimenes para determinar sus propiedades mecánicas y comportamiento estructural mediante ensayos de laboratorio, donde se comprobó con resultados satisfactorios, la factibilidad del método constructivo, las excelentes propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, tracción, flexión) de los elementos en estudios.

Una vez obtenidos los diseños se procedió a determinar los espesores para cada capa de pavimento acorde a las exigencias de tráfico y del estado del terreno de fundación

Es importante resaltar que los beneficios que ofrece esta combinación no sólo se encuentra en sus características mecánicas, sino también en el aspecto económico ya que su costo de colocación en obra es muy competitivo con respecto a otras propuestas, brindando a la comunidad una alternativa económica y eficiente que se puede implementar para mejorar el desarrollo vial de nuestro país.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo trata del "Diseño de la dosificación de Hormigón Compactado con Pavimentadora y de una Base de Agregados Estabilizadas con Cemento para su uso en las Vías de Manabí", partiendo de la actual estructura de pavimento, tomando como base que el hormigón compactado con rodillo (HCR) debido a su mayor densificación y menor relación agua/cemento, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos muy similares a aquellos construidos con un diseño de hormigón convencional[1]; y que la base de agregados estabilizada con cemento (BAEC) nos permite disminuir espesores de agregados para la estructuración de las capas de pavimentos, debido a su mayor rigidez; también nos permite hacer uso de la mayoría de agregados presentes en la naturaleza[2].

[1] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP), Serie Monografías n. 013.
[2] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016.

Para la realización de los mismos se procedió a la realización de ensayos de campo y de laboratorio.

1.1 Antecedentes.

El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) es un material cuya aplicación se inició a finales del siglo XIX, pero que sólo se usó en mayor escala, especialmente en la construcción de presas, a partir del tercer decenio del siglo pasado.

La fabricación de equipos adecuados permitió ampliar la utilización del HCR hacia vías de poco tráfico, patios de estacionamiento y posteriormente hacia vías de mayor importancia y Aeropuertos[1].

Las características y propiedades mecánicas de los hormigones empleadas en HCR y los convencionales son iguales.

La BAEC es ampliamente usada como base para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas[2].

Como una consecuencia de la incorporación de cemento, 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.

El terreno natural de Manabí es un material que está constituido por los suelos residuales, que son arcillas muy plásticas y expansivas, también existen grandes áreas cubiertas de limos con un alto grado de colapsibilidad y dispersión; que por sus características son muy fáciles de movilizar y que al poco tiempo de ser excavados pierden sus propiedades de resistencia, por lo que son fácilmente erosionables, en particular por los efectos de las corrientes de agua[3].

Es por esta razón que antes realizar la colocación de las capas de pavimento se excavará una profundidad dada para que el pavimento nuevo se asiente sobre lo que quede de la actual capa de base granular

1.2 Objetivos.

Ya que la Investigación y experimentación es el único camino para desarrollar metodologías constructivas más eficientes, el presente trabajo tiene como objetivos:

1) Proporcionar un diseño de HCR y BAEC

2) Verificar las Propiedades Mecánicas del Diseño proporcionado.

3) Determinar los espesores necesarios para cada capa del pavimento.

[3] Ing. Verónica Aguirre, Susceptibilidad Al Deslizamiento De Los Suelos Y Rocas De La Provincia De Manabi.

El cumplimiento de estos objetivos proporcionará un pavimento confiable para afrontar problemas relacionados con la capacidad estructural del pavimento en la provincia de Manabí, también aplicable al resto del País.

CAPÍTULO 2

2. BASES DE AGREGADOS ESTABILIZADAS CON CEMENTO (BAEC)

Es 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.

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

Figura 2.1 Transmisión de esfuerzos [2]

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

Características de los Agregados

Con el fin de conseguir la máxima economía en la demanda de cemento para una BAEC durable, la PCA (Portland Cement Association), recomienda los límites de graduación y de plasticidad de los agregados que constan en la Tabla siguiente:

[2] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016.

Tabla 2.1 Gradación de agregados para BAEC

Tamaño del tamiz	% pasante en peso
50 mm (2”)	100
4.75 mm (N°4)	55-90
2.00 mm (N°10)	37-67
0.75 mm (N°200)	0-30
Fondo	10 máximo

Es factible usar agregados con granulometría más fina pero el contenido de cemento requerido puede ser mayor. El incremento de material grueso tiende a reducir, hasta cierto límite, el requerimiento de cemento, porque las partículas finas que necesitan cemento para mantenerse juntas, son reemplazadas por material grueso. La densidad total del agregado aumenta al incrementarse el porcentaje de partículas más gruesas, pero la densidad de la fracción que pasa por el tamiz 4.75 mm (N°4) disminuye.

El exceso de material grueso dificulta la compactación de la matriz de partículas finas. La densidad adecuada de la fracción fina es muy importante porque es en esa fracción donde ocurre la mayoría de la acción cementante, y se forma la matriz que mantiene juntas a las partículas gruesas[2].

[2] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016.

Las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP-001-F-2002 en su apartado 404-2.02 establece que los agregados serán triturados o cribados o una mezcla de ambos y que deberán hallarse uniformemente graduados, para el agregado grueso y para el agregado fino, dentro de los límites granulométricos de la Tabla 404-2.1.

Tabla 2.2 Límites granulométricos según MOP[4]

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través De los tamices de malla cuadrada	
	Mezcla en sitio	Mezcla en planta
2" (50,8 MM)	100	--
1 ½" (38,1 MM)	950- 100	--
¾" (19,0 mm)	40 – 100	--
No.4 (4,75 mm)	0 – 5	80 – 100
No.10 (2,00 mm)	--	50 – 85
No.40 (0,425 mm)	--	15 – 45
No.200 (0,075)	--	0 - 10

Señala además que los materiales bien graduados contendrán entre un 55% y un 65% de agregado grueso retenido en el tamiz N°4.

Existe una diferencia conceptual entre las recomendaciones del MOP y de la PCA sobre la granulometría ideal para una buena BAEC, que debe ser en cada caso analizada con los ensayos y diseños previos que deben hacerse en el laboratorio.

[4] Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP-001-F-2002

La PCA ha establecido los límites dentro de los que debe mantenerse la granulometría de los agregados, a fin de obtener los mínimos requerimientos de cemento para producir BAEC con buena durabilidad, tal como se aprecia en la gráfica siguiente.

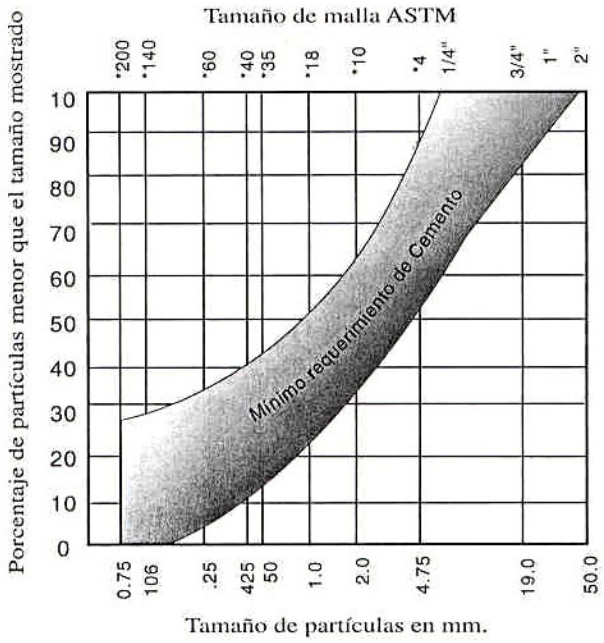

Figura 2.2. Granulometría recomendada por PCA [2]

Aunque la gráfica anterior es una recomendación de la PCA, para el desarrollo de esta tesis se usó el siguiente arreglo granulométrico con el que se han obtenido buenos resultados en el Centro Técnico del Hormigón:

[2] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016.

Tabla 2.3. Gradación para BAEC (CTH)

Tamaño del tamiz	% pasante en peso
37.5 mm (1.5”)	100
25.4 mm (1”)	70-95
19 mm (3/4”)	55-85
12.5 mm (1/2”)	47-77
9.5 mm (3/8”)	37.5-67.5
4.75 mm (Nº 4)	30-60
2.36 mm (Nº 8)	25-52.5
1.18 mm (Nº 16)	20-45
600 µm (Nº 30)	15-37.5
300 µm (Nº 50)	8.3-25
150 µm (Nº 100)	6.65-20
75 µm (N°200)	5-15

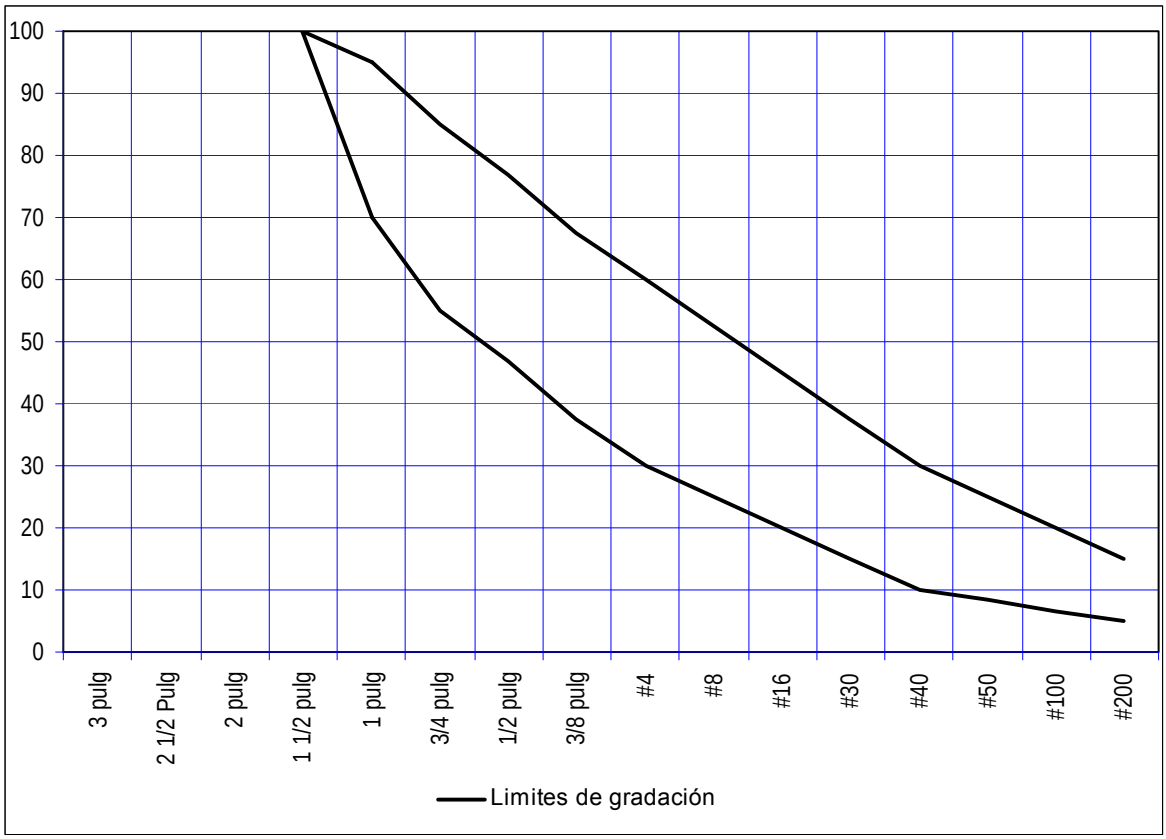

Figura 2.3. Gradación para BAEC (Centro Técnico del Hormigón)

Requerimientos de cemento

Para una BAEC de larga duración debe establecerse el contenido de cemento requerido, considerando más los criterios de durabilidad que los criterios de resistencia.

Para la determinación del contenido de cemento, puede aplicarse el procedimiento simplificado de diseño, de la PCA, aplicando las granulometrías recomendadas por esa Asociación. Dicho procedimiento (Ver diseño de mezclas para suelo-cemento) requiere solamente un mínimo de pruebas.

Cuando se usen materiales que no cumplan con los requerimientos del procedimiento simplificado, especialmente para aquellos agregados que contienen más del 45% retenido en el tamiz N°4, debe ejecutarse la prueba de humedecimiento y secado (ASTM D559) y, según el caso, la prueba de congelación y descongelación (ASTM D560), a fin de garantizar la durabilidad de la BAEC.

Es de notar que, según esta condición, si se usan los materiales del apartado 404-2.02 del MOP que recomienda tener entre 55% y 65% de

retenido en el tamiz N°4, deben hacerse necesariamente las pruebas antes mencionadas.

Las propiedades típicas de las BAEC, con los contenidos de cemento necesarios para su durabilidad, son:

Tabla 2.4. Propiedades de la BAEC

Propiedad	Valores de 28 días
Resistencia a la compresión, saturada	3 – 6 MPa
Módulo de rotura	0,7 – 1 MPa
Módulo de elasticidad	7000 – 14000 MPa
Relación de Poisson	0,12 – 0,14

2.1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

La siguiente descripción paso a paso de la construcción del suelo-cemento se aplica a caminos, carreteras y construcción de aeropuertos. Información adicional es encontrada en las publicaciones “Manual de Construcción del Suelo-Cemento” y “Especificaciones Sugeridas para la Construcción de una Cubierta de Suelo-Cemento” de la PCA.

2.1.1. Preparación inicial

Antes que cualquier construcción comience, la corona y pendiente del área a ser trabajada debe ser verificada y una nivelación fina debe ser efectuada, ya que un pequeño desplazamiento de material existirá

durante la construcción y la pendiente inicial existente determinará la pendiente final del pavimento. Al mismo tiempo que la pendiente es comprobada, el equipo de trabajo debe ser también revisado y probado para la operación.

Estacas o guías son usualmente puestas para controlar el ancho del tratamiento y ayudar a los operadores de máquinas durante las operaciones de mezclado.

2.1.1.1. Escarificación, Pulverización y Prehumedecido

El primer paso de la construcción es escarificar, pulverizar y prehumedecer el suelo a ser procesado. Este paso puede o no ser requerido dependiendo del tipo de suelo y el equipo de mezclado utilizado. Por ejemplo, ciertos tipos de equipo de mezclado efectúan algunas de estas operaciones durante el mezclado del suelo y el cemento. Generalmente, los suelos utilizados en el suelo-cemento son friables y poco, o ninguna pulverización es requerida.

Cuando el suelo o el pavimento viejo es denso y duro, desgarradores tipo rippers, que posee la motoniveladora en su parte trasera, son utilizados para escarificar. Los suelos son pulverizados usando mezcladoras rotativas de velocidad o preparadoras. Algunas veces son utilizadas

rastras de disco o arados. En esta etapa solamente la pulverización preliminar es requerida, ya que la pulverización es continuada a través de la operación de mezclado. Al final del mezclado húmedo el 80% del suelo debe pasar el tamiz No. 4. [2]

A menudo el prehumedecido antes que el cemento sea aplicado ayuda a escarificar y pulverizar el suelo. Una carretera con material viejo y duro, por ejemplo, puede ser suavizada aplicando agua y dejando remojar. El agua aplicada en esta etapa de construcción ahorra tiempo durante la ejecución del proceso, porque la mayoría del agua requerida ya ha sido añadida al suelo antes que el cemento sea aplicado. El mezclado del suelo y del cemento es más fácil, si el contenido de humedad del suelo original es dos o tres por ciento debajo de la humedad óptima. En suelo muy granular, el prehumedecido asegura una buena distribución del cemento en la mezcla, ya que se adhiere más fácilmente a las partículas de arena y grava.

[2] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016.

Después de escarificar, pulverizar y prehumedecer, el suelo húmedo suelto es perfilado y nivelado para aproximarlo a la corona y la pendiente.

2.1.2. PROCESAMIENTO DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

Las operaciones de construcción que siguen deben ser continuas y terminadas durante el mismo día de trabajo.

2.1.2.1. Esparcimiento del cemento Portland

El cemento puede ser puesto en el área a ser procesada por esparcidoras mecánicas o a mano.

Las esparcidoras mecánicas de cemento, son utilizadas para esparcir el cemento a granel en las cantidades requeridas.

Con el esparcimiento a mano, un método simple, pero exacto para esparcir las fundas de cemento, es necesario. El espaciado de las fundas debe ser organizado en cantidad por metro cuadrado, de tal forma que el porcentaje apropiado del cemento sea añadido. El cemento puede ser puesto correctamente por medio de banderas o marcadores asegurados a

cadenas a intervalos apropiados, para marcar las líneas transversales y longitudinales de fundas de cemento. Cuando las fundas son abiertas, el cemento es volcado así que forme una capa transversal uniforme a través del área que está siendo procesada. Un arado o barredora debe hacer al menos dos recorridos completos sobre el área para esparcir el cemento uniformemente.

Los suelos que contienen excesivas cantidades de humedad no se mezclarán fácilmente con el cemento. Los suelos arenosos pueden ser mezclados con un contenido de humedad de hasta un 2 por ciento arriba de la humedad óptima.

Los suelos arcillosos no se mezclarán fácilmente con el cemento, si tienen un contenido de humedad mayor del 3 por ciento debajo de la humedad óptima. Si el suelo está excesivamente húmedo debe se aireado y secado antes de que el cemento sea aplicado.

2.1.2.2. Mezclado en seco

Cuando el esparcido de cemento esté cercano a su finalización, las operaciones del mezclado en seco comienzan. El objetivo de esta etapa es solamente distribuir el cemento a través de la masa de suelo. No es

necesaria una mezcla completa y minuciosa, solamente es requerida una mezcla suficiente, para prevenir la formación de grumos de cemento, cuando el agua es aplicada. Cuando la mezcla seca está cerca de la finalización deben ser tomadas muestras, representativas del área para determinar el contenido de la mezcla. En este momento, como la humedad óptima aproximada de la mezcla es conocida, es posible calcular aproximadamente la cantidad total de agua que será requerida.

2.1.2.3. Aplicación del agua y mezcla húmeda

El contenido de humedad de la mezcla de suelo-cemento al final del mezclado en seco variará considerablemente, dependiendo del contenido de humedad del suelo al comienzo de las operaciones. El agua adicional es añadida uniformemente por distribuidores de agua de presión, en cantidades tales, que el equipo y el suelo lo permitan. Un galón de agua por yarda cuadrada, por aplicación, puede ser manejable en la mayoría de suelos. A medida que el contenido de humedad se acerca al óptimo la aplicación será cortada a medio galón o menos por yarda cuadrada. Cada incremento de agua es mezclado con el suelo y el cemento. Muestras representativas de la profundidad completa de material mezclado deben ser tomadas y hechas las pruebas de humedad-densidad, para determinar el grado de humedad óptima de la mezcla. En

el campo, mientras las pruebas son hechas, la aplicación del agua se continúa y el ingeniero de campo temporalmente controla la adición del agua, basado en su conocimiento y experiencia, cuando está a la humedad óptima o ligeramente arriba, y por consiguiente, continuar la adición de agua mientras las pruebas de humedad-densidad se efectúan. Debe ser recordado durante la aplicación de agua, que un exceso de agua en la mezcla, es mejor que no suficiente. Después que el último incremento de agua ha sido aplicado, el mezclado se continúa hasta que el suelo, el cemento y el agua están completamente mezclados a través del espesor y ancho del tratamiento. El material mezclado tendrá un color uniforme, libre de cualquier franja húmeda o seca.

La mayoría de las máquinas de mezclado móviles combinan el mezclado en seco, aplicación de agua y mezclado húmedo, en una operación continua.

Cuando se usan estas máquinas la cantidad deseada de cemento es esparcida en el suelo frente a la máquina. La máquina entonces mezcla en seco el suelo y el cemento, aplica el agua desde tanques auxiliares de suministro de agua y mezcla el suelo, el cemento y el agua.

Algunas máquinas además pulverizan el suelo durante estas operaciones.

Cuando el suelo-cemento está a un contenido óptimo de humedad, no está pulposo, lodoso o húmedo, como el concreto fresco. Por el contrario, tiene la humedad suficiente para humedecer las manos y puede ser compactado por el puño, para formar un molde apretado, que puede ser manipulado fácilmente. El suelo-cemento arenoso, al contenido de humedad óptimo cuando se remueve el molde del ensayo de humedad-densidad, puede dejar la base del plato en una condición de humedad, mostrando pequeñas gotas de agua. El suelo-cemento hecho de otros suelos tales como marga arenosa o arcillosa, cuando está al óptimo, se compactará en el molde con tal estabilidad, que los pulgares pueden hacer una impresión en la masa, cuando se presiona con fuerza considerable.

Los datos de los ensayos deberán estar disponibles a tiempo para ayudar al ingeniero a efectuar las aplicaciones finales de agua.

2.1.2. 4. Compactación

Cuando la aplicación de agua ha sido completada, la mezcla es compactada por rodillamiento. La mayoría de mezclas de suelos son compactadas por medio de un rodillo ‘’pata de cabra’’. El contenido de humedad de la mezcla debe ser mantenido al óptimo, o un poco arriba,

durante la operación de compactación completa. El exceso de densidad es beneficioso.

Los suelos muy arenosos que ofrecen poca resistencia a la compactación no pueden ser compactados por este tipo de rodillo. Las compactadoras de rodillos de neumáticos compactarán estas arenas a una densidad uniforme para la profundidad de 6”. Los suelos granulares gruesos pueden ser compactados con un rodillo pesado o vibrado.

2.1.2.5. Acabado

Después del modelado preliminar, el rodillo pata de cabra continúa compactando hasta alrededor de una pulgada. El rodillo es entonces removido de la sección y la motoniveladora da a la sección la forma final. Durante este intervalo es usualmente necesario añadir una pequeña cantidad de agua para reemplazar las pérdidas por evaporación.
En esta etapa es deseable poner una compactadora neumática sobre la sección para obtener una compactación final.

Cuando el rodillo liso ha sido usado para la compactación, el acabado usualmente consiste en nivelar un poco la superficie compactada, con

una motoniveladora, para remover irregularidades menores y luego utilizar una compactadora neumática.

2.1.2.6. Curado

El suelo-cemento compactado y terminado contiene suficiente agua para la adecuada hidratación del cemento, más un poco extra. El suelo-cemento como otros productos, debe retener esta humedad para la adecuada hidratación. Entonces una cubierta retenedora de humedad es puesta sobre el suelo-cemento poco después de la finalización.

El agente de curado desempeña dos funciones:

Retiene la humedad en el suelo-cemento fresco y de ese modo ayuda a la hidratación del cemento.

Actúa como una cubierta principal para la cubierta de desgaste, que es colocada posteriormente. El material de curado es aplicado a una superficie muy humedecida del suelo-cemento.

En la mayoría de los casos el agua es aplicada inmediatamente antes de la aplicación de la capa de curado para llenar los vacíos de la superficie

con agua. El material de curado es entonces aplicado y se añade al suelo-cemento por adhesión.

2.1.2.7. Verificación de densidad

Para verificar una sección y determinar si la densidad adecuada está siendo alcanzada durante la construcción del suelo-cemento, las pruebas de campo de densidad deben ser hechas durante las operaciones finales de rodillamiento o la primera actividad a la mañana siguiente, así que las correcciones apropiadas pueden ser hechas en el equipo y el procedimiento de compactación, si es necesario antes de comenzar el trabajo del día siguiente.

2.2. VENTAJAS

Hoy en día se usa en casi todos los pavimentos una sub-base; ésta consiste de una o más capas de materiales granulares, muchas veces estabilizadas, cuyas principales funciones son:

1. Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.
2. Ayuda a prevenir expansiones y contracciones excesivas en suelos volumétricamente inestables.
3. Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.

4. Ayudar a controlar levantamiento diferencial por congelamiento.

5. Evitar el bombeo de suelos finos°

Como una consecuencia de la incorporación de cemento, 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.

2.3. USOS

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

2.4. CARACTERISTIAS MECANICAS BAEC

La BAEC presenta las siguientes características:

TABLA 2.5. Características mecánicas de la BAEC

PROPIEDADES	INTERVALOS DE VALORES A LA EDAD DE 28 DÍAS
Resistencia a la Compresión saturada y no confinada	21 - 56 (kgf/cm^2)
Módulo de la Rotura	5 - 11 (kgf/cm^2)
Módulo de Elasticidad estático a flexión	42.000 – 140.000 (kgf/cm^2)
Coeficiente de Poisson	0,12 – 0,14
Radio de Curvatura Crítico	100 - 200 (m)

2.5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.

El contenido de este capítulo involucra todos los procedimientos experimentales que se utilizaron tanto para obtener los diseños patrones de la Base Estabilzada, así como la metodología empleada en la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas para la caracterización del diseño anteriormente mencionado

Para la elaboración de muestras y ensayos se adoptó el uso de normas propuestas por el ASTM (*American Society for Testing and Materials*.

2.5.1 Materiales utilizados en la BAEC

2.5.1.1. Cemento.

El material cementicio utilizado para la elaboración de la BAEC es el **Cemento Pórtland Tipo IP HE** (*High Early*), que es un cemento compuesto, del grupo Pórtland Puzolánico, que cumple con la

[*] CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Diseño Estructural de Hormigón Compactado con Rodillo, Serie Monografías n. 003.

especificación ASTM C 1157 (Certificación de cemento hidráulico por desempeño), cuya característica principal es la de desarrollar resistencias a la compresión elevadas, a edades tempranas.

Desde el punto de vista de especificaciones de la norma, este tipo de cemento sirve para uso estructural general en la construcción. En el caso particular de Cementos del Tipo 1P HE, debido a sus resistencias mucho más altas que las exigidas en la norma, sirve también para la producción de hormigones de alta resistencia inicial. Por lo tanto, el Cemento Tipo 1P HE se lo puede utilizar ya sea cuando se requieren resistencias superiores, o cuando se desee ahorrar en el contenido de cemento del hormigón, como es el caso del sistema constructivo propuesto.

Su contenido de adición puzolánica le añade otras ventajas como son mejores resistencias al ataque de sulfatos, mayor resistencia a la reacción álcali-agregados, es decir, mejor resistencia a ataques químicos que significa mayor durabilidad en general. Adicionalmente este cemento tiene una mejor trabajabilidad y una mayor cohesividad debido a la adición puzolánica, y a su gran superficie específica.

TABLA 2.6 Características Físicas del cemento Pórtland IP (HE)

Propiedad	Unidad	NTE INEN 2380 ASTM C-1157	NTE INEN 490 ASTM C-595	Resultado
Contenido de aire en mortero	%	---	12 máx.	3.6
Blaine	m^2/Kg	---	---	431
Rentenido en 45 µm. (No.325)	%	---	---	6.1
Contracción en Autoclave	%	---	0.20 máx.	----
Fraguado inicial Vicat	minutos	45-420	45-420	156
Fraguado final Vicat	minutos	---	---	280
Resistencia a compresión				
1 Día	MPa.	10.0 mín.	---	12.4
3 Días	MPa.	17.0 mín	13.0 mín.	23.6
7 Días	MPa.	---	20.0 mín.	31.8
28 Días	MPa.	---	25.0 mín.	43.2

*** Fuente de Información: HOLCIM**

2.5.1.2. Agregados.

Los agregados utilizados se clasificarán en agregados finos, menores que 4,76 mm. (No. 4), y agregados gruesos mayores que 4,76 mm.

El agregado fino estará constituido por material pasante de la malla de 3/8” de materia de base clase 1A, en este caso, basalto color café.

El agregado grueso empleado está constituido por material retenido en la malla de 3/8” de materia de base clase 1A, en este caso, basalto color café, como se puede apreciar en la Figura 2.4.

FIGURA 2.4 Muestra de los agregados Finos y Gruesos

2.5.1.3. Aditivos.

Con el objeto de mejorar la trabajabilidad del hormigón se utilizó el Aditivo **POLYHEED RI**, el cual es un aditivo retardante, reductor de agua de rango medio, multicomponente y libre de cloruros, cumple con la norma ASTM C – 494 para aditivos tipo B y D.

Además de mejorar la trabajabilidad incrementa la resistencia del hormigón a los ciclos de congelamiento y deshielo, reduce la segregación, y extiende el tiempo de fraguado en climas cálidos, es decir prolonga el

tiempo durante el cual el hormigón se puede transportar, colocar, y compactar.

FIGURA 2.5 Aditivo POLYHEED RI

Propiedades Físicas del PLYHEED RI

Tabla 2.7. Propiedades físicas del aditivo

Color:	café oscuro
Estado Físico:	liquido
Olor:	mohoso
pH (at 100 %) :	aproximadamente 8.0
Hidrosolubilidad:	completamente soluble
Densidad relativa:	1.215 +/- 0.01

2.5.1.4. Agua.

El agua que se emplea en la mezcla debe ser limpia, libre de impurezas y carecerá de aceites, álcalis, ácidos, sales, azúcar y materia orgánica. Se puede utilizar agua potable.

2.5.2. Metodología Empleada.

2.5.2.1. Pruebas de Granulometría (ASTM C136)

2.5.2.1.1. Objetivo.

Este método de ensayo tiene por objeto determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.

Adicionalmente mediante este ensayo se determina el módulo de finura y la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

2.5.2.1.2. Equipos utilizados.

- Balanza, con sensibilidad de por lo menos 0.1 % del peso de la muestra que va a ser ensayada.

- Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado

- Tamizadora mecánica, como se muestra en la Figura 2.6.

(a) Tamizadora para Agregados Finos

(b) Tamizadora para Agregados Gruesos

FIGURA 2.6 Tamizadoras Mecánicas para Agregados

2.5.2.1.3 Procedimiento.

- Las muestras de agregado fino para el análisis granulométrico, deben ser representativas y tener aproximadamente un peso de 600 a 700 g. para no obstruir la abertura de los tamices, mientras que la muestra para el agregado grueso debe tener un peso aproximado de 7 a 8 kg.

- Seleccionar un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar colocados en orden decreciente, por tamaño de abertura.

- Colocada la muestra sobre el tamiz de mayor abertura, efectuar la operación de tamizado por medio del tamizador mecánico, durante un período determinado.

- Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz con la balanza de precisión.

FIGURA 2.7 Balanza para determinar los pesos retenidos

2.5.2.2. Pruebas Proctor Standard (ASTM D558).

2.5.2.2.1. Objetivo

El objetivo de estas pruebas es determinar, el porcentaje de agua adecuada, la densidad seca máxima y la humedad óptima para el diseño patrón de la BAEC, para lo cual el ensayo de compactación Proctor será repetido varias veces utilizando una dosificación base cuya única variable es el porcentaje de agua, manteniendo los demás componentes constantes como el cemento y agregado grueso y fino.

De esta manera mediante un estudio comparativo de la gama de pruebas Proctor se podrá determinar el porcentaje óptimo de agua que ofrezca la máxima densidad húmeda.

2.5.2.2.2. Equipos utilizados.

- Los moldes, deben ser cilíndricos de paredes sólidas, fabricados con metal y en las dimensiones y capacidades mostradas posteriormente. Deben tener un conjunto de collar ajustable aproximadamente de 63.5 mm. (2 3/8”) de altura, que permita la preparación de muestras compactadas de la altura y volumen deseados. El conjunto del molde y del collar deben estar construidos de tal manera que puedan ajustarse libremente a una placa del mismo material, como se observa en la figura 2.8

FIGURA 2.8 Vista frontal de un molde metálico

El molde tiene la capacidad de 944 ± 11 cm3, con un diámetro interior de 101.60 ± 0.41 mm. y una altura de 116.43 ± 0.127 mm. Ver figura 4.12.

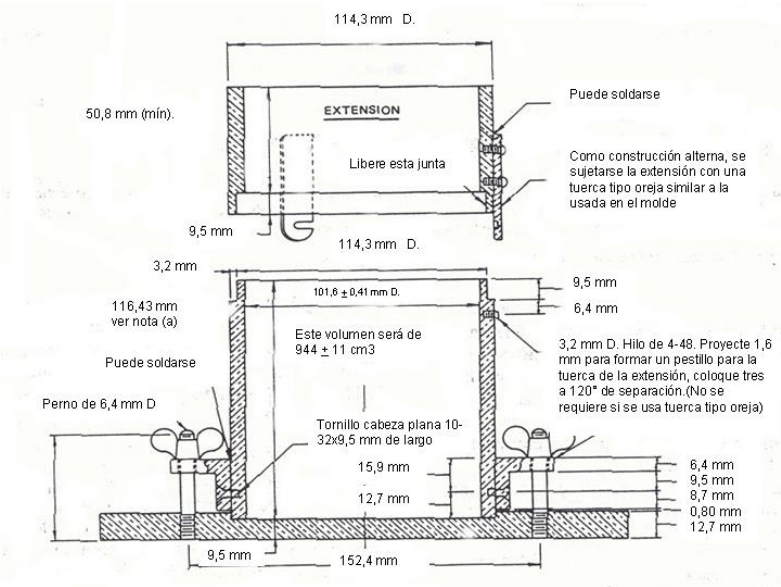

FIGURA 2.9 Dimensiones del molde metálico

- Martillo operado manualmente, el cual es metálico que tenga una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm. de diámetro y que pese 2.49 ± 0.01 Kg. (5.552 ± 0.02 lb.). El martillo debe estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de caída del golpe desde una altura libre de 304.8 ± 1.6 mm. por encima de la altura del suelo. La guía debe tener al menos 4 agujeros de ventilación no menores de 9.5 mm. de diámetro y espaciados aproximadamente a 90º y 19 mm. de cada extremo; y debe tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones

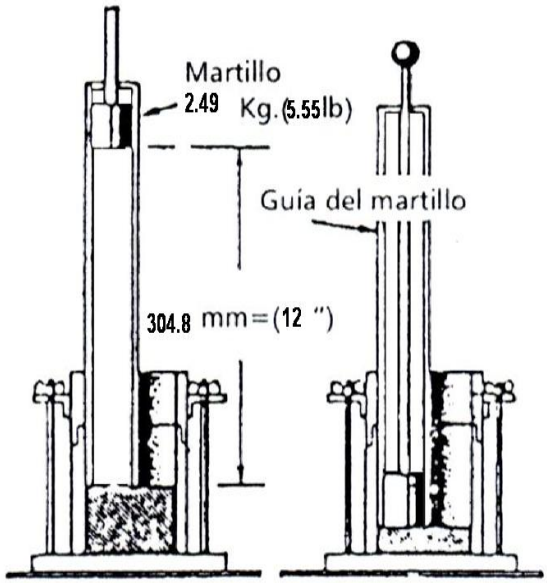

FIGURA 2.10 Dimensiones del martillo metálico

- Balanza, con una precisión de 0.5g cuando se usan para pesar moldes de 152 mm con muestras húmedas compactadas.

- Horno, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5º C para el secado de las muestras.

FIGURA 2.11 Horno para secado de muestras

- Regla metálica, de acero endurecido, de borde recto y al menos de 254 mm. de largo. Deberá tener un borde biselado y al menos una cara plan en sentido longitudinal (usada para el corte final de la muestra).

- Herramientas misceláneas para mezclado, tales como cucharas, espátulas, bandejas, y recipientes, para determinar la humedad de las muestras.

2.5.2.2.3. Procedimiento.

- Cada prueba proctor consta de seis puntos para conformar la curva de compactación, de los cuales tres de ellos deben estar por debajo de la humedad óptima estimada y tres de ellos por sobre la humedad óptima estimada, para lo cual se toma para cada punto 5,9 Kg. de una muestra mezclada con la cantidad de agua seleccionada en cada punto. (las tablas de dosificación y las proporciones en que se mezclan los agregados y el cemento se encuentran en la sección 5.1 del capítulo 5).

- Cada muestra se debe colocar en una funda plástica para evitar que se pierda humedad, y es muy importante identificar cada una de ellas.

FIGURA 2.12 Muestras depositadas en fundas plásticas

- Pesar el molde de compactación sin incluir el collar.

- Medir las dimensiones internas del molde de compactación para determinar su volumen.

- Tomar una de las muestras y colocarla sobre una bandeja para mezclar nuevamente una vez que ha sido retirada de la funda plástica para ser colocada en el molde de 152 mm. de diámetro (con el collar ajustado) en tres capas aproximadamente iguales, que den una altura total compactada alrededor de 127 mm., compactándose cada capa mediante 25 golpes del martillo distribuidos uniformemente.

FIGURA 2.13 Procedimiento de Compactación ASTM D558

- Después de la compactación remover el collar de extensión, recortar cuidadosamente el material excedente compactado en la parte superior del molde, mediante la regla con borde recto.

- Pesar el molde con la muestra compactada húmeda en Kg.

- Extraer el material compactado del molde y tomar una muestra no menor a 500 g. para determinar el contenido de humedad, pesar inmediatamente, y poner a secar en un horno a 110 ± 5º C por lo menos durante 24 horas o hasta obtener un peso constante.

- Calcular la humedad y el peso unitario seco del material compactado, para cada punto.

Este procedimiento se repetirá en varias ocasiones haciendo variar el porcentaje de agua.

2.5.2.3. Preparación de la BAEC.

- Los agregados y el cemento deberán ser previamente pesados en balanzas de precisión en las cantidades especificadas en la tablas 5.3 y 5.6, colocados en bandejas metálicas. De igual forma el agua de mezclado es colocada es un recipiente.

FIGURA 2.14 Cemento y Agregados para mezcla de la BAEC

- El aditivo es pesado y colocado en un vaso de precipitación, ya que posteriormente es utilizado con el agua de mezclado.

FIGURA 2.15 Pesaje del Aditivo POLYHEED RI

- Para mezclar la BAEC se utilizó la mezcladora tipo artesa ya que estas ofrecen la posibilidad de observar la mezcla en ellas, y por lo tanto ajustarla en caso de ser necesaria; sus paredes de la artesa deben ser

humedecidas con un paño previo a la colocación de los agregados, evitando dejar agua libre en las mismas o en el fondo.

FIGURA 2.16 Mezcladora de artesa

- Antes de empezar la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se adiciona el agregado fino y posteriormente el cemento, una vez que se obtiene una mezcla homogénea de estos materiales se agrega el agua aproximadamente las dos terceras partes de lo pesado.

- Finalmente el aditivo debe agregarse simultáneamente con la última parte de agua de mezclado, nunca se añade directamente al cemento o a los agregados.

FIGURA 2.17 Mezclado de la BAEC

Al ser esta una mezcla seca se debe tener especial cuidado al momento de agregar el agua, como medida de precaución la mezcla no debe tener un aspecto brillante o pegarse a las aspas de la mezcladora ya que esto indica que hay agua en exceso.

- Si la consistencia de la BAEC es la adecuada, los materiales no requerirán un tiempo de mezclado mayor a cinco minutos luego de agregar el aditivo.

2.5.2.4. Elaboración en laboratorio de muestras de la mezcla.

La elaboración de los especimenes (probetas) debe tardar, como máximo, 15 minutos después de la obtención de la mezcla de BAEC realizada en el laboratorio.

La probeta estándar para la resistencia a compresión de la base con agregado de dimensión máxima de 19 mm o menor es el mismo molde usado en el ensayo Proctor y cilindros de 150 mm x 300 mm para comparar valores.

FIGURA 2.18 cilindros metálicos de 150 x 300 mm.

Estos moldes por estar en contacto con la mezcla (BAEC) deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con la mezcla (BAEC) utilizado en los ensayos.

Para realizar el ensayo de compresión a la BAEC a diferentes edades se elaboraron dos grupos de probetas, los cuales son:

Probetas cilíndricas de de 101 x 116 mm (molde Proctor) y de 150 x 300 mm para ensayos de compresión simple

La elaboración de las probetas cilíndricas requiere la utilización de un martillo eléctrico de compactación HILTI, ya que la BAEC por ser una mezcla seca necesita una mayor energía de compactación para ser moldeado así como para simular las condiciones de colocación en obra en donde se utiliza un rodillo, el martillo eléctrico utiliza una extensión en forma de disco la cual encaja en el diámetro de los cilindros a moldear.

FIGURA 2.19 Martillo eléctrico de compactación

Como paso previo para moldear las probetas cilíndricas, los moldes deberán ser lubricados con aceite para evitar que el hormigón sea adhiera a ellos y haga complicado el desencofrado.

Tomando como punto de partida la mezcla de BAEC óptima obtenida según el ensayo proctor ASTM D558 procedemos al llenado de los moldes el cual se realiza en tres capas (de acuerdo a la norma ASTM C1435) de la misma altura, cada capa debe ser compactada con el martillo eléctrico durante 45 segundos, de manera perpendicular a la

superficie donde se este compactando la cual debes ser sólida y uniforme; entre cada capa es necesario hacer un rayado de la superficie con una espátula para lograr una adherencia con la siguiente capa.

FIGURA 2.20 Procedimiento ASTM C1435 de Compactación de cilindros

Después de la compactación de la última capa la superficie debe quedar plana y pareja a nivel del borde del cilindro.

Una vez que las muestras han sido elaboradas ser removidas de sus moldes y para su respectivo curado, las muestras de BAEC deben ser guardadas inmediatamente después del acabado en fundas de plástico.

(a) Desencofrado de muestra de BAEC

(b) Curado de muestra de BAEC

FIGURA 2.21 Desencofrado y curado de muestras

Como se aprecia en la secuencia gráfica de la figura 4.39 una vez que las muestras de BAEC han sido desencofradas estas deben ser

perfectamente codificadas para ser fácilmente identificadas y organizadas, una vez hecho esto las muestras se deben guardar en fundas plásticas para su respectivo curando.

2.5.2.5. Elaboración de Ensayos.

2.5.2.5.1. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM D1633).

La más común de todas las pruebas sobre el hormigón endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, en parte porque muchas de las características deseables del hormigón están relacionadas cualitativamente con su resistencia, pero fundamentalmente por la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión de la BAEC en el diseño por durabilidad

Objetivos.

Determinar de manera individual la resistencia a la compresión de especimenes cilíndricos de la BAEC.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.

Aparatos.

Máquina de ensayo. La máquina de ensayo debe ser de un tipo tal que tenga suficiente capacidad de carga y debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca Soiltest para cilindros de suelo-cemento de 101.6 x 116.4 mm

FIGURA 2.22 Prensa SOILTEST 3000 lb.

Procedimiento.

El ensayo de compresión de muestras curadas en agua debe hacerse inmediatamente después de que éstas han sido removidas de la funda en las que se estaba curando.

Colocar la muestra sobre la plataforma de la máquina de ensayo.

FIGURA 2.23 Procedimiento de rotura (ASTM D1633) de muestras de BAEC

Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos, hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

Este ensayo ha sido realizado bajo recomendaciones de la norma **ASTM D1633**

CAPÍTULO 3

3. EL HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

3.1 Proceso Constructivo.

3.1.1 Colocación de la capa de HCR.

3.1.1.1 Trabajos Previos.

Cuando la capa de HCR es colocada sobre una subbase, ya sea esta pétrea, de agregados estabilizados con cemento, o de suelo cemento, dicha base debe ser previamente examinada para determinar si cumple con las condiciones de compactación y de tolerancias de su superficie. La capacidad portante de la subbase debe ser al menos igual a la considerada para el diseño del espesor de la carpeta.

Es importante recalcar que la subbase debe ser previamente hidratada para evitar que esta absorba el poco contenido de agua que contiene el HCR.

3.1.1.2 Provisión del Hormigón.

El transporte del Hormigón desde la planta hasta la obra se lo hace mediante camiones volquetes ya que no es recomendable utilizar camiones mezcladores debido al bajo contenido de humedad de este hormigón.

Durante el trayecto desde la planta hasta su descarga en la tolva de la pavimentadora el hormigón es cubierto con lonas en el balde de los camiones que lo transportan, de ser necesario es posible utilizar productos retardadores de evaporación, pulverizados en la parte superior del hormigón.

Es muy importante una buena planificación de los trabajos a realizarse para que el hormigón sea proporcionado de manera regular evitando que se produzcan retrasos en la obra.

3.1.1.3 Construcción de Maestras de Hormigón.

La construcción de maestras previo a la colocación del HCR se ha desarrollado como un procedimiento rápido y seguro que garantiza por una parte confiabilidad en las cotas finales del proyecto usándolas como guías para los sensores automáticos de la pavimentadora. Por otra parte proporciona un confinamiento lateral a las fajas de tránsito de HCR a fin de obtener la máxima regularidad y efectividad en la compactación de dichas fajas.

Cuando el ancho de las fajas a construir es mayor al ancho que puede construir una máquina (generalmente 7,50 m.), se coloca una maestra central y se ejecuta la obra en dos fajas con lo que cada una de ellas estará confinada con sus respectivas maestras laterales.

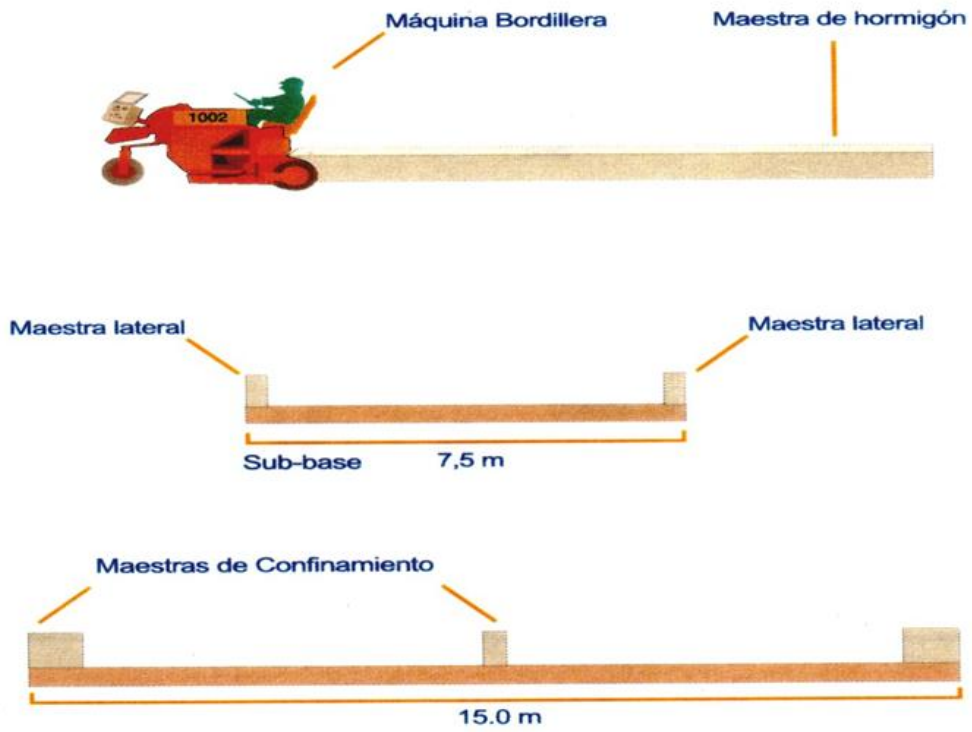

FIGURA 3.1 Ubicación de las maestras de confinamiento[5]

La construcción de maestras de hormigón se puede realizar con una máquina bordillera o una pavimentadora de encofrados deslizantes, estas maestras o guías deben tener un acabado muy preciso ya que se deben utilizar para controlar los niveles del pavimento.

[5] Cortesía Centro Técnico del Hormigón

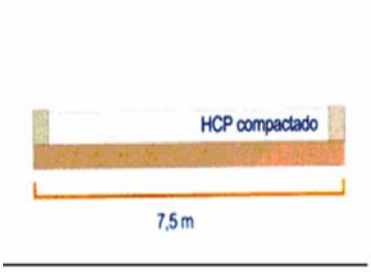

FIGURA 3.2 Colocación de la capa de HCR[5]

3.1.1.4 Determinación del porcentaje de compactación.

El porcentaje de compactación será comprobado mediante un densímetro nuclear cuya fuente de lectura se marca a una profundidad de 10cm. por debajo de la superficie a fin de comprobar que el porcentaje de compactación se mantenga en todo el volumen del hormigón correspondiente a la carga de rodadura.

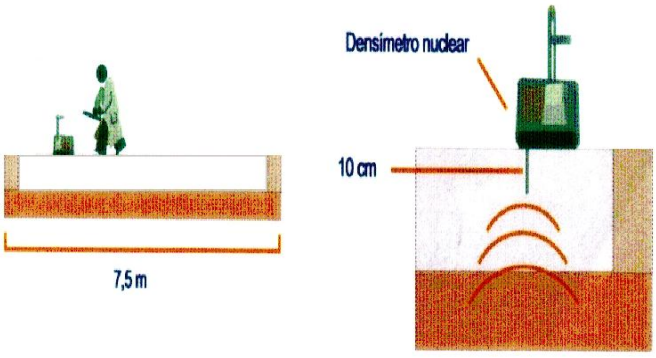

FIGURA 3.3 Control de la densidad de la capa de HCR[5]

[5] Cortesía Centro Técnico del Hormigón

3.1.1.5 Rodillado para compactación final.

Como la Pavimentadora normalmente produce una compactación de entre 90 y 95%, se requiere de una compactación adicional para completarse el mínimo de 98% requerido, utilizando rodillos planos con capacidad de vibración.

La compactación con rodillo debe realizarse tan pronto este tenga el espacio para realizar su labor, normalmente entre 10 y 15 m. detrás de la pavimentadora.

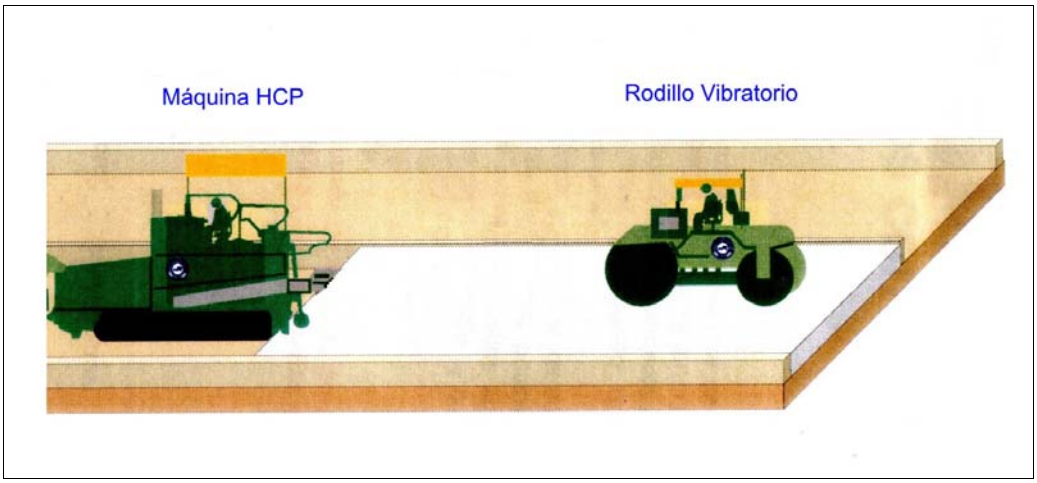

FIGURA 3.4 Compactación con rodillo vibratorio[5]

3.1.1.6 Corte de Juntas para HCR.

Una vez que se ha conseguido la compactación requerida se ejecutarán los cortes de las juntas transversales y longitudinales mediante máquinas cortadoras autopropulsadas guiadas por un operario o cortadoras de

entrada temprana que poseen sierras circulares con filos diamantados. Los cortes deben hacerse a una profundidad de ¼ del espesor de la capa de HCR; (más delante se determinará un espesor de 16 cm, con lo que se obtiene una profundidad de corte de 4cm)

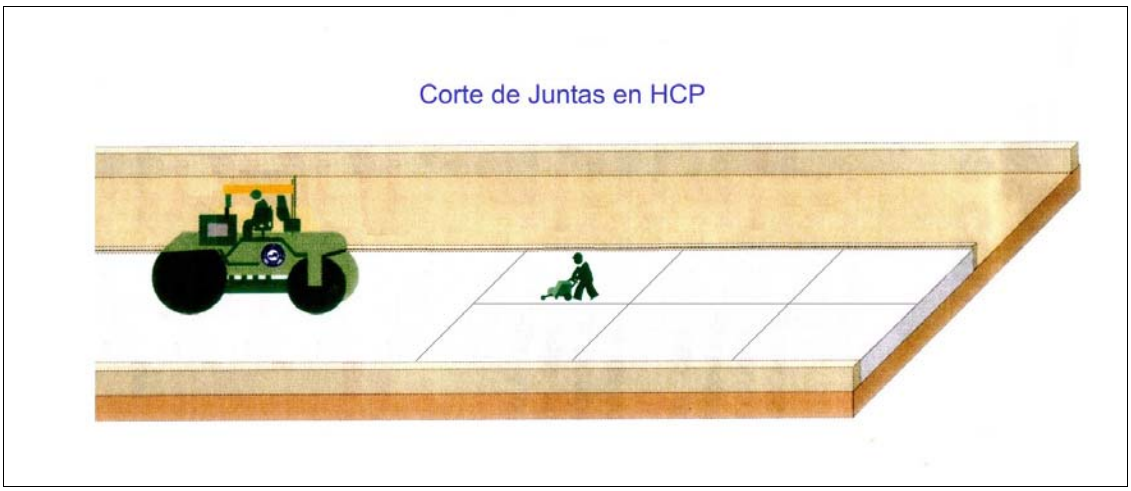

FIGURA 3.5 Aserrado de juntas en la capa de HCR[5]

El corte de juntas se realiza con la finalidad de controlar las fisuraciones que se presentan en el hormigón por los cambios de volumen debido en gran parte a la contracción plástica por pérdida de humedad y alabeos por cambio de temperatura. La junta longitudinal se la realiza a lo largo de la vía en toda su extensión y las juntas transversales según ACI 224.3R para hormigón convencional no deben ser mayor a 24 veces el espesor (3.84 m), pero dado que el HCR permite espaciar más las juntas se decide hacerlo cada 4 m. tal como se muestra en la figura 3.6

[5] Cortesía Centro Técnico del Hormigón

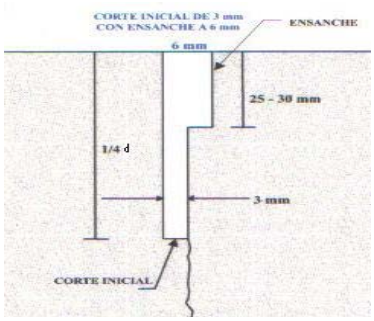

FIGURA 3.6 Esquema de corte de juntas de HCR

Deberán ser selladas con el fin de evitar que el agua y otras impurezas ingresen a las juntas y afecten su desempeño, con el fin de garantizar una perfecta adherencia del material sellante a las caras verticales de la caja, se deberá realizar una exhaustiva limpieza de toda impureza que se encuentre dentro de cualquier tipo de junta. Para ello se recurrirá al lavado con agua a presión y aire a presión, que deberán ser aplicados siempre en una misma dirección.

El material sellante para las juntas deberá ser elástico, con propiedades adherentes con el concreto y deberá permitir las dilataciones y contracciones que se presenten en la losa. Se deberán emplear para este fin productos de poliuretano, silicona o similares

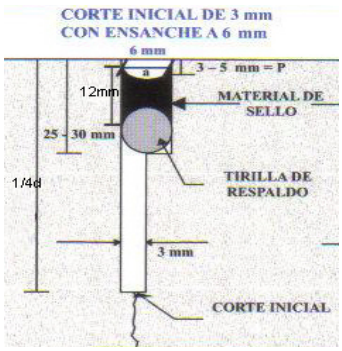

FIGURA 3.7 Esquema de sello de juntas de HCR

FIGURA 3.8 Esquema gráfico del procedimiento constructivo HCR[5]

3.2. Ventajas.

Una de las ventajas de este procedimiento constructivo, es la posibilidad de a apertura al tráfico dentro de plazos muy cortos.

Su vida útil es mucho mayor que el de los pavimentos flexibles, sobrepasa los 40 años con resistencia a la flexión de más de 4.0 – 4.5 MPa. Y su costo de mantenimiento como en los pavimentos de hormigón convencional son notablemente mas bajos que los de carpeta asfáltica.

3.3. Usos.

Gracias a las bondades del HCR es posible construir, calles, carreteras, autopistas, pistas de aeropuertos, pavimentos industriales, estacionamientos, etc.

Existen trabajos ejecutados con la tecnología del HCR, como el patio para equipos pesados de MAMUT ANDINO C.A., las vías de Ingreso y de circulación a la Fábrica de Cementos en Cerro Blanco y su zona de estacionamiento de camiones de gran peso para transporte de cemento en fundas, Avenida de entrada a Trinipuerto, Calles adyacentes a las de circulación del Metrovía en el Guasmo, Avenida Jaime Nebot Velasco en Durán, entre otras.

3.4. Características Mecánicas del HCR.

Si bien el ACI y el ASTM no señalan procedimientos estandarizados para la elaboración y evaluación de los especimenes de este tipo de hormigón (HCR), las experiencias realizadas en laboratorios permiten asegurar que los procedimientos de evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón convencional son aplicables para evaluar el HCR, lo que ha permitido comprobar que la baja relación agua cemento más un alto grado de compactación produce una máxima resistencia, lo que equivale a un mínimo consumo de cemento y a máxima economía.

3.4.1 Resistencia a la Compresión del HCR.

El diseño de HCR propuesto en esta investigación, con un contenido de cemento de 300 Kg/m^3, alcanza resistencias a la compresión de 32,62 MPa. a los 28 días gracias a su baja relación agua cemento y 44.37 MPa. a los 90 días.

3.4.2 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral del HCR.

La resistencia a T.C.D. en el diseño propuesto tiene un valor de 2,87 MPa. a 28 días.

3.4.3 Resistencia a la flexión del HCR.

En un hormigón convencional, las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce cabal contacto permanente entre ellas, mientras que en HCR ocurre todo lo contrario, en donde si se produce contacto entre las partículas de los agregados, lo

que quiere decir que la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la resistencia a flexión del HCR.

La resistencia a la flexión del diseño de HCR presentado tiene un módulo de rotura de 4,96 MPa. a los 28 días, se puede afirmar que es un comportamiento más eficiente al de un hormigón convencional.

3.4.4 Otras propiedades.

Otras propiedades como el comportamiento a la fatiga es similar al de los hormigones convencionales, mientras que la durabilidad a través de proyectos ejecutados en climas donde se presentas severos casos de congelamiento y deshielo, el comportamiento del HCR no ha demostrado fallas en este campo.

3.5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.

El contenido de este capítulo involucra todos los procedimientos experimentales que se utilizaron tanto para obtener los diseños patrones del Hormigón Compactado, así como la metodología empleada en la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas para la caracterización del hormigón anteriormente mencionado.

Para la elaboración de muestras y ensayos se adoptó el uso de normas propuestas por el ASTM (*American Society for Testing and Material)*.

3.5.1 Materiales utilizados en el HCR.

3.5.1.1. Cemento.

El material cementicio utilizado para la elaboración del HCR es el **Cemento Pórtland Tipo IP HE** (*High Early*), que es un cemento compuesto, del grupo Pórtland Puzolánico, que cumple con la especificación ASTM C 1157 (Certificación de cemento hidráulico por desempeño), cuya característica principal es la de desarrollar resistencias a la compresión elevadas, a edades tempranas.

Desde el punto de vista de especificaciones de la norma, este tipo de cemento sirve para uso estructural general en la construcción. En el caso particular de Cementos del Tipo 1P HE, debido a sus resistencias mucho más altas que las exigidas en la norma, sirve también para la producción de hormigones de alta resistencia inicial. Por lo tanto, el Cemento Tipo 1P HE se lo puede utilizar ya sea cuando se requieren resistencias superiores, o cuando se desee ahorrar en el contenido de cemento del hormigón, como es el caso del sistema constructivo propuesto.

Su contenido de adición puzolánica le añade otras ventajas como son mejores resistencias al ataque de sulfatos, mayor resistencia a la reacción álcali-agregados, es decir, mejor resistencia a ataques químicos que

significa mayor durabilidad en general. Adicionalmente este cemento tiene una mejor trabajabilidad y una mayor cohesividad debido a la adición puzolánica, y a su gran superficie específica.

TABLA 3.1 Características Físicas del cemento Pórtland 1P (HE)

Propiedad	Unidad	NTE INEN 2380 ASTM C-1157	NTE INEN 490 ASTM C-595	Resultado
Contenido de aire en mortero	%	---	12 máx.	2.9
Blaine	m^2/Kg	---	---	460
Rentenido en 45 µm. (No.325)	%	---	---	5.8
Contracción en Autoclave	%	---	0.20 máx.	0.04
Fraguado inicial Vicat	minutos	45-420	45-420	163
Fraguado final Vicat	minutos	---	---	283
Resistencia a compresión				
1 Día	MPa.	10.0 mín.	---	13.4
3 Días	MPa.	17.0 mín	13.0 mín.	25.5
7 Días	MPa.	---	20.0 mín.	32.8
20 Días	MPa.	---	25.0 mín.	38.6
f´c (7 días)	MPa.	---	---	31.6

*** Fuente de Información: HOLCIM**

3.5.1.2. Agregados.

Los agregados utilizados se clasificarán en agregados finos, menores que 4,76 mm. (No. 4), y agregados gruesos mayores que 4,76 mm.

El agregado fino estará constituido por una mezcla de arena manufacturada por trituración de basalto y de arena de mar.

El agregado grueso empleado está conformado por una combinación de basaltos triturados con un tamaño nominal máximo de agregado de 12 y 19 mm. respectivamente, como se puede apreciar en la Figura 3.7.

FIGURA 3.9 Muestra de los agregados Finos y Gruesos

3.5.1.3. Aditivos.

Con el objeto de mejorar la trabajabilidad del hormigón se utilizó el Aditivo **POLYHEED RI**, el cual es un aditivo retardante, reductor de agua de

rango medio, multicomponente y libre de cloruros, cumple con la norma ASTM C – 494 para aditivos tipo B y D.

Además de mejorar la trabajabilidad incrementa la resistencia del hormigón a los ciclos de congelamiento y deshielo, reduce la segregación, y extiende el tiempo de fraguado en climas cálidos, es decir prolonga el tiempo durante el cual el hormigón se puede transportar, colocar, y compactar.

FIGURA 3.10 Aditivo POLYHEED RI

Propiedades Físicas del POLYHEED RI

Tabla 3.2 Propiedades físicas del aditivo

Color:	café oscuro
Estado Físico:	Liquido
Olor:	Mohoso
pH (at 100 %) :	aproximadamente 8.0
Hidrosolubilidad:	completamente soluble
Densidad relativa:	1.215 +/- 0.01

3.5.1.4. Agua.

El agua que se emplea en la mezcla debe ser limpia, libre de impurezas y carecerá de aceites, álcalis, ácidos, sales, azúcar y materia orgánica. Se puede utilizar agua potable.

3.5.2. Metodología Empleada.

3.5.2.1. Pruebas de Granulometría (ASTM C136)

3.5.2.1.1. Objetivo.

Este método de ensayo tiene por objeto determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.

Adicionalmente mediante este ensayo se determina el módulo de finura y la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

3.5.2.1.2. Equipos utilizados.

- Balanza, con sensibilidad de por lo menos 0.1 % del peso de la muestra que va a ser ensayada.

- Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado

- Tamizadora mecánica, como se muestra en la Figura 3.9.

(a) Tamizadora para Agregados Finos

(b) Tamizadora para Agregados Gruesos

FIGURA 3.11 Tamizadoras Mecánicas para Agregados

3.5.2.1.3. Procedimiento.

- Las muestras de agregado fino para el análisis granulométrico, deben ser representativas y tener aproximadamente un peso de 600 a 700 g. para no obstruir la abertura de los tamices, mientras que la muestra para el agregado grueso debe tener un peso aproximado de 7 a 8 kg.

- Seleccionar un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar colocados en orden decreciente, por tamaño de abertura.

- Colocada la muestra sobre el tamiz de mayor abertura, efectuar la operación de tamizado por medio del tamizador mecánico, durante un período determinado.

- Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz con la balanza de precisión.

FIGURA 3.12 Balanza para determinar los pesos retenidos

3.5.2.2. Prueba Proctor Modificado (ASTM D1557).

3.5.2.2.1. Objetivo

El objetivo de estas pruebas es determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima para el diseño patrón del HCR, para lo cual el ensayo de compactación Proctor será repetido varias veces utilizando una dosificación base cuya única variable es el porcentaje de agua,

manteniendo los demás componentes constantes como el cemento y agregado grueso y fino.

De esta manera mediante un estudio comparativo de la gama de pruebas Proctor se podrá determinar el porcentaje óptimo de agua que ofrezca la máxima densidad húmeda.

3.5.2.2.2. Equipos utilizados.

- Los moldes, deben ser cilíndricos de paredes sólidas, fabricados con metal y en las dimensiones y capacidades mostradas posteriormente. Deben tener un conjunto de collar ajustable aproximadamente de 60 mm. (2 3/8”) de altura, que permita la preparación de muestras compactadas de la altura y volumen deseados. El conjunto del molde y del collar deben estar construidos de tal manera que puedan ajustarse libremente a una placa del mismo material, como se observa en la figura 3.11.

FIGURA 3.13 Vista frontal de un molde metálico

El molde tiene la capacidad de 2124 ± 21 cm3, con un diámetro interior de 152.4 ± 0.6604 mm. y una altura de 116.43 ± 0.127 mm. Ver figura 4.12.

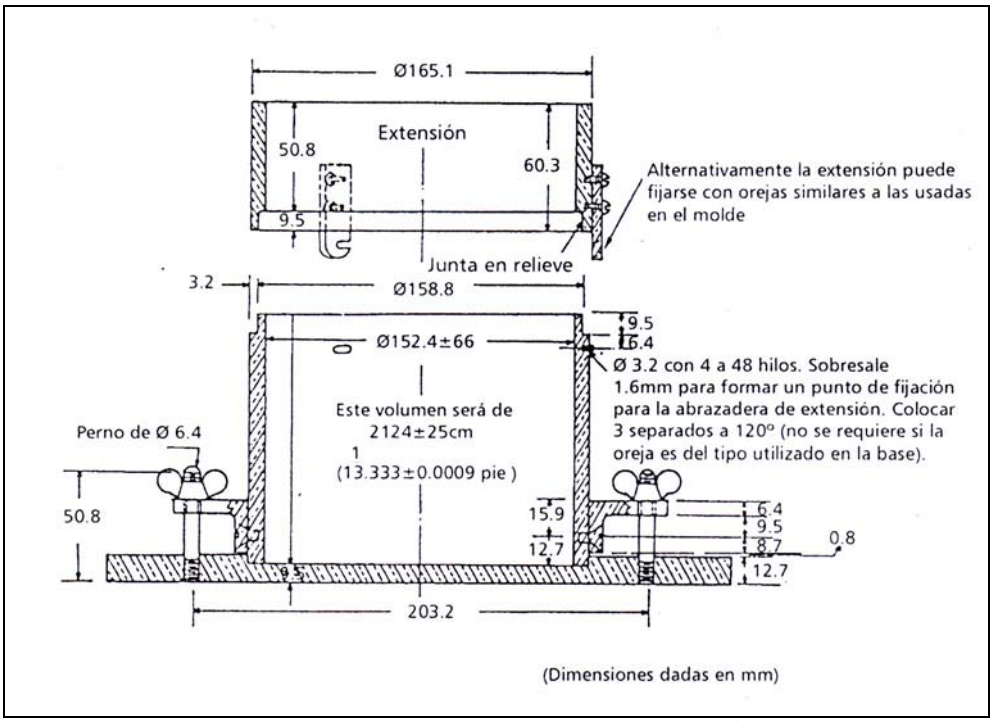

FIGURA 3.14 Dimensiones del molde metálico

- Martillo operado manualmente, el cual es metálico que tenga una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm. de diámetro y que pese 4.536 ± 0.009 Kg.(10.00 ± 0.02 lb.). El martillo debe estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de caída del golpe desde una altura libre de 457.2 ± 1.524 mm. por encima de la altura del suelo. La guía debe tener al menos 4 agujeros de ventilación no menores de 9.5 mm. de diámetro y espaciados aproximadamente a 90º y 19 mm. de cada

extremo; y debe tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones

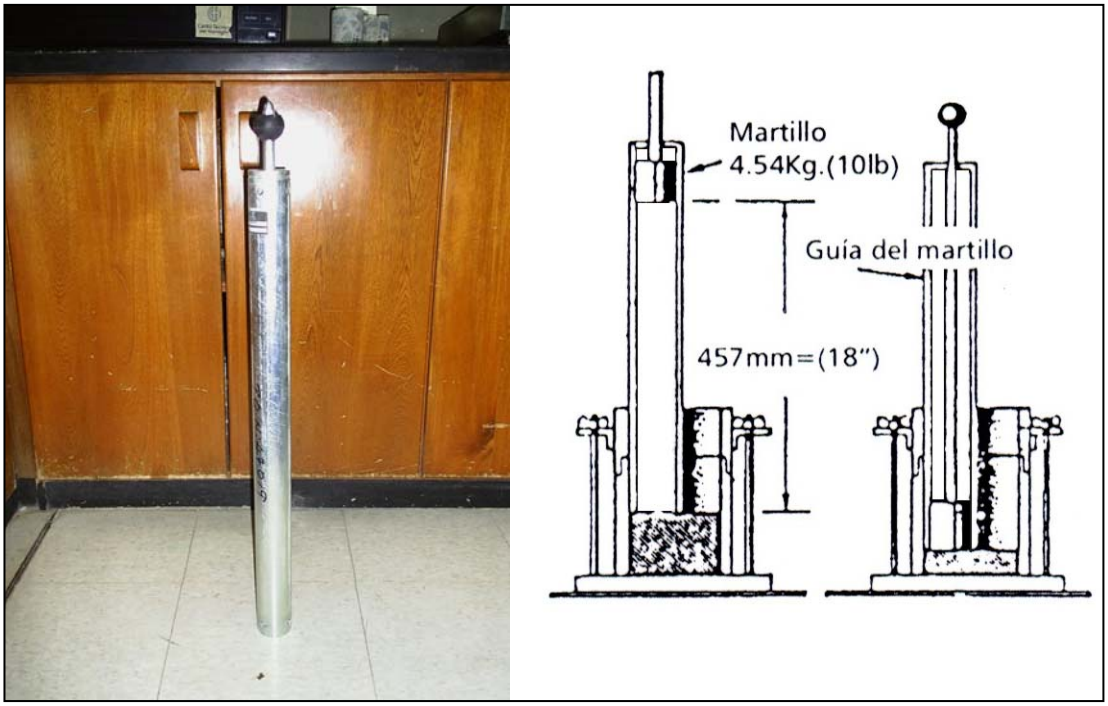

FIGURA 3.15 Dimensiones del martillo metálico

- Balanza, con una precisión de 5g. cuando se usan para pesar moldes de 152 mm. con muestras húmedas compactadas.
- Horno, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5º C para el secado de las muestras.

FIGURA 3.16 Horno para secado de muestras

- Regla metálica, de acero endurecido, de borde recto y al menos de 254 mm. de largo. Deberá tener un borde biselado y al menos una cara plan en sentido longitudinal (usada para el corte final de la muestra).

- Herramientas misceláneas para mezclado, tales como cucharas, espátulas, bandejas, y recipientes, para determinar la humedad de las muestras.

3.5.2.2.3. Procedimiento.

- Cada prueba proctor consta de seis puntos para conformar la curva de compactación, de los cuales tres de ellos deben estar por debajo de la humedad óptima estimada y tres de ellos por sobre la humedad óptima estimada, para lo cual se toma para cada punto 5,9 Kg. de una muestra mezclada con la cantidad de agua seleccionada en cada punto. (las

tablas de dosificación y las proporciones en que se mezclan los agregados y el cemento se encuentran en la sección 5.2 del capítulo 5).

- Cada muestra se debe colocar en una funda plástica para evitar que se pierda humedad, y es muy importante identificar cada una de ellas.

FIGURA 3.17 Muestras depositadas en fundas plásticas

- Pesar el molde de compactación sin incluir el collar.

- Medir las dimensiones internas del molde de compactación para determinar su volumen.

- Tomar una de las muestras y colocarla sobre una bandeja para mezclar nuevamente una vez que ha sido retirada de la funda plástica para ser colocada en el molde de 152 mm. de diámetro (con el collar ajustado) en cinco capas aproximadamente iguales, que den una altura

total compactada alrededor de 215 mm., compactándose cada capa mediante 56 golpes del martillo distribuidos uniformemente.

FIGURA 3.18 Procedimiento de Compactación ASTM D1557

- Después de la compactación remover el collar de extensión, recortar cuidadosamente el material excedente compactado en la parte superior del molde, mediante la regla con borde recto.

- Pesar el molde con la muestra compactada húmeda en Kg.

- Extraer el material compactado del molde y tomar una muestra no menor a 500 g. para determinar el contenido de humedad, pesar

inmediatamente, y poner a secar en un horno a 110 ± 5º C por lo menos durante 24 horas o hasta obtener un peso constante.

- Calcular la humedad y el peso unitario seco del material compactado, para cada punto.

Este procedimiento se repetirá en varias ocasiones haciendo variar el porcentaje de arena de trituración.

3.5.3. Preparación de mezclas de hormigón.

- Los agregados y el cemento deberán ser previamente pesados en balanzas de precisión en las cantidades especificadas en la tabla de dosificación 5.11 (que se encuentra en la sección 5.2.1.5. del CAPITULO 5) y colocados en bandejas metálicas. De igual forma el agua de mezclado es colocada es un recipiente.

FIGURA 3.19 Cemento y Agregados para mezcla del HCR

- El aditivo es pesado y colocado en un vaso de precipitación, ya que posteriormente es utilizado con el agua de mezclado.

FIGURA 3.20 Pesaje del Aditivo POLYHEED RI

- Para mezclar el HCR se utilizó la mezcladora tipo artesa ya que estas ofrecen la posibilidad de observar el hormigón en ellas, y por lo tanto ajustar la mezcla en algunos casos; sus paredes de la artesa deben ser humedecidas con un paño previo a la colocación de los agregados, evitando dejar agua libre en las mismas o en el fondo.

FIGURA 3.21 Mezcladora de artesa

- Antes de empezar la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se adiciona el agregado fino y posteriormente el cemento, una vez que se obtiene una mezcla homogénea de estos materiales se agrega el agua aproximadamente las dos terceras partes de lo pesado.

- Finalmente el aditivo debe agregarse simultáneamente con la última parte de agua de mezclado, nunca se añade directamente al cemento o a los agregados.

FIGURA 3.22 Mezclado del HCR

Al ser este un hormigón seco se debe tener especial cuidado al momento de agregar el agua, como medida de precaución la mezcla no debe tener un aspecto brillante o pegarse a las aspas de la mezcladora ya que esto indica que hay agua en exceso.

- Si la consistencia del HCR es la adecuada, los materiales no requerirán un tiempo de mezclado mayor a cinco minutos luego de agregar el aditivo.

3.5.4. Elaboración en laboratorio de muestras de hormigón.

La elaboración de los especímenes (probetas) debe empezar, como máximo, 15 minutos después de la obtención de la mezcla de hormigón realizada en el laboratorio.

La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 mm es un cilindro de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura

FIGURA 3.23 Molde metálico de 150 x 300 mm.

Estos moldes por estar en contacto con el hormigón deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el hormigón utilizado en los ensayos.

El molde de cilindros de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura está siendo utilizado comúnmente para los hormigones de alta resistencia que contienen agregados de tamaño máximo de 19 mm.

FIGURA 3.24 Molde metálico de 100 x 200 mm.

Las vigas para el ensayo de resistencia a flexión tienen 150 x 150 mm de sección transversal para hormigones con agregados de hasta 50 mm. La longitud de las vigas debe ser, por lo menos, tres veces la profundidad de la viga mas 50 mm o un total de 500 mm para la viga de 150 x 150 mm,

FIGURA 3.25 Molde metálico viga 150 x 150 x 500 mm.

3.5.4.1. Elaboración de especimenes de HCR.

Para realizar los distintos ensayos al HCR a diferentes edades se elaboraron dos grupos de probetas, los cuales son:

Probetas cilíndricas de 150 x 300 mm para ensayos de compresión simple, tracción por compresión diametral.

Vigas de 150 x 150 x 500 mm para ensayos de flexión.

La elaboración de las probetas cilíndricas requiere la utilización de un martillo eléctrico de compactación HILTI, ya que el HCR por ser un hormigón seco necesita una mayor energía de compactación para ser moldeado así como para simular las condiciones de colocación en obra en donde se utiliza un rodillo, el martillo eléctrico utiliza una extensión en forma de disco la cual encaja en el diámetro de los cilindros a moldear.

FIGURA 3.26 Martillo eléctrico de compactación

Como paso previo para moldear las probetas cilíndricas, los moldes deberán ser lubricados con aceite para evitar que el hormigón sea adhiera a ellos y haga complicado el desencofrado.

Tomando como punto de partida la mezcla de HCR óptima obtenida según el ensayo proctor ASTM D1557 procedemos al llenado de los moldes el cual se realiza en tres capas (de acuerdo a la norma ASTM C1435) de la misma altura, cada capa debe ser compactada con el martillo eléctrico durante 45 segundos, de manera perpendicular a la superficie donde se este compactando la cual debes ser sólida y uniforme; entre cada capa es necesario hacer un rayado de la superficie con una espátula para lograr una adherencia con la siguiente capa.

FIGURA 3.27 Procedimiento ASTM C1435 de Compactación de cilindros

Después de la compactación de la última capa la superficie debe quedar plana y pareja a nivel del borde del cilindro.

Las siguientes probetas moldeadas son las vigas 150 x 150 x 500 mm. se llenarán con dos capas compactadas respectivamente con el martillo eléctrico, en esta ocasión utilizará una extensión de sección rectangular que encaja en el molde prismático, antes de colocar la segunda capa la primera debe ser rayada con una espátula. El acabado de las vigas debe ser al nivel y paralelo al borde del molde.

FIGURA 3.28 Procedimiento de llenado de vigas

Una vez que las muestras han sido elaboradas para evitar la evaporación de agua del hormigón sin endurecer, las muestras deben ser cubiertas inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una lámina de plástico dura e impermeable.

Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo mínimo de 12 horas después de haber sido elaboradas.

(a) Muestra de HCR antes de ser desmoldadas

(c) Muestras identificadas en piscina de curado

FIGURA 3.29 Secuencia de desencofrado y almacenamiento de muestras

Como se aprecia en la secuencia gráfica de la figura 3.27 una vez que las muestras de HCR han sido desencofradas estas deben ser perfectamente identificadas para ser fácilmente reconocidas y organizadas, una vez

hecho esto las muestras se deben mantener en condiciones de humedad hasta el momento del ensayo.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra en agua. No deben exponerse los especimenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua, deben evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del período de curado antes de ser ensayadas.

3.5.5. Elaboración de Ensayos.

3.5.5.1. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39).

La más común de todas las pruebas sobre el hormigón endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, en parte porque muchas de las características deseables del hormigón están relacionadas cualitativamente con su resistencia, pero fundamentalmente por la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión del hormigón en el diseño estructural.

Objetivos.

Determinar la resistencia a la compresión de especimenes cilíndricos de hormigón de HCR

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, a una velocidad de carga normada, hasta que se presente la

falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.

Aparatos.

Máquina de ensayo. La máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad de carga, operar mecánicamente, aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 3000, aplicándose una velocidad de carga de 2,3 kN./seg. para cilindros de hormigón de 100 x 200 mm. y de 5 kN./seg. para cilindros de hormigón de 150 x 300 mm.

FIGURA 3.30 Prensa "ELE" 3000 kN.

Procedimiento.

El ensayo de compresión de muestras curadas en agua debe hacerse inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.

La muestra se debe mantener húmeda utilizando cualquier método, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando es ensayada. Debe ensayarse en condición húmeda.

Colocar la muestra sobre la plataforma de la máquina de ensayo.

FIGURA 3.31 Procedimiento de rotura (ASTM C39) de muestras de HCR

Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos, hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

Este ensayo ha sido realizado bajo recomendaciones de la norma **ASTM C39.**

3.5.5.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral (ASTM C496).

En esta prueba, se coloca un cilindro de hormigón, del tipo utilizado para pruebas de compresión, con su eje horizontal entre las platinas de una máquina de pruebas, y se aumenta la carga hasta que ocurra la falla por tensión indirecta en forma de separación a lo largo del diámetro vertical.

Objetivos.

Obtener los esfuerzos de tracción indirecta de cilindros de HCR.

Aparatos.

Máquina de ensayo. Debe ser de similares características a las mencionadas en la sección 3.5.5.1.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 2000, aplicándose una velocidad de carga de 0,60 kN./seg. para cilindros de

hormigón de 100 x 200 mm. y de 1,3 kN./seg. para cilindros de hormigón de 150 x 300 mm.

Platina de apoyo suplementaria. Si el diámetro o la mayor dimensión de las placas de apoyo, inferior y superior son menores que la longitud del cilindro para ensayo, debe usarse una platina suplementaria de acero maquinado.

FIGURA 3.32 Platina de apoyo para TCD

Listones de apoyo. Deben ser dos tiras de cartón o dos listones de madera triplay, de 3 mm. de espesor y 25 mm. de ancho .

Procedimiento.

Se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro de la parte inferior de la platina de apoyo. Se pone el cilindro sobre el listón, de tal manera que el punto de tangencia de las dos bases esté concentrado sobre la lámina de

apoyo. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo en forma similar al anterior.

Se aplica la carga al cilindro en forma continua evitando impactos, a velocidad constante mientras se rompe el cilindro.

Se anota la carga máxima de la máquina en el momento de la rotura.

FIGURA 3.33 Procedimiento de rotura (ASTM C496) de muestras de HCR

Este ensayo ha sido realizado bajo recomendaciones de la norma **ASTM C496).**

3.5.5.3 Ensayo de resistencia a la flexión (ASTM C78).

En estas pruebas, una simple viga de hormigón (sin refuerzo) se sujeta a flexión usando carga en dos puntos situados simétricamente hasta que

ocurre la falla. Puesto que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, la prueba es llamada prueba de carga en los tercios medios. El esfuerzo a tracción máximo teórico alcanzado en la fibra inferior de la viga de prueba es conocido como módulo de rotura.

Objetivos

Determinar la resistencia a la flexión del hormigón, por medio del uso de vigas simples de HCR cargadas en los tercios de la luz, así como el módulo de rotura indicado en MPa.

Aparatos

Máquina de ensayo. El método de carga en los tercios de la luz deberá utilizarse en la realización de ensayos de flexión, empleando bloques de carga, los cuales asegurarán que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad. En la figura 4.50 se muestra un diagrama del aparato que cumple con este propósito.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 3000, aplicándose una velocidad de carga de 0,13 kN./seg. para vigas de hormigón de 150 x 150 x 500 mm.

FIGURA 3.34 Equipo utilizado con prensa "ELE" 3000 KN.

Procedimiento.

Colocar la muestra con la cara de moldeo hacia el frente y centrarla sobre los bloques de carga. Céntrese el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Póngase los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes.

Aplicar la carga en forma continua a una tasa que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema, hasta que ocurra la rotura.

Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y calcular el módulo de rotura.

FIGURA 3.35 Procedimiento de rotura (ASTM C78) de vigas de HCR

Este ensayo ha sido realizado bajo recomendaciones de la norma **ASTM C78.**

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIOS EN LA VÍA

4.1 Información Preliminar (Estudio del Honorable Consejo Provincial de Manabí)

Se toma como punto de partida para el estudio la vía Jipijapa – El Anegado, por presentar hundimientos y elevaciones producidas por fallas en la subrasante debido a la presencia de arcillas y humedad, el 13.7% del proyecto se encuentra comprometido con esta falla.

Inicialmente se procedió a efectuar un inventario de cada uno de los tramos que conforman el Anillo Vial, con el fin de recopilar información necesaria para determinar el cálculo de los espesores de las capas de HCR y BAEC propuestos.

4.1.1. Medición de espesores de pavimentos.

Del estudio de factibilidad preparado por la Subsecretaría de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas se obtuvo la información referente a espesores.

Tabla 4.1 Medición de espesores de las capas del pavimento existente

PROYECTO	ABSCISA		REFUERZO	CARPETA	CAPA GRANULAR
	INICIO	FIN	mm	cm.	cm.
La Cadena - Montecristi	0+000	97+538	80	13,6	47,7
Manta - Y Crucita	0+000	27+600	60	18	43,5
Y Crucita - Crucita	0+000	11+590	40	21,2	43,3
Y Crucita - Portoviejo	27+600	35+000	25	18	41,7
Portoviejo - Manta	0+000	28+083	70	16,4	35,9
La Pila - Guayabal	0+000	5+388	120	7	42
Colimes - Paján	0+000	7+800	125	9	48

4.1.2. Conteo Vehicular

Se establecieron las siguientes estaciones de conteo, el mismo se realizó durante una semana:

- Manta – Portoviejo Ubicación Río de Oro
- Portoviejo – Crucita Ubicación Sosote
- Y de Crucita – Manta A continuación de Y a Jaramijó

- Montecristi – La Cadena Dos estaciones al finalizar La Pila y otra en el sector de Colimes

De dichos conteos se obtuvieron los resultados que en el siguiente cuadro se detallan:

Tabla 4.2 Resultado del conteo de vehículos

TRAMO	ESTACION	TPDS
Manta - Portoviejo	Río de Oro	7065
Portoviejo - Crucita	Sosote	5291
Y de Crucita - Manta	Desvío a Jaramijó	1482
Montecristi - La Cadena	La Pila	2535
	Colimes	2512

4.1.3. Composición de Tráfico

En lo referente a la clasificación, se las definió a los vehículos pesados como los camiones de 2, 3, 4, 5 y más ejes, a continuación se presenta la siguiente clasificación de tráfico de todas las categorías:

Tabla 4.3 Composición porcentual del tráfico

TRAMO	ESTACION	Livianos	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	+5ejes
Manta - Portoviejo	Río de Oro	74,15%	15,69%	2,09%	0,54%	3,76%	3,77%
Portoviejo - Crucita	Sosote	82,50%	13,10%	1,40%	0,20%	1,80%	1,00%
Y de Crucita - Manta	Desvío a Jaramijó	82,10%	6,80%	6,20%	0,20%	2,60%	2,10%
Montecristi - La Cadena	La Pila	64,77%	19,00%	3,18%	0,56%	6,93%	5,56%
	Colimes	64,77%	19,00%	3,18%	0,56%	6,93%	5,56%

La siguiente tabla muestra la cantidad de vehículos que se contó durante una semana (TPDS)

Tabla 4.4 Composición numérica del tráfico obtenida en una semana

TRAMO	ESTACION	Livianos	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	+5ejes
Manta - Portoviejo	Río de Oro	5239	1108	148	38	266	266
Portoviejo - Crucita	Sosote	4365	693	74	11	95	53
Y de Crucita - Manta	Desvío a Jaramijó	1217	101	92	3	39	31
Montecristi - La Cadena	La Pila	1642	482	81	14	176	141
	Colimes	1627	477	80	14	174	140

La siguiente tabla muestra la cantidad de vehículos que se obtuvo en promedio para un día (TPDA)

Tabla 4.5 Composición numérica del tráfico obtenida en un día

TRAMO	ESTACION	Livianos	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	+5ejes
Manta - Portoviejo	Río de Oro	748	158	21	5	38	38
Portoviejo - Crucita	Sosote	624	99	11	2	14	8
Y de Crucita - Manta	Desvío a Jaramijó	174	14	13	1*	6	4
Montecristi - La Cadena	La Pila	235	69	12	2	25	20
	Colimes	232	68	11	2	25	20

Las tasas de crecimiento se tabulan en el siguiente cuadro:

Tabla 4.6 Tasas de crecimiento

semestre	tasa	semestre	tasa	semestre	tasa	semestre	tasa	semestre	tasa
Jul-2007	1.18%	Jul-2012	1.25%	Ago-2017	1.48%	Jul-2022	1.21%	Jul-2027	1.93%
Ene-2008	1.19%	Ene-2013	1.26%	Ene-2018	1.50%	Ene-2023	1.73%	Ene-2028	1.95%
Jul-2008	1.20%	Jul-2013	1.28%	Jul-2018	1.52%	Jul-2023	1.75%	Jul-2028	1.97%
Ene-2009	1.20%	Ene-2014	1.31%	Ene-2019	1.55%	Ene-2024	1.78%	Ene-2029	1.99%
Jul-2009	1.10%	Jul-2014	1.33%	Jul-2019	1.57%	Jul-2024	1.80%	Jul-2029	2.02%
Ene-2010	1.22%	Ene-2015	1.36%	Ene-2020	1.59%	Ene-2025	1.82%	Ene-2030	2.04%
Jul-2010	1.22%	Jul-2015	1.38%	Jul-2020	1.62%	Jul-2025	1.84%	Jul-2030	2.04%
Ene-2011	1.23%	Ene-2016	1.40%	Ene-2021	1.64%	Ene-2026	1.87%		
Jul-2011	1.24%	Jul-2016	1.43%	Jul-2021	1.66%	Jul-2026	1.89%		
Ene-2012	1.25%	Feb-2017	1.45%	Ene-2022	1.69%	Ene-2027	1.91%		

4.1.3. Valores de C.B.R. calculado en base al módulo resiliente

El estudio del HCP de Manabí nos provee los siguientes valores

Tabla 4.7 Valores de Módulo Resiliente y CBR proporcionados por el HCP Manabí

PROYECTO	MODULO RESILIENTE SUBRASANTE (Kg/cm^2)	MODULO RESILIENTE SUBRASANTE (MPa)	C.B.R.(%)
LA CADENA - MONTECRISTI	203	20,30	14,50
MANTA - Y CRUCITA	146	14,60	10,43
Y CRUCITA - CRUCITA	133	13,30	9,50
Y CRUCITA - PORTOVIEJO	152	15,20	10,86
PORTOVIEJO - MANTA	194	19,40	13,86
LA PILA - GUAYABAL	106	10,60	7,57
COLIMES - PAJAN	128	12,80	9,14

4.2 Estudio de C.B.R. de campo (ASTM D 4429)

Con la finalidad de conocer el estado y la capacidad de soportar las cargas debido al tráfico que circula actualmente y en el futuro sobre la vía actual se procedió a realizar el ensayo de C.B.R. de campo según la norma ASTM D 4429 en dos tramos de la vía, Jipijapa – El Anegado y Montecristi – Portoviejo, que fueron escogidas por presentar los mayores problemas de estado del pavimento. Dichos valores encontrados son los puntos de partida para el cálculo de los espesores de la capa de BAEC y

de HCR para la estructuración del nuevo pavimento, a continuación se detallan los valores encontrados:

4.2.1 Estudio de CBR de campo realizado en el Tramo Jipijapa – El Anegado.

Tabla 4.8 Resultado del C.B.R. en El Anegado

ENSAYO CBR DE CAMPO	
UBICACION:	Entrada a El Anegado (0,0 Km).
MATERIAL:	Asfalto

PENETRACION mm	DIAL DE CARGA	CARGA kg	ESFUERZO MPa
0.64	86.0	303.9	1.5
1.27	164.0	566.5	2.7
1.91	238.0	815.6	3.9
2.54	286.0	977.1	4.7
3.18	331.0	1128.6	5.5
3.81	360.0	1226.2	5.9
4.45	384.0	1307.0	6.3
5.08	404.0	1374.4	6.7
5.72	417.0	1418.1	6.9
6.35	428.0	1455.1	7.0
6.99	437.0	1485.4	7.2
7.62	445.0	1512.4	7.3
8.26	452.0	1535.9	7.4
8.89	461.0	1566.2	7.6

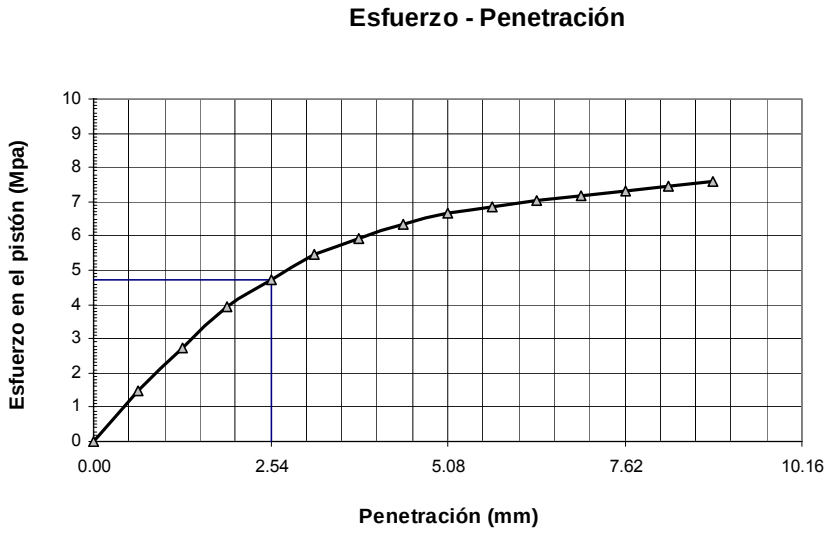

FIGURA 4.5 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 4.7 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 68%

Tabla 4.9 Resultado del C.B.R. en 0,7 Km. al sur de El Anegado

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	0,7 Km. al sur de El Anegado		
MATERIAL:	Base Granular Chorrillo		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	70.0	250.1	1.2
1.27	148.0	512.6	2.5
1.91	214.0	734.8	3.6
2.54	260.0	889.6	4.3
3.18	304.0	1037.7	5.0
3.81	341.0	1162.3	5.6
4.45	369.0	1256.5	6.1
5.08	395.0	1344.1	6.5
5.72	413.0	1404.7	6.8
6.35	423.0	1438.3	7.0
6.99	432.0	1468.6	7.1
7.62	433.0	1472.0	7.1
8.26	438.0	1488.8	7.2

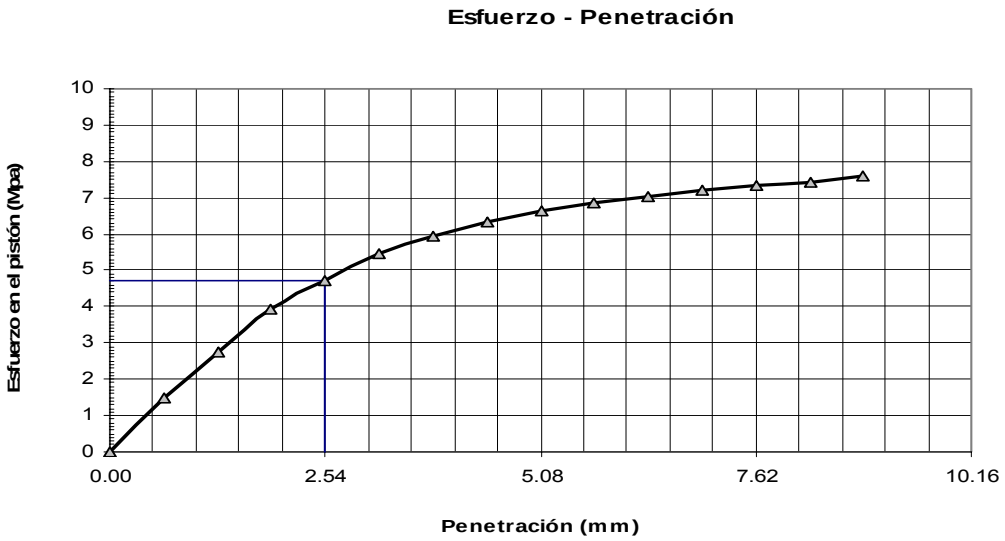

FIGURA 4.6 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 4.3 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 62%

Tabla 4.10 Resultado del ensayo de C.B.R. en Los Vergeles

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	Los Vergeles (4 Km. al sur de El Anegado)		
MATERIAL:	Base granular de Chorrillo		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA Kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	104.0	364.5	1.8
1.27	185.0	637.2	3.1
1.91	259.0	886.3	4.3
2.54	316.0	1078.1	5.2
3.18	373.0	1270.0	6.1
3.81	421.0	1431.6	6.9
4.45	454.0	1542.7	7.5
5.08	493.0	1673.9	8.1
5.72	524.0	1778.3	8.6
6.35	550.0	1865.8	9.0

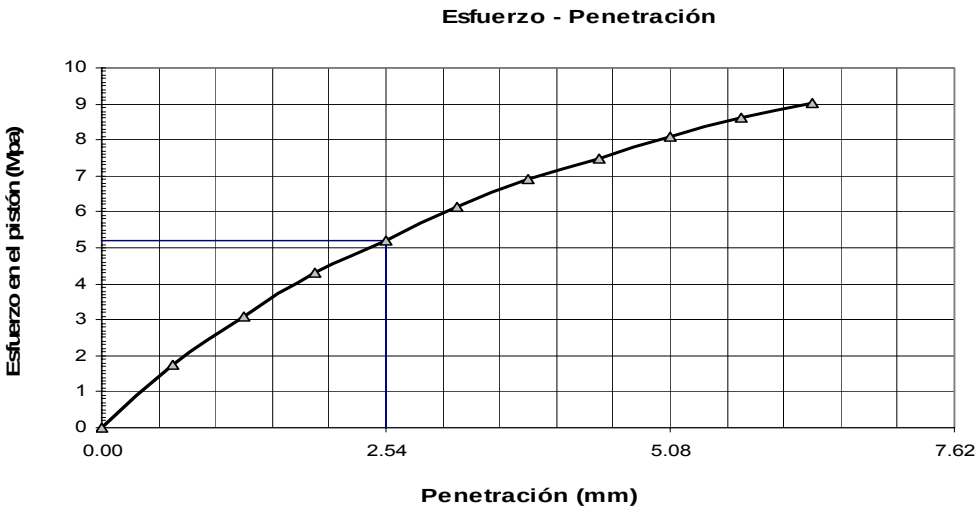

FIGURA 4.7 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 5.2 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 75%

Tabla 4.11 Resultado del C.B.R. en Sta. Teresita

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	Santa Teresita (13 Km. al sur de El Anegado)		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA Kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	140.0	485.7	2.4
1.27	236.0	808.8	3.9
1.91	314.0	1071.4	5.2
2.54	382.0	1300.3	6.3
3.18	440.0	1495.5	7.2
3.81	491.0	1667.2	8.1
4.45	535.0	1815.3	8.8

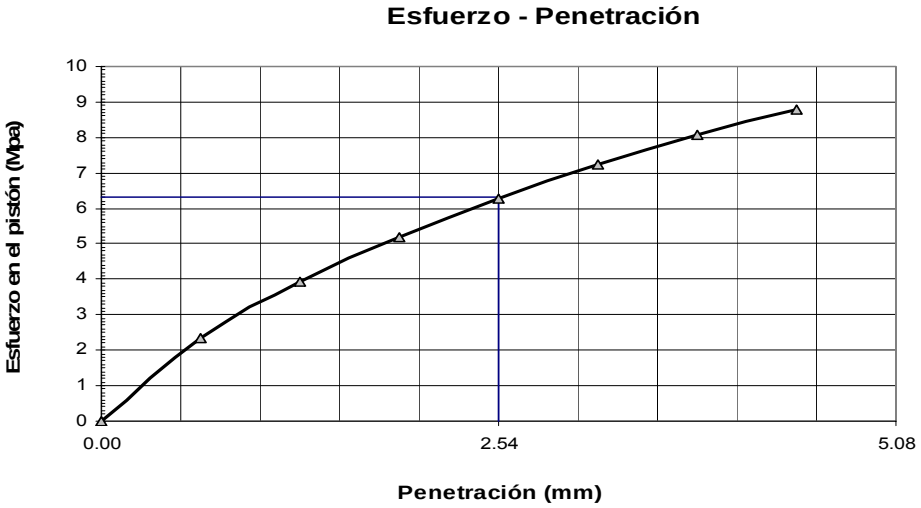

FIGURA 4.8 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 6.3 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 91%

Tabla 4.12 Resultado del C.B.R. en 0,8 Km. al norte de El Anegado

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	+ 0,8 Km. al norte de El Anegado		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	115.0	401.5	1.9
1.27	240.0	822.3	4.0
1.91	365.0	1243.1	6.0
2.54	485.0	1647.0	8.0
3.18	515.0	1748.0	8.5
3.81	538.0	1825.4	8.8

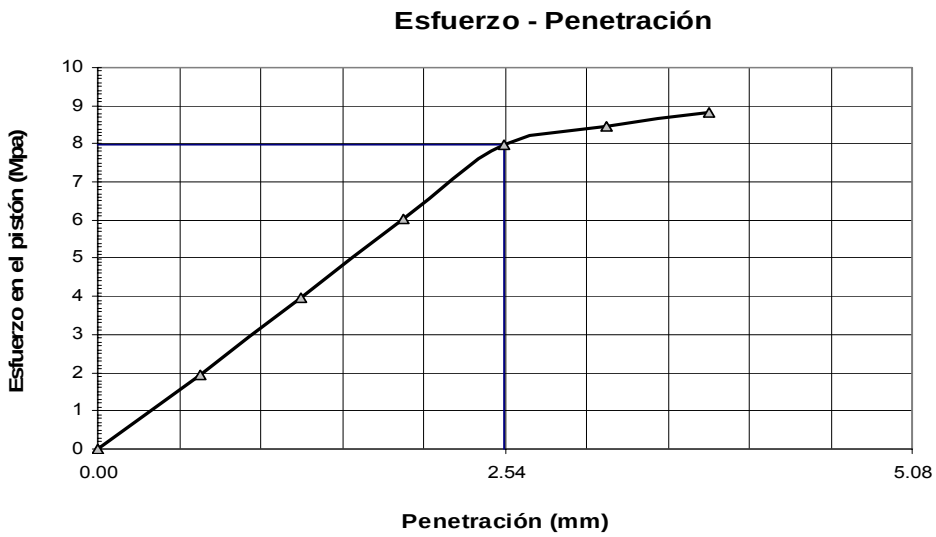

FIGURA 4.9 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 8.0 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 116%

Tabla 4.13 Resultado del ensayo de C.B.R. en El Anegado

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	+ 2,2 km. Al norte de El anegado		
MATERIAL**:**	Base sobre arcilla (base contaminada)		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	56.0	202.9	1.0
1.27	108.0	378.0	1.8
1.91	145.0	502.5	2.4
2.54	174.0	600.1	2.9
3.18	194.0	667.5	3.2
3.81	209.0	718.0	3.5
4.45	218.0	748.3	3.6
5.08	228.0	781.9	3.8
5.72	233.0	798.7	3.9

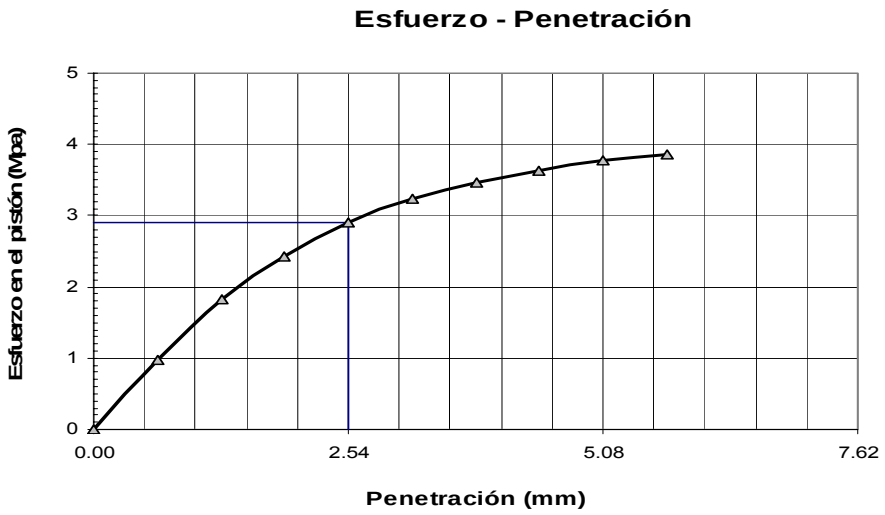

FIGURA 4.10. Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 2.9 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 42%

4.2.2 Estudio de CBR de campo realizado en el Tramo Montecristi – Portoviejo.

Tabla 4.14 Resultado del C.B.R. Montecristi 1.5 Km. al este

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	1,5 km. al Este de Montecristi (Estación de Gasolina)		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	166.0	573.2	2.8
1.27	296.0	1010.8	4.9
1.91	412.0	1401.3	6.8
2.54	509.0	1727.8	8.4
3.18	597.0	2024.0	9.8

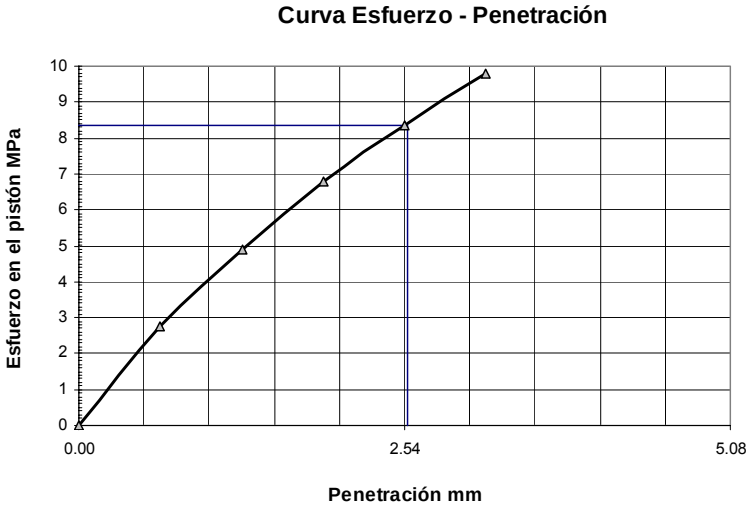

FIGURA 4.11 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 8.3 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 121%

Tabla 4.15 Resultado del C.B.R. Montecristi 4.0 Km. al este

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	4,0 km. al Este de Montecristi (Planta de Gas)		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	123.0	428.5	2.1
1.27	221.0	758.4	3.7
1.91	322.0	1098.3	5.3
2.54	417.0	1418.1	6.9
3.18	488.0	1657.1	8.0
3.81	559.0	1896.1	9.2
4.45	625.0	2118.3	10.3

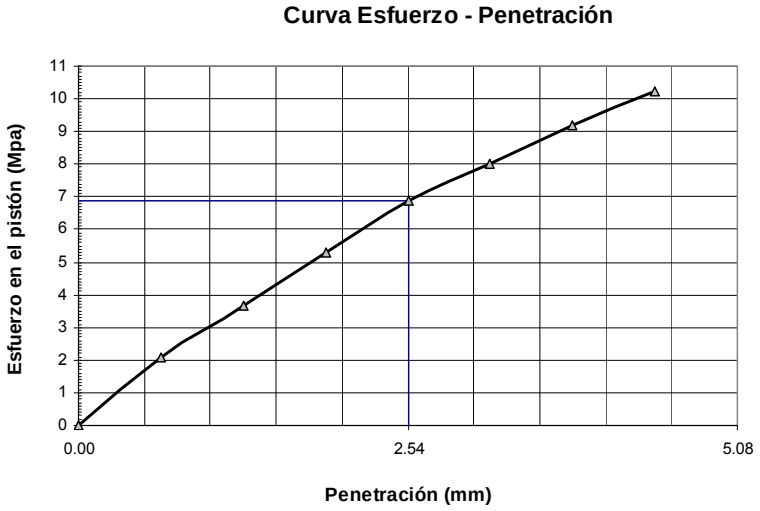

FIGURA 4.12 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 6.9 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 100%

Tabla 4.16 Resultado del C.B.R. Montecristi 6.7 Km. al este

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	6,7 km. al Este de Montecristi		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	178.0	613.6	3.0
1.27	310.0	1057.9	5.1
1.91	416.0	1414.7	6.8
2.54	506.0	1717.7	8.3
3.18	592.0	2007.2	9.7
3.81	670.0	2269.7	11.0

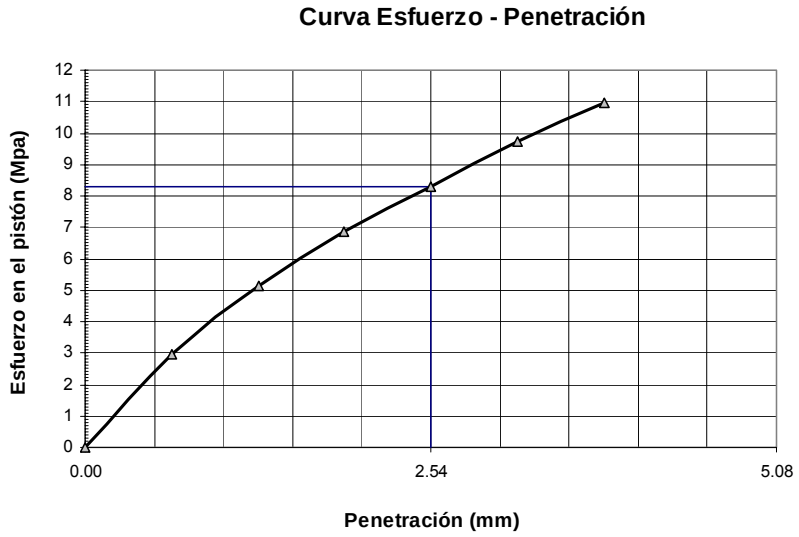

FIGURA 4.13 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 8.28 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 120%

Tabla 4.17 Resultado del C.B.R. Montecristi 9.0 Km. al este

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	+9,0 km. al Este de Montecristi (Las Palmas)		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	201.0	691.0	3.3
1.27	320.0	1091.6	5.3
1.91	420.0	1428.2	6.9
2.54	498.0	1690.8	8.2
3.18	574.0	1946.6	9.4
3.81	648.0	2195.7	10.6
4.45	708.0	2397.7	11.6

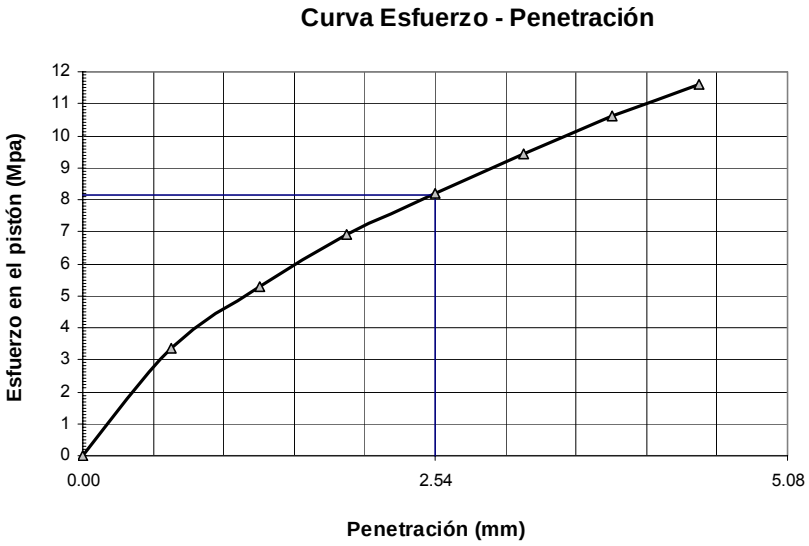

FIGURA 4.14 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 8.2 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 118%

Tabla 4.18 Resultado del C.B.R. Montecristi 11.3 Km. al este

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	+11,3km. al Este de Montecristi (Cruce a La Pila)		
MATERIAL:	Asfalto (Fisura)		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0,64	91,0	320,8	1,6
1,27	182,0	627,1	3,0
1,91	272,0	930,0	4,5
2,54	355,0	1209,4	5,9
3,18	425,0	1445,0	7,0
3,81	482,0	1636,9	7,9
4,45	536,0	1818,7	8,8
5,08	578,0	1960,1	9,5

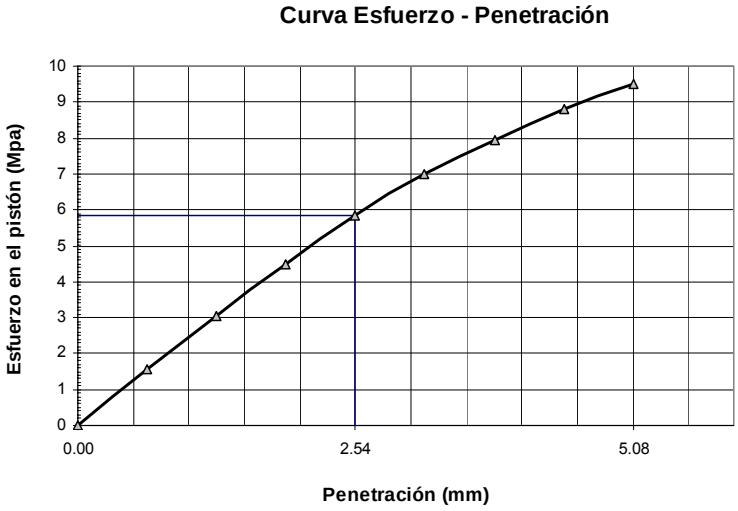

FIGURA 4.15 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm de penetración = 5.9 Mpa.
Penetración de 2.54 mm CBR = 85%

Tabla 4.19 Resultado del C.B.R. Montecristi 14.0 Km. al este

ENSAYO CBR DE CAMPO			
UBICACION:	+14,0 km. al Este de Montecristi (Autopista)		
MATERIAL:	Asfalto		
PENETRACION mm	**DIAL DE CARGA**	**CARGA kg**	**ESFUERZO MPa**
0.64	47.0	172.6	0.8
1.27	153.0	529.5	2.6
1.91	262.0	896.4	4.3
2.54	403.0	1371.0	6.6
3.18	505.0	1714.3	8.3
3.81	575.0	1950.0	9.4

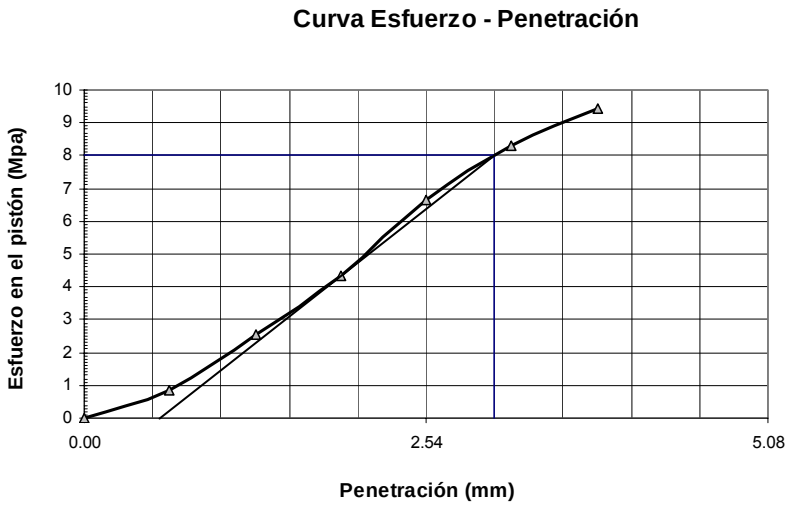

FIGURA 4.16 Curva esfuerzo deformación

Esfuerzo correspondiente a 2.54 mm (corregido) de penetración = 8.0 Mpa.

Penetración de 2.54 mm (corregido) CBR = 116%

4.3. Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado

Con la finalidad de conocer un poco más del comportamiento del material presente en la zona y obenter información adicional a la obtenida por el CBR se procedió a tomar muestras de suelo y se obtuvo la siguiente información:

Tabla 4.20 Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado

Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado		
Límite Líquido	55,10	%
Límite Plástico	27,76	%
Índice de Plasticidad	27,34	%
Límite de Contracción	9,76	%
Gravedad Específica	2,43	
G expansión	26,06	T/m2

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS SOBRE BAEC Y HCR

A continuación se detallan los resultados obtenidos de los ensayos descritos en los capítulos 2 y 3, en donde se incluyen tanto las curvas granulométricas, mezclas granulométricas, las curvas obtenidas de los ensayos proctor que sirven para determinar el diseño patrón de la BAEC y de HCR, posteriormente se adjuntan los resultados del desarrollo de las resistencias obtenidas por las muestras de la BAEC y de HCR a distintas edades mediante ensayos destructivos.

5.1 Ensayos para BAEC

5.1.1 Granulometrías (ASTM C136).

Con el fin de obtener la mezcla apropiada se realizó ensayos granulométricos para determinar el porcentaje en que cada agregado participará en la mezcla de BAEC

5.1.1.1 Granulometría material base clase 1A retenido en 3/8”

TABLA 5.1 Resultado de granulometría material base clase 1A retenido 3/8”

Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	parcial (g)	parcial %	acumulado %	acumulado %
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.	2645.0	7	7	93
25 mm	1 in.	9145.0	24	31	69
19 mm	3/4 in.	10920.0	28	59	41
12.5 mm	½ in.	9405	25	84	16
9.5 mm	3/8 in.	3575.0	9	93	7
4,75 mm	No. 4	750.0	2	95	5
2,36 mm	No. 8	---	---	---	---
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		1911.0	5	100	0
Módulo de finura :				**7.5**	

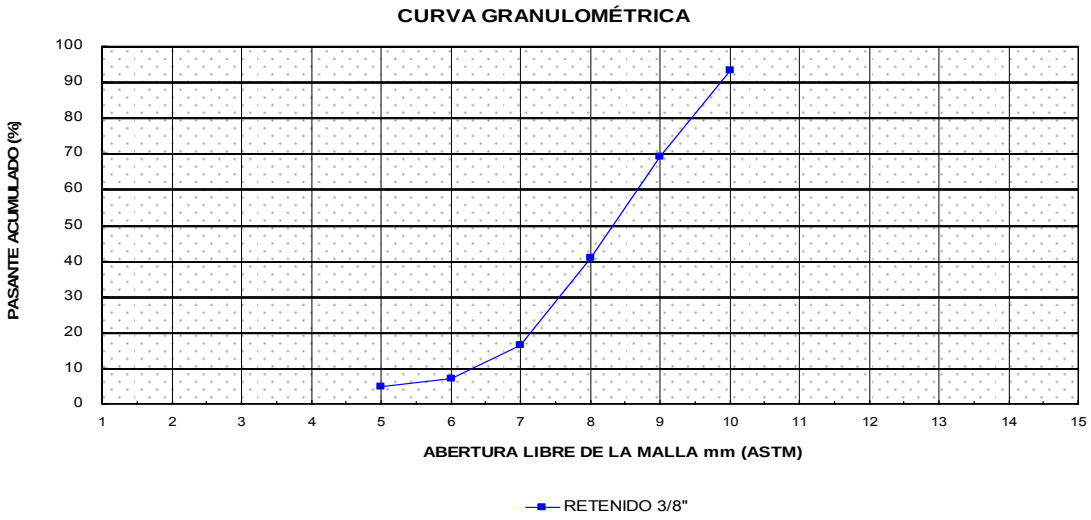

FIGURA 5.1 Curva granulométrica de material base clase 1A retenido 3/8”

5.1.1.2 Granulometría material de base clase 1A pasante de 3/8”

TABLA 5.2 Resultado de granulometría material base clase 1A pasante 3/8”

Tamiz INEN	Tamiz ASTM	Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
9,50 mm	3/8 in.	8.0	1	1	99
4,75 mm	No. 4	191.0	12.4	13	87
2,36 mm	No. 8	401.0	26	39	61
1,18 mm	No. 16	245.0	16	55	45
600 µm	No. 30	168.0	11	66	34
300 µm	No. 50	143.0	9	75	25
150 µm	No. 100	305.0	20	95	5
BANDEJA		81.0	5	100	0
			MÓDULO DE FINURA:	**3.4**	

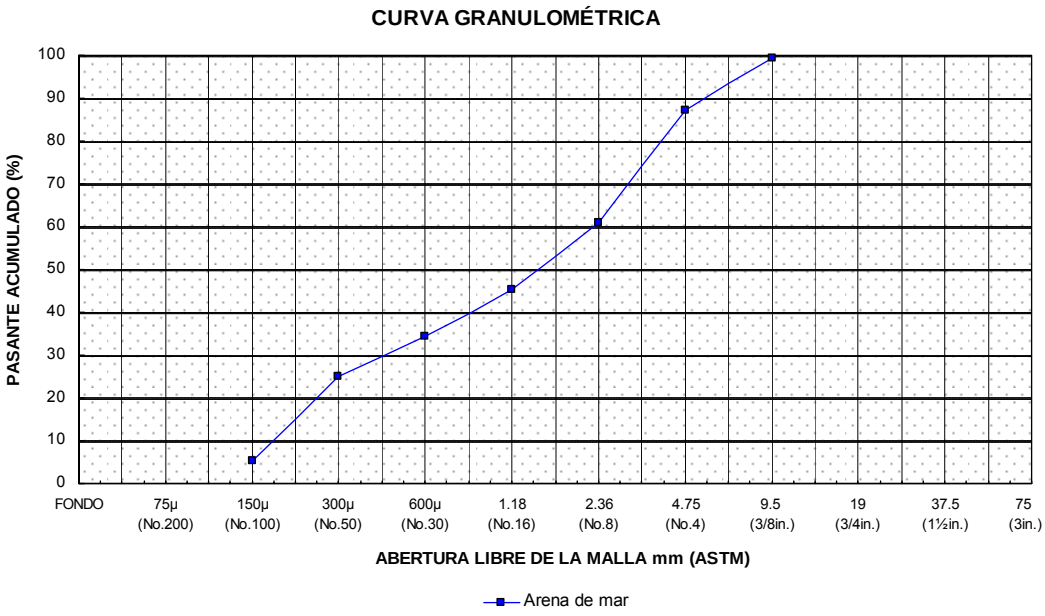

FIGURA 5.2 Curva granulométrica de material base clase 1A pasante 3/8”

5.1.1.3 Combinación granulometría de los materiales

TABLA 5.3 Dosificación con 4% de cemento

Dosificación	Kg/m^3	Contenido de agregados
Cemento IP (HE):	88	
Material retenido 3/8”	947	45,0%
Material pasante 3/8”	1158	55,0%
Polyheed RI	1% del contenido de cemento	

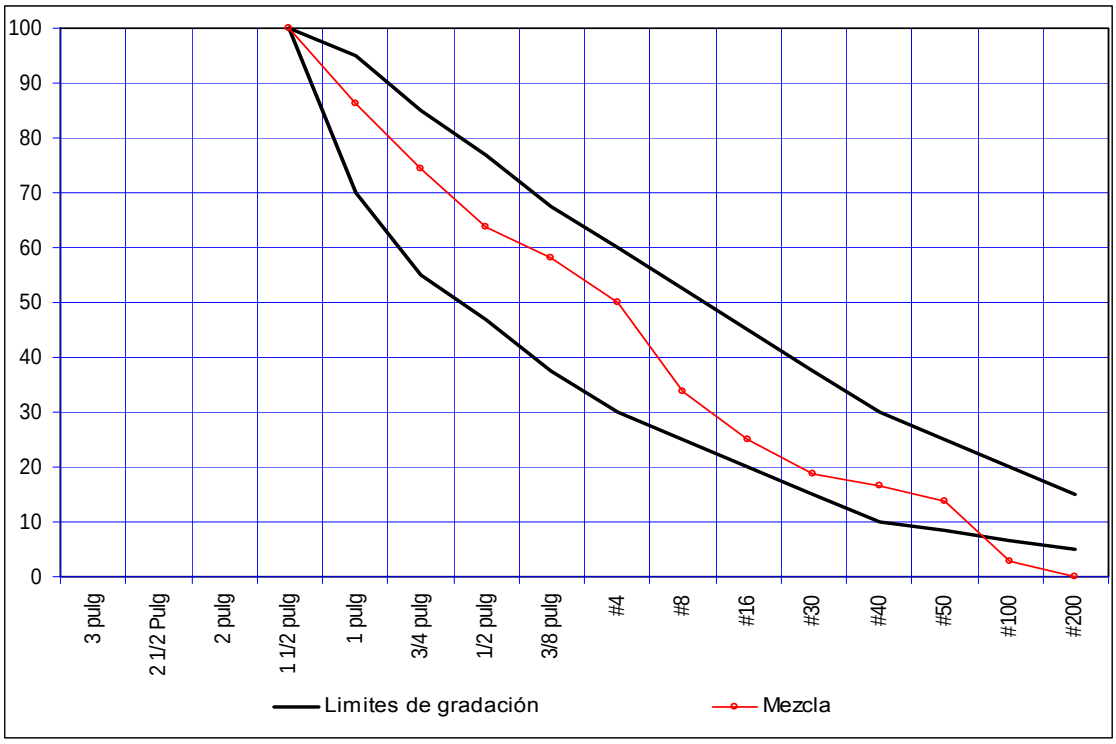

FIGURA 5.3 Combinación Granulométrica para BAEC

5.1.2. Compactación Próctor Estándard (ASTM D558).

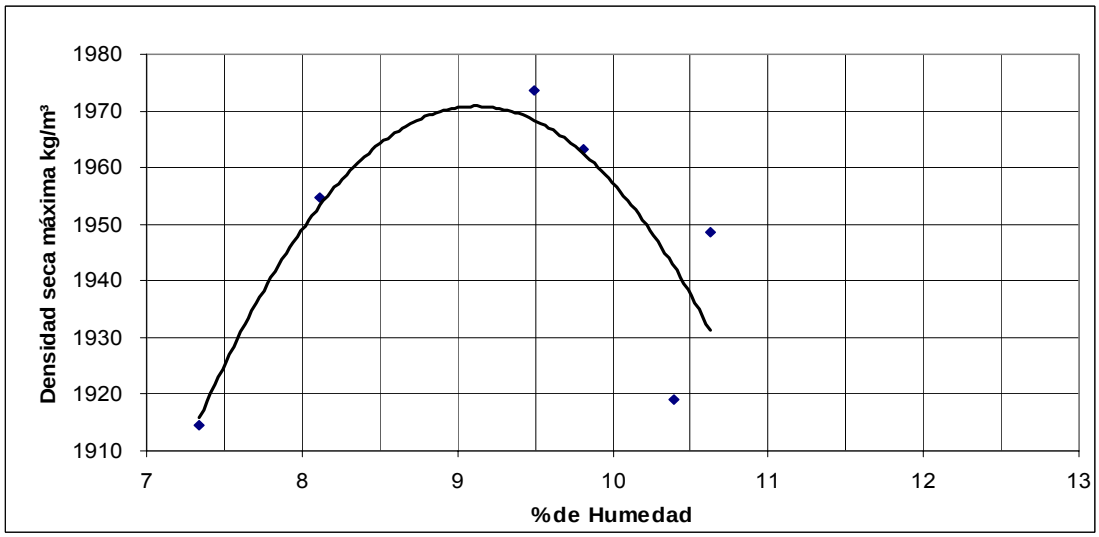

FIGURA 5.4 Curva densidad máx. vs. % humedad
Humedad óptima: 9 %

5.1.3. Resistencia mecánica.

5.1.3.1 Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en muestras de BAEC a 7 días (4% de cemento) y diferentes porcentajes de agua

TABLA 5.4 Resultados del ensayo de compresión simple en muestras de BAEC

Humedad %	EDAD	DIAM. mm	ALTURA mm	Peso Kg.	Área mm ^{2}	DENSIDAD Kg./m^3	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)
4	7	102	118	1.940	8167.1	2013	9.96	1.22
5		102	118	1.990	8167.1	2064.91	20.63	2.53
6		102	118	2.035	8167.1	2111.60	25.04	3.07
6,5		102	118	2.025	8167.1	2101.23	21.56	2.64
7		102	118	2.000	8167.1	2075.29	19.47	2.38
7,5		102	118	2.000	8167.1	2075.29	21.79	2.67

5.1.3.2. Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en muestras de BAEC a diferentes edades (4% de cemento)

TABLA 5.5 Resultados del ensayo de compresión simple en muestras de BAEC

No. Muestra	EDAD	DIAM. mm	ALTURA mm	PESO kg	AREA mm^2	DENSIDAD kg/m^3	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO
1	3	102	118	2.015	8171.3	2089.79	16.69	2.04	1.47
2		102	118	1.985	8171.3	2058.68	7.41	0.91	
3	7	102	118	2.035	8171.3	2110.53	22.49	2.75	2.45
4		102	118	1.990	8171.3	2063.86	17.62	2.16	
5	14	100	117	2.058	7854	2239.60	38.96	4.96	4.53
6		100	116	2.023	7854	2220.64	32.23	4.10	
7	28	100	116	2.021	7854	2218.46	30.61	3.90	5.61
8		100	116	2.080	7854	2283.05	57.52	7.32	

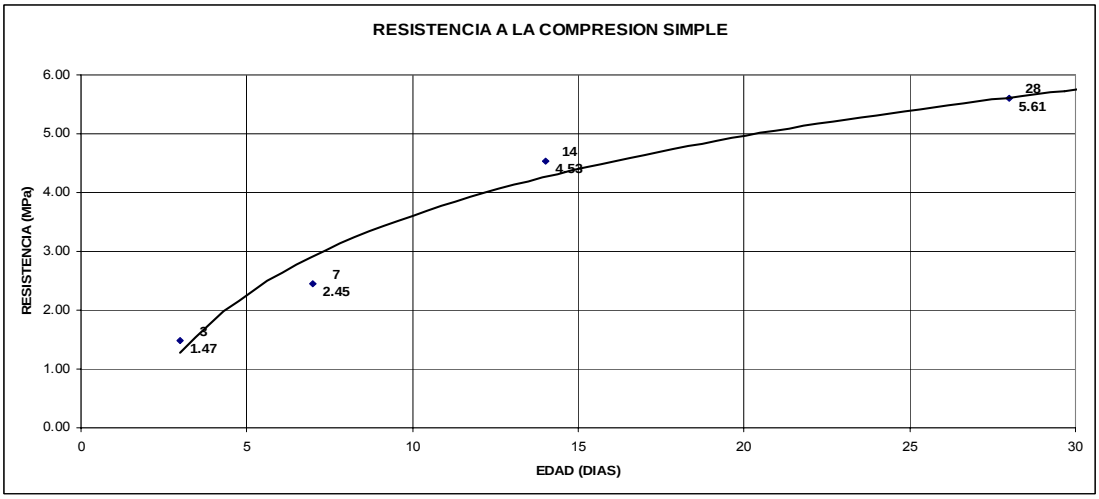

FIGURA 5.5 Desarrollo de resistencia obtenida por la BAEC (4% de cemento)

TABLA 5.6 Dosificación con 5% de cemento

Dosificación	Kg/m^3	Contenido de agregados
Cemento IP (HE):	120	
Material retenido 3/8”	947	45,0%
Material pasante 3/8”	1158	55,0%
Polyheed RI	1% del contenido de cemento	

5.1.3.3 Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM D1633) en muestras de BAEC a diferentes edades (5% de cemento)

TABLA 5.7 Resultados del ensayo de compresión simple en muestras de BAEC

No. Muestra	EDAD	DIAM. mm	ALTURA mm	PESO kg	AREA mm^2	DENSIDAD kg/m^3	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO
1	7	100.6	117.9	2.262	7948.5	2413.75	46.38	5.84	6.20
2		101.67	114.6	2.188	8118.5	2351.73	53.34	6.57	
3	14	102	118	2.035	8171.3	2110.53	47.31	5.79	5.85
4		102	118	1.990	8171.3	2063.86	48.24	5.90	
5	28	101.4	115	2.210	8075.4	2379.74	50.56	6.26	6.26
6		101.4	115	2.220	8075.4	2390.50	50.56	6.26	
7	90	101	115	2.165	8011.8	2349.78	75.38	9.41	9.35
8		101	117	2.225	8011.8	2373.62	74.46	9.29	

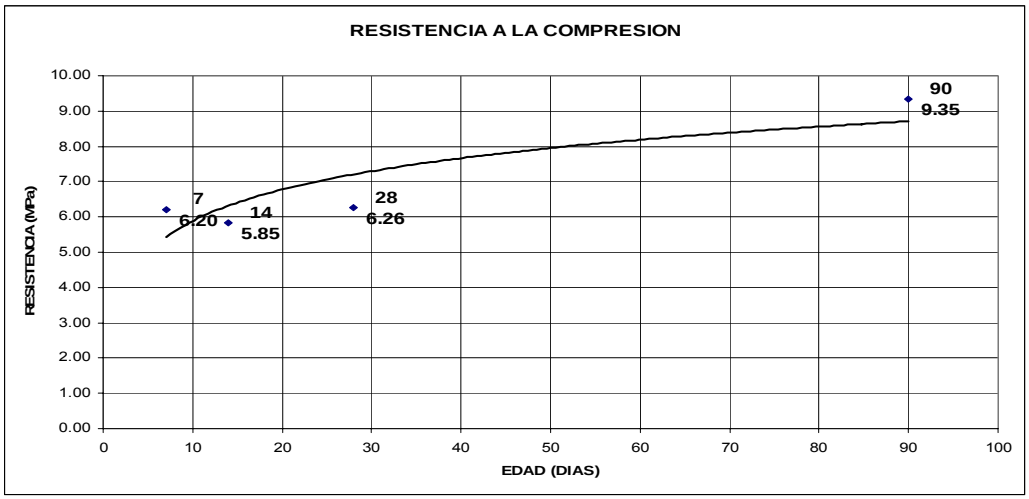

FIGURA 5.6 Desarrollo de resistencia obtenida por la BAEC (5% de cemento)

5.2 Ensayos para HCR

5.2.1 Granulometrías (ASTM C136).

Con el fin de obtener la mezcla apropiada se realizó ensayos granulométricos para determinar el porcentaje en que cada agregado participará en la mezcla de HCR

5.2.1.1 Granulometría basalto piedra No. 6 - TM. 19 mm.

TABLA 5.8 Resultado de granulometría basalto piedra No.6

Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	parcial (g)	parcial %	acumulado %	acumulado %
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.	0.0	0	0	100
19 mm	3/4 in.	846.0	9	9	91
12.5 mm	½ in.	5076	56	65	35
9.5 mm	3/8 in.	2281.0	25	90	10
4,75 mm	No. 4	821.0	9	99	1
2,36 mm	No. 8	---	---	---	---
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		84.0	1	100	0
Módulo de finura :				**7.0**	

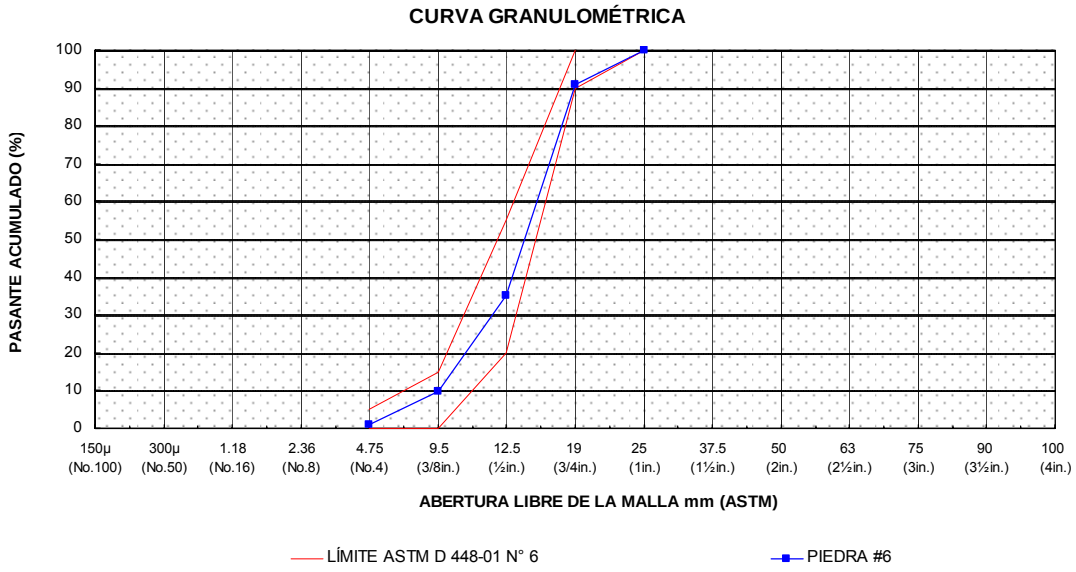

FIGURA 5.7 Curva granulométrica basalto piedra No. 6

5.2.1.2 Granulometría basalto piedra No. 7 - TM. 12 mm.

TABLA 5.9 Resultado de granulometría basalto piedra No.7

Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	parcial (g)	parcial %	acumulado %	acumulado %
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	3/4 in.	0.0	0	0	100
12.5 mm	½ in.	405	5	5	95
9.5 mm	3/8 in.	1521.0	19	23	77
4,75 mm	No. 4	4976.0	61	84	16
2,36 mm	No. 8	1180.0	14	99	1
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
BANDEJA		120.0	1	100	0
			Módulo de finura :	**6.1**	

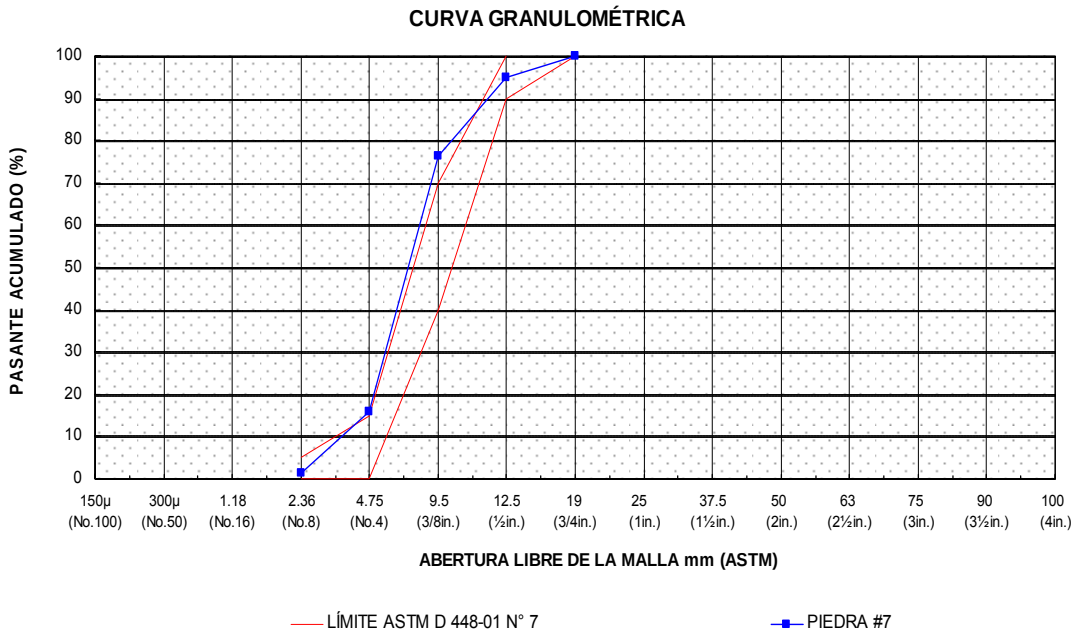

FIGURA 5.8 Curva granulométrica basalto piedra No.7

5.2.1.3 Granulometría arena de trituración homogenizada.

TABLA 5.10 Resultado de arena de trituración homogenizada.

Tamiz INEN	Tamiz ASTM	Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	3.5	0	0	100
2,36 mm	No. 8	283.0	18	18	82
1,18 mm	No. 16	429.0	27	45	55
600 µm	No. 30	275.0	17	63	37
300 µm	No. 50	201.0	13	75	25
150 µm	No. 100	279.0	18	93	7
BANDEJA		112.0	7	100	0
			MÓDULO DE FINURA :	**2.9**	

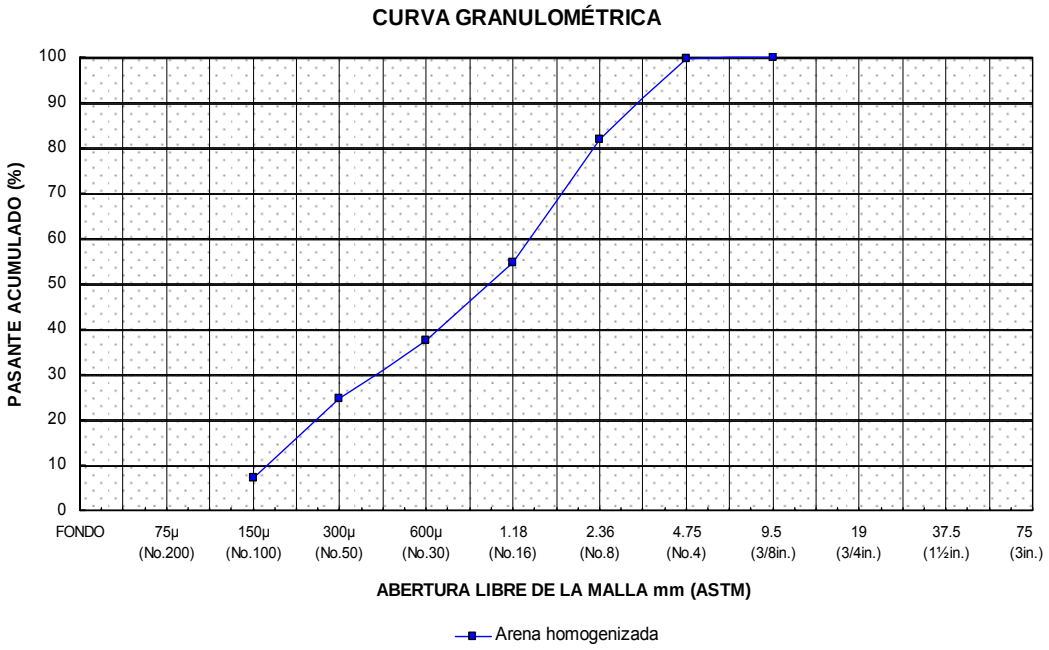

FIGURA 5.9 Curva granulométrica de arena de trituración

5.2.1.4 Granulometría arena natural de mar.

TABLA 5.11 Resultado de granulometría de arena natural de mar

Tamiz INEN	Tamiz ASTM	Retenido parcial (g)	Retenido parcial %	Retenido acumulado %	Pasante acumulado %
9,50 mm	3/8 in.	17.0	1	1	99
4,75 mm	No. 4	27.5	1.8	3	97
2,36 mm	No. 8	46.0	3	6	94
1,18 mm	No. 16	80.0	5	11	89
600 µm	No. 30	67.0	4	16	84
300 µm	No. 50	314.0	21	37	63
150 µm	No. 100	804.0	54	90	10
BANDEJA		146.0	10	100	0
			MÓDULO DE FINURA :	**1.6**	

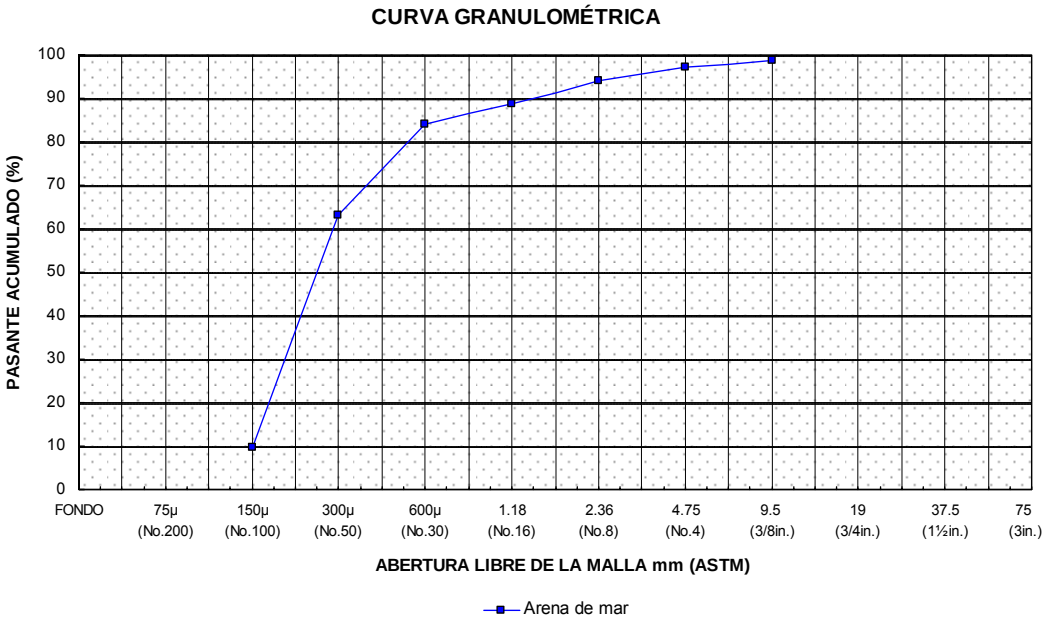

FIGURA 5.10 Curva granulométrica de arena de natural de mar

5.2.1.5 Combinación granulométrica de los materiales

TABLA 5.12 Dosificación para HCR

Dosificación	Kg/m^3	Contenido de agregados
Cemento IP (HE):	300	
Piedra No. 6	494	26,0%
Piedra No. 7	304	16,0%
Arena triturada:	855	45,0%
Arena natural de mar:	247	13,0%
Polyheed RI	1% del contenido de cemento	

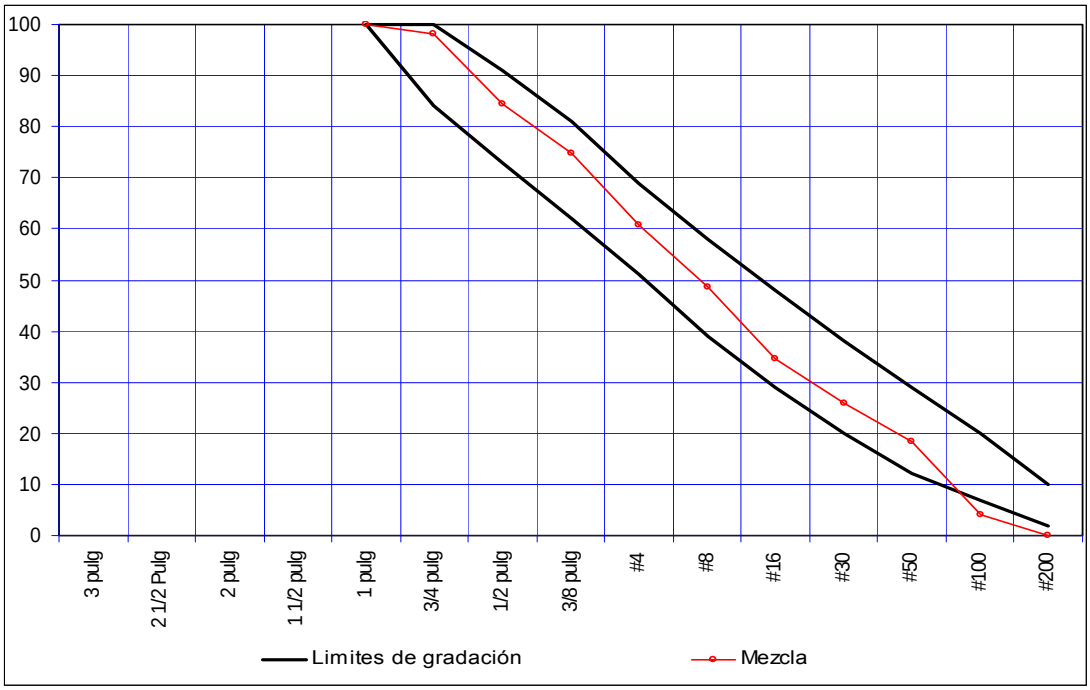

FIGURA 5.11 Combinación Granulométrica ACI 325.10R

5.2.2. Compactación Próctor Modificada (ASTM D1557).

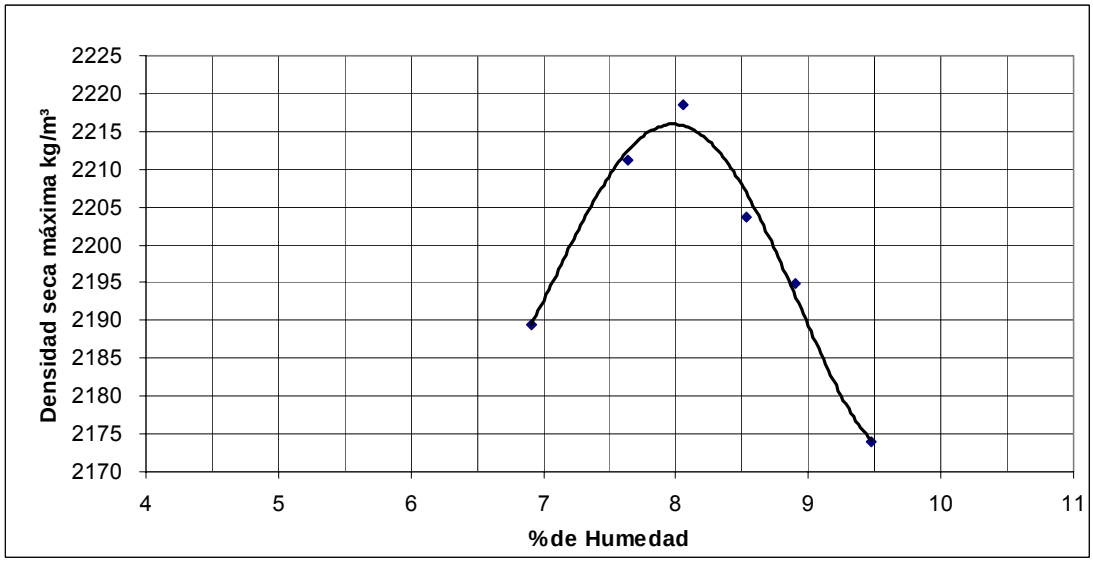

FIGURA 5.12 Curva densidad máx. vs. % humedad
Humedad óptima 8%

5.2.3. Resultados de los ensayos de resistencia mecánica del HCR.

5.2.3.1 Resultados del ensayo de compresión simple (ASTM C39) en muestras de HCR a distantes edades.

TABLA 5.13 Resultados de compresión simple en HCR

No. Muestra	EDAD	DIAMETRO Mm	ALTURA mm	Peso Kg.	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
1	3	102	202	3.965	130.80	16.01	15.52
2		102	201	3.940	122.80	15.03	
3	7	99	202	3.975	174.80	22.71	20.74
4		99	204	4.005	144.50	18.77	
5	28	150	302	13.105	571.70	32.35	32.62
6		149	301	12.095	573.40	32.88	
7	90	150	297	13.040	813.00	46.01	44.37
8		150	297	13.040	755.00	42.72	

FIGURA 5.13 Desarrollo de resistencia obtenida por el HCR

5.2.3.2 Resultados del ensayo de flexión (ASTM C78) en muestras de HCR.

TABLA 5.14 Resultados de flexión en HCR

MUESTRA	EDAD	ANCHO mm	ALTURA mm	L mm	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
1	3	152	154	450	24.15	3.01	3.05
2		98.22	153	450	15.73	3.08	
3	7	154	156	450	39.22	4.68	4.54
4		154	154	450	35.78	4.37	
5	28	157	156	450	42.93	5.06	5.20
6		154	154	450	43.35	5.34	

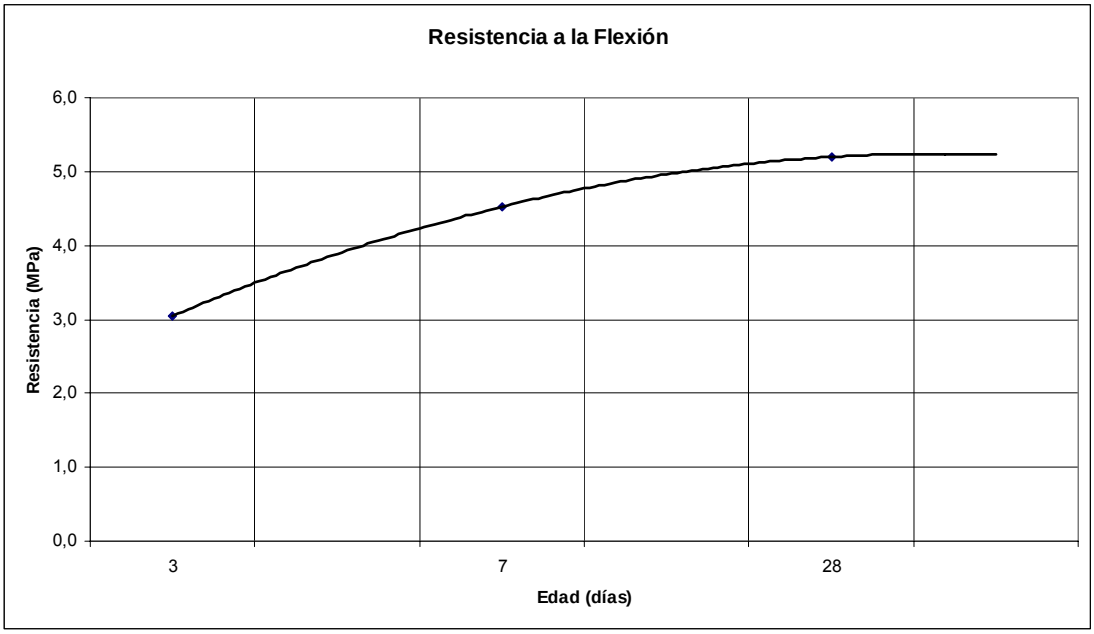

FIGURA 5.14 Desarrollo de resistencia a la flexión obtenida por el HCR

5.2.3.3. Resultados del ensayo de tracción por compresión diametral (ASTM C496) en muestras de HCR.

TABLA 5.15 Resultados del ensayo T.C.D. en HCR

No. Muestra	EDAD	DIAM. mm	ALTURA mm	Peso kg	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
1	28	149	299	12.875	220.00	3.14	2.87
2		149	302	12.935	182.90	2.59	

Luego de realizadas las pruebas de laboratorio se tiene la siguiente dosificación para su uso en la BAEC, cuyo resistencia a la compresión simple a los 7 días es 6.20 MPa y que cumple con la especificación ACI 230.1R que muestra que una resistencia a la compresión de 6 MPa permite que todas las mezclas cumplan con los requisitos de durabilidad (satisfacen prueba ASTM D559 y D560) y se muestra en la siguiente gráfica:

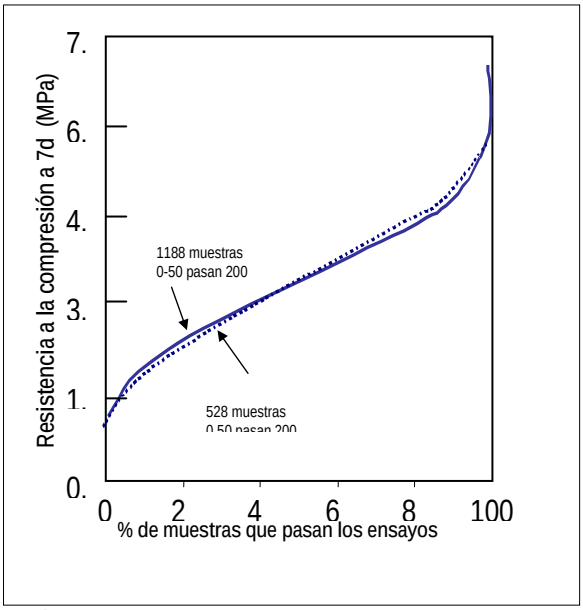

FIGURA 5.15 Gráfico de resistencias VS porcentajes de muestras que pasan pruebas ASTM D559 y D560

Así se tiene la dosificación para la BAEC:

TABLA 5.16 Dosificación para BAEC

Dosificación	Kg/m^3
Cemento IP (HE):	120
Material retenido 3/8”	947
Material pasante 3/8”	1158
Polyheed RI :	1.20

De igual forma la dosificación para HCP, que cumple con la condición de que su Módulo de Rotura (MR) a los 28 días sea mayor o igual a 4.5 MPa es la que a continuación se muestra cuyo MR a los 28 días es 5.20 MPa

TABLA 5.17 Dosificación para HCR

Dosificación	Kg/m^3
Cemento IP (HE):	300
Piedra No. 6	494
Piedra No. 7	304
Arena triturada:	855
Arena natural de mar:	247
Polyheed RI :	3

CAPÍTULO 6

6. DETERMINACIÓN DE ESPESORES

6.1 DETERMINACION DE ESPESOR DE BAEC

Para determinar el espesor de la BAEC se utilizó el ábaco recomendado por la PCA, para el cual necesitamos conocer el número de repeticiones que circularán por la vía en cuestión y para esto debemos conocer el tráfico promedio diario y el proyectado, período de diseño, factor de crecimiento y el módulo de reacción (k) de la subrasante, para lo cual se procede de la siguiente manera

6.1.1. Valor K de reacción de la subrasante

Existen algunas correlaciones empíricas que permiten correlacionar el valor de k con el valor de CBR:

$k = 2{,}55+52{,}5*LOG(CBR)$ CBR ≤10%*

$k = 46+9{,}08*LOG(CBR)^{4,34}$ CBR >10%*

*Ing. Mauricio salgado torres M.Sc.

Del estudio realizado por la prefectura de Manabí, tabla 4.7 y de los ensayos de CBR de campo se tiene un valor de CBR = 7.57% de la vía sujeto de estudio, de forma conservadora se usará un valor de CBR igual a 7% que de acuerdo a la fórmula expuesta nos da un valor "k" igual a 4.79 Kg/cm^3

6.1.2. Número diario de repeticiones (A) de la carga de rueda simple

De la tabla 4.5 del capítulo 4 tenemos los siguientes datos:

Tabla 6.1 Composición numérica del tráfico obtenida en un día

TRAMO	ESTACION	Livianos	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	+5ejes
Manta - Portoviejo	Río de Oro	748	158	21	5	38	38
Portoviejo - Crucita	Sosote	624	99	11	2	14	8
Y de Crucita - Manta	Desvío a Jaramijó	174	14	13	1‡	6	4
Montecristi - La Cadena	La Pila	235	69	12	2	25	20
	Colimes	232	68	11	2	25	20

Con la finalidad de trabajar con un número de vehículos equivalentes al camión de 8.2 T se realizó la siguiente conversión:

Vehículos livianos = 0.25† Camión de 8.2 Ton

Camión de 3 ejes = 3.76' Camiones de 8.2 Ton

Camión de 4 ejes = 6.73' Camiones de 8.2 Ton

Camión de 5 ejes = 4.40' Camiones de 8.2 Ton

Camión de +5 ejes = 4.72' Camión de 8.2 Ton

'Valores obtenido de la investigación realizada en Colombia y publicado en el libro "Pavimentos. Guía para la orientación de una cátedra" de VÁSQUEZ TORRES, Luis Carlos.
†Ing. Juan Pablo Falconí y Asterio Coronel, Estudios Y Diseños De Alternativas Para La Rehabilitacion Del Tramo De Via Lago Interseccion Con Via Principal Espol Solucion Y Reubicacion De La Tuberia De Agua Potable Existente

Luego de aplicar los factores tenemos:

Tabla 6.2 Total de vehículos equivalentes a camión de 8.2 Ton

TRAMO	Total equivaletes a 8,2 TON
Manta - Portoviejo	808
Portoviejo - Crucita	400
Y de Crucita - Manta	159
Montecristi - La Cadena	390
	386

6.1.3. Período de Diseño (Per)

La rehabilitación de la vía de proyecto para ésta alternativa será estimada para un periodo de diseño de 30 años, tiempo durante el cual deberá responder efectivamente ante las solicitaciones de tráfico impuestas sobre ella

Per = 30 años

6.1.4. Crecimiento de Tráfico Anual (r)

Según tabla 4.6 del capitulo 4 referente al crecimiento del tráfico anual (r) de forma conservadora se puede establecer que:

Crecimiento de Tráfico Anual (r) = 2%

6.1.5. Factor de Crecimiento de Tráfico Anual (F)

La siguiente expresión permite calcular el factor de crecimiento de Tráfico Anual:

$$F = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1}{\frac{r}{100}}$$

Para un factor de crecimiento r = 2 y número de años n = 30 tenemos que:

F = 40.57

6.1.6. Número de repeticiones de la carga de vehículos de 8.2 Toneladas durante el período de diseño (NR)

La cantidad de solicitaciones de carga impuestas por el tráfico durante el período de diseño se calcula como sigue:

$$\text{NR} = \text{Per} * \text{A} * 365 * \left(1 + \frac{F}{100}\right)$$

Con lo que se obtiene:

Tabla 6.3 Repeticiones equivalentes a camión de 8.2 Ton

TRAMO	Repeticiones
Manta - Portoviejo	12437194
Portoviejo - Crucita	6163275
Y de Crucita - Manta	2449531
Montecristi - La Cadena	6000785
	5946340

Obtenidos estos valores se procede a obtener el espesor de BAEC utilizando los valores críticos de k y del número de repeticiones

k = 4.79 Kg/cm^3; N = 12437194

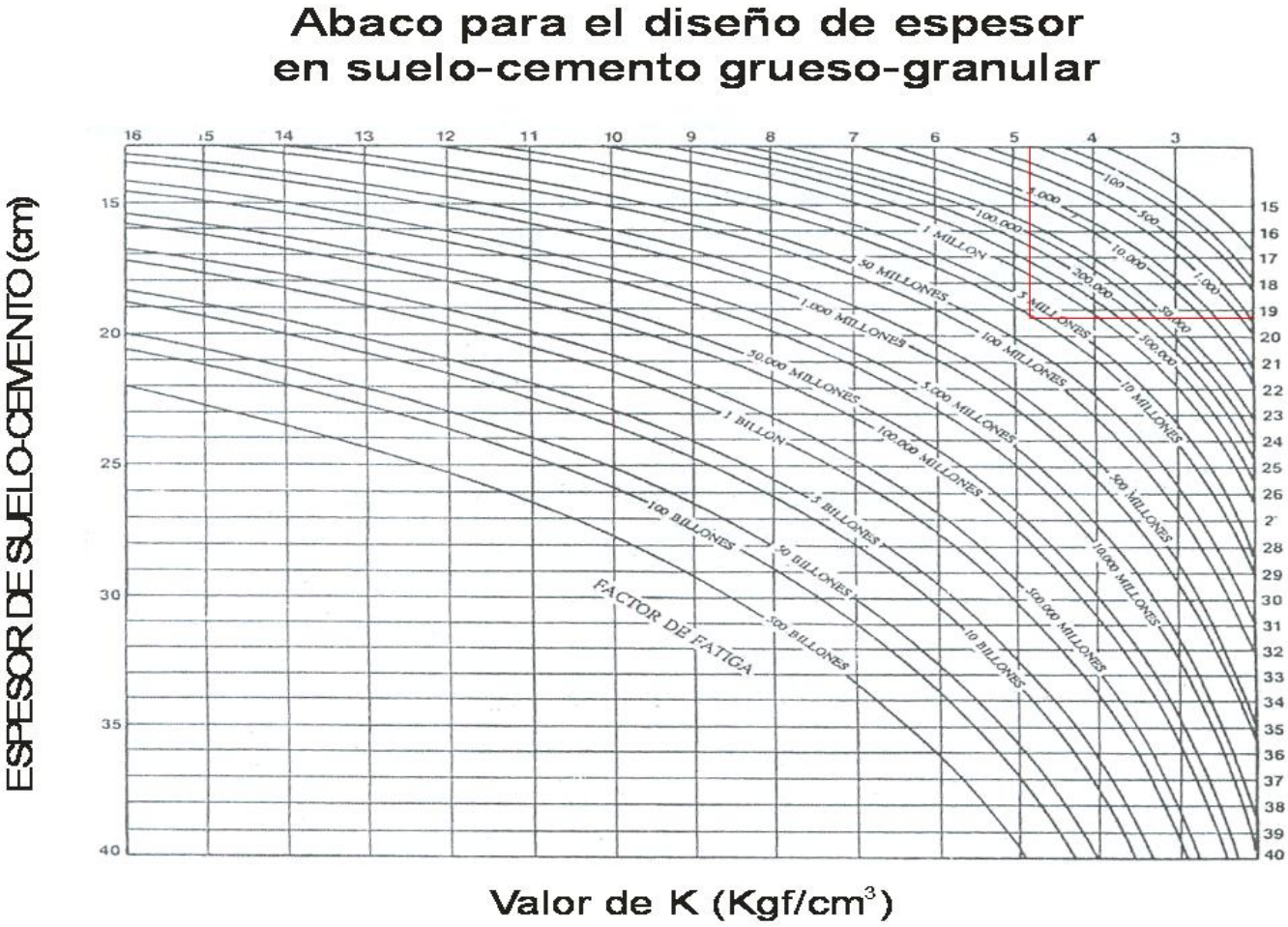

Figura 6.1. Ábaco para determinar el espesor de BAEC en función del valor k de la subrasante y del Número de repeticiones (NR)

De la gráfica se obtiene un espesor aproximado de 19 cm, pero para efectos constructivos se propone que sea de 20 cm

6.2 DETERMINACION DE ESPESOR DE HCR

Para determinar el espesor del HCR se utilizó una hoja electrónica usada en el CTH basada en las ecuaciones de Whestergard en la cual necesitamos conocer ciertos datos tales como número de repeticiones, módulo de rotura del hormigón, módulo de elasticidad, presión de inflado, carga por eje, distancia entre centro de llantas y módulo de reacción combinado de capas inferiores a la losa de pavimento

DATOS:

6.2.1. Módulo de Elasticidad (E)

El Módulo de Elasticidad del HCP para éste proyecto se puede eterminar mediante la ayuda de la siguiente expresión matemática como se explicó anteriormente:

$E=C3*(\sigma'b)^{0.5}$

Considerando que el HCR de nuestro diseño sea 31.2 MPa. Por lo tanto:
$E = C3*(\sigma'b)^{0.5}$; asumir C3 = 4900

$E = 4900*(31.2)^{0.5}$MPa

E = 27369.91 MPa

De donde se asume E = 27000 MPa

6.2.2 Coeficiente de Poisson (μ)

De acuerdo a las propiedades mecánicas del HCP es posible mencionar que:

μ = 0.15

6.2.3 Módulo de Reacción de la Subrasante (k)

Se usa el mismo valor “K” de la subrasante obtenido para el cálculo de la BAEC.

Luego, la carpeta de rodadura de HCR estará apoyada sobre una capa de base estabilizada con cemento de espesor igual a 20 cm, por lo tanto, el módulo de reacción "k" corresponde a la combinación entre la BAEC y la subrasante.

La tabla 6.4. permite incrementar el valor de "k" cuando la capa de rodadura de HCR se apoya sobre una sub-base granular estabilizada con cemento como se presenta en esta propuesta.

Tabla 6.4 Valores del módulo "k" en función de la Base granular cementada

Valor "k" de la subrasante (MPa/m)	Valor "k" en función del espesor de la subbase tratada con cemento, en MPa/m			
	0,10 m	0,15 m	0,225 m	0,30 m
13.5	46	62.5	84	106
27	76	108.5	141	174
54	127.5	174	225	----

Realizando la respectiva interpolación se tiene que para la combinacion de una subrasante con un valor K = 4.79 Kg/cm^3 (46.92 MPa/m) y una capa de BAEC de 20 cm es igual a 183.6 MPa/m

Por lo tanto:

Módulo de Reacción de la Subrasante (K) = 183 MPa/m

6.2.4 Máxima Carga de Rueda Simple

Considerando que los vehículos pesados son los que rigen el diseño de éste pavimento, la carga de rueda doble de un camión de 8.2 T es entonces la carga de rueda de diseño, lo que corresponde:

Carga por llanta = 0.021MN

6.2.5 Presión de Inflado de Neumáticos (p)

Se asumirá que la rueda simple aceptada en el diseño tenga la siguiente presión de inflado (valor crítico):

presión de Inflado (p) = 0.70 MPa

6.2.6 Número de Ruedas (N)

Luego del conteo, clasificación y conversión a un solo tipo de vehículo de 8.2 Ton se tiene que:

Número de ruedas= 6 de donde

Número de ruedas en eje trasero = 4

6.2.7 Separación entre los Centros de las Ruedas (s)

De la figura 6.2 se puede observar que para la configuración de ruedas doble en el diseño existe separación entre ellas

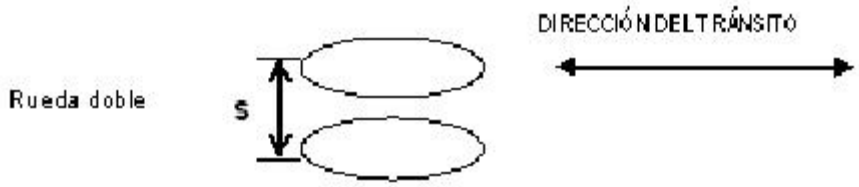

Figura 6.2 Configuración de eje simple rueda doble en cada punta

Separación entre los centros de las ruedas (s) = 0.5 m

6.2.8 Módulo de Rotura del HCP

De los ensayos de laboratorio de obtuvo que el Módulo de rotura de la mezcla de HCP a la edad de 28 días es igual a 5.2 MPa, pero de forma conservadora se tomará un módulo de rotura igual a 4.5 MPa que es el valor que corresponde a la resistencia de diseño

6.2.9 Número de repeticiones de la carga de rueda simple durante el período de diseño (NR)

La cantidad de solicitaciones de carga impuestas por el tráfico durante el período de diseño es la misma usada para el diseño de espesor de la BAEC.

NR = 12437194

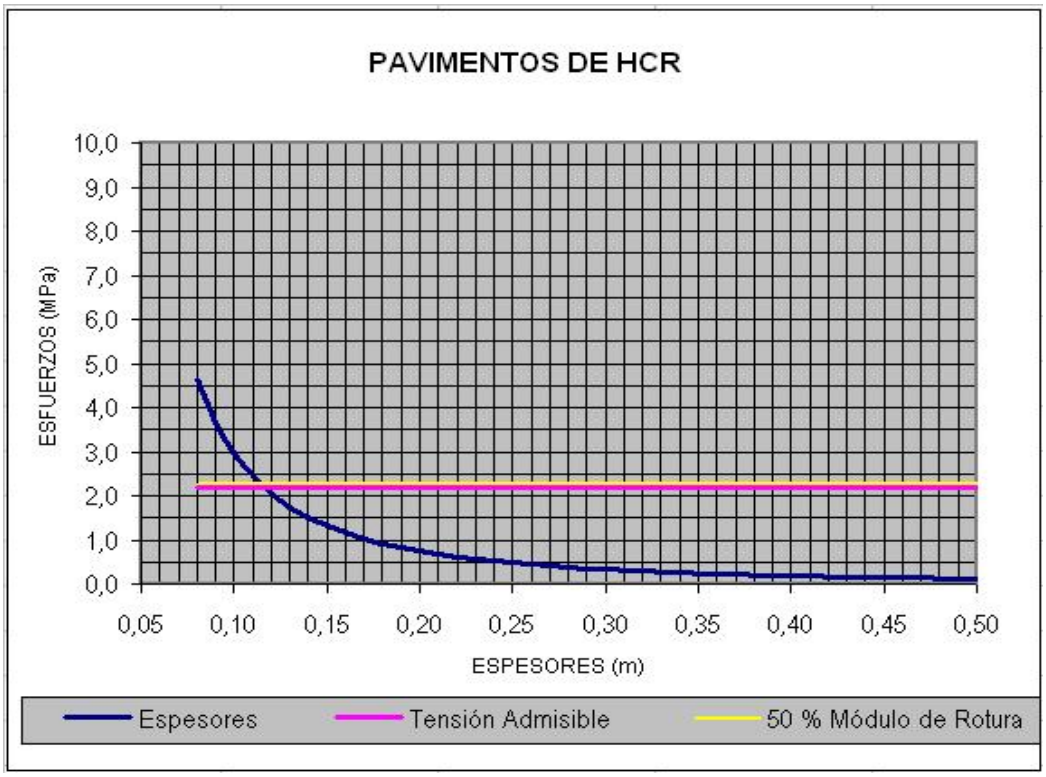

Figura 6.3 Determinación de espesor de HCR[6]

[6] Hoja electrónica facilitada por el CTH

De los cálculos realizados se concluye con el siguiente diseño:

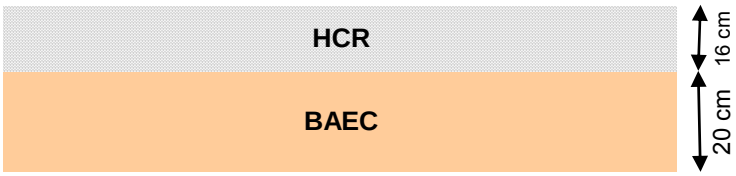

Figura 6.4 Estructura del pavimento

Se obtuvo un espesor de 19 cm. pero para efectos constructivos se usará un espesor de 20 cm. para BAEC debido al número de repeticiones que soportará

el pavimento durante el período para el cual fue diseñado y el módulo de reacción de la subrasante en función de su valor de CBR.

Usando la información referente al tráfico, características del vehículo de diseño, resistencia del hormigón, módulo de reacción de la subrasante más la BAEC trabajando en conjunto, y del uso de la hoja electrónica se obtuvo un espesor de HCR de 12 cm. pero se usará un espesor de 16 cm. que es el mínimo recomendado por el ACI.

6.3. ANALISIS DE COSTOS

Para determinar el costo de la construcción de la vía con HCR y BAEC se tiene:

Tabla 6.5 Valores correspondientes a la construcción del pavimento usando HCR y BAEC

Base estabilizada	$/ton	$/m^3	Espesor (m)	$/m^2
Base granular (95%)	4,66	21,69	0,20	4,34
cemento (5%)	5,25			
Total BAEC	9,91			
HCR		85	0,16	13,60
HCR + BAEC		128,38		17,94

Y si lo comparamos con otros tipos de pavimentos, se tiene:

Tabla 6.6 Tabla comparativa de costos entre varios tipos de pavimentos[7]

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE PAVIMENTOS

CENTRO TECNICO DEL HORMIGON

Tasa de actualización (%) 3

Período de Diseño (años) 30

TIPO DE PAVIMENTO		espesor cm	unidad	precio unitario US$	costo unitario por m2 US$/m^2	costo de construcción US$/m^2 [1]	costo de mantenimiento 30 años US$/m^2 [2]	costo de reconstrucción US$/m^2 [3]	costo total (1+2+3) US$/m^2 [4]	valor residual US$/m^2 [5]	costo final total (4-5) US$/m2 [6]
A1	Carpeta asfáltica	**8**	m^3	**110,00**	8,80	**20,00**	2,35	19,01	**41,36**	8,00	**33,36**
	Base pétrea	**20**	m^3	**20,40**	4,08						
	Subbase pétrea	**40**	m^3	**17,80**	7,12						
A2	Carpeta asfáltica	**6**	m^3	**110,00**	6,60	**22,20**	2,18	10,47	**34,85**	11,10	**23,75**
	Base asfáltica	**10**	m^3	**84,80**	8,48						
	Subbase pétrea	**40**	m^3	**17,80**	7,12						
C1	Losa de hormigón tradicional	**20**	m^3	**116,00**	23,20	**25,87**	1,52	0,00	**27,39**	15,52	**11,87**
	Subbase pétrea	**15**	m^3	**17,80**	2,67						
C2	Hormigón compactado	**18**	m^3	**85,00**	15,30	**17,97**	1,06	0,00	**19,03**	10,78	**8,24**
	Subbase pétrea	**15**	m^3	**17,80**	2,67						
	Carpeta asfáltica	**2,5**	m^3	**110,00**	2,75	**20,72**	1,42	3,57	**25,71**	11,40	**14,31**
C3	Hormigón compactado	**18**	m^3	**85,00**	15,30						
	Subbase pétrea	**15**	m^3	**17,80**	2,67						
	Carpeta asfáltica	**2,5**	m^3	**110,00**	2,75						
C4	Hormigón compactado	**16**	m^3	**85,00**	13,60	**19,60**	1,15	2,76	**23,51**	11,76	**11,75**
	Subbase estabilizada	**15**	m^3	**21,69**	3,25						

[7] **Estudio realizado por el Centro Técnico del Hormigón**

La configuración del pavimento C4 es el tipo de pavimento que se propone en esta tesis, para el cuadro comparativo se hizo el cálculo para una tasa de crecimiento anual de 2% y un TPDA = 5000 con la siguiente composición:

Vehículos livianos: 2800

Buses : 750

Camiones : 1450

Para esta comparación el espesor de BAEC disminuye dado que las condiciones de tráfico lo permiten; se realizó este cambio a fin de poder realizar la respectiva comparación.

El espesor correspondiente de HCR para estas condiciones de tránsito es 12 cm., pero por recomendación del ACI el espesor mínimo es de 16 cm., con esto se tiene un espesor mayor al necesitado y a menor costo.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Luego de realizado el ensayo próctor estándar para BAEC se determino que el porcentaje de humedad óptimo es 9 %

La cantidad de cemento que nos permite alcanzar una resistencia de 6 MPa a los 7 días, con lo que cumple con los requisitos de durabilidad, es de 5%

El criterio de durabilidad de la BAEC permite predecir que soportará los períodos de lluvia

El espesor propuesto para soportar las solicitudes de tráfico es de 20 cm

Luego de realizado el ensayo próctor modificado para HCR se determino que el porcentaje de humedad óptimo es 8 %

Luego de los cálculos y comprobaciones realizadas se puede determinar que la dosificicación expermimentada es la que nos permite superar los 4.5 MPa de resistencia a la flexión

Con las pruebas de flexión realizadas a las vigas a diferentes edades se demuestra que un pavimento realizado con HCR puede ser abierto al tráfico en un tiempo menor que un hormigón convencional.

El espesor propuesto deHCR para soportar las solicitudes de tráfico es de 16 cm

La compactación juega un rol importante en la intención de alcanzar máximas resistencias, una compactación deficiente podría perjudicar al tiempo de vida útil del pavimento, ya que la si base no es bien compactada la capa de HCR no tendría un apoyo rígido y se fisuraría, mientras que si la capa de HCP no es bien compactada, no soportaría las cargas para las que fue diseñada.

7.2 Recomendaciones

Desde el punto de vista constructivo se podría escarificar la actual capa de agregados unos 25 cm, con lo que la capa de 15 cm restantes sería la subrasante.

Tanto para la BAEC y HCR se deberá disponer de la cantidad necesaria de volquetas para su colocación con el fin de evitar retrasos y los inconvenientes que esto podría traer.

Antes de iniciar y luego de terminar la jornada de trabajo se deberá revisar los equipos para evitar inconvenientes durante el trabajo.

Disponibilidad de arena cercana a la obra para colocarla sobre la capa de emulsión asfáltica que servirá para el curado de la capa de HCR

Evitar la circulación de vehículos y de personas durante la colocación de la BAEC o del HCR y del corte de juntas (HCR)

No demorar más de 1.5 horas entre mezcla y elaboración de especímenes de BAEC y HCP

Continuar investigaciones en BAEC y HCR con diferentes agregados y con cementos con diferentes adiciones puzolánicas

Fijar como meta para diseños de BAEC alcanzar resistencia a la compresión simple de 6 Mpa (7 días)

Realizar el conteo de los vehículos durante diferentes períodos de tiempo

BIBLIOGRAFÍA

ADAM M. NEVILLE, Tecnología del concreto, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP), Serie Monografías n. 013.

CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016

CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Diseño Estructural de Pavimentos de Hormigón Compactado con Rodillo, Serie Monografías n. 003

CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, El Hormigón Compactado con Pavimentadora y el “ Fast Track” trabajando en conjunto para la construcción de autopistas, Serie Monografías n.017.

ING AGUIRRE HERRERA MARIA V., Susceptibilidad Al Deslizamiento De Los Suelos Y Rocas De La Provincia De Manabí.

ING VELASCO OCHOA CRISTIAN A., Propiedades Mecánicas De Un Diseño De Hormigon Compactado Con Pavimentadora Y Fast Track Trabajando En Conjunto.

ING CORONEL CAMATON ASTERIO R., FALCONI SOTOMAYOR JUAN P., Estudios Y Diseños De Alternativas Para La Rehabilitación Del Tramo De Vía Lago Intersección Con Vía Principal ESPOL, Solución Y Reubicación De La Tubería De Agua Potable Existente.

ING. MAURICIO SALGADO TORRES M.SC., Diseño de Pavimentos, La Subrasante

ING VÁSQUEZ TORRES LUIS CARLOS., Pavimentos. Guía para la orientación de una cátedra

STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARESE, Y JUSSARA TANESI, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association.

ASTM C39/C39M-03, Standard test method for compressive strength cylindrical concrete specimens.

ASTM C78-02, Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third – point loading).

ASTM C136-01, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.

ASTM C496/C496M-04, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete.

ASTM C1435-99, Standard practice for molding roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer.

ASTM D1557-02, Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort.

ASTM D1633-02, Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders.

ESTUDIO VIAL DEL HONORABLE CONSEJO PROVINCIAL DEL MANABI SOBRE EL ESTADO DE SUS VIAS