

T-UES
1501
C2127
2000
EJ. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
INGENIERIA CIVIL



**RESTAURACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON
LECHADAS DE CEMENTO PÓRTLAND. (SLURRY)**

PRESENTADO POR:

ALEX ODIR CANALES MOLINA

EDGAR MAURICIO HERNANDEZ AYALA

PAUL DANNY ROSALES DIAZ

15101783
15101783

PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO CIVIL



5028

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTORA :

DRA. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LCDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

SECRETARIO :

ING. SAUL ALFONSO GRANADOS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURAN

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**RESTAURACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON
LECHADAS DE CEMENTO PÓRTLAND. (SLURRY)**

Presentado por :

**ALEX ODIR CANALES MOLINA
EDGAR MAURICIO HERNÁNDEZ AYALA
PAUL DANNY ROSALES DIAZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador :

ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

Asesores Externos :

ING. RAFAEL ALEJANDRO GONZALEZ MAGAÑA

ING. JOSE ROBERTO DOUGLAS LEMUS

San Salvador, Diciembre de 2000.

Trabajo de Graduación aprobado por:

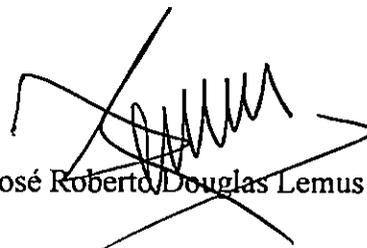
Coordinador :


Ing. José Miguel Landaverde Quijada

Asesor Externo :


Ing. Rafael Alejandro González Magaña

Asesor Externo :


Ing. José Roberto Douglas Lemus



AGRADECIMIENTOS GENERALES

A la Universidad de El Salvador, por habernos formado en esta maravillosa carrera.

A nuestro coordinador, Ing. José Miguel Landaverde y asesores Ing. Rafael Alejandro González e Ing. Roberto Douglas Lemus, por habernos instruido y orientado durante todo el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto(ISCYC) y la empresa Consultora Técnica S. A.(CONTECSA), por su valiosa colaboración en este trabajo de graduación.

Al Ing. Ignacio Francés, Ing. Rogelio Godinez, Lic. Rigoberto García, Ing. Lesly Mendoza, Ing. Herber Herrera Coello, Ing. Jorge Hernández y al Ing. Edgar Gavidia, por su valiosa ayuda desinteresada.

Al Ing. Tulio Pineda, por ayudarnos, apoyarnos y habernos brindado su apreciada amistad.

Al Ing. José Antonio Huezo, propietario de la Empresa Constructora H. O. S. A. de C. V. , por su valiosa colaboración y ayuda desinteresada.

A nuestros amigos, César Villalta, Enrique Sánchez, Luis Chorro, Carlos Somoza, Francisco Fuentes y Carlos Trejo, por su gran ayuda incondicional.

A Emiliano, por su colaboración en el servicio del laboratorio.

Odir, Edgar y Danny

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por el don de la vida, por darme sabiduría, por su ilimitado amor y por no haberse apartado de mi lado. A él sea todo el poder, el honor y la gloria.

A mis padres, Isabel Canales y Encarnación de Canales por haberme apoyado en todo momento, por su amor incondicional, por enseñarme como conducirme en la vida y por darme el buen ejemplo de padres.

A mi querido hermano, Robin por haberme motivado y apoyado para alcanzar esta meta y por ser el mejor hermano del mundo.

A Catherine, Esmeralda y Vanesa, mis sobrinas, quienes son para mí la ternura y la alegría que me dieron en etapas importantes de mi vida.

A mis abuelos, Lucio Canales y Teresa Molina por compartir conmigo este éxito.

A mi novia, Ángela por su cariño, comprensión y motivación en los instantes más difíciles.

A Edgar y Danny, por haber compartido con ustedes muchas alegrías y tristezas; y por contar siempre con su amistad.

A todos mis amigos, que estuvieron siempre a mi lado para ayudarme a alcanzar esta meta, no menciono nombres porque fueron muchos los que me apoyaron.

Alex Odir

AGRADECIMIENTOS

Soberano Dios que estas en los cielos, te agradezco por darme la sabiduría y el entendimiento para lograr este triunfo y reconozco que sin ti no hubiese sido posible lograrlo y por que siempre estuviste conmigo en todo momento.

Gracias Señor por darme la mejor madre del mundo Esperanza de Hernández a quien amo mucho y no tengo como pagarle sus sacrificios, sus oraciones, sus consejos que tanto me han servido en la vida pero principalmente por haberme guiado en tu camino y por haberme inculcado el temor a ti.

Gracias Señor por mis hermanos Alfredo, Ricardo y Margarita Hernández quienes me han dado su apoyo incondicional y porque hasta hoy hemos sido unidos en las buenas y las malas.

Gracias Señor por darme una tía especial Eva de Castillo, su esposo e hijos ya que me ayudaron cuando más lo necesitaba y espero que algún día me concedas retribuirles todo.

Gracias Señor por mi demás familia por mis amigos, especialmente por mis compañeros de tesis Paul Danny Rosales y Alex Odir Canales con quienes formamos el mejor equipo de trabajo.

Por todo lo anterior Señor te doy gracias, en todo confiare en ti y te pido que siempre estes conmigo. AMEN.

Edgar Mauricio

AGRADECIMIENTOS

Dios Todopoderoso, en esta etapa de mi vida quiero expresarte mi gratitud y dedicarte primeramente a ti este logro que me permites disfrutar hoy, te agradezco por haberme acompañado a lo largo de mi vida y en esta carrera, porque sin ti nada soy, y no podría estar celebrando este triunfo, que es parte también de cada una de las personas que tú pusistes en mi vida, por eso te agradezco por darme unos padres como, Pastor Rosales y Salvadora Elisa de Rosales y una abuela como María Josefa Díaz Claros quienes supieron instruirme en tus caminos y con su dedicación, amor, sacrificios, comprensión y consejos supieron conducir mi vida para que pudiera alcanzar esta meta. Así mismo te agradezco por la vida de mis hermanos, Tito Pastor Rosales quien se ha esforzado en ayudarme en todo lo que ha estado a su alcance y me ha animado a seguir siempre adelante y Salomon Eliseo Rosales a quien de igual manera agradezco todo su sacrificio y amor de hermano que ha podido demostrarme.

Oh Señor, te doy gracias porque tú fuiste quien hiciera posible el que conociera a Edgar Mauricio Hernández Ayala y a Alex Odir Canales Molina para que basados en nuestra gran amistad pudiéramos formar este equipo, para realizar este trabajo de graduación. De igual manera te agradezco por cada persona que en un momento de mi vida han caminado a mi lado, porque algo he aprendido de cada una de ellas, y tengo la certeza que cada una de estas personas estuvieron ahí porque tú así lo decidiste.

Soberano Dios, te doy infinitas gracias por nunca haberme dejado y te pido que me sigas dando entendimiento y sabiduría para seguir cosechando triunfos. Teniendo esta confianza te agradezco todo lo anterior en el nombre de Jesús. AMEN.

Paul Danny

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES	
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVOS	6
1.4 ALCANCES	7
1.5 LIMITACIONES	7
1.6 JUSTIFICACIONES	7
CAPITULO II. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND	
2.1 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	10
2.1.1 Clasificación de los Pavimentos Flexibles	10
2.1.2 Vida de un Pavimento Flexible	11
2.1.2.1 Fase de Consolidación	11
2.1.2.2 Fase Elástica	12
2.1.2.3 Fase de Fatiga	12
2.1.3 Mecanismos de Deformación	13
2.1.3.1 Transitorias	13
2.1.3.2 Permanente	13
2.1.3.2.1 Por Consolidación	13
2.1.3.2.2 Plástica	14

2.1.3.2.3 Por Expansión	14
2.1.4 Origen y Tipos de Fallas Comunes	14
2.1.4.1 Origen de las Fallas	14
2.1.4.1.1 Fallas Funcionales	14
2.1.4.2 Tipos de Fallas Superficiales	15
2.1.4.2.1 Agrietamiento	15
2.1.4.2.2 Desintegración	15
2.1.4.2.3 Resbalamiento	15
2.1.4.3 Descripción de algunos tipos de Fallas Superficiales	16
2.1.4.3.1 Piel de Cocodrilo	16
2.1.4.3.2 Fisuras en Bloque	17
2.1.4.3.3 Fisuras Longitudinales	18
2.1.4.3.4 Fisuras Transversales	19
2.1.4.3.5 Fisuras de Reflexión	20
2.1.4.3.6 Peladuras	21
2.1.4.3.7 Desintegración	22
2.1.4.3.8 Pulimento Superficial	24
2.1.5 Mantenimiento de Pavimentos Flexibles	25
2.1.5.1 Importancia de un Mantenimiento	26
2.1.5.2 Técnicas empleadas para el Mantenimiento	26
2.1.5.3 Técnicas de Rehabilitación	27
2.1.5.4 Tipos de Mantenimientos aplicados en El Salvador	28

2.1.5.4.1 Tratamiento Superficial, Simple, Doble y Múltiple	28
2.1.5.4.2 Riego de Sello	28
2.1.5.4.3 Recarpeteo con mezcla asfáltica en caliente	28
2.1.5.4.4 Bacheo Superficial	28
2.1.5.4.5 Bacheo Profundo	28
2.1.5.5 Tratamientos Superficiales	29
2.1.5.5.1 Tratamientos Superficiales sin Agregados	29
2.1.5.5.2 Tratamientos Superficiales con Agregados	29
2.1.6 Revisión de las Condiciones Actuales y del Mantenimiento Requerido en las Carreteras y Calles Nacionales, según Información estadística de la Dirección General de Caminos (DGC)	30
2.2 GENERALIDADES DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND	32
2.2.1 Generalidades del Slurry de Cemento Pórtland como Técnica de Mantenimiento Preventivo	32
2.2.1.1 Factores que influyen en el Slurry de Cemento Pórtland	32
2.2.1.1.1 Factores Externos que afectan el Funcionamiento	32
2.2.1.1.2 Factores Propios del Slurry de Cemento Pórtland	32
2.2.1.2 Preparación de la Superficie, Dosificación y Colocación del Slurry de Cemento Pórtland	35
2.2.1.2.1 Preparación de la Superficie	35
2.2.1.2.2 Dosificación del Slurry de Cemento Pórtland	37

2.2.1.2.3 Mezclado del Slurry de Cemento Pórtland	40
2.2.1.2.4 Manejo del Slurry de Cemento Pórtland	41
2.2.1.2.5 Colocación del Slurry de Cemento Pórtland	41
2.2.1.2.6 Curado del Slurry de Cemento Pórtland	42
2.2.2 Propiedades de los componentes del Slurry de Cemento Pórtland	42
2.2.2.1 Morteros de Cemento Pórtland	42
2.2.2.1.1 Ingredientes del Mortero	43
2.2.2.1.2 Propiedades de los Morteros	44
2.2.3 Evaluación de la Vía previa colocación del Slurry de Cemento Pórtland	58
2.2.3.1 Planteamientos Generales	58
2.2.3.1.1 Naturaleza Básica de los Datos	58
2.2.3.1.2 Seccionamiento de Rutas	58
2.2.3.1.3 Procedimiento de la toma de datos	59

**CAPITULO III. TRABAJO DE LABORATORIO Y CAMPO PARA EL
SLURRY DE CEMENTO PORTLAND.**

3.1. TRABAJO DE LABORATORIO	69
3.1.1. Descripción de las pruebas de Laboratorio	69
3.1.1.1. Análisis Granulométrico para Agregado Fino (ASTM C136)	69
3.1.1.2. Materiales más Finos que la Malla No 200 en Agregados minerales por medio de lavado (ASTM C 117)	71

3.1.1.3. Consistencia Normal (ASTM C 187) y Tiempo Tiempo de Fraguado Inicial del Cemento por medio de la aguja de Vicat (ASTM C 191)	72
3.1.1.4. Fluidez del Mortero (ASTM C 939), Elaboración y Resistencia a la compresión de Cubos de Mortero (ASTM C 109)	77
3.1.1.5. Impurezas Orgánicas en agregados finos (ASTM C 40)	84
3.1.1.6. Grumos de arcillas y partículas desmenuzables en los agregados finos (ASTM C 142)	86
3.1.2. Determinación de la mezcla óptima	87
3.1.2.1. Determinación del tamaño de la arena para el Slurry de Cemento Pórtland	87
3.1.2.2. Determinación de la cantidad de arena para la mezcla del Slurry de Cemento Pórtland	88
3.1.2.3. Determinación de la relación A/C para el Slurry de Cemento Pórtland	89
3.2. TRABAJO DE CAMPO	92
3.2.1. Selección de la vía	92
3.2.2. Preparación del Equipo y Materiales	92
3.2.3. Colocación de Primer Tramo de Prueba del Slurry de Cemento Pórtland	94

3.2.4. Colocación de Segundo Tramo de Prueba del Slurry de Cemento Pórtland _____	100
3.2.5. Colocación de Tramos de Prueba con espesores mayores de 5mm ____	103

CAPITULO IV. CALCULO Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS _____	106
4.1.1. Cartas de Control _____	106
4.1.2. Construcción de las Cartas de Control _____	107
4.1.3. Límites de Control _____	108
4.1.4. Criterios para Estimar situaciones fuera de control _____	108
4.1.5. Causas que pueden variar la Calidad de los Especímenes _____	109
4.1.6. Modificaciones a las Cartas de Control _____	109
4.1.7. Ejemplo del procedimiento para la determinación de los Límites de control _____	110
4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO _____	111
4.2.1. Análisis Granulométrico para Agregado Fino (ASTM C136) _____	111
4.2.2. Materiales más Finos que la Malla No 200 en Agregados minerales por medio de lavado (ASTM C 117) _____	115
4.2.3. Consistencia Normal (ASTM C 187) y Tiempo Tiempo de Fraguado Inicial del Cemento por medio de la aguja de Vicat (ASTM C 191) _____	115
4.2.4. Impurezas Orgánicas en agregados finos (ASTM C 40) _____	117

4.2.5. Grumos de arcillas y partículas desmenuzables en los agregados finos (ASTM C 142)	117
4.2.6. Fluidez del Mortero (ASTM C 939), Elaboración y Resistencia a la compresión de Cubos de Mortero (ASTM C 109)	118

4.3. OBSERVACION DEL COMPORTAMIENTO

DE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES DE SLURRY

DE CEMENTO PORTLAND.

4.3.1. Comportamiento del Slurry de Cemento Pórtland en tramos de 5mm de espesor	162
4.3.1.1. Tramo No 1	162
4.3.1.2. Tramo No 2	163
4.3.2. Comportamiento del Slurry de Cemento Pórtland en tramos de 7mm y 10 mm de espesor	165
4.3.2.1. Tramo No 1 (espesor de 10mm)	165
4.3.2.2. Tramo No 2 (espesor de 7mm)	168

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	173
5.2. RECOMENDACIONES	176
BIBLIOGRAFIA	178

INTRODUCCION

Es necesario aclarar, que cuando se determinó el tema del trabajo de graduación se empleo el termino lechada, refiriéndose con este nombre a un mortero fluido cuyas características de consistencia son similares*.

En nuestro país, las carreteras constituyen el principal medio de transporte utilizado para el mejoramiento de las actividades humanas, contribuyendo al desarrollo del comercio, industria y la economía en general. Actualmente algunas de las vías nacionales presentan deterioros producto del incremento de las cargas por encima de las especificadas, la acción del intemperismo, por haber alcanzado su vida útil, como también porque las entidades encargadas del mantenimiento lo realizan mediante soluciones que no han demostrado su eficacia.

Para que las carreteras brinden un mejor servicio, es necesario que se encuentren en perfectas condiciones, es por eso que en este trabajo se presenta una alternativa que podría contribuir a la rehabilitación de los pavimentos flexibles, consistiendo este en la aplicación de una sobrecapa ultra delgada de mortero de Cemento Pórtland[∞] para restaurar las superficies, proporcionando sellos más resistentes al desgaste, a la permeabilidad, un mejor índice de rugosidad y prolongándoles su vida útil.

Se presentan las generalidades necesarias que se deben conocer sobre los pavimentos flexibles así como también las del Slurry de Cemento Pórtland, que son necesarias para realizar el diseño de esta técnica de mantenimiento preventivo. Seguidamente se

* en todo el desarrollo del trabajo de graduación esta técnica se denominará Slurry de Cemento Pórtland.

[∞] El tipo de Cemento a emplearse será Cemento Pórtland Tipo I.

describen los procedimientos que se siguieron para la elaboración del Slurry de Cemento Pórtland tanto en el laboratorio, como en el campo. En el trabajo de laboratorio se determinaron las características de los componentes de la técnica en mención, así como la mezcla óptima. El trabajo de campo consistió en la colocación de varios tramos de prueba, ubicados sobre la 2ª calle poniente de Santa Tecla y en el acceso al parqueo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Posteriormente se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio y de las observaciones realizadas a los tramos experimentales y finalmente se detallan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de graduación.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 ANTECEDENTES

En nuestro medio, parte de las carreteras que constituyen la red vial nacional, han sido construidas con pavimentos flexibles, pero estos con el uso comienzan a manifestar deformaciones, agrietamientos y desgastes. Una de las medidas correctivas que se han empleado para solventar este problema es la aplicación de recubrimientos con ligantes asfálticos, solución provisional, puesto que la durabilidad de estos se vuelve más corta de lo esperado.

En busca de una mejor alternativa de restauración superficial de los pavimentos flexibles, la Administración Federal de Carreteras (FHWA), el Departamento de Transporte de Virginia (VDOT) y la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA), formularon las especificaciones técnicas para construir una sobrecapa delgada de cemento Pórtland como acabado o superficie laminar. Un grupo técnico de la FHWA se propuso dirigir este esfuerzo y desarrollar un plan de implementación de este sistema. En 1993 se obtuvieron las primeras solicitudes del uso de este método, para corregir los mayores daños presentados en las carreteras, que eran el fallamiento y desgaste.

El uso de sobrecapas delgadas de cemento como acabado en pavimento viejo no es nuevo, pero la utilización de moldes deslizantes para la colocación de la sobrecapa sí es innovador por su rapidez de colocación. Fue en 1997, cuando se obtuvieron más fundamentos sobre este sistema, sin embargo, más proyectos continuaran siendo evaluados para obtener más conocimiento de esta técnica. La FHWA como institución pionera en este campo, continua estas evaluaciones y distribuye reportes y sumarios de sus investigaciones.

Un Grupo Técnico de Trabajo (TWG) cree que este sistema representa una técnica de rehabilitación válida para las superficies de pavimentos flexibles, también determinó que cada proyecto debe poseer suficiente tamaño y alcance para permitir su ejecución típica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La red vial pavimentada del territorio nacional, presenta un 22.66% en malas y muy malas condiciones, un 16.83% en regulares condiciones y un 60.51% en muy buenas y buenas condiciones, en relación con el nivel de servicio de las carreteras, según los 2,044.561 kms. existentes que representan el 100%*. Esto se debe a que las carreteras son expuestas a excesivas cargas, incremento de volumen de tráfico, a severas condiciones de intemperismo, a que han excedido la vida útil, se realizó un proceso constructivo no adecuado, a la falta de vías alternas y a que la etapa de mantenimiento no es la adecuada. Si bien es cierto que el país es pequeño, pero cuenta con una de las redes viales más completas de Centro América, que lo cubre casi en su totalidad, de aquí que los recursos con que cuentan las instituciones no alcanzan para darles un mantenimiento preventivo, que retarde en gran manera el rápido deterioro que estos enfrentan y mucho menos, la total solución a todos estos problemas.

Como consecuencias de lo anterior se tienen irregularidades en el rodamiento, así como la aparición de todo tipo de fallas, las que se vuelven incómodas para el usuario causándole mayores costos de operación. Por lo tanto, surge la necesidad de buscar una

* Según estudio de inventario vial realizado por la Dirección General de Caminos presentado en Marzo del año 2000.

alternativa que permita dar una opción de mantenimiento preventivo que contribuya a restaurar las carreteras de pavimentos flexibles que además, de ser práctica, sea económica, proponiéndose para ello la técnica del Slurry de Cemento Pórtland.

1.3 OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Contribuir a solucionar el problema de los daños superficiales que sufren las carreteras y calles en nuestro país, proponiéndose el uso de la técnica del Slurry de cemento Pórtland, para lograr y presentar una alternativa más de restauración en los pavimentos flexibles deteriorados, al proporcionarle una vida útil mayor a la de diseño.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Aportar una alternativa viable de rehabilitación sobre las superficies de las carreteras y calles de pavimentos flexibles.
2. Desarrollar, si es posible, unos tramos de prueba para la aplicación del Slurry de Cemento Pórtland.
3. Determinar el método de colocación.
4. Determinar la mezcla y el espesor óptimo del Slurry de cemento Pórtland según su comportamiento en el tramo de prueba.
5. Determinar la funcionalidad de la técnica del Slurry de Cemento Pórtland en nuestro país.

1.4 ALCANCES

En este estudio, se concluirá si la técnica del Slurry de cemento Pórtland, contribuye a resolver los problemas que comúnmente se dan en las carreteras, como son; la pérdida de rugosidad en la superficie y en consecuencia, el desgaste de la misma, como también el agrietamiento de la capa de rodamiento. Además, de ser posible la ejecución de un tramo de prueba, éste tendrá una longitud de Siete metros, también se determinará el espesor óptimo de la sobrecapa. Se realizaran pruebas para lograr una buena dosificación de los componentes del Slurry de Cemento Pórtland, ensayando cubos a compresión. Proporcionando así una alternativa de rehabilitación válida para superficies de pavimentos flexibles que no presentan un avanzado grado de deterioro.

1.5 LIMITACIONES

1. Para la realización de éste trabajo, se contará con un tiempo máximo de Ocho meses.
2. Esta investigación solo incluirá la restauración de pavimentos flexibles.
3. La prueba del Slurry de cemento Pórtland sobre tramos experimentales, dependerá de las autoridades encargadas de proporcionar los permisos correspondientes.

1.6 JUSTIFICACIONES.

El Salvador, como todo país en vías de desarrollo presenta una red vial deteriorada, en la cual se realizan mantenimientos rutinarios. Este deterioro aumenta conforme pasa el



tiempo, dejando como resultado vías incómodas para desarrollar las diferentes actividades económicas y sociales de la población, ocasionando así altos gastos de operación a los usuarios. Para no llegar a un avanzado grado de deterioro temprano es necesario la implementación de una técnica de restauración superficial, de mantenimiento preventivo de las vías y que ayude a prolongar la vida útil de éstas.

Para ello, se propone el uso del Slurry de Cemento Pórtland como una alternativa más en el mantenimiento preventivo, con el fin de obtener en el país resultados aceptables como se han obtenido en otros países, caso de Estados Unidos donde la FHWA y la TWG han determinado que es una solución viable para el mantenimiento de pavimentos flexibles que no presentan un avanzado grado de deterioro. Entonces en el país se mejorarían las condiciones y el estado de las carreteras que se encuentren deterioradas con fracturas o fisuras; colocándoles el Slurry de Cemento Pórtland.

Esta tecnología no ha sido utilizada en el país y sería de mucho beneficio estudiar su comportamiento, pues en la búsqueda de soluciones viables puede ser de mucho provecho en el mantenimiento de las carreteras, así como también se utilizarían productos nacionales evitando las importaciones y fugas de divisas.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND

2 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND.

INTRODUCCION:

Este capítulo, está dividido en dos partes, la primera trata sobre las generalidades de los pavimentos flexibles, aquí se menciona su clasificación, su origen, tipos de fallas que pueden presentarse en ellos y las generalidades sobre el mantenimiento de estos. Además se presentan resultados actuales de la evaluación física de las vías de pavimentos flexibles, realizada por la Dirección General de Caminos (DGC).

En la segunda parte del capítulo, se presentan las generalidades del Slurry de Cemento Portland, donde se mencionan los factores que pueden influir en su funcionamiento. También se describen las propiedades de los diferentes componentes de esta técnica y al final se presenta un método de Evaluación Visual que debe realizarse previo a la colocación del Slurry de Cemento Portland.

2.1 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Definición:

Los Pavimentos Flexibles son aquellos que tienen una base flexible o semirrigida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de asfalto o alquitrán de consistencia plástica.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El concepto de pavimento flexible nace del hecho de que una superficie bituminosa es plástica y fluye bajo cargas repetidas y sostenidas (repetitivas y temporales) dentro

de los límites, la superficie bituminosa, se ajusta a la consolidación de las capas inferiores.

La mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos, de calidad y características especificadas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos funcionando como aglutinante. Los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezclas bituminosa que lo componen, estas mezclas pueden ser:

- a) Mezclas abiertas en frío.
- b) Mezclas abiertas en caliente.
- c) Mezclas densas en frío.
- d) Mezclas densas en caliente.
- e) Macadam de Penetración.

2.1.2 VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. Al examinar el comportamiento de los pavimentos flexibles, se puede dividir su vida en tres fases:

2.1.2.1 Fase de Consolidación.

Es la fase inicial en la vida de un pavimento flexible, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos. Es una fase relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente. Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.

2.1.2.2 Fase Elástica.

Inicia inmediatamente después de la fase anterior y corresponde a la vida útil del pavimento. Si ocurre la fase de consolidación, cada carga provoca una deformación de tipo permanente, que luego tiende a transformarse en deformación transitoria de recuperación instantánea de tipo elástico, provocando cada rueda un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. En esta fase, las deformaciones elásticas causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares. La vida de un pavimento depende de esta fase, de su duración, lo cual está íntimamente ligado a las deflexiones que pueda sufrir el pavimento. Los estudios de los pavimentos en servicio han demostrado que aquellos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, aconteciendo lo inverso cuando éstas son elevadas.

2.1.2.3 Fase de Fatiga.

Es la fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que la capa se rompe por fatiga después de cierto número de pasadas, momento a partir del cual comienza un colapso gradual en toda la vía requiriéndose prácticamente

una reconstrucción de la misma. La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales al interior del pavimento provocan el colapso de la estructura llegando el pavimento al final de su vida útil.

2.1.3 Mecanismo de Deformación.

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

2.1.3.1 Transitorias.

Es aquella que desaparece cuando se retira la carga. Si la recuperación es instantánea se dice que la deformación es elástica.

Si por el contrario, transcurre cierto tiempo desde que se retira la carga hasta recuperar la condición inicial se dice que ésta es visco elástica.

2.1.3.2 Permanente.

Es aquella que se mantiene aún después de haber retirado la carga. Dentro de este tipo se encuentran las deformaciones: por consolidación, plásticas y por expansión.

2.1.3.2.1 Por Consolidación.

Consiste en la reducción en el espesor de algunas de las capas del pavimento. Con un cambio correspondiente de volumen. Generalmente esta deformación se debe a una compactación insuficiente de la capa que falla y se caracteriza por no presentar grietas, pero produce incomodidad al tránsito.

2.1.3.2.2 Plástica.

Consiste en una falla por esfuerzo de corte debido a que las cargas aplicadas exceden la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Se caracteriza por una alteración en la superficie del pavimento sin que ocurra cambio en su volumen.

2.1.3.2.3 Por Expansión.

Consiste en un cambio de volumen del pavimento debido a variaciones en el contenido de humedad del suelo de fundación. Se produce por el empleo de materiales inadecuados trabajados incorrectamente durante la construcción.

2.1.4 ORIGEN Y TIPOS DE FALLAS COMUNES.

2.1.4.1 Origen de las Fallas.

Uno de los aspectos más importantes de los pavimentos es la falla existente en ellos, se debe acordar o definir lo que realmente la constituye, reconociendo el siguiente tipo:

2.1.4.1.1 Fallas Funcionales.

Son relativamente leves, cuando un pavimento ha perdido su función inicial; generalmente se localiza en la capa superficial, ya sea carpeta asfáltica, losa de concreto, adoquinado o empedrado, si una carpeta asfáltica se coloca en un pavimento para que proporcione un tránsito cómodo y seguro, resultando que esa carpeta después de un tiempo de uso está resbaladiza, entonces tiene Falla Funcional. Estas pueden ser progresivas o no, además no afectan a los pavimentos

para usarse, simplemente perdieron su “cómoda textura”, que es muy importante, sobre todo en calles o carreteras de mucho tránsito.

2.1.4.2 Tipos de Fallas Superficiales.

Existen básicamente tres tipos de fallas de acuerdo a la forma de manifestarse.

2.1.4.2.1 Agrietamiento.

Es una serie de fisuras longitudinales, transversales, etc., que por diversas causas aparecen sobre los pavimentos flexibles.

Los agrietamientos son causados por deficiencias en las carpetas asfálticas, base, sub-base o subrasante; manifestándose de la forma siguiente: grietas en forma de piel de cocodrilo, longitudinales, de reflexión, de encogimiento, de desplazamiento y de ampliación.

2.1.4.2.2 Desintegración.

Es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos o también la disgregación de las partículas del agregado integrante de la muestra.

Normalmente es causado por deficiencia de asfalto, por oxidación, acción del agua o por la mala operación de los equipos de construcción. Se manifiestan como baches, desmoronamientos, pérdida del agregado de cubierta.

2.1.4.2.3 Resbalamiento.

Este tipo de falla siempre es causado por la deficiencia de la carpeta asfáltica, como resultado de exceso de asfalto, el uso de agregados pulidos o desgastados, derrames de aceites u otras sustancias.

2.1.4.3 Descripción de algunos tipos de Fallas Superficiales.

2.1.4.3.1 Piel de cocodrilo.

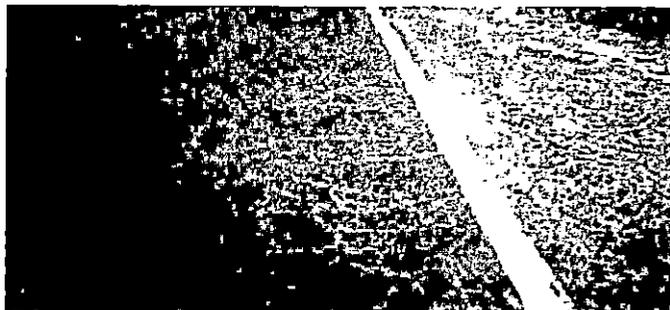


Figura 2.1
Carretera CA-1, Km 106

Definición.

Series de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro menor de 30cm.

Causas Principales.

Fatiga (altas deflexiones y bajos radios de curvatura), evolución de las fisuras en bloque.

Posibles causas primarias.

Diseño no adecuado para aumento de cargas de tránsito (intensidad y frecuencia), deficiencia constructiva, aumento de humedad, posible deficiencia en el drenaje.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

- a) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes.

2.1.4.3.2 Fisuras en bloque.



Figura 2.2
Col. Layco, 19av. Noerte, tramo 23 calle Pte. y 25 calle pte.

Definición.

Serie de fisuras interconectadas formando grandes o pequeños polígonos regulares.

Causas Principales.

Fatiga, contracción de la mezcla asfáltica, falta de estabilidad de las capas del pavimento.

Posibles causas primarias.

Diseño no adecuado, envejecimiento, endurecimiento o contracción (variación de la temperatura del asfalto aún sin tráfico), tipo de gradación del asfalto, exceso de filler en la mezcla, endurecimiento prematuro de la mezcla (falla constructiva), debilitamiento brusco de las capas inferiores (saturación), heterogeneidades constructivas.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

- b) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes.

2.1.4.3.3 Fisuras longitudinales.

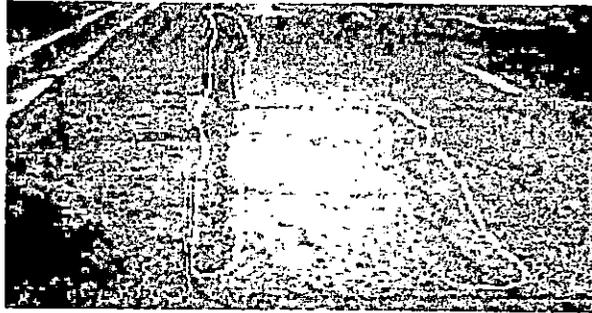


Figura 2.3
Col. Centroamérica, Av. Izalco, San Salvador

Definición.

Fisura o grieta longitudinal paralela al eje. En general su ubicación refleja las causas más probables:

En huellas de canalización de tránsito, En el centro o el borde de las calzadas.

Causas Principales.

Cargas pesadas frecuentes, asociadas a deficiencias de construcción, asociadas a suelos de fundación y obras básicas (a veces subdiseñadas).

Posibles causas primarias.

Espesor de pavimento insuficiente, subrasante elástica, junta fría o construida en forma inapropiada entre secciones de pavimento, falta de sobreebanco de la base,

reflexión de juntas en ensanches, asentamiento del terraplén, contracción por deformación de terraplenes, mala conservación de hombros.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

c) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes.

2.1.4.3.4 Fisuras transversales.

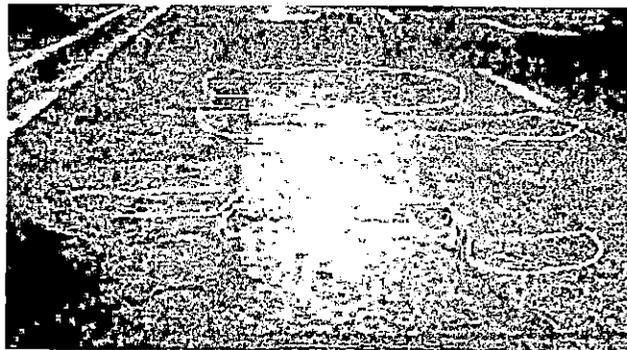


Figura 2.4
Col. Centroamérica, Av. Izalco, San Salvador

Definición.

Fracturamiento de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la vía. Pueden afectar todo lo ancho del carril como limitarse a los 0.60mt próximos al borde del pavimento.

Causas Principales.

Contracción de las mezclas asfálticas (materiales o clima), subdiseño al tránsito circulante, deficiencias constructivas.

Posibles causas primarias.

Mezclas asfálticas con excesos de finos (muy fillerizadas), envejecimiento del asfalto, reducción de resistencia a baja temperatura, cargas excesivas, espesor insuficiente, sobrerodillado en compactación de la mezcla asfáltica, juntas de trabajo defectuosas, falta de sobreancho.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

d) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes.

2.1.4.3.5 Fisuras de reflexión.

Figura 2.5
Redondel del Reloj de Flores, San Salvador

Definición.

Se presentan sólo en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas. Consisten en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica, de las juntas del pavimento de concreto.

Causas Principales.

Todos los tipos de fisuras (especialmente transversales y longitudinales) que se originan en las capas inferiores y aparecen reflejadas en la superficie.

Posibles causas primarias.

Espesor insuficiente, fuerte adhesión a capa subyacente.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

e) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes. En general se les considera para la introducción de técnicas que impidan su propagación a la rehabilitación.

2.1.4.3.6 Peladuras.

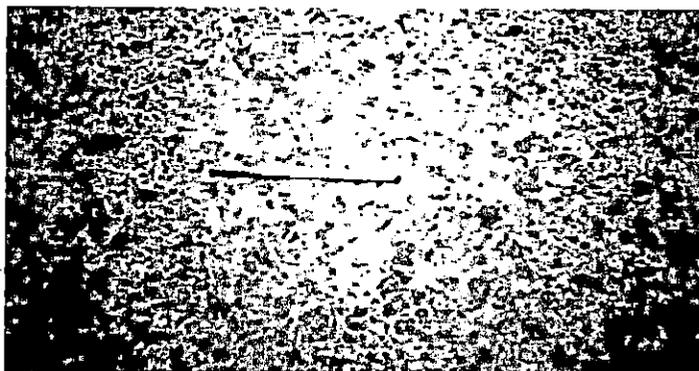


Figura 2.6
Pasaje Las Victorias, Col. Layco, San Salvador

Definición.

Desintegración superficial de la capa de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida del ligante bituminoso y el desprendimiento del agregado pétreo,

aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Causas Principales.

Pérdida de adherencia entre el asfalto y el agregado, reactividad química, deficiencia constructiva.

Posibles causas primarias.

Acción agua-tránsito intenso, Reducción en el contenido útil del ligante por absorción, envejecimiento prematuro, cantidad insuficiente, etc., desplazamiento de la película de asfalto en agregados hidrófilos, presión de vapor o fuerzas capilares de tracción, fuerte retracción superficial debido al aire incluido, vacíos en la capa superficial bituminosa, ataque con solventes, reacción perjudicial agregado-asfalto, alteración del ligante por excesiva temperatura de mezclado, agregado pétreo sucios, húmedos o sobrecalentados, textura muy abierta, (insuficiente cantidad de asfalto, alto porcentaje de vacíos, deficiente compactación), segregación de agregados pétreos, tratamientos superficiales bituminosos.

2.1.4.3.7 Desintegración.



Figura 2.7
Calle Los Andes, Contiguo a Hotel Camino Real

Definición:

Consiste en la progresiva destrucción (baches) de los bordes, centro o cualquier parte del pavimento formando una cavidad de bordes netos por acción del tráfico. Se hace particularmente manifiesto en pistas con porción de vehículos que acceden del acotamiento al pavimento o viceversa, y no se han construido guarniciones.

Causas Principales.

Acción del tránsito sobre las fallas de tipo estructural, debilitamiento en bordes y calzadas, originadas en la superficie de agrietamiento, acción del tránsito intenso o clima (permiten evolución de peladuras).

Posibles causas primarias.

Fisuras tipo piel de cocodrilo / hundimiento, Retención de agua en zonas hundidas o agrietadas, falta de conservación o baches mal reparados, deficiencia en el subdrenaje, pérdida de adherencia, deficiencias constructivas, reactividad química, degradación de los agregados, espesores insuficientes.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

f) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes.

2.1.4.3.8 Pulimento superficial.

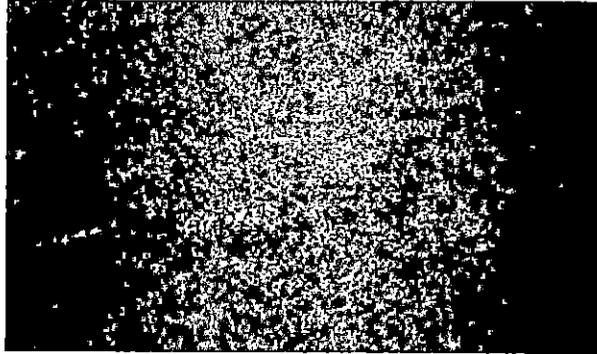


Figura 2.8
23 calle Pte. entre 8ª y 10ª Sur, Santa Tecla

Definición.

Superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimento de los agregados que la componen.

Causas Principales.

Pulimento de la textura superficial.

Posibles causas primarias.

Agregados con superficies inicialmente muy pulidas, desgaste (pulimento) superficial por acción del tránsito sobre agregados degradables y eventualmente que han perdido ligante.

Caracterización de magnitud / frecuencia.

g) Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad) relacionando con frecuencia, agrupándolas según clasificación en base a severidad; medición de la fisura y grado de deterioración de sus bordes. Se revela especialmente al evaluar condiciones de seguridad.

2.1.5 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Cuando se ha terminado un proyecto, de construcción de una vía, el constructor ha entregado la obra y se ha realizado el pago final de la misma, teniendo una nueva instalación disponible para los usuarios, creándose una nueva responsabilidad, la de preservar la inversión y la de servir y proteger los intereses del público que se transporta sobre la carretera. Esta es la realidad, no solo en lo que compete a la vía construida recientemente si no también, todas aquellas que forman la red.

El mantenimiento de pavimentos se define: Como la función de preservar, reparar y restaurar una carretera (vía) y conservarla en condiciones de uso seguro, conveniente y económico.

Los programas de mantenimiento están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y los provocados por el tránsito, así como el deterioro debido a los efectos del envejecimiento, fallas de los materiales, construcción y diseño. A pesar de la vigilancia y de los esfuerzos que se realizan para mantener en servicio la red vial se llega a un momento en el cual se requiere una rehabilitación, no bastando el mantenimiento físico como el bacheo, reparación de juntas, etc.

Se considera un mantenimiento a la reparación que se realiza con un espesor menor de $\frac{3}{4}$ pulg. (± 2.0 cms) o el reemplazo del pavimento en una longitud menor de 150 mts. Si la colocación de una carpeta es mayor de $\frac{3}{4}$ pulg. (± 2.0 cms) o una longitud continua mayor de 150 mts. o más, es considerado como rehabilitación.

2.1.5.1 Importancia de un Mantenimiento.

Encuentra su justificación de manera principal en la necesidad de proteger la inversión que se realiza al construir una vía. El público que viaja está consciente de las condiciones de la red vial y se inclina a dar su desaprobación acerca de los baches, señales ilegibles y estructuras de drenaje que no cumplen en forma apropiada con su función y otras fallas que se presentan a lo largo de toda la vía.

El personal de mantenimiento enfrenta un enorme problema al querer conservar la vía en buen estado, para reparar todo el sistema adecuadamente. Es conocido que la gravedad del problema se centra en la magnitud de los presupuestos para el organismo encargado de preservar la red vial en buen estado, para reparar todo el sistema adecuadamente. Es conocido que la gravedad del problema se centra en la magnitud de los presupuestos para el organismo encargado de preservar la red vial en buen estado.

2.1.5.2 Técnicas Empleadas para el Mantenimiento.

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores.

Estas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

Los procedimientos actuales que realiza la Dirección General de Caminos (D.G.C.) y la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (D.U.A.) se basan en las recomendaciones del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, que consideran las

características de los materiales y las condiciones climatológicas variables (invierno y verano).

En nuestro país debido a muchos factores (Ej. : La falta de financiamiento para inversión en mantenimiento vial, así como la falta de planes y programas de evaluación y tratamiento del estado de las carreteras, etc.), el mantenimiento aplicado ha sido correctivo generalmente atendiendo a la crítica del usuario, pero no preventivo, razón por la cual muchas técnicas orientadas a detectar y corregir defectos menores en las vías, no han podido ser utilizadas.

En la actualidad se aplican métodos que van desde sellado de fisuras, hasta la aplicación de mezclas asfálticas (en frío o caliente).

2.1.5.3 Técnicas de rehabilitación.

Dentro de éstas técnicas de rehabilitación de los pavimentos flexibles se pueden mencionar:

- a) Fog Seal (capa final de asfalto muy fluido).
- b) Sand Seal (capa final de arena).
- c) Asphalt Chip Seal (capa final de asfalto con agregado).
- d) Slurry Seal (capa final de pasta fluida).
- e) Microsurfacing (microsuperficie).
- f) Open-Grade Friction Course (agregado de alta relación de vacíos).

2.1.5.4 Tipos de Mantenimientos Aplicados en El Salvador.

2.1.5.4.1 Tratamiento Superficial: Simple, Doble y Múltiple.

Cuando ha fallado la carpeta asfáltica, pero no las capas adyacentes y subyacentes (base y sub-base), se requiere mantener las características originales del camino.

2.1.5.4.2 Riego de sello:

Aplicado en pavimentos de superficie abierta, muy lisa o muy desgastada; además, cuando existen fisuras menores de 3mm. Consiste en colocar sobre el pavimento una película de asfalto cubierta con una capa de material pétreo fino.

2.1.5.4.3 Recarpeteo con mezcla asfáltica en caliente.

Es la aplicación sobre el pavimento de una mezcla de concreto asfáltico elaborada en caliente, se recomienda en casos de deterioro estructural generalizado.

2.1.5.4.4 Bacheo Superficial.

Corrige daños o defectos superficiales, tales como: desintegraciones, corrimientos, peladuras, etc., que afecten únicamente la carpeta asfáltica. Se ejecuta cuando la profundidad del bache es mayor de 2cms. o cuando exista fisuramiento piel de cocodrilo.

2.1.5.4.5 Bacheo Profundo.

Consiste en remover y eliminar la carpeta deteriorada, base y sub-base; se recomienda cuando los daños no excedan 20m² en total o no cubran más del 30% de la sección a reparar; para extensiones mayores se recomienda la rehabilitación.

2.1.5.5 Tratamientos superficiales

Definición General:

Es todo tipo de trabajo realizado con un ligante asfáltico solo o acompañado con agregado pétreo, abarcando incluso las mezclas realizadas con ambos componentes.

Atendiendo a los componentes empleados, pueden emplearse en:

2.1.5.5.1 Tratamientos superficiales sin agregados:

- a) Riego de imprimación.
- b) Riego de liga.
- c) Riego antipolvo.
- d) Riego en negro.
- e) Riego de curado.
- f) Riego de sellado.

2.1.5.5.2 Tratamientos superficiales con agregados:

- a) Tratamiento superficial simple y doble.
- b) Riego de penetración (Macadam) de tipo sándwich.

2.1.6 REVISIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES Y DEL MANTENIMIENTO REQUERIDO EN LAS CARRETERAS Y CALLES NACIONALES, SEGÚN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS (DGC).

Para poder realizar la revisión de las condiciones actuales de las carreteras del país, se basará en los resultados de la evaluación física de las vías pavimentadas realizado por la DGC. Con base en los datos del inventario físico, el Sistema Integral de Administración de Mantenimiento Vial (SIAMV) ha generado los reportes sobre el Nivel de Servicio y Categorías de Acción de todas las carreteras pavimentadas del país. De ellos, puede observarse que actualmente del total de 2,044.56 Km. de vías pavimentadas, por Categorías de Acción, 1,371.79 Km. (67.1%) requieren únicamente mantenimiento rutinario, y la longitud restante 272.76 Km. (32.9%) requieren trabajos de refuerzo estructural (rehabilitación) o reconstrucción.

En cuanto a Nivel de Servicio, se observa que 1,237.30 Km. (60.2%) se encuentran en muy buenas y buenas condiciones, 344.01 Km. en regulares condiciones y 463.24 entre malas y muy malas condiciones.

TABLA 2.1: RESULTADO DE LA EVALUACIÓN FÍSICA (Nivel de Servicio y Categorías de Acción)

Departamento	Mantenimiento Rutinario		Mantenimiento Periódico		Total
	Preventivo	Correctivo	Refuerzo Estructural	Reconstrucción	
Ahuachapán	35,858.00	16,050.00	11,680.00	0.00	63,588.00
Santa Ana	70,170.00	24,300.00	103,280.00	18,000.00	215,750.00
Sonsonate	93,944.00	82,487.00	47,450.00	4,570.00	228,451.00
Chalatenango	14,600.00	11,500.00	18,760.00	700.00	45,560.00
La Libertad	93,679.00	103,230.00	46,810.00	0.00	243,719.00
San Salvador	53,496.00	18,980.00	72,876.00	33,040.00	178,392.00
Cabañas	29,489.00	14,558.00	4,953.00	0.00	49,000.00
Cuscatlán	11,080.00	39,394.00	28,800.00	0.00	79,274.00
La Paz	129,960.00	54,820.00	21,970.00	2,800.00	209,550.00
San Vicente	63,450.00	28,050.00	17,500.00	2,200.00	111,200.00
Usulután	55,020.00	45,362.00	35,900.00	0.00	136,282.00
San Miguel	100,294.00	35,796.00	46,205.00	10,400.00	192,695.00
Morazán	23,000.00	66,480.00	29,100.00	0.00	118,580.00
La Unión	35,070.00	21,680.00	87,050.00	28,720.00	172,520.00
Total	809,110.00	562,687.00	572,334.00	100,430.00	2,044,561.00

Fuente: Inventario Vial 1999-2000
 Resultados de Evaluación Física
 Marzo / 2000
 DGC.

TABLA 2.2: RESULTADOS DEL INDICE DE CONDICION POR NIVEL DE SERVICIO.
 TIPO DE PAVIMENTO: FLEXIBLES
 LONGITUD EN CONDICION (MTS) 2,044,561.00

CONDICION	LONGITUD (MTS)
MUY BUENA	754,092.00
BUENA	483,209.00
REGULAR	344,011.00
MALA	456,469.00
MUY MALA	6,780.00
TOTAL	2,044,561.00

Fuente: Inventario Vial 1999-2000,
 Marzo / 2000 (D.G.C.).

Resultados de Evaluación Física

2.2 GENERALIDADES DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND.

2.2.1 Generalidades del Slurry de Cemento Pórtland como técnica de Mantenimiento Preventivo.

Definición:

El Slurry de Cemento Pórtland es una técnica de tratamiento preventivo a nivel superficial, aplicado a las carreteras o calles de pavimentos flexibles; mejorando la impermeabilidad y la rugosidad de la superficie proporcionando una mayor resistencia al desgaste.

2.2.1.1 Factores que influyen en el Slurry de Cemento Pórtland:

Dentro de los factores que influyen en el Slurry de Cemento Pórtland, podemos mencionar externos y propios.

2.2.1.1.1 Factores externos que afectan el funcionamiento:

- a) Análisis de Tránsito.
- b) Estado actual de los elementos del pavimento.

2.2.1.1.2 Factores Propios del Slurry de Cemento Pórtland.

A. Flexibilidad:

Este es uno de los factores más difíciles de controlar en el diseño del Slurry de Cemento Pórtland, debido a que la deformación de los pavimentos asfálticos es bastante considerable.

Una alternativa que podría mejorar la flexibilidad del Slurry de Cemento Pórtland es la adición de fibra de polipropileno de ¾” o micro fibra dependiendo del espesor usado. Otra alternativa sería la adición de cal. El motivo de usar cal es porque ésta

fragua únicamente en contacto con el aire mejorando la trabajabilidad de la mezcla, proporciona un alto grado de retención de agua y mejora las propiedades elásticas de esta.

B. Resistencia al Desgaste:

La resistencia al desgaste es muy importante analizarla, pues el Slurry de Cemento Pórtland estará sometido a la acción continua del paso de varios tipos de vehículos. Además, la superficie de la capa de mortero debe ser antideslizante para garantizar la seguridad de los usuarios que se transporten por la vía tratada con esta técnica. Resulta alarmante como muchas capas de rodadura de concreto asfáltico han alcanzado valores peligrosamente bajos de su coeficiente de resistencia al deslizamiento, con una tendencia simultánea al aumento de accidentes. Para estos pavimentos donde el coeficiente de deslizamiento ha alcanzado valores peligrosos, se espera que el Slurry de Cemento Pórtland pueda solucionar este problema, pues éste deberá poseer un coeficiente de rugosidad apropiado para lo que en el acabado de la superficie deberá tenerse mucho cuidado.

Para garantizar una buena resistencia al desgaste, se deberá verificar que el agregado fino sea resistente y duro, estar libre de materia orgánica, arcilla y partículas blandas como pómez. El agregado fino deberá ser sometido a las pruebas de impureza orgánicas según la norma ASTM C-140, prueba de arcillas y partículas desmenuzables en el agregado fino ASTM C-142 que no sobrepasen el 3%.

Otros aspectos importantes a considerar para obtener una buena resistencia al desgaste es usar una relación baja de agua-cemento y realizar un buen curado.

La norma ASTM C-33 enumera las siguientes sustancias nocivas, junto con las razones por las que se restringen las cantidades de ellas que pueden estar presentes en el agregado fino que se lleva al laboratorio.

TABLA 2.3: SUSTANCIAS NOCIVAS PARA EL AGREGADO FINO

ITEM	RAZONES
Terrones y Partículas desmenuzables de Arcilla	Partículas nocivas al concreto, pueden incrementar la demanda de agua de la mezcla si se parten durante el mezclado.
Material que pasa por el Tamiz No.200	Estos materiales también aumentan la demanda de agua de la mezcla.
Carbón Lignito	Perjudican la apariencia superficial y causan dificultad al incorporar el aire.

Fuente: Norma ASTM C-33

TABLA 2.4: LIMITE DE SUSTANCIAS DELETEREAS EN EL AGREGADO FINO.

ITEM	PORCENTAJE EN PESO MAXIMO PERMITIDO
Terrones y Partículas desmenuzables de Arcilla	3
Material pasando Tamiz No.200:	
Concreto sujeto a la abrasión.	3.0
Otros concretos.	5.0
Carbón y Lignito:	
Cuando es importante la apariencia superficial del concreto	0.5
Otros concretos	1.0

Fuente: Norma ASTM C-33

C. Impermeabilidad:

El objetivo principal de esta propiedad es obtener una superficie de Slurry de Cemento Pórtland totalmente impermeable, que proteja a la carpeta asfáltica de la penetración del agua, ya que el asfalto es susceptible a ésta, principalmente en la época de invierno donde la lluvia es muy intensa en nuestro medio.

El tratamiento del Slurry de Cemento Pórtland es adecuado para reparar superficies deterioradas, sin que estos presenten grandes daños estructurales, dotándolas de una impermeabilización completa impidiendo así la acción del agua. Es importante decir que no solo la carpeta asfáltica se protege del agua, sino también, las capas subyacentes como son la Base y Sub-Base.

D. Adherencia:

La adherencia es un factor muy importante que hay que analizar ya que el asfalto tiene propiedades distintas que el Slurry de Cemento Pórtland, para ello se deberá contar con una superficie limpia. La superficie deberá estar libre de arena, tierra, polvo, aceite o grasa o materiales destructivos. Para realizar esta limpieza podría usarse una escoba mecánica o lavar con suficiente agua la superficie, usar compresor de aire para remover las partículas sueltas. Cualquier bacheo, relleno de grietas y mejoras de drenaje deberán hacerse antes de colocar el Slurry de Cemento Pórtland.

2.2.1.2 Preparación de la superficie, Dosificación y Colocación del Slurry de Cemento Pórtland.

2.2.1.2.1 Preparación de la Superficie:

En la preparación de la superficie deberán incluirse los siguientes tres pasos:

a) Reparación de los defectos superficiales:

La superficie de la carpeta asfáltica debe de ser tratada antes de la aplicación del Slurry de cemento Pórtland, especialmente cuando hay presencia de baches y de

agrietamiento; siempre y cuando el número de estos no afecte considerablemente la estructura del pavimento.

Los baches deberán ser reparados y tendrán que ser nivelados según el nivel de la carpeta. Las grietas también deben ser reparadas. La reparación de estos defectos superficiales podría prevenir en gran manera la fractura del Slurry de cemento Pórtland en estas áreas dañadas.

b) Escarificación Superficial:

Después de reparada la superficie, se procederá a realizar una escarificación sobre ésta donde se eliminarán aquellas áreas semi sueltas, hasta dejar una superficie dura y compacta. Posteriormente se verificará que la superficie a tratar se encuentre lo más plana posible, y toda área superficial que se encuentre más alta que el resto de la superficie, deberá ser escarificada. La escarificación deberá realizarse tomando en cuenta la pendiente del bombeo de la sección de la vía a tratar.

c) Limpieza de la Superficie:

Se eliminarán de la superficie todas aquellas sustancias que puedan impedir la adherencia, como: agregado suelto, tierra, aceite, grasa, polvo, pintura, etc. Para la etapa de limpieza se puede recomendar el uso de un Botcát al que se acopla un sistema de barredora. Hay dos tipos de barredoras, la angular con cerdas de nylon para limpiar la superficie de materiales sueltos y la barredora con cajón recolector, ésta tiene la ventaja que remueve las materias adheridas al pavimentos como los lodos, pues posee un dispositivo de filo cortante reversible, otra ventaja de este equipo es que no hace polvo, ver figura 2.9 (a) y (b).



(a) Botcat con barredora angular.



(b) Botcat con barredora de cajón recolector.

Figura 2.9

Cuando la magnitud de la superficie a reparar sea grande, se podrán utilizar otros equipos mecánicos de mayor rendimiento.

2.2.1.2.2 Dosificación del Slurry de Cemento Pórtland.

La medición de los ingredientes para el mortero se debe hacer de tal manera que se asegure la uniformidad de las proporciones de la mezcla, el rendimiento y la trabajabilidad de una dosificación a otra. Las cantidades de los materiales usualmente están dadas en peso o en volumen suelto (bruto). Para los materiales granulares, el volumen suelto o bruto incluye el volumen que ocupa la masa de las partículas más el espacio de aire entre ellas. El volumen absoluto es el ocupado únicamente por la masa de las partículas.

La experiencia demuestra que la cantidad de arena puede variar considerablemente debido a abudamiento por humedad cuando se dosifica por volumen bruto. En la figura 2.10 se muestra cómo la arena suelta con cantidades variables de humedad ocupa diferentes volúmenes. La arena suelta y húmeda puede contener de 1201 a 1762 kg/m³, de arena, más el peso del agua.

La arena ordinaria absorberá agua en cantidades del 0.2% al 2.3% del peso de la arena. En el campo la arena húmeda usualmente tendrá de 3% a 8% de humedad, de modo que la mayor parte del agua está en la superficie de la arena. La medición de la arena, por peso, y el ajuste por contenido de humedad (tal como se hace para morteros premezclados) es el método más preciso para dosificar los ingredientes de un mortero.

Puesto que el mortero a veces está dosificado por volumen suelto, es necesario saber que una bolsa de cemento Pórtland tiene un volumen en polvo de 28 lts y un peso de 1505 kg/mt³, la cal hidratada pesa 641 kg/mt³ cuando esta seca y la masilla de cal hidratada pesa 1282 kg/mt³, el agua pesa 1000 kg/mt³, un galón de agua pesa 3.78 kg y tiene un volumen de 3.79 lts, y 1 ft³ de agua es igual a 28.3 lts. La densidad aparente del agregado puede variar de 1200 a 1760 kg/mt³ para agregado de peso normal. Las proporciones volumétricas son significativamente diferentes de las proporciones en peso. Por ejemplo, una mezcla de 1:4¼ :1 (1 ft³ o saco de cemento: 4 ¼ ft³ de agregado: 1 ft³ de agua) por volumen tendría proporciones en peso de 1: 4 ¾ : 2/3 (94 lbs de cemento: 446 lbs de agregado: 62 lbs de agua), suponiendo que el peso unitario del agregado fuera de 1680 kg/mt³.

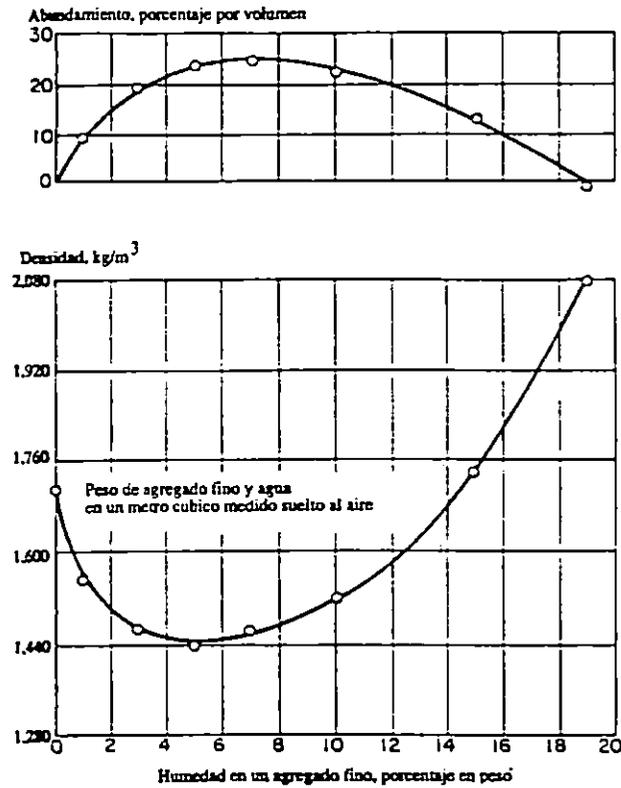


Figura 2.10: Relación entre peso bruto por m^3 , incremento de volumen, y contenido de humedad para arena particular.

Referencia: PCA Major Series 172

La tabla 2.5 proporciona una rápida conversión entre las unidades de volumen y peso. El volumen absoluto de los ingredientes de un mortero refleja el volumen del mortero producido (sin tomar en cuenta el contenido de aire).

La práctica de medir la arena por paladas para morteros mezclados en obras para pequeños trabajos puede dar como resultado una cantidad excesiva o insuficiente de arena en la mezcla.

TABLA 2.5:
CORRESPONDENCIAS ENTRE LAS RELACIONES
AGUA / CEMENTO.

Relación agua/cemento por volumen aparente, volumen de agua: cemento en polvo, l ³	Relación agua/cemento en peso, peso del agua: peso del cemento, kg	Relación agua/cemento en volumen absoluto, volumen de agua: volumen de sólidos (partículas) de cemento, m ³
8:28	0.198:1	0.017:0.028
11:28	0.259:1	0.023:0.028
14:28	0.328:1	0.029:0.028
16:28	0.398:1	0.035:0.028
19:28	0.458:1	0.040:0.028
22:28	0.546:1	0.046:0.028
25:28	0.599:1	0.052:0.028
28:28	0.658:1	0.058:0.028
56:28	1.299:1	0.117:0.028
84:28	2.158:1	0.176:0.028
112:28	2.808:1	0.235:0.028
140:28	3.259:1	0.294:0.028
168:28	4.000:1	0.350:0.028
196:28	4.599:1	0.408:0.028
224:28	5.299:1	0.467:0.028
252:28	5.898:1	0.526:0.028
280:28	6.599:1	0.585:0.028
308:28	7.299:1	0.644:0.028
336:28	8.000:1	0.702:0.028
364:28	8.599:1	0.761:0.028
392:28	9.299:1	0.820:0.028
420:28	10.000:1	0.879:0.028
560:28	13.894:1	1.170:0.028
840:28	19.898:1	1.775:0.028

Suposiciones: Densidad de sólidos de 1 para el agua y de 3.15 para el cemento. Peso volumétrico de 1000 kg para el agua y 1505 kg. Para el cemento en polvo.

Fuente: Lechadas cementantes e inyección de lechadas.
1999, IMCYC

2.2.1.2.3 Mezclado del Slurry de Cemento Pórtland.

Para obtener buena trabajabilidad, uniformidad y otras propiedades deseables de un mortero, los ingredientes se deben mezclar perfectamente. Con la posible excepción de trabajos muy pequeños, los morteros se deben mezclar a máquina dependiendo de la aplicación, el tipo, y la cantidad requerida, el mortero se puede premezclar en

una planta central de mezclado o en un camión mezclador (ASTM C-94), en una mezcladora móvil (ASTM C-685), en el sitio en una mezcladora de mortero, o en una mezcladora especial para morteros, tal como una mezcladora coloidal de alta fuerza de arrastre. Después de que todos los materiales dosificados estén juntos se deben mezclar de 3 a 5 minutos con un equipo convencional como una mezcladora de mortero. El mortero se debe emplear en la primera hora y media después del mezclado o dentro del tiempo especificado de trabajo.

2.2.1.2.4 Manejo del Slurry de Cemento Pórtland.

El mortero se puede transportar en el sitio de trabajo por medio de bombeo, carretilla, cubetas, u otro método que no propicie la segregación de los materiales. Se deben colocar a una velocidad que no produzca juntas frías. La consolidación por vibración, varillado o por otros medios, se debe efectuar, según sea necesario para eliminar los vacíos.

2.2.1.2.5 Colocación del Slurry de Cemento Pórtland.

Una vez la superficie se encuentre totalmente limpia, se procederá con la colocación del Slurry de Cemento Pórtland. Si la superficie a tratar es relativamente grande es posible usar camiones mezcladores a los cuales se les adapta equipo para bombear el mortero. Para extender el mortero vertido o bombeado pueden usarse rastrillos o escoba de goma. El espesor del mortero deberá controlarse, para ello deberán usarse guías, ya sean de madera u otro material, éstas se colocarán sobre la parte inferior del cordón y en la línea central de la vía, si es de un carril por sentido. Si la vía tiene dos o más carriles por sentido, las guías se colocarán en la división de

cada carril. Cuando la pendiente del bombeo no sea totalmente plana y tenga una forma curva, la distancia entre las guías deberá reducirse.

La etapa del acabado de la superficie debe de verse con mucha atención para llegar a obtener una rugosidad apropiada, similar a las de carreteras pavimentadas con un nivel de servicio: muy buena o buena, para las cuales el índice de regularidad (IRI) es de 0-2 y de 3-4 (m/km.), respectivamente.

El acabado podrá realizarse una llana metálica o cualquier otro método similar.

2.2.1.2.6 Curado del Slurry de Cemento Pórtland.

Para la etapa de curado se deberá tener mucho cuidado, se puede recomendar la colocación de una capa delgada de arena, de unos 2-3 cm. sobre el Slurry colocado, la cual deberá mantenerse húmeda hasta que el mortero gane una resistencia mayor del 70%.

2.2.2 PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL SLURRY DE CEMENTO PÓRTLAND .

2.2.2.1 Morteros de Cemento Pórtland.

Un mortero se puede preparar a partir de un gran número de materiales diferentes dosificados, ya que pueden incluir aditivos o no, en una amplia gama de cantidades, según su aplicación. Los materiales más comunes que se emplean en morteros se describen a continuación junto con sus respectivas designaciones según la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM) u otros estándares.

2.2.2.1.1 Ingredientes del Mortero:

a) Materiales Cementantes.

Los materiales cementantes que se usan en un mortero incluyen alguno o una combinación de los siguientes: Cemento Pórtland (ASTM C-150), Cemento Hidráulico combinado (ASTM C-595) o Cemento Hidráulico Expansivo (ASTM C-845).

b) Agua.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciados se pueden usar como agua de mezclado para hacer morteros. Se puede emplear agua de dudosa calidad si se cumple con los requisitos de la tabla 3. Las impurezas excesivas en el agua de la mezcla no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia, sino también causar eflorescencia, manchas, inestabilidad volumétrica y durabilidad reducida.

c) Agregados.

Los agregados se añaden esencialmente como material de relleno y no para mejorar propiedades específicas. El agregado debe estar libre de cantidades perjudiciales de material orgánico, no causar manchas, ser sanos, y tener granulometría apropiada para la aplicación particular.

d) Aditivos minerales y rellenos.

A veces se usan aditivos minerales finamente pulverizados para mejorar ciertas propiedades, como la fluidez, para ayudar a inducir reacciones cementantes

adicionales, o para actuar como rellenos. La impermeabilidad y la resistencia al ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y el sangrado, se pueden mejorar con ciertos aditivos minerales.

2.2.2.1.2 Propiedades De Los Morteros.

a) Consistencia:

La consistencia se refiere a la capacidad del mortero para fluir. En un mortero ésta propiedad varía con la aplicación. La consistencia puede variar desde una casi como la del agua o la de una pintura muy delgada, hasta una como de mortero espeso, rígido o de consistencia tixotrópica, según la aplicación y trabajabilidad deseada.

La consistencia es especialmente importante con respecto a la resistencia por adherencia. Los morteros fluidos tienen mejor adherencia que los secos y rígidos. Los morteros para aplicaciones de autonivelación o para llenar vacíos sin vibración deben ser muy fluidos.

La consistencia se puede medir de varias maneras como la del cono y mesa de fluidez. El cono de fluidez, ASTM C-939, mide la consistencia monitoreando el tiempo que emplea una cantidad específica de mortero para salir del cono. A este período se le llama tiempo de flujo. El cono de fluidez se utiliza para morteros fluidos delgados, con un tiempo de flujo de 35 segundos o menos. Se considera que los morteros que tienen un tiempo de flujo de 10 a 35 segundos forman una superficie casi a nivel, sin vibración o varillado. El agua tiene un tiempo de flujo de 8 segundos.

La mesa de fluidez, ASTM C-230, se usa para morteros espesos. La prueba mide la extensibilidad del mortero después de que deja caer la mesa un número específico de veces dentro de un cierto intervalo de tiempo, la consistencia de un mortero se puede definir como sigue:

- Un mortero plástico rígido tiene una fluidez de menos del 100%.
- Un mortero plástico tiene una fluidez de entre 100% y 125%.
- Un mortero fluido tiene una fluidez de entre 125% y 145%.

El mortero plástico se nivela únicamente después del vibrado o varillado, mientras que el fluido se nivela con una pequeña vibración o varillado.

Se debe utilizar un cono de fluidez modificado, mesa de fluidez, u otra prueba para morteros con un tiempo de flujo mayor de 35 segundos en el cono de fluidez. También es recomendable el cono de revenimiento ASTM C 143 de 30 cm y a veces uno de 15 cm en el campo para controlar la consistencia de un mortero plástico y fluido. En la figura 2.11 se ilustra la diferencia de consistencia para concreto, mortero y lechada para mampostería, tal como se determina con la prueba de revenimiento (ASTM C 143).

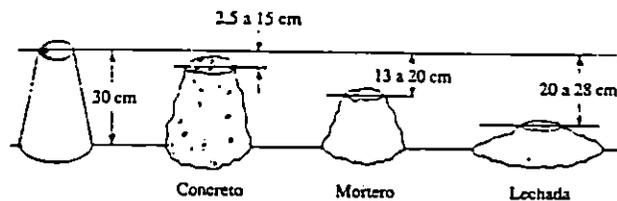


FIGURA 2.11: COMPARACION ENTRE PRUEBAS DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO, EL MORTERO Y LA LECHADA PARA MAMPOSTERIA.

Para incrementar la fluidez sin aumentar el contenido de agua, se pueden usar aditivos. Se recomienda emplear la consistencia más rígida que se pueda aplicar para evitar los efectos negativos de altos contenidos de agua, que se usan con frecuencia para preparar morteros aguados.

b) Trabajabilidad y Tiempo de Trabajo:

La trabajabilidad es la facilidad con la que un mortero se puede colocar, manejar y consolidar sin segregación o sangrado excesivo. Sin una buena trabajabilidad, un mortero puede ser difícil de manejar y dar como resultado un producto de mala calidad. Al período en el que un mortero permanece trabajable se le llama tiempo de trabajo, y puede variar según el tipo de mortero y las necesidades. Es necesario conocer el tiempo de trabajo de un mortero antes de que se use en una obra. Si el mortero se hace en planta, el tiempo de trabajo debe ser un período suficientemente largo como para permitir la transportación, el manejo y la colocación del mortero a una velocidad adecuada. Se debe evitar el reablandamiento, es decir, la adición de agua y el remezclado del mortero para volver a adquirir la consistencia o trabajabilidad deseada, a fin de mantener la resistencia, durabilidad, y otras propiedades del mortero. Los morteros que se vuelven intrabajables se deben descartar y reemplazar por otros nuevos. El tiempo de trabajo se puede calibrar si se realizan pruebas de consistencia a distintos intervalos de tiempo.

c) Sangrado, Asentamiento y Retención de Agua:

El sangrado se puede describir como la formación de una capa de agua por encima de un mortero recién colocado, causada por sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y cualquier agregado) y la simultánea migración hacia arriba del agua. El sangrado excesivo puede dar como resultado una superficie con una alta relación agua-cemento, que origina una pobre durabilidad y una menor resistencia; se puede formar inclusive una bolsa de agua o un hueco. Después de la evaporación del agua de sangrado, el nivel de la superficie endurecida será más bajo que el de reciente colocación. Esta reducción de volumen o dimensión vertical, desde el tiempo de la colocación hasta el fraguado inicial, frecuentemente se le llama contracción por asentamiento.

La velocidad y la capacidad de sangrado (asentamiento total por unidad de la altura original de la pasta o del mortero) se incrementan con el contenido inicial de agua, la altura del mortero y la presión (ver figura 2.12).

La propiedad de retención de agua, capacidad del mortero para mantener el agua y las partículas de cemento en suspensión, afecta significativamente el sangrado. Los morteros de alta retención de agua permiten muy poco o nada de sangrado. El uso de ciertos agentes de retención de agua o gelificantes, de ciertos aditivos químicos generales, de aditivos inclusores de aire, humo de sílice, y otros aditivos minerales, arcillas, y cementos más finos, también puede reducir el sangrado. Los morteros que se emplean para llenar huecos, proporcionar apoyo, o impartir impermeabilidad por

contacto directo deben tener un sangrado reducido para evitar el desarrollo de bolsas de agua entre la superficie del mortero y el elemento en donde éste se aplicó.

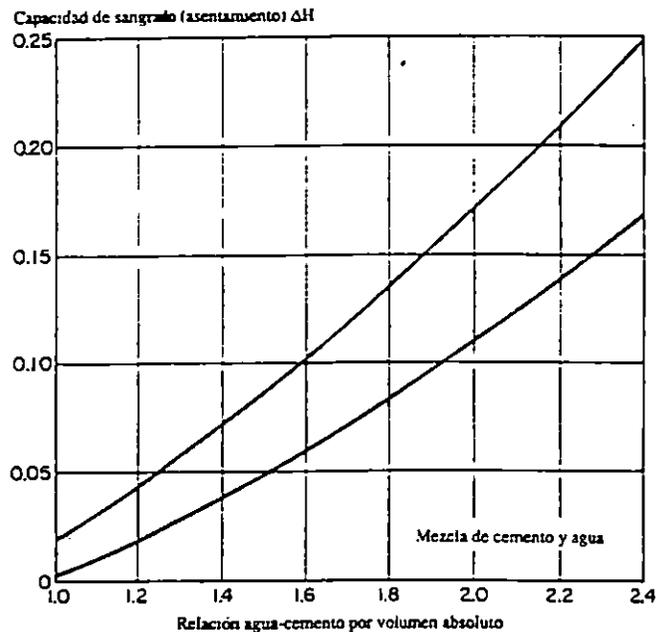


FIGURA 2.12: Gama de variación en la relación entre la capacidad de sangrado (asentamiento total por unidad de altura original de la lechada) y el contenido de agua de los morteros hechos con Cemento Pórtland normal y agua. Para convertir la relación agua-cemento por volumen absoluto a relación agua-cemento por peso, multiplíquese por 0.3175

d) Fraguado y Endurecimiento:

El fraguado, endurecimiento, desarrollo de resistencia y otras propiedades de los morteros se deben a una reacción química llamada hidratación, que tiene lugar en la pasta de cemento y agua. Cada partícula hidratada de cemento presenta un crecimiento parecido al de fibras en su superficie, que gradualmente se extiende hasta que se fusiona con el crecimiento de otras partículas de cemento o se adhiere a sustancias adyacentes tales como los agregados. La formación de esta estructura de

crecimiento (principalmente hidrato de silicato de calcio) es responsable de la adherencia de la pasta o de la acción cementante. Sin el agua la hidratación cesa, terminando con ello cualquier ganancia adicional de resistencia. Por lo tanto, es importante retener la humedad del mortero hasta alcanzar la resistencia deseada. Generalmente esto no es un problema en muchas aplicaciones de morteros, ya que éstas con frecuencia se colocan en lugares en donde el agua del mortero no puede escapar fácilmente.

Después de una hidratación suficiente, la pasta, junto con cualquier agregado encapsulado, forma un mortero endurecido de apariencia y propiedades semejantes a la piedra. Una vez que la hidratación se considera suficiente para obtener las propiedades deseadas, se puede suspender el curado; cualquier cantidad remanente de agua en el mortero se evaporará desde los poros microscópicos y capilares dentro de la pasta

e) Resistencia:

La resistencia a la compresión, flexión y tensión que se requieren en un mortero depende de la aplicación de éste, mientras que la resistencia que alcanza efectivamente es función directa de la cantidad de materiales cementantes y del agua en el mortero, así como del nivel de hidratación. La resistencia de un mortero está directamente relacionada con la relación agua-cemento: a medida que ésta se reduce, se incrementa la resistencia (figura 2.13). Además, mientras exista suficiente humedad (humedad relativa mayor de 80% en el mortero), cemento no hidratado y

espacios vacíos en el mortero, la resistencia se incrementará, como se ilustra en la figura 2.14.

Un exceso de agua causa no solamente baja resistencia, sino también sangrado excesivo, incrementa la contracción y reduce la durabilidad. El tiempo de fraguado disminuye y el desarrollo de la resistencia se incrementa con relaciones agua-cemento bajas y temperaturas más altas. La resistencia por adherencia es más dependiente de la consistencia que de la cantidad de agua en el mortero, un mortero aguado tiene mejor adherencia que una muy seca.

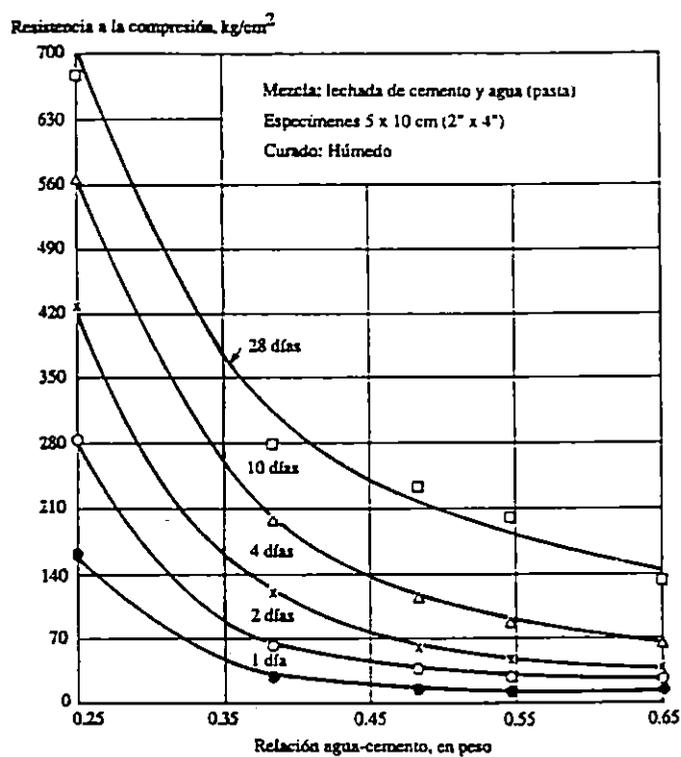
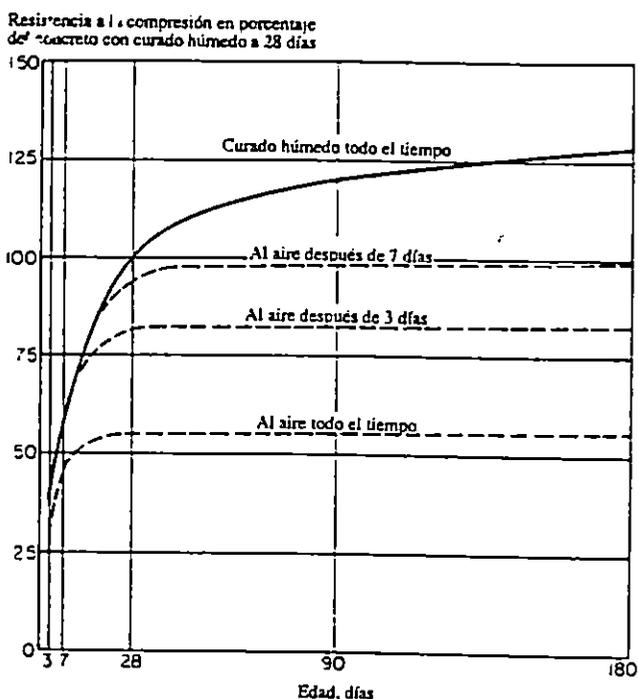


FIGURA 2.13: Correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión para morteros.

Para determinar la resistencia a la compresión de un mortero se pueden usar cilindros o cubos; sin embargo, los cubos de 5 cm (ASTM C-109) son los más comunes. Se deben emplear cubos con restricción en la parte superior para morteros sin contracción (expansivos) o para las usadas en concreto de agregado precolocado (ASTM C-942). El método de prueba para la resistencia de morteros para mampostería es el de prisma de mortero (ASTM C-1019), que usa unidades de mampostería como molde.

Propiedades de los morteros y las lechadas



FISURA 2.14: Relación entre la resistencia a la compresión, la edad, y el curado húmedo del concreto. Una relación similar existe para los morteros. La resistencia se incrementa con la edad mientras estén presentes la humedad y una temperatura favorable para la hidratación del cemento.

f) Cambios de Volumen:

El volumen de un mortero endurecido puede variar significativamente con respecto al volumen original de una fresca no endurecida.

Una pasta de cemento y agua primero experimenta una muy ligera expansión transitoria que ocurre al final de la etapa de reposo (nominalmente no reactiva) del sistema del cemento. Esto es seguido por una pequeña contracción que ocurre antes, durante y después del endurecimiento en un mortero aislado a medida que el cemento normal se hidrata y consume agua. Este cambio de volumen se atribuye a una contracción química, una autógena, o a la absorción de agua durante el endurecimiento. La contracción química también se atribuye a la reducción de cemento y agua (reactivos en el mortero). Si no se dispone de agua fuera de la pasta (por ejemplo, muestras selladas), la hidratación del cemento causará secado interno (autodeseccación) y una ligera contracción. Esta contracción se puede contrarrestar por medio de aditivos especiales agregados al mortero, el uso de estos sin contracción patentada o por inmersiones continuas posteriores en agua, que causan expansión.

Cuando el mortero se mantiene saturado (expuesto al agua) su volumen se incrementa a medida que se consume o absorbe el agua exterior. Los cementos expansivos se dilatan durante varios días. La mayor parte de la expansión y de la absorción de agua (contracción química) ocurre en un día, pero continúa muy lentamente durante un mes o más.

El mortero endurecido cambia ligeramente de volumen con las variaciones de la temperatura, contenido de humedad y carga. Los efectos químicos, como la carbonatación, causan contracción; el ataque de sulfatos y la reacción álcali-agregado inducen expansión. El mortero endurecido se expande ligeramente a medida que la temperatura se eleva, y se contrae cuando la temperatura baja, aunque se puede expandir ligeramente cuando cualquier cantidad de agua libre que está presente en el mortero, se congela. Los cambios de temperatura se presentan por condiciones ambientales o por elevación de temperatura debida a la hidratación del cemento.

Los cambios de volumen inducidos térmicamente varían con los ingredientes y proporciones del mortero, el tipo de agregado, el rango de temperatura, la edad del mortero, la humedad relativa ambiente, y otros factores.

El mortero endurecido se expande ligeramente con un incremento de humedad y se contrae con la pérdida de ésta tal como se ilustra en la figura 2.15.

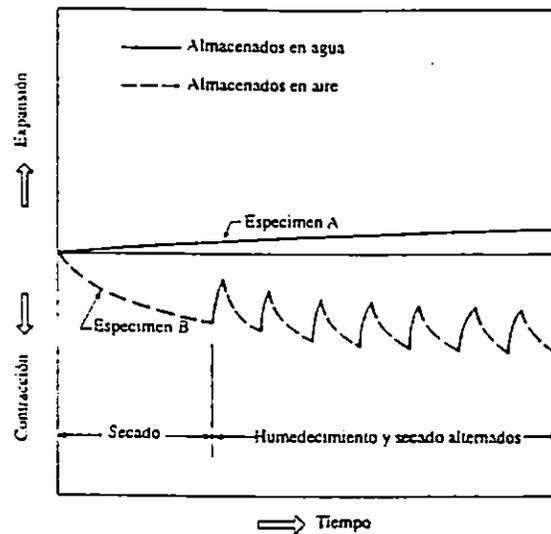


FIGURA 2.15: Ilustración esquemática de los movimientos de humedad en un mortero endurecido.

La magnitud de la contracción relacionada con la humedad del mortero, está directamente relacionada con su contenido de agua en estado fresco y con la cantidad de agua que se pierde. Por lo tanto para mantener la contracción a un mínimo, el contenido de agua de un mortero endurecido debe mantenerse en un mínimo. Esta reducción de volumen, ocasionado por la pérdida de agua en un mortero endurecido, se llama contracción por secado.

El agregado ayuda a restringir o a resistir el cambio de volumen de la pasta; por lo tanto, la cantidad y el tamaño del agregado se deben maximizar para reducir la contracción. La contracción normalmente no es un problema cuando se inyectan morteros en medios continuamente húmedos o mojados. Cuando el mortero se usa para impermeabilización o para rellenar huecos se puede especificar que sea sin

contracción o del tipo expansivo. Los morteros sin contracción (usualmente productos patentados) están formulados para no sufrir contracción en estado fresco o endurecido húmedo, aunque normalmente se espera alguna ligera expansión. En teoría los morteros sin contracción no deben sufrir contracción por secado; sin embargo, algunos morteros sin contracción pueden sufrir una contracción significativa al secarse (pérdida de humedad). La norma ASTM C-1090 se usa para determinar el cambio de volumen endurecido de los especímenes húmedos. La norma ASTM C-827 se puede emplear para determinar cambios de volumen a edades tempranas (no endurecidos) y se puede ampliar para analizar cambios de volumen endurecidos con morteros tanto en condición evaporativa como no evaporativa.

El mortero sin contracción debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C-1107, ésta norma especifica tres grados de morteros sin contracción: los grados A, B y C. El grado A es un mortero preendurecido, con ajuste de volumen que controla el volumen del mortero por expansión antes de endurecerse. El mortero de grado B controla el volumen mediante la expansión después de endurecerse. El mortero de grado C usa una combinación de control de volumen preendurecido y posendurecido. La norma ASTM C-1107 tiene límites sobre el cambio de altura a una edad temprana, y el cambio de altura del mortero endurecido curado en húmedo durante 28 días. Después de la prueba de curado en húmedo los especímenes de la norma ASTM C-1107 se exponen al aire durante 28 días y se prueban para determinar su contracción por secado.

g) Aumento De Temperatura:

El aumento de la temperatura puede ser un problema en los casos que el agrietamiento térmico de inyecciones masivas de mortero merece atención especial. La cantidad de calor que se genera en un mortero depende de la finura, cantidad y tipo de material cementante, la temperatura de colocación, la pérdida de calor disponible y del volumen o del espesor de la misma. Cuando el agrietamiento térmico constituya una preocupación, el mortero se debe mantener tan frío como sea posible y usar un bajo contenido de cemento, así como también un cemento de bajo calor de hidratación. Las puzolanas de bajo calor de hidratación son también muy útiles para morteros masivos o vaciados en donde el aumento de la temperatura se debe mantener al mínimo.

h) Durabilidad:

La durabilidad se refiere a la capacidad del mortero endurecido para soportar deterioro en su ambiente de servicio. Para un mortero que estará expuesto a suelos o aguas sulfatadas, es recomendable el uso de cementos resistentes a los sulfatos. Si la relación álcali-agregado es un problema potencial se debe utilizar cemento de baja alcalinidad y tomar en cuenta las puzolanas que reducen la reactividad álcali-sílice. Para medios ambientales de congelación y deshielo se debe usar la inclusión de aire con ese fin. La resistencia a la congelación y el deshielo se puede definir con la norma ASTM C-666.

El mortero debe ser estable después de endurecerse. Algunos contienen materiales que podrían permitir su expansión significativamente después de endurecerse. Estos

materiales se deben evitar en ciertos ambientes, ya que puede ocurrir una expansión excesiva que ocasione el agrietamiento y desintegración del mortero.

i) Permeabilidad:

La permeabilidad del mortero endurecido se reduce a medida que incrementa la cantidad del material cementante hidratado, cuando se continua el curado en húmedo y cuando disminuye la relación agua-cemento ver figura 2.16.

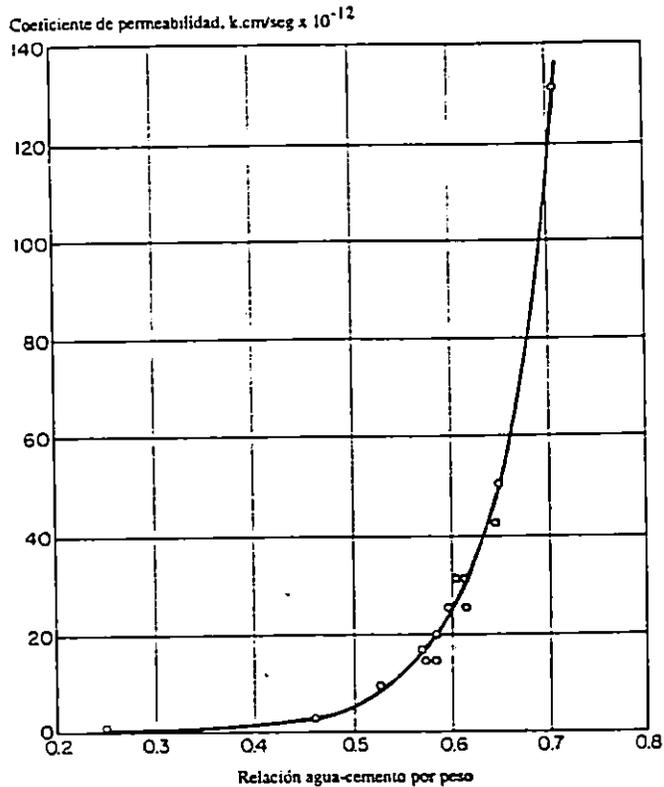


FIGURA 2.16: Dependencia entre la relación agua/cemento y la permeabilidad de mortero. Una baja relación de agua/cemento da como resultado una baja permeabilidad.

Ya que las proporciones de los ingredientes y las propiedades requeridas del mortero depende de la aplicación de la misma.

2.2.3 EVALUACION DE LA VIA PREVIA COLOCACION DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND.

La carretera o calle a la que se le aplicará el Slurry de Cemento Pórtland, deberá ser evaluada previamente para establecer la posibilidad de la aplicación de ésta técnica. Para este propósito se ha desarrollado la evaluación visual la cual consiste en lo siguiente:

2.2.3.1 Planteamientos Generales

2.2.3.1.1 Naturaleza Básica De Los Datos

La realización de la evaluación visual es un proceso metodológico que se orienta a conocer la condición superficial de las vías. Este aspecto debe contemplarse en las labores de tomas de datos de campo.

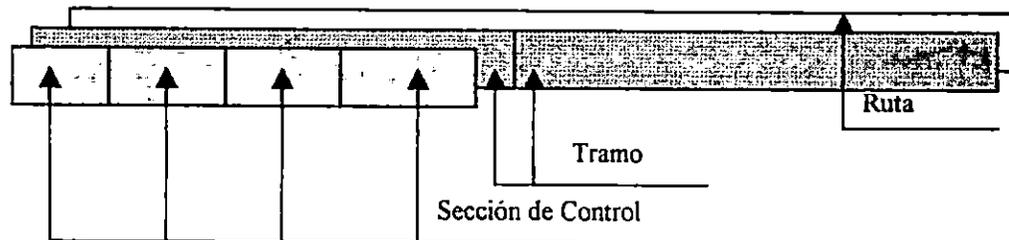
La evaluación superficial de la condición de cada uno de los tramos, tiene por objeto calificar las características de la capa de rodadura y su sistema de drenaje.

Todo esto permitirá conocer la condición superficial de cada ruta, lo cual proporcionará una muy buena idea del tipo de problema que posee la vía, de su transitabilidad actual y de las medidas necesarias a tomar, si el propósito es mantener o mejorar su nivel de servicio.

2.2.3.1.2 Seccionamiento De Rutas.

Antes de empezar la evaluación visual es necesario dividir la red vial en secciones de control según las siguientes definiciones:

- **Ruta:** La ruta se refiere a la vía que se está considerando, o sea, CA-1, CA-4, etc. en casos de carreteras pavimentadas. Las rutas son nombradas de acuerdo a la clasificación de la Red Vial de 1998.
- **Tramo:** Cada ruta está dividida en tramos en los cuales el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es aproximadamente constante.
- **Sección de Control:** El tramo está repartido en divisiones menores, para cada una de las cuales las características físicas son similares.



2.2.3.1.3 Procedimiento de la toma de datos.

A. Personal Para la Evaluación Visual.

La evaluación visual deberá ser ejecutado por tres personas de la siguiente forma:

- Un Jefe que será responsable del desempeño de la misma
- Un técnico de apoyo que se responsabilizará de la toma de los datos.
- Un motorista del vehículo.

Dispositivos receptores de posicionamiento global (GPS) también podrían ser utilizados para medir las distancias recorridas. Algunos de estos dispositivos poseen odómetros electrónicos con una precisión de hasta 0.1km.

Es importante que el mismo vehículo sea utilizado durante todo el período de ejecución del inventario.

La Cuadrilla de inventario deberá tener los siguientes materiales:

- a) Mapa vial del área que se esta inventariando
- b) Portaminas y Borradores
- c) Cinta métrica de 25 ó 50 mt
- d) Altimetro con precisión de 10mt, u otro dispositivo para medir cotas geográficas (elevaciones).
- e) Brújula con precisión de .1 a 5 grados, u otro dispositivo para medir orientaciones.
- f) Dispositivos de seguridad tal como conos reflexivos de señalización, postes delineadores, triángulos y rótulos de aviso, chalecos con cintas reflexivas.

Una alternativa al equipo referido en los puntos d) y e) antes mencionados es el uso de dispositivos receptores de posicionamiento global (GPS) los cuales ya los incluyen.

A efecto de realizar la tarea de la evaluación vial, se recorrerá la sección a una velocidad al criterio del jefe, haciendo las paradas necesarias en las áreas que presenten todo tipo de daños superficiales.

B. Instructivo y guía para la toma de datos.

Las vías incluidas en esta evaluación son aquellas que tienen en su superficie una capa asfáltica.

La base principal en la evaluación de pavimentos es identificar los diferentes tipos de fallas y determinar sus causas.

– Tareas preparatorias.

- Constituir el equipo de evaluación.
- Definir los tramos y un itinerario para la evaluación programada.
- Preparar la documentación de apoyo a llevar al campo.
 - > Formularios para la toma de datos.
 - > Mapa vial o topográfico del itinerario programado.
- Haciendo uso del formulario para "Evaluación Visual Superficial" para Vías Pavimentadas" identificar la ruta a inventariarse con la siguiente información:

Departamento: Indicar el departamento al cual pertenece la ruta a inventariarse.

Municipios: Indicar los municipios que cruza el tramo en cuestión.

Limite del tramo: Indicar el nombre de la vía, donde empieza y termina, en forma objetiva y concisa. Estos están identificados con bastante exactitud en la "Red Vial de El Salvador 1998".

Categoría de vía: Adoptar la clasificación funcional empleada por la DGC.

Especial.....Indicar.....(1)

Primaria.....Indicar.....(2)

Secundaria.....Indicar.....(3)

Terciaria Modificada....Indicar.....(4)

Fecha

Día/Mes/Año

– Tareas de levantamiento

- Iniciar el recorrido siguiendo el itinerario programado. La ruta sujeta a evaluación será dividida en secciones de características representativas en su longitud. El inicio y término de cada sección representativa serán definidos de acuerdo a los siguientes criterios:

- La sección tendrá una longitud mínima y máxima de 100 y 500 metros respectivamente.

En todos los casos, la sección debe concluir en correspondencia con una intersección, hito kilométrico, o un punto de referencia fácilmente identificable.

- Cuando a juicio del jefe se constata un cambio en la condición en la superficie de rodadura, particularmente en condición de los indicadores de baches y fisuras en bloque o piel de cocodrilo.
- Se producen cambios en las características geométricas de la vía (numero de carriles, categoría de vía) o en el tipo de superficie de rodadura.
- En el recorrido se ha llegado a un cruce con una vía de importancia.
- En el recorrido se ha llegado a una zona urbana y la vía se subdivide.
- Se encuentran problemas geotecnicos como deslizamientos de taludes, erosión superficial de taludes, suelos blandos entre otros.
- Se alcanza el límite que da término a la ruta en evaluación.

Para el establecimiento de las secciones, se pueden utilizar dispositivos receptores de posicionamiento global (GPS) para almacenar y luego transferir a computadoras personales las coordenadas de los puntos finales de cada sección. Esto a su vez garantizará que se haya cubierto el recorrido de toda la ruta.

- Los datos de la sección se registran en el formulario de la evaluación visual superficial de acuerdo a los siguientes criterios:

Ancho promedio

de carril: Distancia medida en metros en forma transversal al eje del carril.

Numero de

carriles: El numero de carriles de la calzada en evaluación.

Numero de

Cabezales: El número total de cabezales de ingreso y salida de las alcantarillas existentes.

- Durante o una vez finalizado el recorrido se deberá reportar adicionalmente la condición de la vía como se indica a continuación:

Cunetas en

Condición

Defectuosas: Se calificará subjetivamente el porcentaje de las cunetas, por tipo, que se encuentren en condición defectuosa, es decir, requieren mantenimiento. Por ejemplo: cunetas con material acumulado en su interior

que impiden el flujo del agua, cunetas de mampostería que presenten roturas.

Cabezales en

Condición

Defectuosa: Se calificará subjetivamente el número de cabezales que estén deteriorados y requieran mantenimiento

Para la evaluación de la condición de la Superficie del Pavimento como se indica a continuación se hace hincapié que toda vez que se considere necesario se puede hacer detener el vehículo para descender a constatar la condición del pavimento. De igual manera se hace a regular velocidad del vehículo hasta tener la seguridad de poder calificar adecuadamente los parámetros o indicadores de estado del pavimento.

Comodidad de Manejo: Se calificará cualitativamente el confort que ofrece la vía al desplazamiento del vehículo.

Bueno a Muy Bueno	1
Regular	2
Pobre	3
Pésimo	4

Comentar con los ocupantes la sensación de confort o no, y la comodidad de manejo que ofrece la vía, a fin de

establecer una calificación promedio tentativa de este indicador.

Trabajo de

Mantenimiento

Efectuado : Se reportará los trabajos previos de mantenimiento realizados en una sección.

Parchado o Bacheo (P)

Sello Bituminoso..... (S)

Rehabilitación Parcial (R)

Rehabilitación Total (RT)

Intensidad de

Mantenimiento: Se reportará la intensidad de los trabajos de mantenimiento efectuados en una escala de 0 a 4, diferenciando las siguientes alternativas:

Nivel	Porcentaje Afectado
0	0
1	> 0 - 5%
2	5 - 15%
3	15 - 25%
4	> 25%

Observaciones: Indicar las observaciones que resulten convenientes en base a los comentarios que se susciten durante el recorrido. Para facilitar la tarea de observaciones examinar la relación siguiente y adoptar los códigos para las diferentes observaciones:

1. La condición del pavimento es muy variable dentro de la sección.
2. Se observan vestigios de acumulaciones de agua en distintos sectores de la sección, es decir los elementos de drenaje son deficientes.
3. Se observan grandes acumulaciones de vegetación en la zona de derecho de vía.
4. Se evidencian deformaciones muy profundas.
5. Los bordes del pavimento son muy irregulares por falta de protección.

FORMULARIO PARA EVALUACION VISUAL SUPERFICIAL

DEPARTAMENTO: _____	LIMITE DEL TRAMO	ULTIMO MANTENIMIENTO
	DE: _____	TIPO: _____
MUNICIPIO	A: _____	AÑO: _____

CATEGORIA: 1 Especial.	FECHA: _____
2 Primaria	
3 Secundaria	

ITEMS DE EVALUACION	Unidad	SECCIONES											
		1			2			3			4		
Longitud de Tramo	mt												
Ancho Promedio del Carril	mt												
Numero de Carriles	un												
Numero de Cabezas	un												
Cunetas en Condición Defectuosa	%												
Cabezas en Condición Defectuosa	%												
Comodidad de Manejo: 1. Muy Bueno a Bueno 2. Regular, 3. Pobre, 4. Pésimo (ver anexo 4a)*		1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Trabajo de Mantenimiento Efectuado B: Bacheos S: Sello, R: Rehab. Parcial, RT: Rehab. Total		B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
Intensidad de Mantenimiento Efectuado 1: 0-5% 2: 5-15% 3: 15-25% 4: >25% (ver anexo 5)*		1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Observaciones Particulares													
1: La condición del Pav. Es muy variable dentro de la sección		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2: Elementos de drenaje deficientes, se aprecian acumulaciones de agua		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3: Se observa acumulaciones de vegetación en el derecho de vía		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4: Se observa deformaciones muy profundas.		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5: Los bordes del Pav. Son muy irregulares por falta de protección.		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

* ver Manual para la Ejecución del Inventario Vial por medios Visuales MOP 1999.

CAPITULO III

TRABAJO DE LABORATORIO Y DE CAMPO PARA EL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND

3. TRABAJO DE LABORATORIO Y CAMPO PARA EL SLURRY DE CEMENTO PÓRTLAND.

INTRODUCCION:

En este capitulo, se describen los procedimientos utilizados para la realización de las diferentes pruebas de laboratorio. Para determinar los elementos necesarios en el diseño del mortero de Slurry de Cemento Pórtland, primeramente se procederá a determinar la mezcla óptima.

Una vez determinada la mezcla óptima, mediante las pruebas de laboratorio, se procederá a realizar el trabajo de campo; este consistirá en la colocación de tramos de prueba en vías, que cuenten con todos los elementos reales de funcionamiento.

3.1. TRABAJO DE LABORATORIO.

3.1.1. DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

3.1.1.1. ANÁLISIS GRANULOMETRICO PARA AGREGADO FINO (ASTM C-136).

OBJETIVO: Determinar características del agregado fino usados en el Slurry de Cemento Pórtland, mediante porcentajes de peso retenidos o que pasan una serie de tamices, que ayudan a determinar el modulo de finura.

La granulometría de partículas se determina por medio de un proceso de cribado, dividiendo una muestra de agregado en fracciones compuestas de partículas del mismo tamaño.

La granulometría es un factor importante ya que afecta la trabajabilidad de una mezcla de concreto, la necesidad de agua y cemento, capacidad de bombeo,

controla la segregación, el acabado del concreto fresco y afectan también sus propiedades en estado endurecido; resistencia, contracción y durabilidad.

Una granulometría con deficiencias en partículas finas conduce a un exceso de partículas medianas provocando con esto aspereza.

En el caso de las arenas cuando se tiene exceso en las partículas que pasen las mallas N° 50 y la N° 100, se espera que el modulo de finura sea bajo, lo que indica que el área específica del agregado es grande afectando de esta manera la trabajabilidad, textura superficial y el sangrado del mortero

La relación A/C suele fijarse generalmente de acuerdo a las consideraciones de resistencia, y si tiene un exceso de finos la cantidad de pasta debe ser suficiente para cubrir la superficie de todas las partículas, lo que resultaría antieconómico al tener que aumentar la relación A/C para mantener los requerimientos de resistencia

Es frecuente presentar la granulometría de los agregados haciendo uso de gráficos, poniendo en el eje de las abscisas la abertura de las mallas y en el eje de las ordenadas los porcentajes correspondientes.

Los tamices standard usados para determinar la graduación de los agregados finos son: 3/8", 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

a) Preparación de la muestra

- Se tomará una pequeña porción de arena y si esta pasa como mínimo el 95% por el tamiz N° 8, se tomará una muestra de 100 gr. Para el ensayo.

- Si pasa como mínimo un 85% a través del tamiz N° 4 , y se retiene más del 5% en el tamiz N° 8, se tomará una muestra de 500 gr.

b) Procedimiento

- Se acoplan los tamices en orden descendentes de tamaño desde la malla de 3/8" hasta la N° 100.
- Agítese las mallas utilizando el Tamizador Mecánico durante 15 min.; después de terminado el tamizado déjese que el material se asiente durante 3 min. Para poderlo pesar.
- Si el peso del agregado mas fino que la malla N° 200 ha sido obtenido previamente por lavado según la norma ASTM C-117, adicionar tal peso al determinado, por este método.

**3.1.1.2. MATERIALES MAS FINOS QUE LA MALLA N° 200 EN
AGREGADOS MINERALES POR MEDIO DE LAVADO (ASTM
C-117)**

OBJETIVO: Determinar el porcentaje de finos y verificar que éste no sobrepase lo establecido en esta norma (5%). Para no tener que usar más pasta en la mezcla del Slurry de Cemento Pórtland.

a) Preparación de la muestra

La muestra deberá secarse en el horno antes de reducirse de acuerdo a la norma ASTM C-702, hasta obtener un peso aproximado de 500 gr.

b) Procedimiento

- Se coloca sobre la malla 200 el material a ensayar en porciones lo suficientemente grande como para cubrir el área del tamiz, luego se incorpora agua y se agita vigorosamente hasta asegurarse que el agua pase completamente limpia; repítase este proceso con las demás porciones hasta terminarse la muestra.
- Incorpórese por lavado de la malla todo el material retenido en ella a la muestra final, seque el agregado en el horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C.
- Retirar la muestra del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar la muestra aproximando el valor al 0.1% más cercano.

3.1.1.3. CONSISTENCIA NORMAL (ASTM C-187) Y TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DEL CEMENTO POR MEDIO DE LA AGUJA DE VICAT (ASTM C-191).

OBJETIVO: Determinar el tiempo de fraguado del Cemento CESSA 5000 Pórtland Tipo I.

El cemento es un polvo químico seco, que al mezclarse con agua (pasta), adquiere propiedades aglutinantes, tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales, para formar un todo compacto.

Al entrar en contacto el cemento con el agua, se inicia una reacción química llamada hidratación, la cual genera el fraguado que es un proceso de endurecimiento en el cual, el concreto o el mortero pasa del estado fluido o

semifluido a un estado rígido, el que al finalizar este proceso inicia la ganancia de resistencia. En este proceso de hidratación los cementos requieren determinado tiempo para endurecerse, o sea el fraguado inicial para todos los cementos, exceptuando el Pórtland tipo III. El fraguado inicial no deberá ser menor de 45 minutos.

a) Procedimiento

– Preparación de la Pasta de Cemento

• Mecánicamente

- Se pesará una muestra de cemento de 650 gr.
- Preparar la mezcladora colocando la paleta y la olla secas en posición de mezclado.
- Viértase toda el agua dentro de la olla.
- Agréguese el cemento al agua y déjese transcurrir 30 seg. para que el cemento la absorba.
- Póngase en marcha la mezcladora en velocidad baja (140 ± 5 r.p.m.) durante 30 seg.
- Deténgase la mezcladora y usando la espátula, despréndase hacia abajo rápidamente toda la pasta que se haya adherido a las paredes de la olla. Esta operación deberá tomar no más de 15 seg.
- Póngase en marcha la mezcladora en velocidad alta (285 ± 10 r.p.m.) y mézclese la pasta durante un minuto.

- **Manualmente**

- Colocar el cemento en una superficie lisa y no absorbente.
- Formar un cráter al centro y verter el porcentaje de agua en el.
- Echar con una espátula el cemento del borde exterior del cráter dentro de éste en un período no mayor de 30 seg.
- Luego en un intervalo de 30 seg. , tiempo requerido para la absorción del agua y durante el cual el cemento seco que este alrededor del cono se alisará ligeramente con la espátula sobre la mezcla restante para reducir las perdidas por evaporación y para promover la absorción, se completará la operación; mezclando, comprimiendo y amasando continua y vigorosamente con las manos durante 1.5 min.
- Durante la operación de mezclado se protegerán las manos con guantes de hule bien ajustados.

- **Moldeado de los especímenes**

- Con la pasta de cemento preparada como se indicó anteriormente, fórmese una bola (se tendrá cuidado de tener las manos enguantadas, para que no haya contacto de cemento con la piel).
- Tírese esta bola 6 veces de una mano a otra, manteniendo las manos separadas una distancia de 15 cm (6”).
- Presione la bola, descansando en la palma de la mano, dentro del extremo mayor del anillo cónico, que se sostendrá en la otra mano, hasta llenar completamente el anillo con la pasta.

- Remuévase el exceso de pasta en el extremo mayor con un simple movimiento de la palma de la mano.
- Colóquese el anillo de tal manera que su extremo mayor descansa sobre la placa de vidrio y quítese el exceso de pasta en el extremo menor de la parte superior del anillo; pasando el borde afilado de una espátula que se mantendrá en posición oblicua de tal manera que forme un ángulo pequeño con el extremo superior del anillo.
- Alísese la parte superior del espécimen, si es necesario con una o dos ligeras pasadas del borde sin filo de la espátula. Durante las operaciones de cortado y alisado téngase cuidado de no comprimir la pasta.

– **Determinación de la Consistencia.**

- La pasta confinada en el anillo sobre la placa de vidrio se centrará bajo el vástago del aparato de Vicat.
- El extremo del vástago (varilla de 1 cm de diámetro) se pondrá en contacto con la superficie de la pasta y se asegurará el tornillo fijador. Después se colocará el índice móvil sobre la marca 0 de la escala, o se tomará una lectura inicial.
- Se soltará el vástago o varilla bruscamente y se deja que ejerza una acción durante 30 seg. , al final de los cuales se lee en la escala la penetración que haya hecho el vástago. El aparato estará libre de toda vibración durante la prueba.

- La pasta será de consistencia normal cuando después de 30 seg. de haber soltado el vástago, penetre 10 ± 1 mm bajo la superficie original.
 - La pasta de prueba se hará variando el porcentaje de agua hasta obtener la consistencia normal, cada intento se hará con nuevo cemento.
 - Para determinar la cantidad de agua necesaria existen ciertas condiciones que se calculan como un porcentaje del cemento seco, siendo esta variación de 21 a 28% como porcentaje mínimo y máximo respectivamente del peso del cemento, es decir, 105 cm^3 como cantidad de agua mínima y 140 cm^3 como cantidad de agua máxima.
- **Determinación del tiempo de fraguado.**
- Una vez encontrada la cantidad de agua para la cual se obtiene la consistencia normal del cemento. Se prepara un espécimen con esta cantidad de agua siguiendo el procedimiento antes descrito.
 - Colocar el espécimen en el cuarto húmedo, durante 30 minutos después del moldeado sin producir ninguna alteración.
 - Determinése la penetración de la aguja de 1 mm. En este instante y durante 15 minutos subsecuentes (10 min. para cemento tipo III) hasta obtener una penetración de 25 mm o menos.
 - Para el ensayo de penetración hágase descender la aguja de 1 mm. Hasta que descansa en la superficie de la pasta de cemento. Apriétese el tornillo de ajuste y ajústese el indicador, en el extremo superior de la escala o tómese una lectura inicial.

- Suéltese la varilla rápidamente soltando el tornillo de ajuste y permítase que la aguja penetre durante 30 seg. , después tómesese la lectura para determinar la penetración (si la pasta está demasiado suave en las primeras lecturas, se puede retardar el descenso de la varilla para evitar que se flexione la aguja de 1mm).
- Regístrese los resultados de todos los ensayos de penetración con su correspondiente tiempo. Se tendrá cuidado de no hacer ensayos de penetración a menos de $\frac{1}{4}$ " (0.6 cm) de una marca de penetración previa y no se harán ensayos de penetración a menos de $\frac{3}{8}$ "(1 cm) de la cara interior del molde.

3.1.1.4. FLUIDEZ DEL MORTERO (ASTM C 939), ELABORACIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO (ASTM C-109).

OBJETIVO: Verificar que el tiempo de flujo del Slurry de Cemento Pórtland esté en el rango de 10 a 35 seg, para que no sea necesario un vibrado en el momento de la colocación. Elaborar cubos para ensayos de resistencia a la compresión y determinar la mezcla óptima.

El mortero es una mezcla de materiales cementantes, agregados (arena bien graduada y limpia) y agua.

Para el diseño de la mezcla de mortero, necesitamos conocer en primer lugar la granulometría de la arena a utilizar, para ver si cumple con los requisitos que



establece ASTM C-144, donde se establece la graduación que deberá tener la arena para mortero.

a) Procedimiento.

– **Preparación de los moldes.**

- Cubrir las caras interiores de los moldes con aceite mineral o grasa lubricante ligera, de la misma manera la superficie de contacto de las mitades de cada molde.
- Quitar el exceso de lubricante después del ensamblaje, tanto de las caras interiores como de las superficies de cada molde.
- Unir los moldes a la placa de base, que deberá ser plana, no absorbente y que haya sido ligeramente cubierta con los lubricantes señalados.
- Sellar la líneas exteriores de contacto entre los moldes y placa de base con tres capas de parafina.

– **Proporcionamiento, consistencia y mezclado del mortero.**

- El Proporcionamiento se hará dependiendo del tipo de mortero a elaborar; Para este ensayo se usará una proporción en volumen de cemento:arena de 1:2, además se usarán relaciones de A/C de 0.61 a 0.65.
- Cuando se haya hecho el Proporcionamiento de la mezcla, se pesarán las cantidades de cemento y arena correspondiente, y se procederá a encontrar la fluidez como primer paso.

– **Fluidez del mortero.**

- La arena que se utilizará en el ensayo deberá estar cuarteada, seca y tamizada por la malla N° 16.
- Pesar por separado la arena y el cemento.
- Agregar al tazón el agua de mezclado necesaria para producir una fluidez que este dentro del rango de 10 a 35 seg. en el cono de fluidez.
- Agregar el cemento, poner en marcha la batidora y mezclar a baja velocidad (140 ± 5 rpm) durante 30 seg.
- Agregar lentamente la cantidad total de arena en un lapso de 30 seg. mientras se efectúa el mezclado a baja velocidad.
- Detener la batidora, cambiar a velocidad media (285 ± 10 rpm), y mezclar durante 30 seg.
- Volver a detener la batidora y dejar reposar el mortero por 1.5 min. Durante los primeros 15 seg. de éste intervalo desprender con la espátula, rápidamente hacia abajo todo el mortero adherido a las paredes del tazón en el resto de éste tiempo cúbrase el tazón con la tapa.
- Terminar el mezclado haciendo funcionar la batidora a una velocidad media durante 1 min.
- Después de completar el mezclado, regresar el exceso de mortero de la paleta al tazón.

– **Determinación de la Fluidéz.**

• **Calibración del Cono de Fluidéz.**

- Montar el cono de fluidéz firmemente, de manera que esté libre de variaciones nivelando la parte superior para asegurar la verticalidad.
- Cerrar la salida del tubo de descarga con el dedo o un tapón. Introducir 1725 ± 5 ml de agua dentro del cono.
- Ajustar el punto de calibración, encender el cronometro y simultáneamente quitar el dedo.
- Verificar que el tiempo de flujo para la descarga de éste volumen sea de 8.0 ± 0.2 seg. para que el cono pueda ser usado para calcular el tiempo de flujo del mortero.

– **Medición de la Fluidéz.**

- Humedecer el interior del cono de fluidéz para llenar el cono con agua, 1 min. Antes de introducir la muestra de mortero permitiendo que el agua drene el cono. Cerrando el tubo de descarga con el dedo o un tapón.
- Introducir el mortero dentro del cono hasta que la superficie del mortero se eleve y tenga contacto con el punto calibrado.
- Encender el cronometro y simultáneamente quitar el dedo o el tapón.
- Detener el cronometro cuando haya una descarga de 1lt. En el cual el flujo no varíe.

– **Moldeado de los especímenes.**

- Después de determinada la fluidez se regresa el mortero del cono de fluidez al tazón de mezclado.
- Rápidamente se desprende el mortero adherido a las paredes del tazón y se integra a la masa total a la que debe darse 15 seg. de mezclado a velocidad media.
- Comenzar a moldear los especímenes dentro de un lapso de tiempo no mayor de 2.5 min. después de terminar el mezclado original de la carga del mortero.
- Colocar la primera capa de aproximadamente 2.5 cm de espesor en todos los cubos, apisonándola en cada cubo 32 veces en cuatro pasadas. En 10 seg aproximadamente. Cada pasada constará de 8 golpes adyacentes entre si sobre la superficie del espécimen, y en cada una el pisón deberá girarse 90 con respecto al anterior, la presión del apisonado tendrá que ser la suficiente para asegurar que los moldes se llenen en forma uniforme. Las cuatro pasadas con el pisón (32 golpes), deben completarse en un cubo antes de pasar al siguiente.
- Después de concluido el apisonado de la primera capa en todos los cubos, se llenan con el resto y se apisonan como se especificó para la primera capa.

- En la segunda capa, después de cada pasada, debe regresarse a los moldes el mortero que en la pasada anterior haya sido forzada hacia afuera sobre los bordes superiores.
- Al terminar el apisonamiento, el mortero de la parte superior deberá extenderse ligeramente sobre los bordes, con la llana se regresa el mortero que fue forzado hacia afuera sobre los bordes superiores, y se alisan los cubos pasando la llana una vez a lo ancho y después una vez a lo largo (con el borde anterior de la llana ligeramente elevado).
- Finalmente enrasar los bordes superiores del molde, de tal modo que se forme una superficie plana, pasando a lo largo del molde el canto de la llana (sostenida casi perpendicular al molde) con un movimiento en zigzag.

– **Almacenamiento.**

- Inmediatamente después de terminar el moldeo, se colocan los especímenes en la cámara húmeda, los cuales se mantienen en los moldes sobre las placas de base en dichas cámaras en un período de 24 horas, de tal manera que las superficies superiores queden expuestas al aire húmedo.
- Finalmente los cubos son sumergidos en agua limpia hasta el momento de su ruptura.

– **Ruptura de los Cubos.**

- Tolerancias permisibles para la edad de prueba de los cubos según la ASTM C-109:

Tabla 3.1

Edad de Prueba	Tolerancia permisible en horas
24 horas	$\pm 1/2$
3 días	± 1
7 días	± 3
28 días	± 12

- Area del espécimen: si la sección transversal de un espécimen difiere de 25 cm² en mas de 0.40 cm², úsese el área real para calcular la resistencia a la compresión.
- Retirar los especímenes del tanque de curado. Conservar húmedos los cubos hasta el momento de la prueba.
- Limpiar los especímenes, (se deberá retirar cualquier incrustación o grano de arena flojo de las caras que vayan a estar en contacto con las placas de la máquina de prueba). Se secarán y pesarán.
- Se observarán las superficies pasándoles una regla metálica sobre las caras para saber si existe curvatura, si hay curvatura se deben pulir las caras hasta obtener superficies planas, o bien descartar el espécimen.
- Se colocará cuidadosamente el espécimen en la máquina de prueba y se aplicara la carga (se tratará de poner en contacto con la máquina las caras que estuvieran en contacto con las superficies planas del molde).

- Regístrese la carga total máxima indicada por la máquina y calcúlese la resistencia a la compresión en kg/cm^2 , redondeando en 0.5 kg/cm^2 más próximo.

3.1.1.5. IMPUREZAS ORGANICAS EN AGREGADOS FINOS (ASTM C40).

OBJETIVO: Determinar la presencia de impurezas orgánicas que podrían afectar la resistencia y la adherencia del Slurry de Cemento Pórtland.

Los agregados naturales pueden poseer suficiente resistencia y dureza para soportar el desgaste, pero no darán resultados satisfactorios para producir concreto si poseen impurezas orgánicas que interfieren en las reacciones químicas de hidratación pueden causar deterioro. Es más probable encontrar estas sustancias en las arena que en el agregado grueso.

Estas sustancias se manifiestan en formas de humos o margas orgánicas, con la presencia de estas impurezas pueden aparecer erupciones en la superficie del concreto, estas son desprendimientos de pequeños fragmentos lo que podría ocasionar la pérdida de recubrimiento del acero de refuerzo, otros efectos adversos son el retraso en el fraguado y reduce considerablemente la resistencia del concreto.

No todas las materias orgánicas son perjudiciales y lo mejor es verificar sus efectos en concreto mediante cubos de prueba.

a) Preparación de la muestra

La porción a ensayar deberá ser reducida de acuerdo al procedimiento citado por la norma ASTM C-702. Dicha muestra deberá tener un peso aproximado de 450 gr.

b) Preparación de la solución química

Se usará una solución de hidróxido de sodio grado reactivo al 3%. Se disolverá tres partes de hidróxido (en peso), en 97 partes de agua. Después de ser preparada la muestra puede ser utilizada inmediatamente.

c) Procedimiento

- Colóquese el agregado fino a ser ensayado en un dispositivo de vidrio, hasta la marca de 4.5 onzas.
- Añádase la solución de hidróxido de sodio (soda cáustica), hasta que el volumen del agregado fino y el líquido sea de 7 onzas después de agitar el depósito.
- Tápese el depósito, agítese vigorosamente y déjese reposar por 24 horas.
- Comparar el color del líquido de la muestra de ensayo con los de la carta de colores N° 815 Hellige Tester – Hellige Color Plate. La carta presenta los siguientes colores:

- 1 Amarillo Claro
- 2 Amarillo Oscuro
- 3 Anaranjado (ámbar, color estándar de comparación)
- 4 Rojo Claro (rojo naranja)
- 5 Rojo Oscuro.

3.1.1.6. GRUMOS DE ARCILLAS Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN LOS AGREGADOS FINOS (ASTM C-142)

OBJETIVO: Determinar la cantidad de partículas desmenuzables que pueden interferir en la resistencia al desgaste del Slurry de Cemento Pórtland. Esta cantidad no deberá ser mayor del 5% del peso de la muestra.

Estas partículas pueden presentarse en la forma de recubrimientos superficiales, esto interfiere con la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. Como una buena adherencia resulta indispensable para obtener una resistencia y durabilidad satisfactoria, el estudio de estas partículas es importante.

Materias como arcillas y limos así como polvos provenientes de la trituración de la roca, pueden encontrarse sueltas o adheridas al agregado, su finura hace que el área superficial aumente, lo que eleva la cantidad de agua necesaria para humedecer todas las partículas de la mezcla, variando así la relación A/C.

a) Preparación de la muestra

- Tomar de la muestra de campo, de acuerdo con la norma ASTM C-702 una porción de aproximadamente 130 gr. Lavarla y secarla.
- La muestra constará de partículas mayores que la malla N° 16 y pesará como mínimo 100 gr.
- Saturar la muestra por 24 horas.

b) Procedimiento

- Se extiende la muestra en una capa delgada en el fondo de un recipiente adecuado, y se examina para saber si tiene partículas desmenuzables; se

clasifica como desmenuzables aquellas partículas que pueden romperse con los dedos en fracciones muy finas, después de que se hayan desecho todas las partículas desmenuzables se separa la parte desmenuzable usando la malla N° 20.

3.1.2. DETERMINACION DE LA MEZCLA OPTIMA.

3.1.2.1. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA ARENA PARA EL SLURRY DE CEMENTO PÓRTLAND.

La arena a utilizar para la elaboración del Slurry de Cemento Pórtland, tiene una procedencia de la hacienda El Achiotal, Comalapa Departamento de La Paz.

Primeramente se procedió a la determinación de la granulometría del material según la norma ASTM C-136 y así determinar el tamaño máximo a utilizar. De los datos obtenidos del ensayo, se determino un modulo de finura de 2.99, de acuerdo a este valor se tiene la certeza de que indica un buen resultado debido a que se encuentra entre los límites establecidos por la norma ASTM C-33. También se determinó que el tamaño máximo del agregado sería el que pasa la malla No. 16 (1.18mm); basándose en que el espesor del Slurry de Cemento Pórtland es de 5mm y que el tamaño máximo del agregado no deberá exceder $1/3$ del espesor, entonces el tamaño deberá ser menor o igual a 1.66mm.

3.1.2.2. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE ARENA PARA LA MEZCLA DEL SLURRY DE CEMENTO PÓRTLAND.

Para determinar la cantidad o proporción de arena en el Slurry de Cemento Pórtland, se probaron distintas relaciones en volumen de cemento:arena (1:2, 1:3 y 1:4) para una misma relación de agua/cemento. Esta relación se determinó basándose en que el tiempo de flujo estuviera dentro del rango de 10 a 35 seg. Especificado en el capítulo anterior. Primeramente se utilizó una relación A/C de 0.90, para una relación de 1:2, pero esta era demasiado fluida; posteriormente se usó una relación A/C de 0.70 obteniendo un valor de tiempo de flujo menores de 10 seg. en vista que las otras relaciones 1:3 y 1:4 absorberían más pasta, el tiempo de flujo de estas relaciones entrarían en el rango establecido. Pero al medir la fluidez de éstas, no se pudo determinar el tiempo de flujo, debido a que eran muy secas. En este momento era necesario aumentar la relación A/C para las mezclas que no fluyeron, esto no se hizo por los efectos que se podrían tener en relación con la resistencia. Por lo tanto, se eligió la relación de 1:2 ya que en esta lo necesario era disminuir la relación A/C, obteniendo con esto las ventajas de tener un tiempo de flujo dentro del rango y una mayor resistencia. Ver fig. 3.1,3.2 y 3.3.

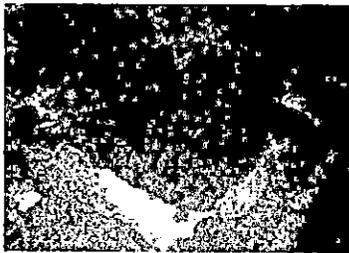


Fig.3.1. Relación 1:2

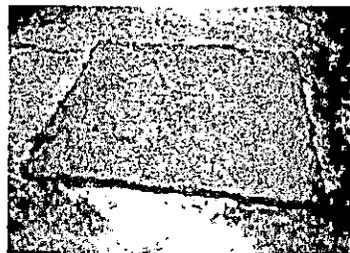


Fig.3.2. Relación 1:3

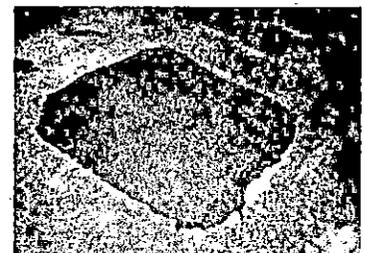


Fig.3.3. Relación 1:4

Diferentes relaciones cemento:arena

Además la relación 1:2 presentaba mejores características tales como: consistencia y adherencia. Esto se observó en pequeños módulos de prueba colocados en la Universidad de El Salvador, sometidas al intemperismo y a las cargas vehiculares.

3.1.2.3. DETERMINACIÓN DE LA RELACION AGUA/CEMENTO PARA EL SLURRY DE CEMENTO PÓRTLAND.

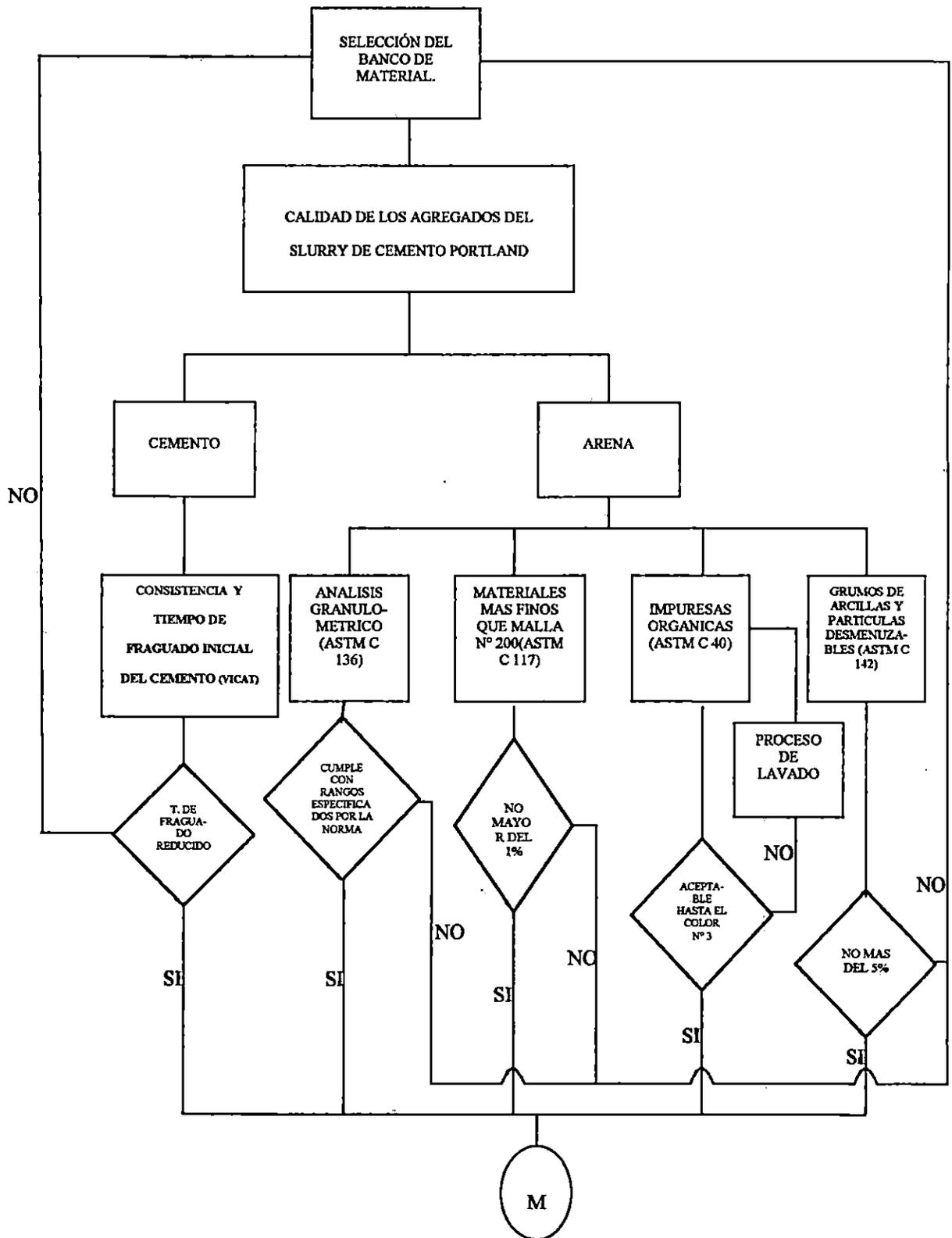
Se realizaron varias pruebas utilizando distintas relaciones agua/cemento manteniendo constante la relación cemento:arena (1:2). Teniendo en cuenta los siguientes parámetros: la fluidez del mortero fresco y la resistencia a la compresión del mortero endurecido. Y así se determinaron tiempos de flujo que estuvieran dentro del rango de 10 a 35 seg. en el cono de fluidez, ASTM C 939 (para morteros fluidos). Resultando dentro de este rango las relaciones agua/cemento de 0.61 a 0.65. con un tiempo de flujo de 35 y 10 respectivamente.

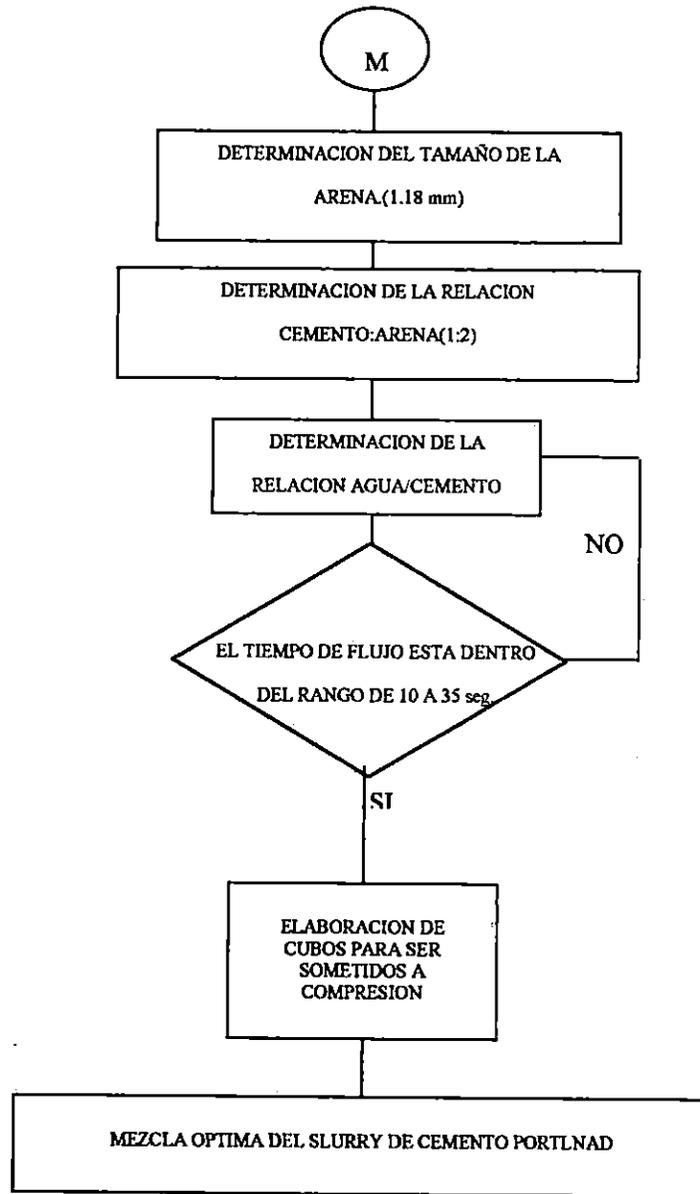
Para la determinación de la relación agua/cemento óptima se harán pruebas de resistencia a la compresión utilizando cubos de 5cm de lado según la norma ASTM C-190*

A continuación se presenta un flujograma que describe la metodología que se siguió para elaborar el Slurry de Cemento Pórtland.

* Estos resultados se mostraran en el siguiente capitulo.

FLUJOGRAMA DE ELABORACION DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND





3.2. TRABAJO DE CAMPO.

3.2.1. SELECCION DE LA VIA.

La vía seleccionada para la colocación del tramo de prueba del Slurry de Cemento Pórtland es la 2ª Calle Poniente, entre la 2ª y 4ª Av. Sur, Santa Tecla. En esta vía circula un gran flujo de tránsito, el que incluye vehículos particulares, transporte colectivo y de carga, ver figura 3.4.

Someter el Slurry de Cemento Pórtland a la acción de las cargas vehiculares de esta arteria, fue una excelente prueba para poder determinar la funcionalidad de esta técnica.

3.2.2. PREPARACION DEL EQUIPO Y MATERIALES.

Antes de realizar la colocación del tramo de prueba para el Slurry de Cemento Pórtland, es necesario preparar el equipo y los materiales.

Para el caso, el equipo y los materiales mínimos necesarios en la colocación del tramo de aproximadamente 24.0 mt² es el siguiente:

a) Equipo:

- 3 Escobas.
- 3 Palas.
- 1 Carretilla.
- 2 Baldes.
- 2 Cubetas de 5 galones.

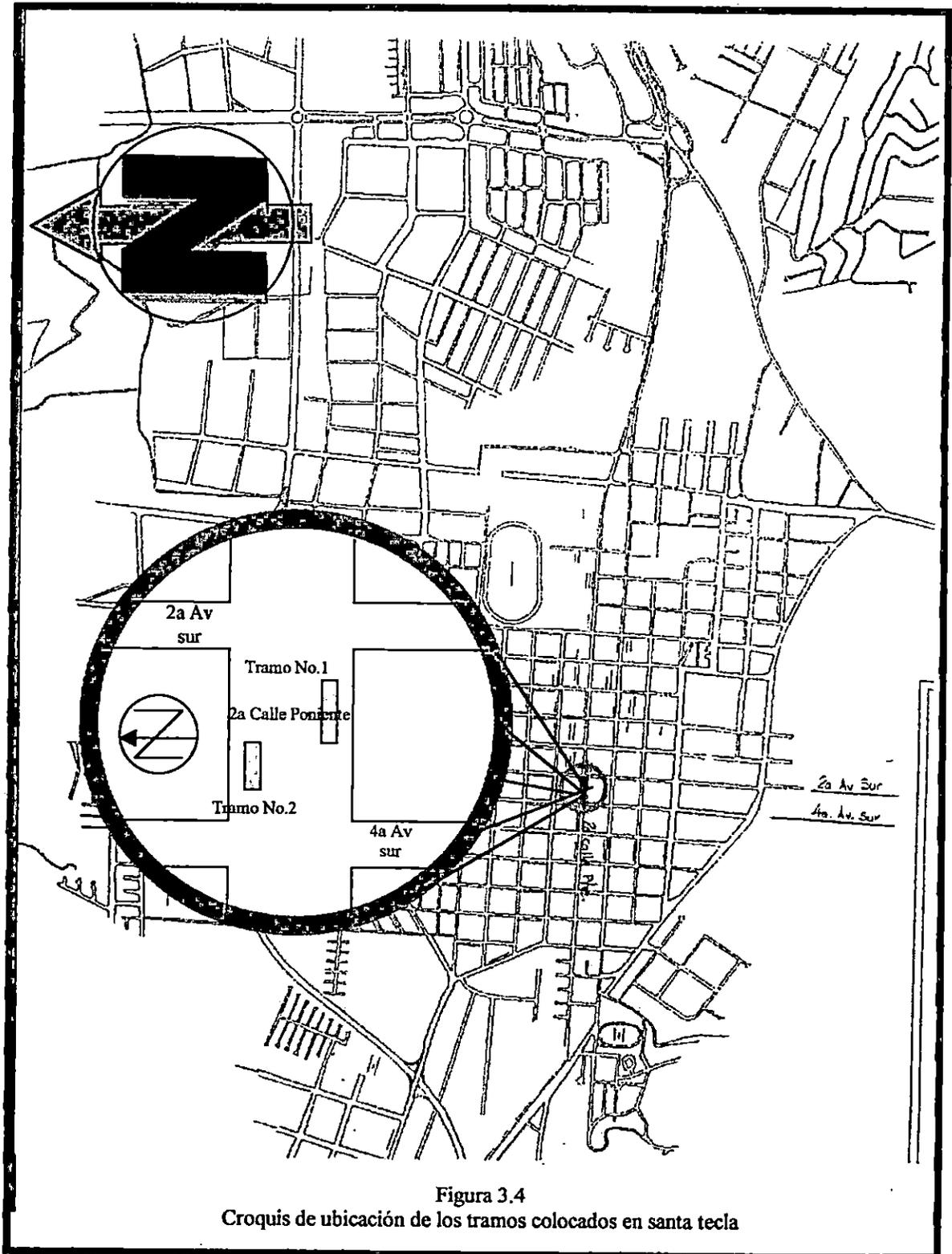


Figura 3.4
Croquis de ubicación de los tramos colocados en santa tecla

- Cono de Fluidez.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- 1 Beaker.
- Regla Niveladora con Rieles incluidos en sus extremos.
- 1 Cuchara de albañil.

b) Materiales:

- 67.73 kg. de Cemento Pórtland 5000
- 124.52 kg. de Arena.
- 41.32 lts. de Agua.

3.2.3. COLOCACIÓN DE PRIMER TRAMO DE PRUEBA DEL SLURRY DE CEMENTO PÓRTLAND.

a) Descripción de la superficie:

Una vez seleccionada la vía donde se colocará el tramo de prueba para el Slurry de Cemento Pórtland, ver figuras 3.7 y 3.8, se procedió realizar una evaluación visual superficial, para conocer el estado en la que se encontraba la vía y así determinar donde era posible colocarlo.

El área donde se colocó el Slurry de Cemento Pórtland se dividió en dos partes A1 y A2. La superficie presentaba desgaste en el zona A1 y agrietamiento en la zona A2 según figura 3.9. El agrietamiento presentado se dividió en dos partes, agrietamiento N° 1 y N° 2, siendo el área del primero 0.25m² y la del segundo

0.91m². Inicialmente se procedió a medir las grietas más críticas, ver figuras 3.5 y 3.6 (ancho y profundidad). En el agrietamiento N° 1 se encontraron grietas de 2cm de ancho y 1cm de profundidad y de 3cm de profundidad por 4cm de ancho en el agrietamiento N° 2 y se delimitó un área de 24.08m².



Figura 3.5



Figura 3.6

Medición de Grietas



Figura 3.7

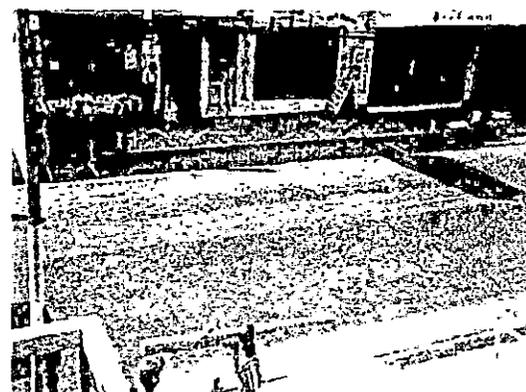


Figura 3.8

Area de colocación del Slurry de Cemento Pórtland

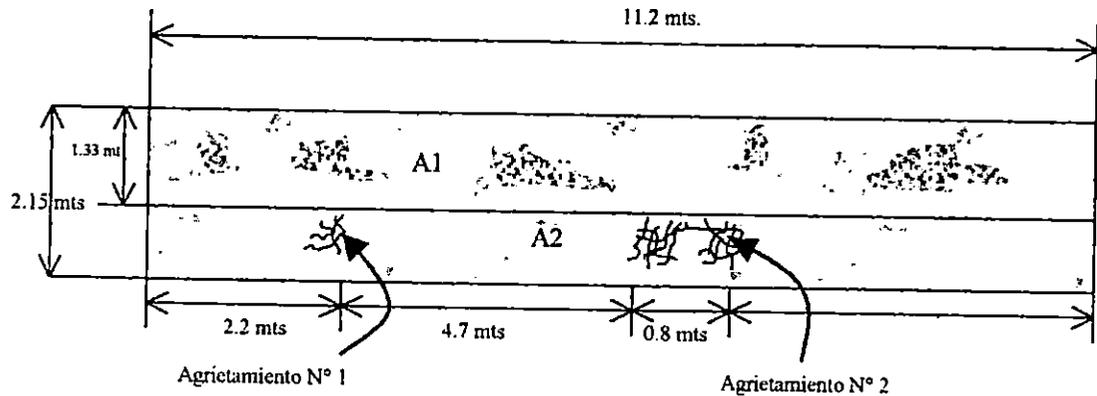


Figura 3.9.
Esquema de tramo de prueba (sin escala)

b) **Procedimiento de colocación:**

- **Limpieza Superficial:** Con el uso de escobas se eliminaron todo tipo de sustancias que podrían interferir en la adherencia (polvo, arena, etc.) entre el Slurry de Cemento Pórtland y la carpeta asfáltica; posteriormente se lavó para eliminar aceites y grasas, ver figuras 3.10 y 3.11; se dejó que el agua se evaporara, y se eliminó el exceso acumulado en las grietas.



Figura 3.10

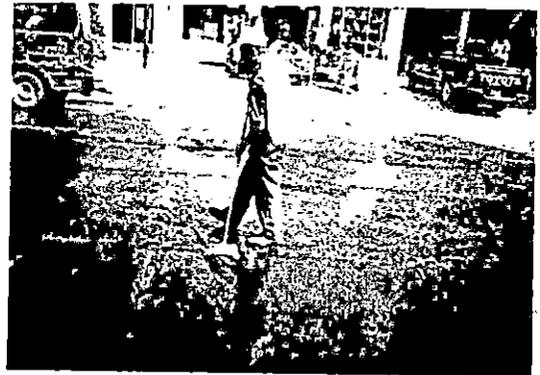


Figura 3.11

Proceso de lavado de la superficie

- **Mezclado del Slurry de Cemento Pórtland:** Los materiales se mezclaron In-Situ en forma manual ver figuras 3.12, 3.13 y 3.14. La dosificación en volumen de 1:2 se convirtió en peso, ésta conversión se hace multiplicando el volumen del material por su correspondiente peso volumétrico. El peso volumétrico del cemento es de 1505 kg/m³, de la arena 1383.5 kg/m³ y del agua 1000 kg/m³. Pesando los materiales en el laboratorio (arena y cemento), la mezcla que se usó fue la que poseía una relación A/C de 0.61, ya que esta presentaba mejores características que las otras según los ensayos hechos en el laboratorio.

Las cantidades empleadas para la elaboración de la mezcla fueron:

$$\text{Cemento} = 67.73 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Arena} &= 67.73 \text{ kg} / 1505 \text{ kg/m}^3 * 2 \\ &= 0.090 \text{ m}^3 * 1383.5 \text{ kg/m}^3 \\ &= 124.52 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 0.61 * 67.73 \text{ kg} \\ &= 41.32 \text{ lts.}^* \end{aligned}$$

El mezclado se realizo a las 10:24 a.m. y debido a que la temperatura ambiente era de 31°C se tuvo problemas con la fluidez del mortero, el agua se evaporaba haciendo necesario que se le agregara más.

* 1 kg de agua es igual a 1 Lt de agua.



Figura 3.12



Figura 3.13



Figura 3.14

Proceso de mezclado del Slurry de Cemento Pórtland

- **Colocación del Slurry de Cemento Pórtland:** Para realizar la colocación se utilizó una regla niveladora con rieles incluidos en sus extremos. Se colocó el Slurry de Cemento Pórtland en la carpeta asfáltica dentro de los rieles, los que evitaban que el mortero saliera del área de colocación, ver figuras 3.15 y 3.16; enrasándolo además con la

regla niveladora, la que le daba un espesor de 5mm. La superficie de la carpeta asfáltica se humedeció a medida que el Slurry de Cemento Pórtland se colocaba debido a la elevada temperatura del pavimento.

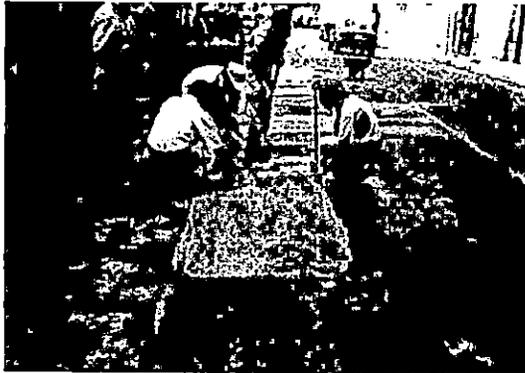


Figura 3.15



Figura 3.16

Proceso de colocación del Slurry de Cemento Pórtland

- **Curado del Slurry de Cemento Pórtland:** Una vez colocado el mortero se curó con agua; inicialmente aplicado por aspersión para no dañar la superficie del Slurry de Cemento Pórtland fresco. Debido a la alta temperatura ambiente, fue necesario repetir el procedimiento constantemente; dos horas después se le aplicó una sobrecapa de arena la que se humedeció con el propósito de mantenerlo húmedo, ver figuras 3.17 y 3.18.



Figura 3.17

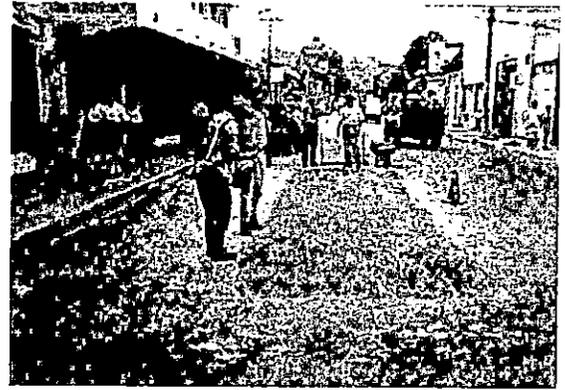


Figura 3.18

Proceso de curado del Slurry de Cemento Pórtland

3.2.4. COLOCACION DE SEGUNDO TRAMO DE PRUEBA DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND.

En vista a que en el primer tramo se tuvo problemas con la evaporación del agua de mezclado, debido a que la hora de colocación fue a las 10:24 a.m. con una temperatura ambiente de 31°C y que el tramo no poseía una suficiente resistencia para soportar el tráfico, ya que solo se tuvo cerrado por 24 hrs. ; se colocó un segundo tramo en la misma zona, pensando en solucionar estos problemas. Este proceso se realizó a las 8:00 p.m. a una temperatura ambiente de 20°C; en estas condiciones no se tuvo problema con la evaporación del agua de la mezcla, además se logró obtener la fluidez determinada en el laboratorio ver figura 3.20. También se mejoró la resistencia inicial del mortero para poder someterlo al



tráfico, utilizando aditivo acelerante* en una proporción del 3% del peso del cemento, produciendo aproximadamente la resistencia de una mezcla normal obtenida a los 3 días en 24hrs., ya que la calle no puede mantenerse cerrada por un largo período.

Los procesos de limpieza, mezclado, colocación, curado (ver figuras 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24 respectivamente) y dosificación de los materiales se hizo de igual manera que el primer tramo, siendo las cantidades de materiales las siguientes:

Cemento =	48.60 Kg
Arena =	89.36 Kg
Agua =	29.65 lts.
Acelerante =	1.16 lts.

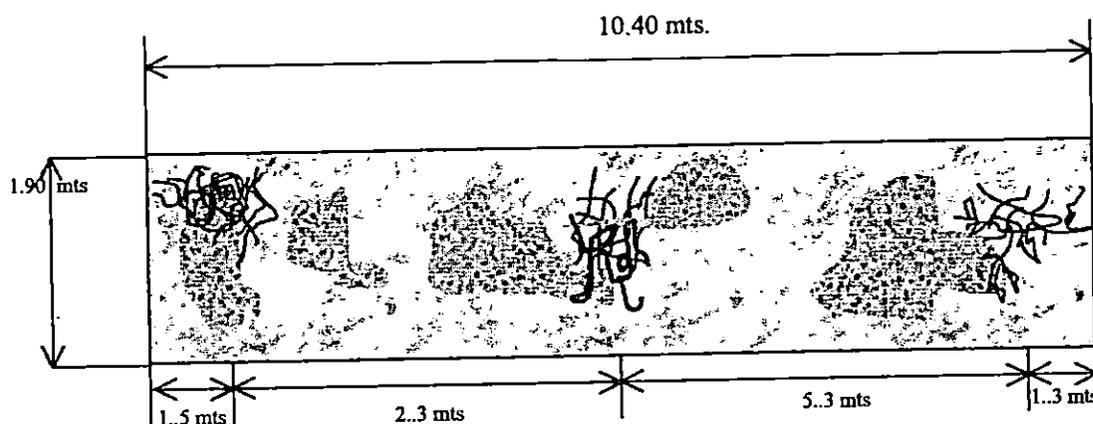


Figura 3.19.

Esquema de segundo tramo de prueba (sin escala)

* El aditivo acelerante empleado en la colocación del segundo tramo fue SIKA SET L, con un peso volumétrico de 1260 grs/lts.



Figura 3.20.

Proceso de medición de la fluidez, por medio del cono de fluidez



Figura 3.21.

Proceso de lavado de la superficie Ddonde se colocara el SCP.



Figura 3.22.

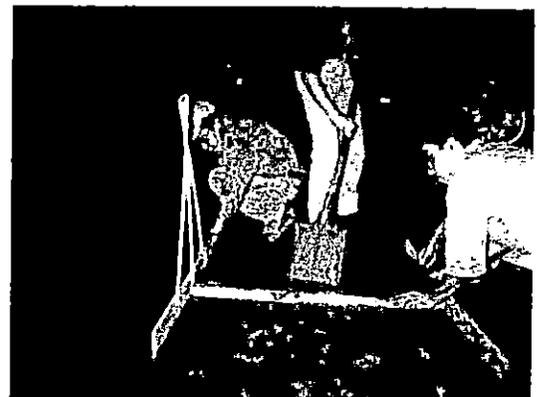


Figura 3.23.

Proceso de limpieza, mezclado, colocación y curado, del segundo tramo.

3.2.5. COLOCACION DE TRAMOS DE PRUEBAS CON ESPESORES MAYORES DE 5MM

Con el propósito de mejorar la resistencia de la sobrecapa de mortero a las cargas impuestas; se colocaron dos pequeños tramos con espesores mayores de 5mm. Los tramos se colocaron en el acceso principal de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES.

a) Colocación del tramo No.1

Este tiene un espesor de 10mm y cuenta con un área de 1.77 m² (0.96m x 1.84m). La colocación se inició a las 7:00 p.m. para evitar los problemas de evaporación del agua. También, se uso aditivo acelerante, en proporción del 3% del peso del cemento, para poder someterlo al tráfico en 24hrs. después de haberlo colocado. Los procedimientos de limpieza, colocación y curado fueron iguales que para los tramos anteriores. La dosificación de los materiales siempre se hizo por peso y las cantidades fueron las siguientes:

Cemento =	11.97 Kg
Arena =	22.00 Kg
Agua =	7.30 lts.
Acelerante =	0.285 lts.

Se uso la misma relación A/C de 0.61 y el mismo aditivo acelerante. En la figura 3.25 se muestra el tramo No.1.

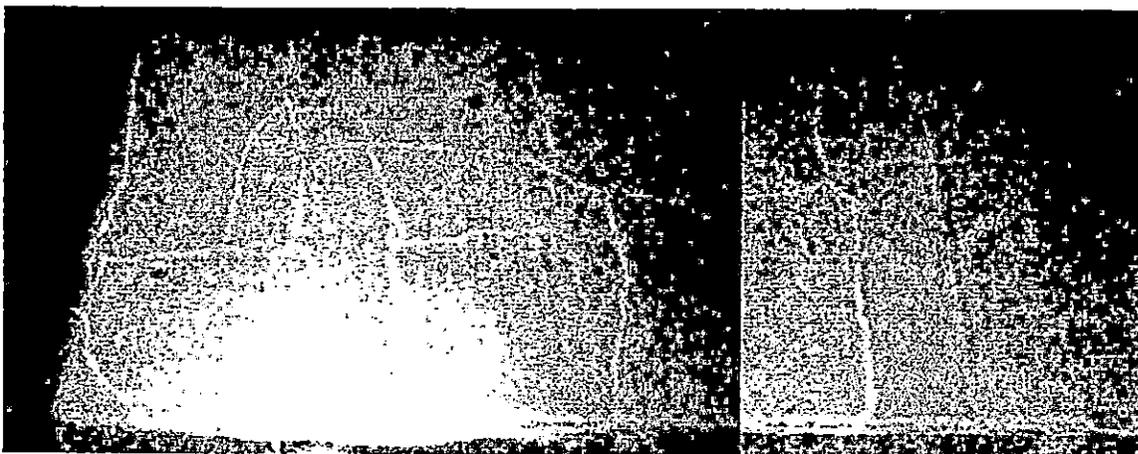


Figura 3.25
Tramo No.1 colocado en el acceso de la FIA en la UES

b) Colocación del tramo No.2

El espesor del tramo es de 7mm, y posee un área de 2.33m^2 ($0.98\text{m} \times 2.38\text{m}$). Este se colocó a las 6:30 p.m. también se utilizó aditivo acelerante, al igual que el tramo anterior. Los procedimientos de dosificación, limpieza, mezclado, colocación y curado fueron los mismos empleados anteriormente. Las cantidades de los materiales fueron las mismas que para el tramo No.1, en la figura 3.26 se muestra el tramo No.2.

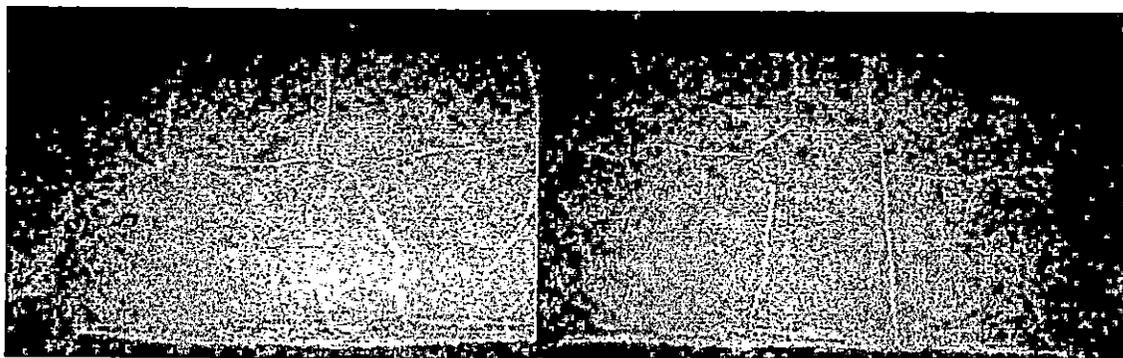


Figura 3.26
Tramo No. 2 colocado en el acceso de la FIA en la UES

CAPITULO IV

CALCULO Y ANALISIS DE RESULTADOS

4. CALCULO Y ANALISIS DE RESULTADOS.

INTRODUCCION:

El presente capítulo inicia con el procedimiento del análisis estadístico a seguir para el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, este análisis se basa en el uso de las cartas de control, que es un método efectivo para todos aquellos procesos repetitivos.

Posteriormente se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio, que se realizan para la elaboración del Slurry de Cemento Pórtland. y finalmente se describe el comportamiento de los diferentes tramos experimentales, a través de las observaciones realizadas durante sus visitas respectivas.

4.1. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.

Tomando en cuenta los factores tiempo, calidad y límites, el método estadístico que más se adapta para el análisis de los resultados son las Cartas de Control. Estas tienen como objetivo determinar la capacidad de un proceso para obtener una determinada característica de calidad para un producto específico.

4.1.1. CARTAS DE CONTROL.*

Las Cartas de Control son una herramienta estadística que se utiliza para el control de calidad en procesos repetitivos.

En todo proceso ocurren variaciones en las características de la calidad, dichas variaciones son atribuidas en parte por el azar, acerca de las cuales muy poco se puede hacer. Dichas variaciones debidas al azar, al ordenarlas con respecto al tiempo

* "Manual Técnico de Control de Calidad", Manuel Mayorga G., pag. 22

se encontrará que siguen las leyes estadísticas y en consecuencia la forma en que se presentará se aproximará a una distribución de probabilidad ya conocida. En este caso se podrá afirmar que las condiciones existentes para un determinado proceso esta bajo control.

Cuando la situación es contraria a la mencionada anteriormente, se dice que las condiciones están fuera de control y que las variaciones más significativas son ocasionadas por causas asignables.

4.1.2. CONSTRUCCION DE LAS CARTAS DE CONTROL.*

La construcción de una carta, se lleva a cabo tomando muestras de un tamaño prefijado en un determinado lugar del proceso. De dichas muestras se calcula el valor del estadístico “y” que interesa. Las variaciones de dicho estadístico se distribuirán de acuerdo a cierto modelo probabilístico, lo cual permitirá calcular el promedio y otros parámetros del proceso como es la dispersión del estadístico.

Para presentar gráficamente las Cartas de Control, se utiliza un cuadrante donde el eje vertical representará los valores del estadístico y en eje horizontal el tiempo o el orden cronológico en que las muestras fueron tomadas.

Se trazan tres líneas horizontales, una en el centro de la distribución y las otras dos en los valores extremos de la distribución, representando el promedio y los límites superior e inferior de las cartas.

Construida la gráfica, el siguiente paso es plotear los distintos valores de “y” correspondiente a producciones pasadas y si todos los datos caen dentro de los límites

* “Manual Técnico de Control de Calidad”, Manuel Mayorga G., pag. 23.

de control y no demuestran ciclos o flujos de puntos arriba o abajo del promedio que demuestre inestabilidad, podría decirse que el proceso está bajo control estadístico a un nivel igual al promedio de la Carta de Control.

Si la distribución de los datos no presenta las características mencionadas anteriormente; entonces los puntos que caen fuera de los límites deben ser investigados descubriendo las causas asignables correspondientes; mientras sucede esta búsqueda puede decirse que el proceso está fuera de control.

4.1.3. LÍMITES DE CONTROL.

En una carta de control es normal utilizar los límites a 3σ hacia arriba y hacia abajo del valor central, ya que si la distribución se comporta similar a la normal, se espera obtener en el rango de 6σ el 99.73% de los valores con variaciones debidas al azar de tal manera que solo se corre un riesgo de 0.27% de buscar en vano causas asignables para datos fuera de 6σ .

4.1.4. CRITERIOS PARA ESTIMAR SITUACIONES FUERA DE CONTROL.

Se dice que un proceso está bajo control cuando no muestra ninguna tendencia y además, ningún punto sale fuera del límite. De acuerdo con la teoría relacionada con la distribución normal se debe esperar que 1 de cada 370 mediciones individuales caerán fuera de la zona de aceptación, para que un proceso se encuentre fuera de control.

Las Cartas de Control establecen un número mínimo de 25 muestras, como se han realizado 27 esto es aceptable.

4.1.5. CAUSAS QUE PUEDEN VARIAR LA CALIDAD DE LOS ESPECIMENES.

La calidad del producto puede verse afectada por otras causas que son muy difíciles de controlar para este caso, podemos mencionar las siguientes:

- a) Diferencia en la calidad del agregado fino proveniente de una misma cantera.
- b) Variación en la mezcla por efectos del medio ambiente.
- c) Variaciones en los procedimientos de elaboración de las mezclas.

4.1.6. MODIFICACIONES A LAS CARTAS DE CONTROL.

- a) Los límites de control a utilizar serán de 2.33σ hacia arriba y hacia abajo del valor central, con rango de 4.66σ . según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98)*.
- b) Para plotear los resultados se utilizará el procedimiento descrito en las cartas, en el eje de las abscisas se colocaran las unidades ensayadas y en las ordenadas los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión para cubos.

4.1.7. EJEMPLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONTROL.

(Con referencia a la tabla y figura 4.4)

a) Resistencia Promedio:

$$\bar{X} = \frac{\text{Sumatoria de todas las resistencias}}{\text{Numero total de las muestras}}$$

$$\bar{X} = \frac{5004.47}{27}$$

$$\bar{X} = 185.46$$

b) Desviación Standard:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

$$\sigma = 27.41$$

Límites de Control:

Límite de Control Superior

$$\begin{aligned} \text{LCS} &= \bar{X} + 2.33\sigma \\ \text{LCS} &= 185.46 + 2.33(27.41) \\ \text{LCS} &= 249.32 \end{aligned}$$

Límite de Control Inferior

$$\begin{aligned} \text{LCI} &= \bar{X} - 2.33\sigma \\ \text{LCI} &= 185.46 - 2.33(27.41) \\ \text{LCI} &= 121.59 \end{aligned}$$

4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

4.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO (ASTM C 136)

TABLA 4.1.
RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO GENERAL

MALLA #	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA LA MALLA
3/8"	27.5	5.50	5.50	94.50
No.4	23.1	4.62	10.12	89.88
No.8	47.2	9.44	19.56	80.44
No.16	72.7	14.54	34.10	65.90
No.30	104.9	20.98	55.08	44.92
No.50	143.6	28.72	83.80	16.12
No.100	64.2	12.84	96.64	3.36
FONDO	16.8	3.36	100.00	0.00
TOTAL	500.0	100.00		

- Calculo del Modulo de Finura (M.F.):

$$\text{M.F.} = \frac{\% \text{ Acumulado Retenido de Malla No.4 a No.100}}{100}$$

$$\text{M.F.} = \frac{299.30}{100}$$

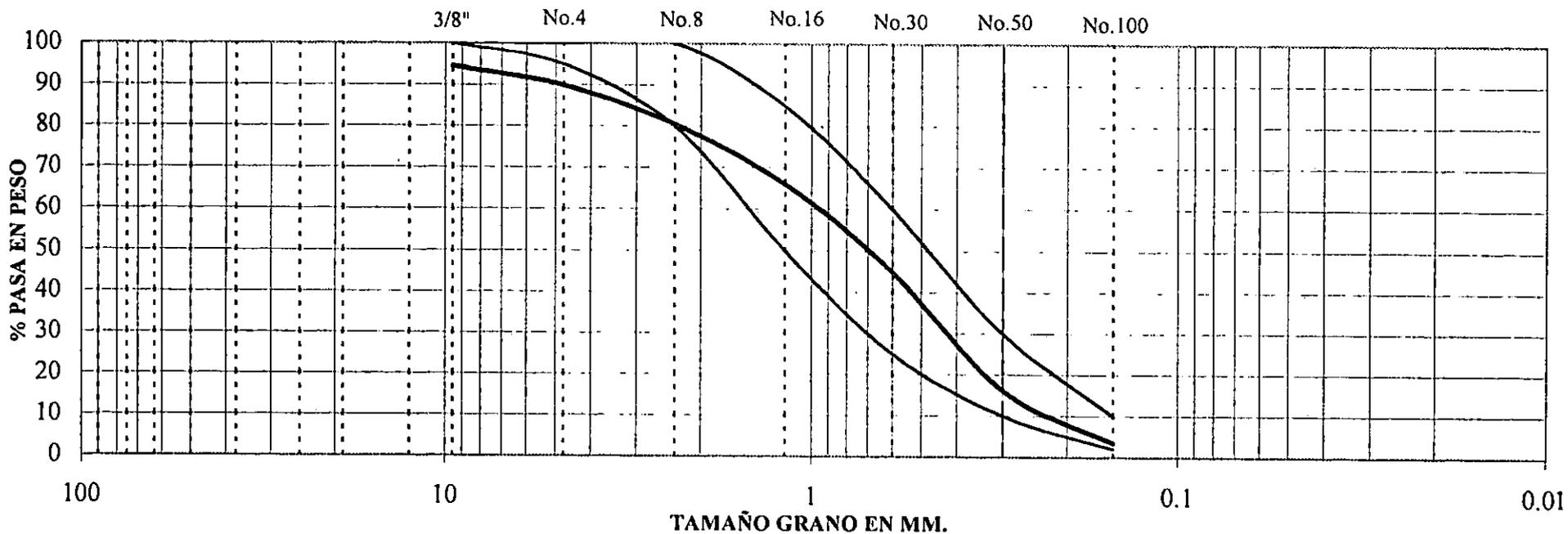
$$\Rightarrow \text{M.F.} = 2.99^*$$

* Este valor de Modulo de Finura se encuentra dentro de lo aceptable según la norma ASTM C 136.

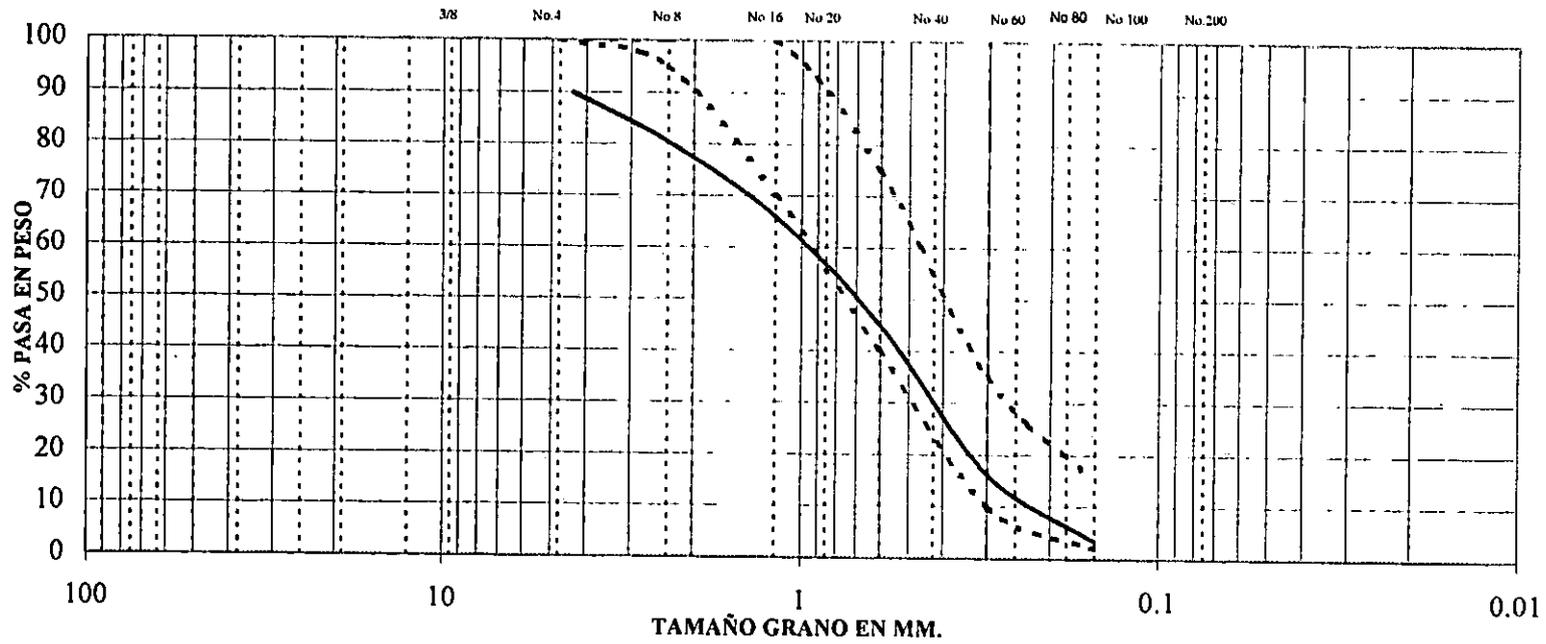
TABLA 4.2.
RESULTADOS DEL ANALISIS PARA GRANOS QUE PASAN LA MALLA No.16

MALLA	ABERTURA EN MM.	PESO RETENIDO (GRS.)	% RETENIDO		% QUE PASA (Referido a Muestra total)
			PARCIAL	ACUMULADO	
No. 4		50.60	10.12	10.12	89.88
No. 8		47.20	9.44	19.56	80.44
No.16	1.18	72.70	14.54	34.10	65.90
No.30	0.6	104.90	20.98	55.08	44.92
No.50	0.3	143.60	28.72	83.80	16.20
No.100	0.15	64.20	12.84	96.64	3.36
FONDO		16.80	3.36	100.00	0.00
TOTAL		500.00	100.00	0.00	

CURVA GRANULOMETRICA SEGUN ASTM C 33



**CURVA GRANULOMETRICA PARA TAMAÑOS NOMINALES MENORES A LA
MALLA No. 16 (1.18 MM) SEGÚN ASTM C 144**



GUILJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

4.2.2. MATERIALES MAS FINOS QUE LA MALLA No. 200 EN AGREGADOS MINERALES POR MEDIO DE LAVADO (ASTM C 117).

V inicial = 64.5 ml

V final = 62.0 ml

% de Finos = $100\% - ((62.0/64.5)*100\%)$

% de Finos = 3.88%

Este porcentaje es aceptable ya que la norma permite hasta el 5% como máximo.

4.2.3. CONSISTENCIA NORMAL (ASTM C 187) Y TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DEL CEMENTO POR MEDIO DE LA AGUJA DE VICAT (ASTM C 191).

Tipo de Cemento: CESSA 5000, TIPO I

TABLA 4.3
DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA

CANTIDAD DE AGUA (ml)	PENETRACION CON AGUJA DE 1cm ϕ (mm)
162	15.0
160	13.5
157	10.5

Con un valor de 10.5mm de penetración se determinó la Consistencia Normal de la pasta, ya que la norma permite una penetración de 10 ± 1 mm.

TABLA 4.4
DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

TIEMPO (min.)	PENETRACIÓN CON AGUJA DE 1mm (mm).
0-30	40
30-45	40
45-60	40
60-75	40
75-90	40
90-105	40
105-120	40
120-135	35
135-150	24

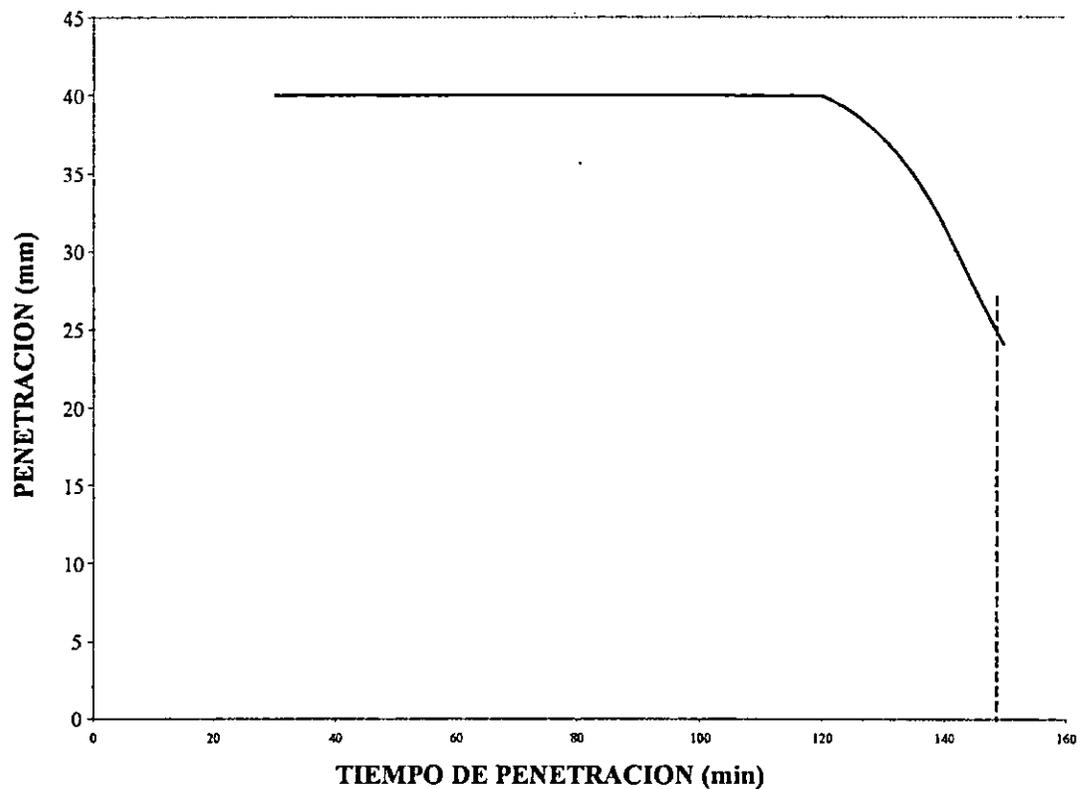


Figura 4.3
Gráfica de tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado del cemento, según la gráfica, es de 148.5 minutos.

4.2.4. IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADOS FINOS (ASTM C 40).

Al comparar el color del líquido de la solución, con la carta de colores No. 815 Hellige Tester – Hellige Color Plate se obtuvo que el color más similar es el No.2, Amarillo oscuro.

4.2.5. GRUMOS DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES EN LOS AGREGADOS FINOS (ASTM C 142).

Winicial retenido seco = 100 gr.

Wfinal retenido seco = 99.3 gr.

Wpartícula desmenuzables = (Winicial retenido seco – Wfinal retenido seco)

Wpartícula desmenuzables = (100-99.3)gr. = 0.7gr.

$$P = W_{\text{partícula desmenuzables}} / W_{\text{inicial seco}} * 100$$

$$P = 0.7 \text{ gr} / 100.0 \text{ gr} * 100\%$$

$$P = 0.7\%$$

Este resultado es aceptable, porque la norma ASTM C 142 permite un porcentaje de partículas desmenuzables de 5% como máximo.

4.2.6. FLUIDEZ DEL MORTERO (ASTM C939), ELABORACIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO (ASTM C109).

Los ensayos a compresión se realizaron en la máquina Versatester 30M (ver figura 4.4) y todos los resultados se han obtenido utilizando su certificado de calibración (ver figura 4.5).



Figura 4.4

Máquina de Compresión Versatester 30M

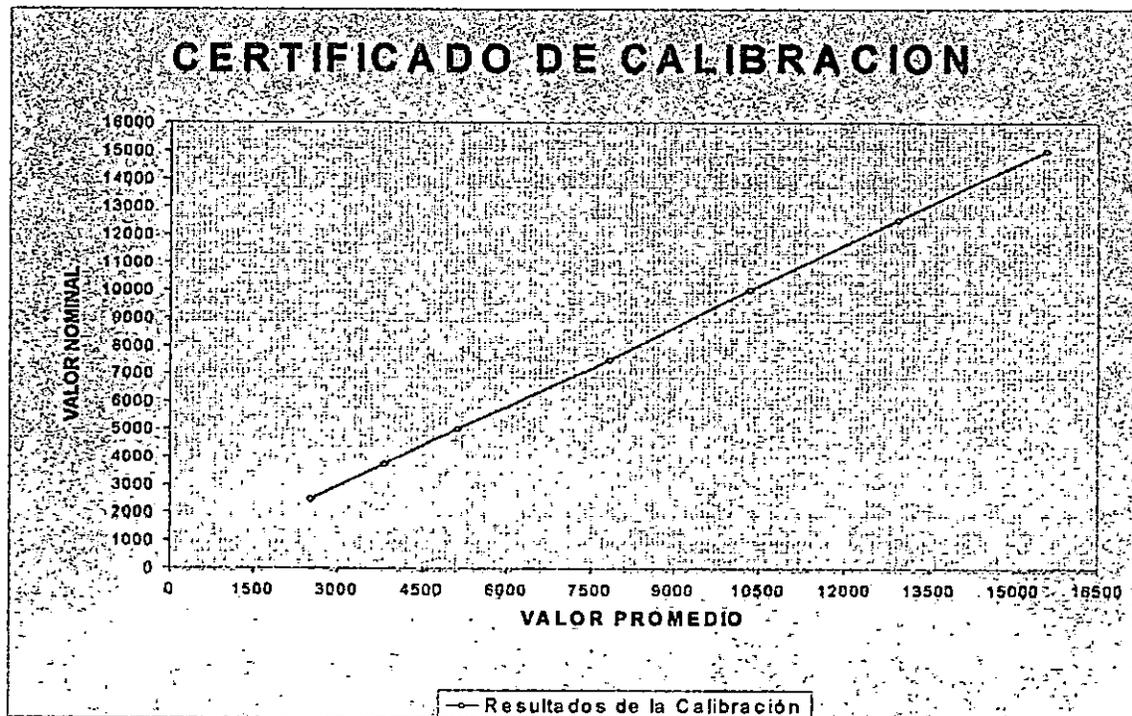


Figura 4.5

Certificado de Calibración de la Máquina Versatester 30M

Para obtener las cargas corregidas, estas se calibraron de la siguiente manera:

El valor de carga obtenido de la máquina se ubica en el eje de las Ordenadas (valor nominal) luego esta se proyecta hasta interceptar la gráfica de calibración y posteriormente se proyecta verticalmente hasta interceptar el eje de las Abscisas (valor promedio), obteniendo así el valor corregido.

A continuación se presentan los cuadros de la elaboración de cubos para ser sometidos a la compresión y sus respectivos resultados y su análisis estadístico.

TABLA 4.5
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS.
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.61
 EDAD (DIAS): 3
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs)	Carga (kgs)	Carga Correída (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	4.98	4.88	24.80	245.70	3760.00	3824.45	154.21
2	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.00	4.88	24.90	247.30	3500.00	3554.04	142.73
3	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.09	4.81	24.78	245.70	3750.00	3814.05	155.78
4	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.10	4.95	25.25	259.90	4625.00	4724.09	187.13
5	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	4.95	4.82	24.75	257.50	5500.00	5634.12	227.64
6	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.00	4.99	24.74	253.50	5875.00	6024.14	241.45
7	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	4.99	4.89	25.70	272.10	4730.00	4833.29	188.08
8	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	4.97	4.94	24.55	252.40	4980.00	5093.30	207.45
9	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.09	4.95	25.45	264.90	6105.00	6283.35	246.10
10	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.10	5.16	28.01	280.20	5390.00	5519.72	212.22
11	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.10	5.09	25.96	281.30	4640.00	4739.69	182.58
12	28.00	29.24	8/09/00	11/09/00	5.15	5.16	28.57	278.40	4865.00	4973.70	187.16
13	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.10	5.09	25.96	281.20	4375.00	4464.08	171.97
14	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.09	5.01	25.98	280.50	4865.00	4973.70	191.62
15	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.11	5.09	28.01	278.80	4875.00	4984.10	191.62
16	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.14	5.14	28.21	282.40	4750.00	4854.09	185.17
17	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.08	5.12	28.01	281.20	4265.00	4349.67	167.23
18	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.09	5.09	25.91	281.20	4865.00	4973.70	191.97
19	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.12	5.10	28.11	281.40	4740.00	4843.69	185.50
20	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.13	5.09	28.06	280.10	3750.00	3814.05	148.35
21	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.08	5.09	25.86	279.20	4375.00	4464.08	172.64
22	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.19	5.10	28.47	280.70	4865.00	4973.70	187.91
23	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.10	5.09	25.98	280.70	4130.00	4209.27	162.15
24	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.10	5.09	25.96	280.20	5380.00	5509.32	212.23
25	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.11	5.09	28.01	274.40	4825.00	4724.09	181.63
26	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.14	4.92	28.21	274.60	4875.00	4984.10	180.13
27	29.00	23.80	8/09/00	11/09/00	5.15	4.92	28.16	271.70	3515.00	3589.64	138.44

Promedio X =

Desviación Estándar =

Limite de Control Superior (LCS) =

Limite de Control Inferior (LCI) =

185.46
27.41
249.32
121.60

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.61 para 3 días

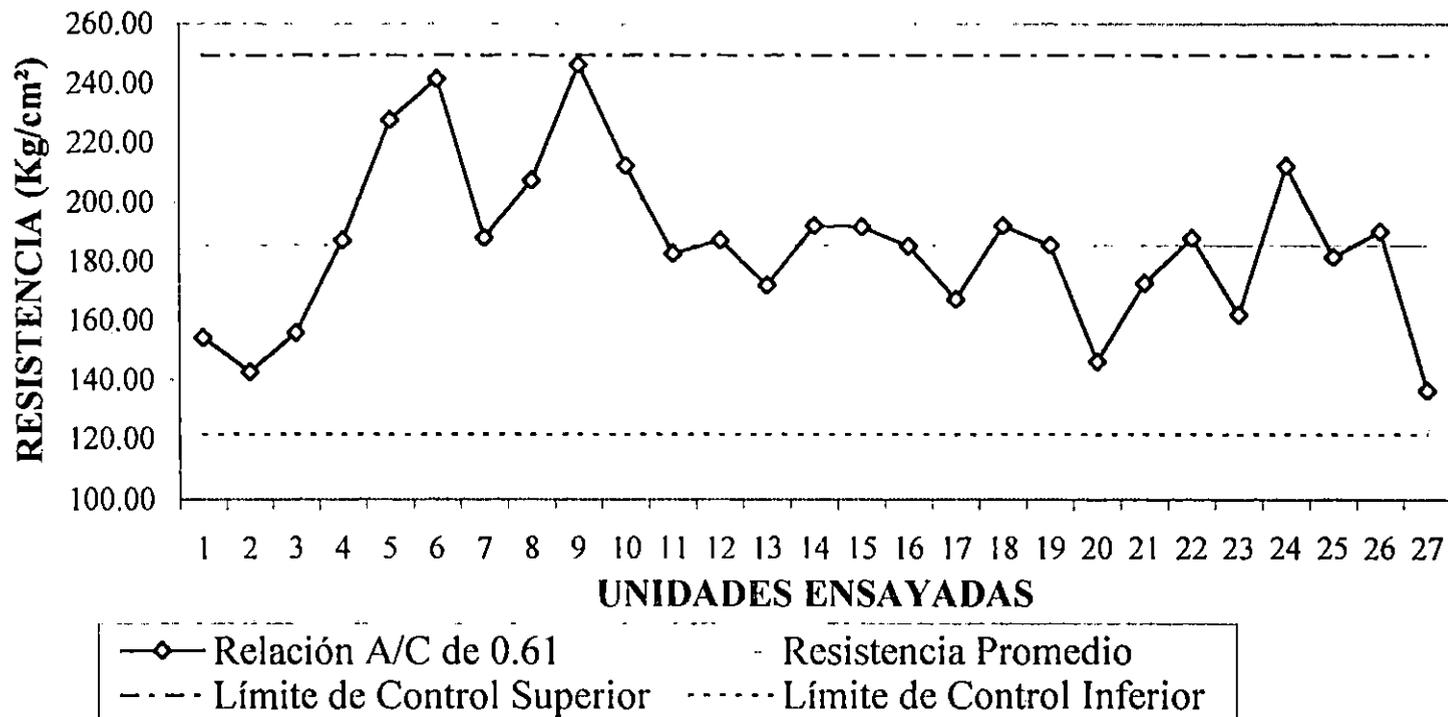


Figura 4.6

TABLA 4.6

ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS.

RELACION AGUA-CEMENTO: 0.62

EDAD (DIAS): 3

TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLANDO TIPO I

ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)		Altura (cms)		Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.11	5.10	5.05	5.04	26.06	278.30	3925.00	3996.06	153.33
2	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.13	5.09	5.00	5.03	26.11	276.90	3750.00	3814.05	146.07
3	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.09	5.10	5.00	4.99	25.96	275.30	3125.00	3164.03	121.89
4	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.30	4.90	4.93	4.91	25.97	270.70	4525.00	4620.08	177.90
5	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	4.92	4.97	4.88	4.90	24.45	251.10	4225.00	4308.07	176.16
6	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	4.97	5.09	5.01	5.03	25.30	266.30	3700.00	3762.05	148.71
7	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.17	5.07	4.80	4.81	26.21	256.30	3100.00	3138.02	119.72
8	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.07	5.10	4.81	4.80	25.86	256.40	2875.00	2904.02	112.31
9	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.00	5.10	4.80	4.78	25.50	253.20	3925.00	3996.06	156.71
10	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.10	5.08	5.05	5.06	25.91	277.80	3650.00	3710.05	143.20
11	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.12	5.17	5.04	5.06	26.47	278.30	3225.00	3268.03	123.46
12	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.10	5.10	5.04	5.09	26.01	276.60	3300.00	3346.03	128.84
13	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.12	5.13	4.88	4.90	26.27	271.50	4325.00	4412.08	167.98
14	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.18	5.11	4.87	4.87	26.37	271.40	3500.00	3554.04	134.79
15	27.50	22.17	26/09/00	29/09/00	5.12	5.13	4.90	4.87	26.27	270.90	4125.00	4204.07	160.06
16	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.10	5.10	5.00	5.01	26.01	274.00	3850.00	3918.06	150.64
17	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.10	5.10	5.01	5.02	26.01	275.20	3625.00	3684.05	141.64
18	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.10	5.10	5.01	5.02	26.01	275.20	4100.00	4178.07	160.63
19	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.11	5.12	5.04	5.02	26.16	274.40	2875.00	2698.01	103.05
20	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.08	5.11	5.10	4.97	25.96	271.20	3600.00	3658.05	140.92
21	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.10	5.10	5.00	5.00	26.01	273.70	3500.00	3554.04	138.64
22	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.00	4.96	5.70	4.67	24.80	242.70	3000.00	3034.02	122.34
23	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.00	5.01	4.70	4.70	25.05	245.10	3500.00	3554.04	141.88
24	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	4.85	5.10	4.71	4.81	24.74	243.60	3525.00	3580.04	144.74
25	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.10	5.11	5.10	5.08	26.06	277.30	3125.00	3164.03	121.41
26	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.07	5.10	5.10	5.06	25.86	275.60	3450.00	3502.04	135.44
27	27.00	20.53	26/09/00	29/09/00	5.10	5.10	5.06	5.04	26.01	276.60	3700.00	3762.05	144.64
Promedio \bar{X} =													141.29
Desviación Estandar =													16.65
Límite de Control Superior (LCS) =													164.76
Límite de Control Inferior (LCI) =													97.83

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.62 para 3 días

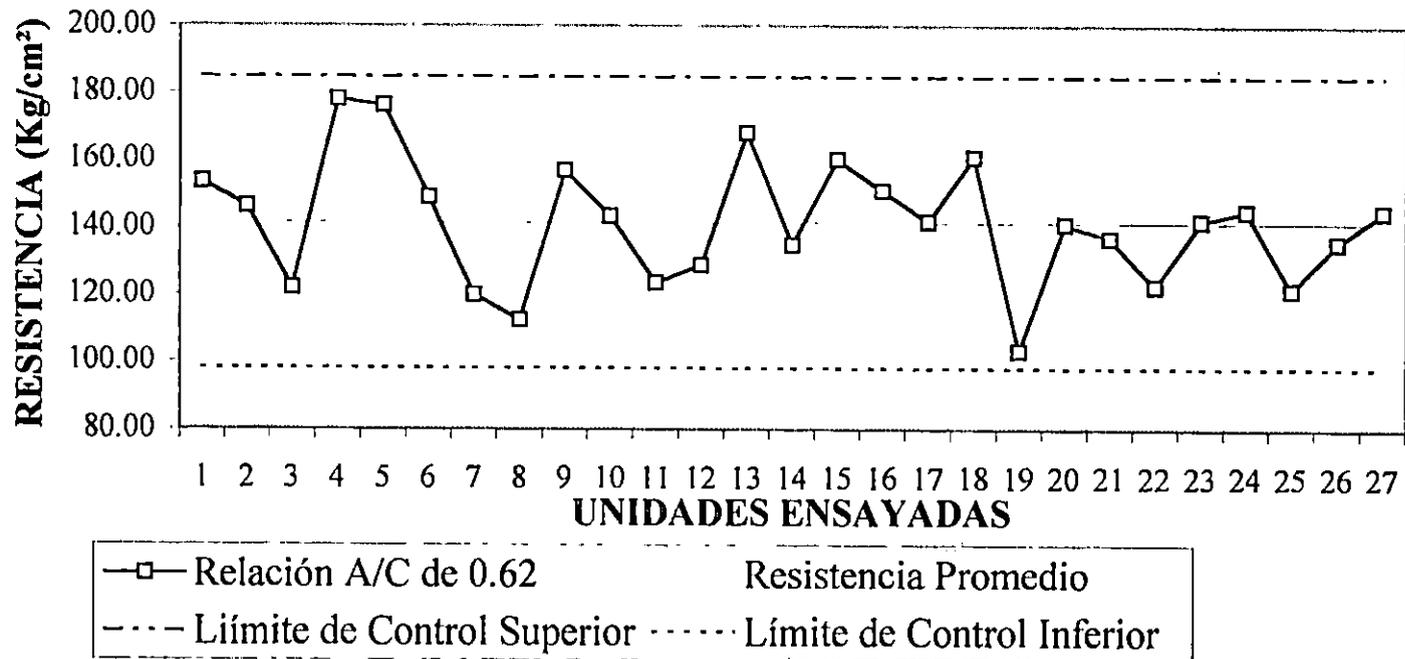


Figura 4.7

TABLA 4.7
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS.
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.63
 EDAD (DIAS): 3
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000 PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Achicaf" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms ²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm ²)
1	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.10	5.04	26.06	277.20	3750.00	3814.05	148.35
2	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.11	5.00	26.06	277.10	3875.00	3844.06	151.34
3	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.12	4.89	26.11	277.10	3875.00	3944.08	151.04
4	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.11	5.02	26.11	273.50	3750.00	3814.05	148.06
5	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.09	5.02	26.06	274.70	3500.00	3554.04	138.38
6	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.10	5.10	25.96	274.30	3425.00	3476.04	133.90
7	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	4.92	4.72	24.50	244.40	3250.00	3294.03	134.44
8	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.00	4.70	24.75	248.20	3500.00	3554.04	143.60
9	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.00	4.80	25.50	248.20	2790.00	2815.81	110.42
10	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.12	4.92	26.06	273.70	4250.00	4334.07	166.31
11	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.10	4.93	25.96	273.50	4250.00	4334.07	166.96
12	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.10	4.92	25.91	273.90	4000.00	4074.06	157.25
13	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.10	5.00	26.01	271.80	3450.00	3502.04	134.64
14	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.10	4.88	26.01	274.50	3375.00	3424.04	131.64
15	27.00	15.71	19/09/00	22/09/00	5.09	5.00	25.96	274.80	3775.00	3840.05	147.93
16	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.10	4.94	25.96	270.20	4125.00	4204.07	161.95
17	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.12	5.00	26.11	274.20	3875.00	3944.06	151.04
18	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.10	5.09	25.96	273.60	4325.00	4412.08	169.96
19	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.09	5.11	26.01	271.50	4125.00	4204.07	161.63
20	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.08	5.10	25.91	272.80	4175.00	4256.07	164.28
21	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.08	4.94	25.86	274.20	4250.00	4334.07	166.96
22	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.11	4.85	25.55	262.70	5100.00	5216.11	204.23
23	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.00	4.80	25.25	281.30	4875.00	4984.10	197.39
24	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.00	4.72	25.05	252.20	4875.00	4984.10	198.97
25	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.12	5.00	26.11	265.50	3875.00	3944.06	151.04
26	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	4.95	5.02	24.75	252.10	3875.00	3944.06	159.36
27	27.00	12.64	19/09/00	22/09/00	5.28	5.00	26.40	270.50	4000.00	4074.06	154.32

Promedio \bar{X} =
 Desviación Estándar =
 Límite de Control Superior (LCS) =
 Límite de Control Inferior (LCI) =

155.53
 21.07
 204.63
 106.44

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.63 para 3 días

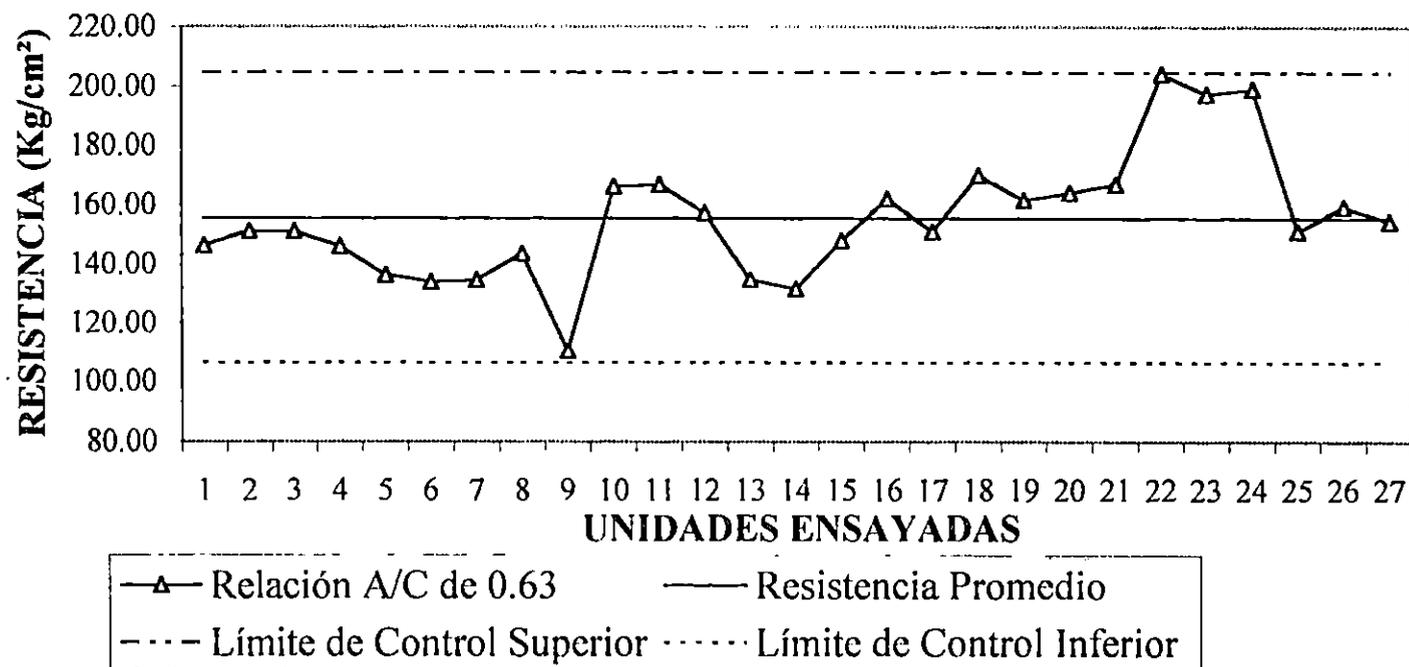


Figura 4.8

TABLA 4.8
ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS.
RELACION AGUA-CEMENTO: 0.64
EDAD (DIAS): 3
TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I
ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidoz (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.28	4.87	4.85	265.20	3925.00	3996.08	154.45
2	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	4.86	4.90	4.85	250.10	4050.00	4128.08	169.77
3	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.12	4.97	4.97	264.50	4075.00	4152.07	163.07
4	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.10	5.10	4.98	270.20	3400.00	3450.04	132.84
5	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.08	5.07	4.86	270.40	4700.00	4802.09	186.45
6	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.10	5.10	5.10	277.20	4050.00	4126.06	158.63
7	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.11	5.09	5.11	280.00	4725.00	4828.09	185.63
8	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.09	5.08	5.10	278.40	4800.00	4906.10	189.63
9	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.07	5.06	5.09	278.50	5050.00	5166.11	201.37
10	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.10	5.10	5.03	275.80	4850.00	4956.10	190.62
11	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.10	5.09	5.03	275.80	4650.00	4750.09	182.98
12	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.09	5.08	4.86	272.20	4850.00	5082.10	195.77
13	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.11	5.10	5.08	278.10	4125.00	4204.07	161.32
14	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.10	5.11	4.94	289.20	4000.00	4074.06	156.33
15	28.00	12.55	25/09/00	28/09/00	5.08	5.11	5.07	277.50	4400.00	4480.08	172.97
16	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.10	5.03	4.96	271.70	4875.00	4984.10	194.29
17	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.02	5.09	5.00	272.20	4125.00	4204.07	164.53
18	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.07	5.04	4.94	270.10	4850.00	4956.10	194.03
19	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.07	5.10	4.90	265.70	4375.00	4464.08	172.64
20	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.09	5.10	4.87	266.40	4950.00	5082.10	195.00
21	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.07	5.09	4.92	268.70	4375.00	4464.08	172.98
22	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	4.95	5.13	4.71	250.20	3650.00	3710.05	146.10
23	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.07	4.94	4.76	252.80	4050.00	4126.06	164.74
24	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	4.96	5.01	4.80	249.50	3550.00	3606.04	145.11
25	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	5.04	4.75	4.72	240.30	4700.00	4802.09	200.59
26	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	4.95	4.94	4.79	242.80	3975.00	4048.06	165.54
27	28.50	10.87	25/09/00	28/09/00	4.93	4.97	4.84	242.00	5050.00	5166.11	210.84

Promedio \bar{X} = 175.11
Desviación Estándar = 19.81
Límite de Control Superior (LCS) = 221.27
Límite de Control Inferior (LCI) = 128.96

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.64 para 3 días

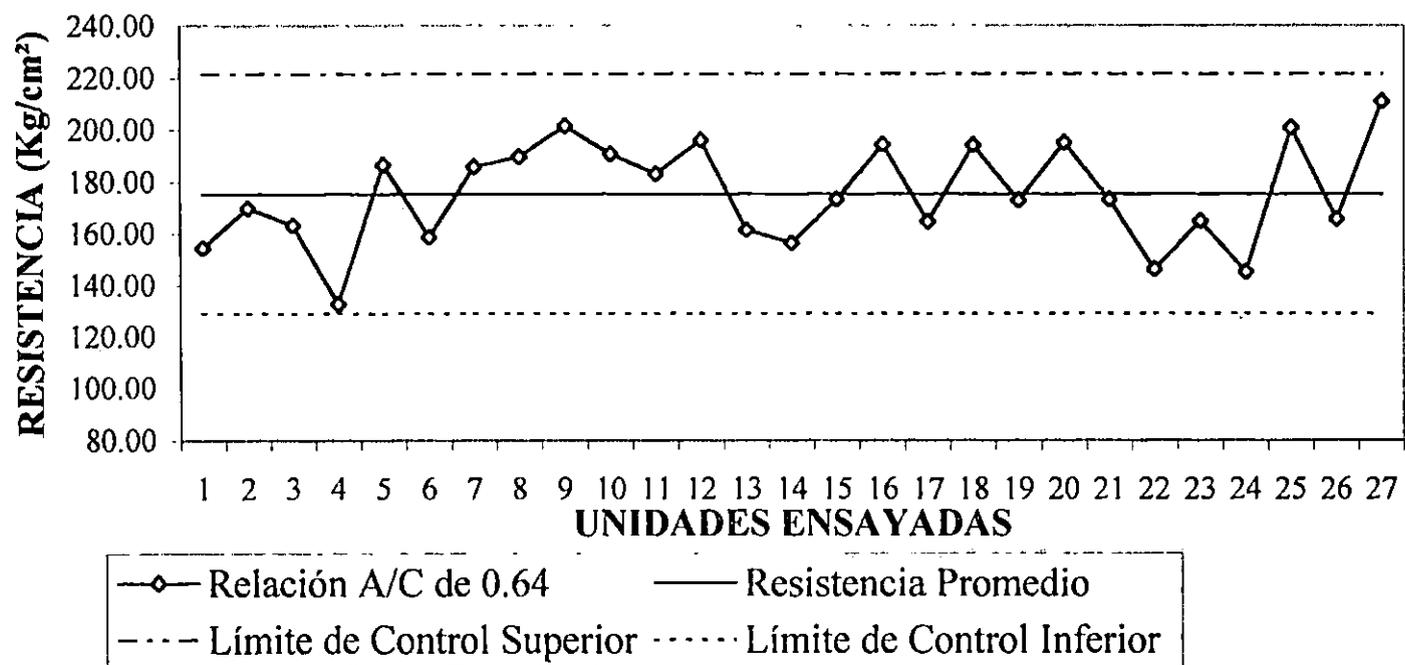


Figura 4.9

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.65 para 3 días

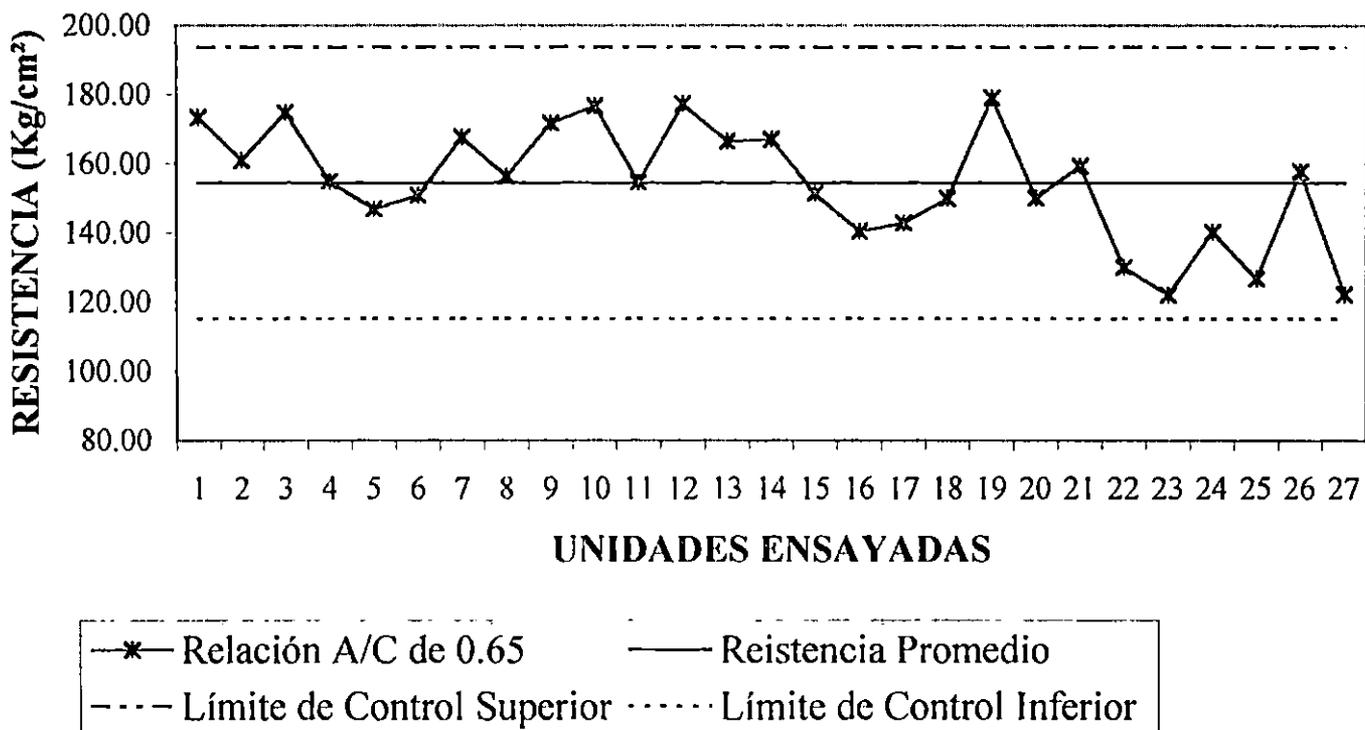


Figura 4.10

TABLA 4.10
ELABORACION Y RUPATURA DE CUBOS
RELACION AGUA-CEMENTO: 0.61
EDAD (DIAS): 7
TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I
ARENA: Hacienda "El Ahoate" (Comaltepa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs)	Carga (kgs)	Carga Correída (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	4.98	4.99	25.91	278.40	6625.00	262.63
2	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	5.09	4.99	25.96	280.60	6000.00	237.07
3	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	5.02	4.99	25.96	280.30	6500.00	257.10
4	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	5.10	5.11	28.01	279.60	4925.00	193.62
5	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.08	5.08	5.08	25.81	279.60	5375.00	213.29
6	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.08	5.10	5.08	25.91	279.40	5925.00	234.53
7	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.20	5.10	5.10	26.52	281.20	5500.00	212.45
8	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.09	5.14	5.13	25.96	281.30	4985.00	198.41
9	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	5.12	5.20	26.01	281.10	4625.00	181.63
10	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	5.09	5.10	25.96	281.90	6125.00	242.08
11	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.10	5.01	4.99	26.01	282.00	5500.00	216.61
12	26.50	21.06	11/09/00	18/09/00	5.09	5.02	5.01	25.91	281.50	6424.56	247.97
13	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.10	5.00	4.90	26.01	274.60	6825.00	269.60
14	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.10	5.10	4.90	26.01	277.80	6625.00	261.60
15	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.15	4.98	4.90	26.37	276.10	6550.00	255.09
16	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.00	5.30	4.99	26.50	275.50	5875.00	227.33
17	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	4.97	4.96	4.90	24.65	255.20	5550.00	230.66
18	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.10	4.98	4.90	25.40	266.00	6230.00	251.73
19	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.10	5.08	5.07	26.01	281.80	5375.00	211.62
20	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.12	5.10	5.10	26.11	279.90	5250.00	205.81
21	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.10	5.09	5.20	25.96	278.20	6115.00	241.68
22	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.00	5.02	4.84	25.10	256.70	5450.00	222.40
23	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.11	5.00	4.80	25.55	262.00	6365.00	256.54
24	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.12	5.02	4.80	25.70	264.80	6550.00	261.69
25	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.10	4.80	4.90	24.48	248.00	5750.00	240.77
26	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	5.00	4.80	4.90	25.00	249.20	5135.00	210.18
27	26.00	22.46	11/09/00	18/09/00	4.98	4.80	4.70	24.90	248.40	5500.00	226.27

Promedio: \bar{X} =
Desviación Estándar =
Límite de Control Superior (LCS) =
Límite de Control Inferior (LCI) =

232.16
23.88
287.74
176.58

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.61 para 7 días.

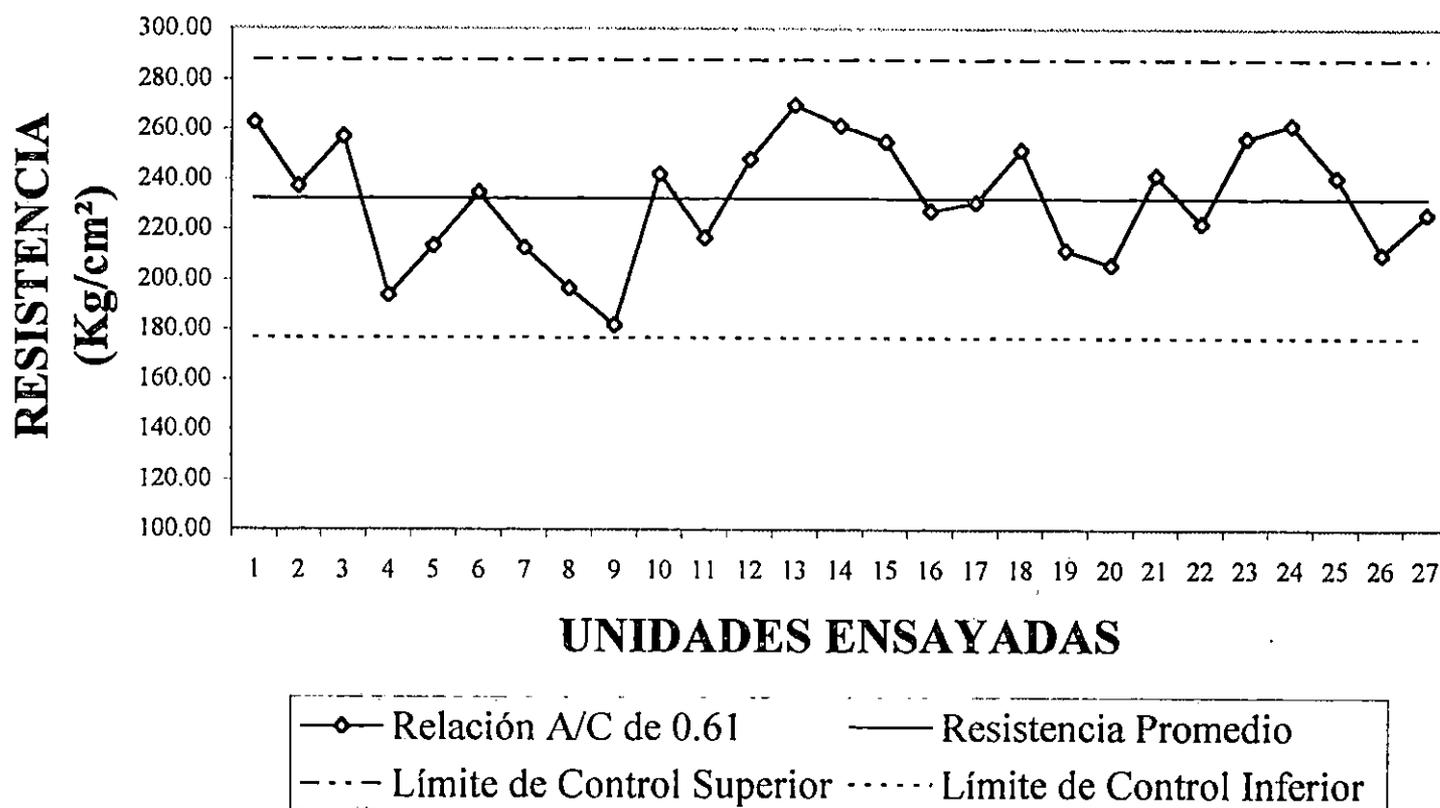


Figura 4.11

TABLA 4.11
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.62
 EDAD (DIAS): 7
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000 PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Ashtar" (Gonape)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs)	Carga (Kgs)	Carga Correjada (Kgs)	Resistencia (Kp/cm²)
1	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.03	5.14	4.72	25.85	259.00	4875.00	4984.10	192.78
2	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.01	4.99	4.87	25.00	251.10	5700.00	5842.13	233.69
3	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.04	5.08	4.62	25.80	254.20	5750.00	5894.14	230.21
4	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	4.71	4.96	5.04	23.36	248.50	5350.00	5476.12	234.49
5	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	4.98	4.98	4.70	24.70	248.50	4750.00	4854.09	198.52
6	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.13	4.79	4.66	24.57	245.60	5950.00	6102.14	248.33
7	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.09	5.14	5.20	26.16	277.10	6450.00	6622.16	253.12
8	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.19	5.11	5.08	26.32	274.50	6500.00	6674.17	251.66
9	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.14	5.12	4.99	26.32	274.00	6310.00	6476.56	246.10
10	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.00	5.09	4.90	25.45	280.20	5250.00	5374.11	211.16
11	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	4.99	5.00	4.80	24.95	251.00	5375.00	5504.12	220.61
12	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	4.90	5.30	4.92	25.97	270.60	5650.00	6102.14	234.97
13	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.10	5.10	4.94	26.01	273.30	5600.00	5738.13	220.61
14	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.10	5.10	5.00	26.01	272.20	5600.00	5946.14	228.61
15	29.00	23.68	12/09/00	19/09/00	5.08	5.10	5.09	25.91	278.20	5625.00	5764.13	222.48
16	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.10	5.12	5.08	26.11	278.70	6450.00	6622.16	253.61
17	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.09	5.10	5.10	25.96	280.10	6125.00	6284.15	242.08
18	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.10	5.10	5.02	26.01	275.60	6050.00	6208.15	238.61
18	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.12	5.10	5.15	26.11	281.80	6000.00	6154.15	235.68
20	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.09	5.11	5.12	26.01	281.00	6225.00	6388.15	245.60
21	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.09	5.10	5.09	25.98	275.70	5750.00	6048.17	256.10
22	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.10	5.10	5.09	26.01	279.80	5750.00	5894.14	228.61
23	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.10	5.09	5.10	25.96	278.40	5250.00	5374.11	207.02
24	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.08	5.12	5.04	26.01	278.70	6100.00	6258.15	240.61
25	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.12	5.11	5.00	26.16	278.20	5950.00	6102.14	233.23
26	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.12	5.08	5.00	26.01	277.20	5225.00	5348.11	205.62
27	27.50	16.51	12/09/00	19/09/00	5.10	5.09	5.00	25.98	278.20	6125.00	6284.15	242.08

Promedio \bar{X} = 231.56
 Desviación Estándar = 17.35
 Límite de Control Superior (LCS) = 271.88
 Límite de Control Inferior (LCI) = 191.14

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.62 para 7 días.

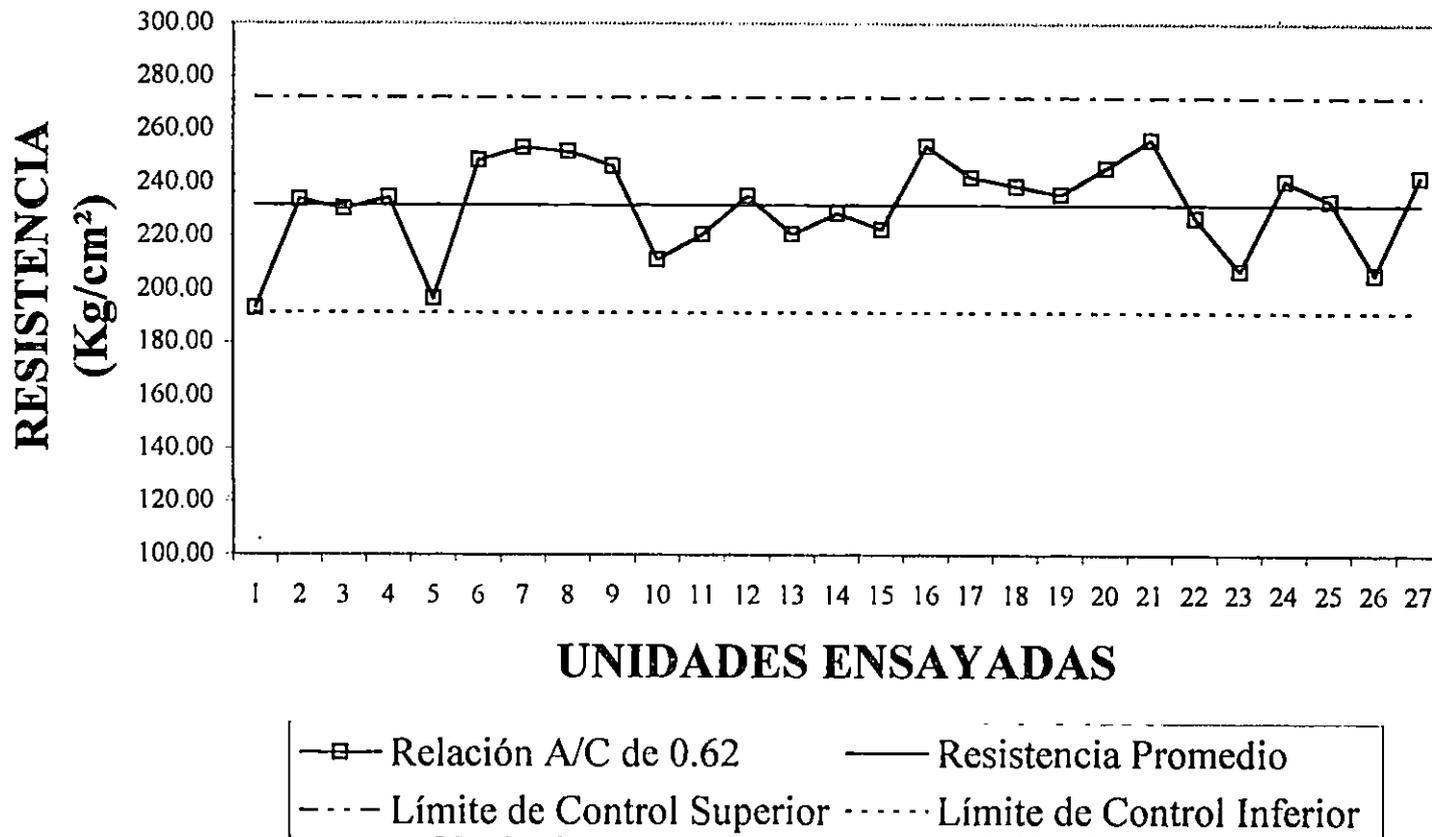


Figura 4.12

TABLA 4.12
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.63
 EDAD (DIAS): 7
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000 PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Asticoal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms ²)	Peso (grs)	Carga (kgs)	Carga Correída (kgs)	Resistencia (Kg/cm ²)
1	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.09	5.09	25.91	277.70	4750.00	4854.09	187.36
2	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.09	5.00	25.91	276.50	5025.00	5482.12	210.44
3	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.08	5.09	25.86	277.80	5000.00	5114.10	197.78
4	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.12	5.09	26.08	273.00	5025.00	5140.11	197.24
5	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.17	5.09	26.32	273.80	3950.00	4022.06	152.84
6	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.08	5.09	25.86	274.10	5500.00	5634.12	217.89
7	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.12	5.07	26.16	276.80	4950.00	5082.10	193.48
8	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.11	5.08	26.01	276.50	5550.00	5686.13	218.62
9	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.09	5.13	26.11	276.20	4550.00	4646.09	177.93
10	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.12	4.75	24.32	244.90	4250.00	4334.07	178.21
11	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	4.94	5.02	24.80	245.40	4750.00	4854.09	185.74
12	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	4.98	4.94	24.80	243.60	4525.00	4620.08	187.80
13	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.05	5.01	25.30	254.20	4125.00	4204.07	169.17
14	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	5.02	5.07	25.45	256.90	4025.00	4100.06	161.09
15	28.50	15.40	13/09/00	20/09/00	4.96	5.12	25.40	261.20	5250.00	5374.11	211.62
16	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.11	5.09	26.01	281.80	6000.00	6154.15	238.61
17	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.11	5.13	26.21	277.10	4750.00	4834.09	185.17
18	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.09	5.11	26.01	287.20	3975.00	4048.06	155.64
19	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	4.94	4.95	24.45	254.90	3375.00	3424.04	140.03
20	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.09	4.95	25.20	284.00	4600.00	4698.09	186.47
21	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.29	4.95	26.19	275.10	5000.00	5114.10	185.30
22	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.15	5.14	26.47	272.60	5275.00	5400.12	204.00
23	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.16	5.08	26.21	277.90	6500.00	6674.17	254.61
24	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.12	5.11	26.16	274.80	5825.00	5972.14	228.26
25	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.10	5.09	26.96	275.90	6525.00	6700.17	258.11
26	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.08	5.11	25.96	279.50	7125.00	7324.19	282.15
27	28.00	23.92	13/09/00	20/09/00	5.10	5.09	25.96	279.00	6200.00	6392.15	245.08

Promedio \bar{X} = 200.95
 Desviación Estándar σ = 34.19
 Límite de Control Superior (LCS) = 280.82
 Límite de Control Inferior (LCI) = 121.28

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.63 para 7 días.

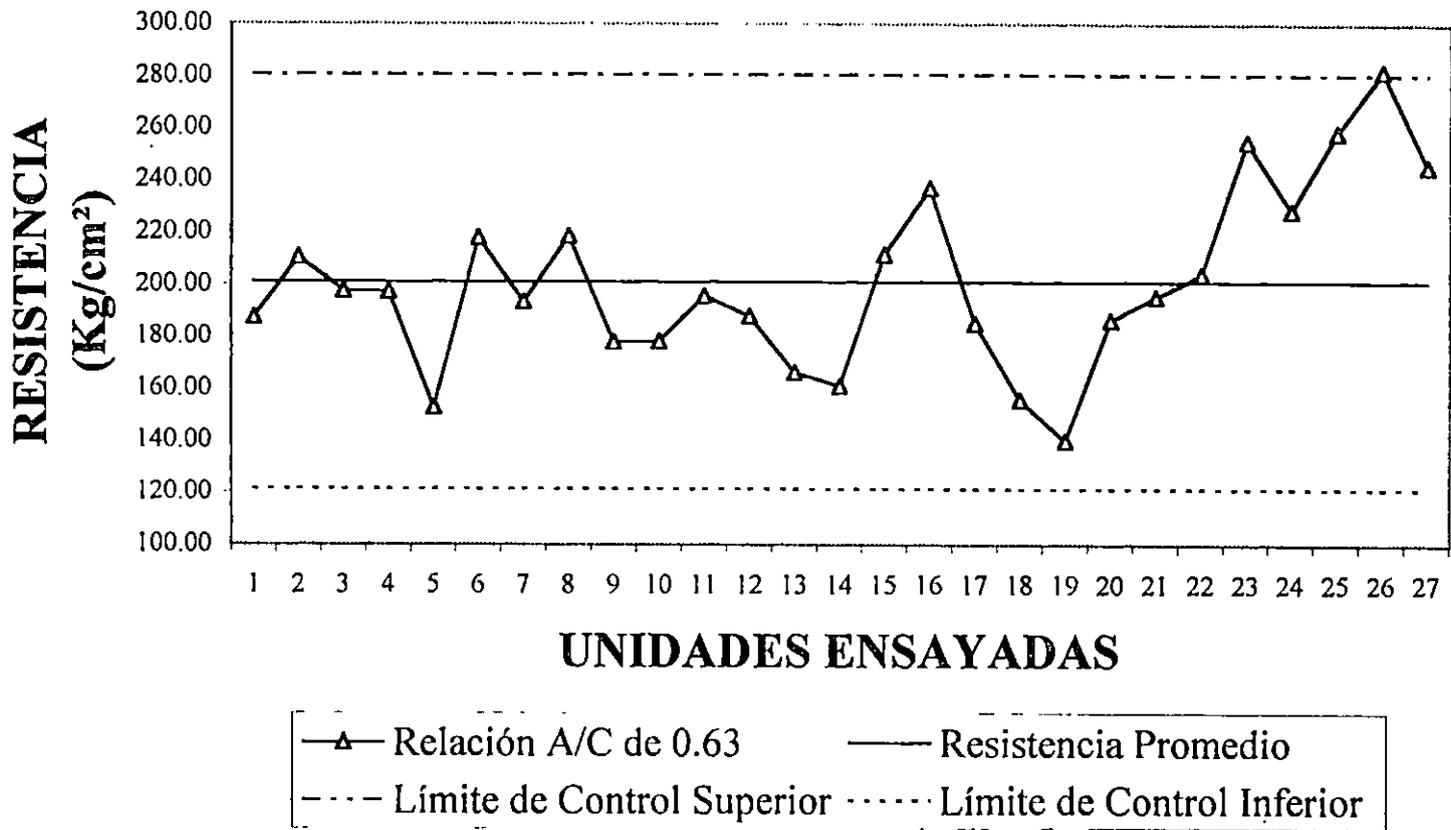


Figura 4.13

TABLA 4.13
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.64
 EDAD (DIAS): 7
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000 PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Astoblar" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Baso (cms)	Altura (cms)	Area (cms ²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Correída (kgs)	Resistencia (kg/cm ²)
1	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.11	4.99	26.06	271.30	3475.00	3528.04	135.38
2	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	4.85	4.94	24.45	254.20	3875.00	3944.06	161.29
3	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.09	4.95	26.01	270.50	4250.00	4334.07	166.63
4	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.12	4.82	26.37	265.80	4125.00	4204.07	159.44
5	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.02	4.84	24.80	238.80	4000.00	4074.06	164.28
6	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	4.94	4.82	24.45	239.50	4200.00	4282.07	175.11
7	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.14	4.86	26.16	268.40	4600.00	4698.09	179.57
8	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.12	4.94	26.11	272.30	4450.00	4542.08	173.95
9	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.10	4.93	25.96	266.40	3690.00	3658.05	140.92
10	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	4.94	4.84	26.08	265.40	4500.00	4594.08	176.13
11	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.05	4.73	25.35	247.00	4675.00	4776.09	188.40
12	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.11	4.86	26.06	269.00	4950.00	5062.10	194.24
13	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.08	4.97	25.91	269.80	3375.00	3424.04	132.16
14	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	5.08	5.11	25.96	240.90	4325.00	4412.08	169.96
15	28.00	10.28	14/09/00	21/09/00	4.74	4.71	24.17	240.90	4050.00	4126.06	170.68
16	27.00	13.08	14/09/00	21/09/00	5.11	5.07	25.91	271.40	4975.00	4464.08	172.31
17	27.00	13.08	14/09/00	21/09/00	5.13	4.99	25.60	256.00	4450.00	4542.08	177.43
18	27.00	13.08	14/09/00	21/09/00	5.09	4.88	25.96	274.60	4575.00	4672.09	179.98
19	27.00	13.08	14/09/00	21/09/00	5.14	5.08	26.11	265.80	4700.00	4802.09	183.91
20	27.00	13.08	14/09/00	21/09/00	4.96	4.85	25.49	280.60	4750.00	4854.09	190.40
21	27.00	13.08	14/09/00	21/09/00	4.98	5.11	25.45	256.20	4825.00	4932.10	193.42
22	27.00	14.11	22/09/00	29/09/00	5.10	4.82	25.50	243.40	5500.00	5634.12	228.09
23	27.00	14.11	22/09/00	29/09/00	5.17	4.82	24.92	243.40	4800.00	4698.09	185.35
24	27.00	14.11	22/09/00	29/09/00	4.99	5.11	25.50	260.20	5200.00	5322.11	218.09
25	27.00	14.11	22/09/00	29/09/00	4.93	4.77	24.40	246.10	3625.00	3684.05	147.36
26	27.00	14.11	22/09/00	29/09/00	5.00	4.80	25.00				
27	27.00	14.11	22/09/00	29/09/00	5.00	4.80	25.00				

Promedio \bar{X} =
 Desviación Estándar σ =
 Límite de Control Superior (LCS) =
 Límite de Control Inferior (LCI) =

177.31
 23.79
 232.73
 121.88

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.64 para 7 días.

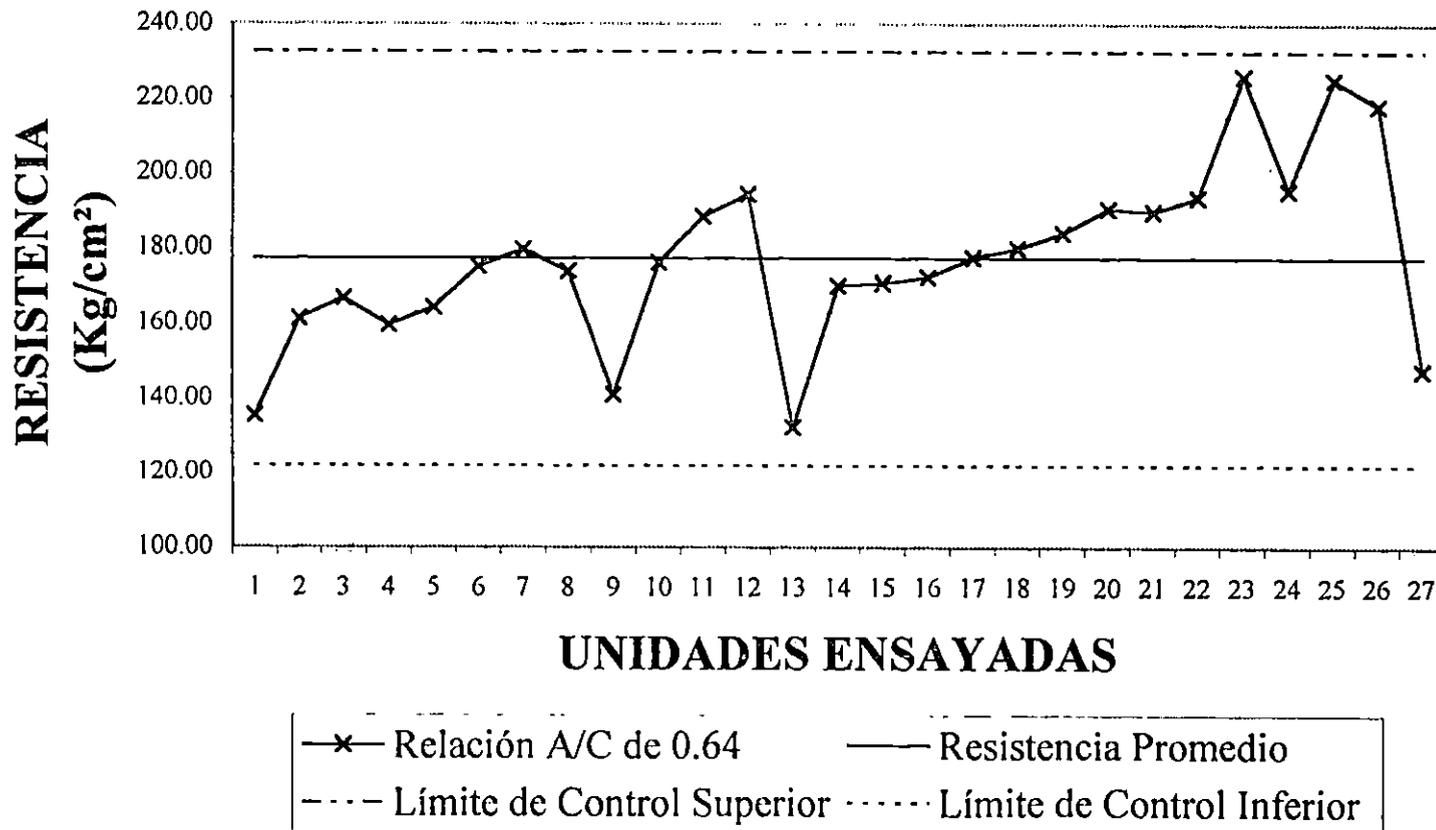


Figura 4.14

TABLA 4.14
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.65
 EDAD (DÍAS): 7
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda El Achotal (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Baso (cms)	Altura (cms)	Area (cms ²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Correída (kgs)	Resistencia (kg/cm ²)
1	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.13	26.11	276.20	4500.00	4594.08	175.94
2	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.11	5.12	26.16	275.80	4125.00	4204.07	160.69
3	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.12	26.08	272.20	4450.00	4542.08	174.29
4	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.14	5.10	26.21	272.90	4050.00	4128.08	157.40
5	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.10	5.10	26.01	273.10	3550.00	3608.04	138.64
6	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.08	25.88	272.00	3625.00	3684.05	142.48
7	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.10	5.08	25.91	273.60	4250.00	4334.07	167.29
8	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.14	5.08	26.11	280.30	4875.00	4984.10	190.88
9	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.08	25.88	276.20	4900.00	5010.10	193.76
10	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.12	5.13	26.27	275.70	6150.00	6310.15	240.24
11	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.11	5.10	26.08	275.80	5200.00	5322.11	204.22
12	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.11	5.09	26.01	275.00	5725.00	5868.13	225.61
13	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.14	26.16	279.10	5725.00	5868.13	224.29
14	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.11	26.01	277.50	5875.00	6024.14	231.61
15	28.00	11.84	20/09/00	27/09/00	5.09	5.11	26.01	277.50	6575.00	6752.17	259.60
16	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	5.12	5.10	26.11	269.40	6175.00	6338.15	242.65
17	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	5.13	5.10	26.16	270.20	5875.00	6024.14	230.25
18	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	5.12	5.11	26.16	270.80	8425.00	8596.16	252.12
19	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	5.29	4.92	26.03	270.80	5425.00	5558.12	213.48
20	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	4.93	4.97	24.50	251.00	4825.00	4932.10	201.29
21	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	4.98	5.10	25.40	266.10	5150.00	5270.11	207.50
22	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	4.76	5.19	24.70	244.80	4725.00	4828.09	195.43
23	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	4.93	4.95	24.40	241.40	5575.00	5712.13	234.07
24	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	5.00	4.93	24.65	245.60	5100.00	5216.11	211.69
25	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	5.03	5.01	25.20	250.50	5625.00	5784.13	228.73
26	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	4.87	5.09	25.30	253.20	4700.00	4802.09	189.83
27	27.00	11.80	20/09/00	27/09/00	4.99	5.15	25.70	256.10	5100.00	5216.11	203.05
Promedio \bar{x} = 203.59 Desviación Estandar σ = 32.76 Límite de Control Superior (LCS) = 279.92 Límite de Control Inferior (LCI) = 127.27											

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.65 para 7 días.

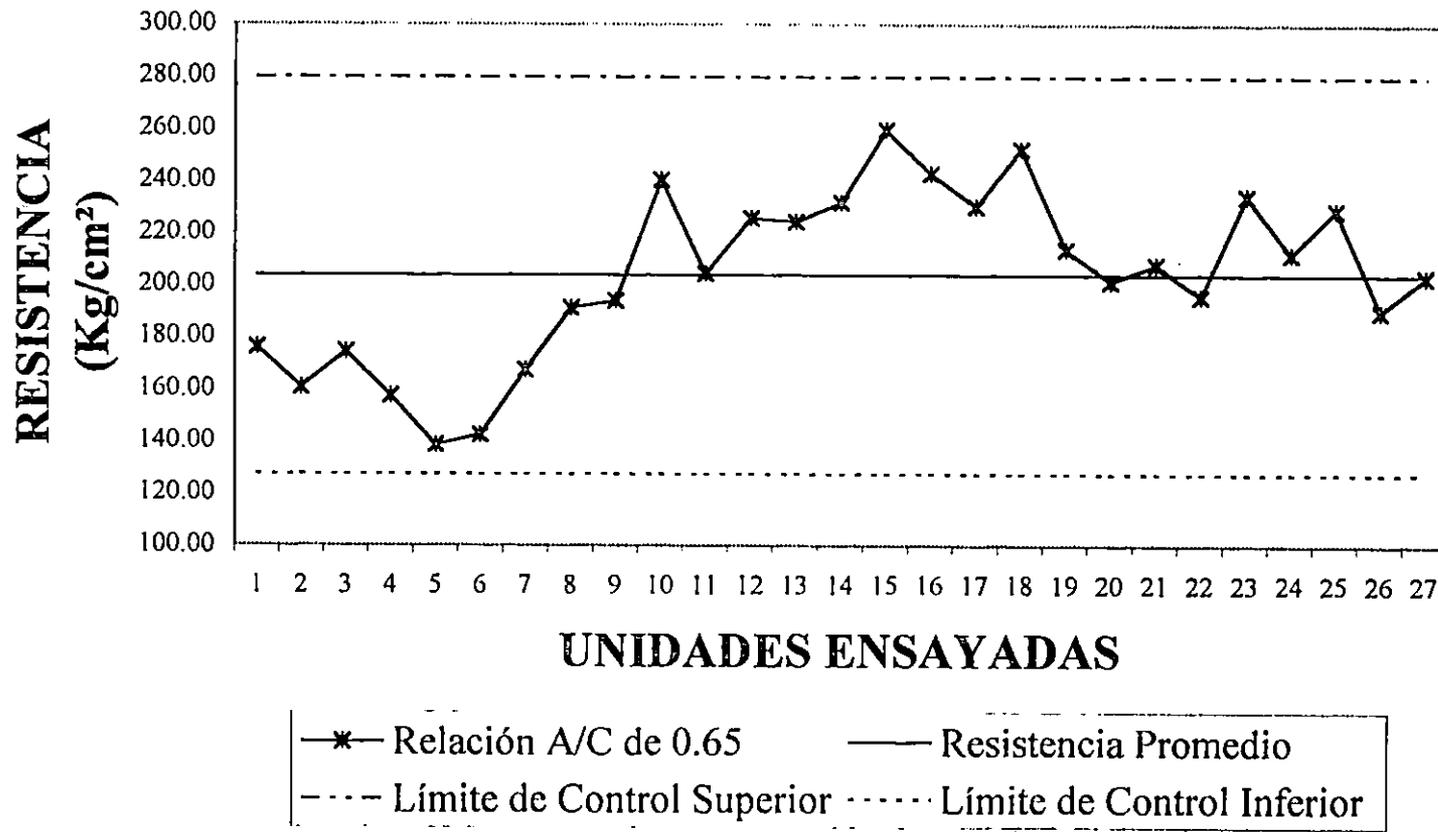


Figura 4.15

TABLA 4.15
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.61
 EDAD (DIAS): 28
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Ahojal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. Fúndez (°C)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Bazo (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Correída (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	28.00	27/09/00	25/10/00	4.80	5.10	4.75	24.45	247.20	7750.00	325.74
2	28.00	27/09/00	25/10/00	4.95	5.05	4.72	25.00	252.10	6525.00	268.03
3	28.00	27/09/00	25/10/00	5.00	4.91	4.71	24.55	248.90	7950.00	333.29
4	28.00	27/09/00	25/10/00	5.08	4.98	4.75	25.30	259.20	6975.00	283.35
5	28.00	27/09/00	25/10/00	5.08	5.08	4.72	25.40	254.20	7550.00	305.76
6	28.00	27/09/00	25/10/00	4.97	5.12	4.74	25.45	261.00	6500.00	282.28
7	28.00	27/09/00	25/10/00	5.22	4.98	4.99	26.00	276.50	8475.00	335.76
8	28.00	27/09/00	25/10/00	5.00	4.92	4.89	24.60	254.30	6875.00	287.16
9	28.00	27/09/00	25/10/00	5.07	5.12	5.00	25.98	270.90	6925.00	274.14
10	28.00	27/09/00	25/10/00	5.09	5.10	5.02	25.98	280.60	7500.00	297.17
11	28.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.10	5.07	25.98	279.30	6600.00	261.11
12	28.00	27/09/00	25/10/00	5.11	5.10	5.03	26.06	278.90	6100.00	240.13
13	27.00	27/09/00	25/10/00	5.08	5.10	5.02	25.91	278.80	6625.00	262.63
14	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.09	5.10	25.98	277.50	6825.00	270.13
15	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.10	5.00	26.01	277.10	8150.00	322.58
16	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.10	4.99	26.01	276.70	6625.00	281.60
17	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.10	5.00	26.01	276.50	5650.00	222.81
18	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.09	5.09	25.96	275.70	6550.00	259.11
19	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.11	5.05	26.06	282.70	9125.00	360.86
20	27.00	27/09/00	25/10/00	5.11	5.11	5.00	26.11	280.10	7125.00	280.49
21	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.10	5.02	26.01	281.10	8200.00	324.58
22	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.13	4.98	26.16	278.00	8800.00	346.53
23	27.00	27/09/00	25/10/00	5.12	5.13	5.08	26.27	277.40	7625.00	298.65
24	27.00	27/09/00	25/10/00	5.08	5.09	4.98	25.88	276.90	8200.00	326.49
25	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.10	4.75	26.01	287.60	9000.00	356.57
26	27.00	27/09/00	25/10/00	5.12	5.11	4.98	26.18	273.90	7250.00	284.91
27	27.00	27/09/00	25/10/00	5.10	5.11	4.92	26.06	273.20	8050.00	357.86

Promedio \bar{X} =
 Desviación Estándar =
 Límite de Control Superior (LCS) =
 Límite de Control Inferior (LCI) =

298.65
 38.08
 385.38
 207.92

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.61 para 28 días

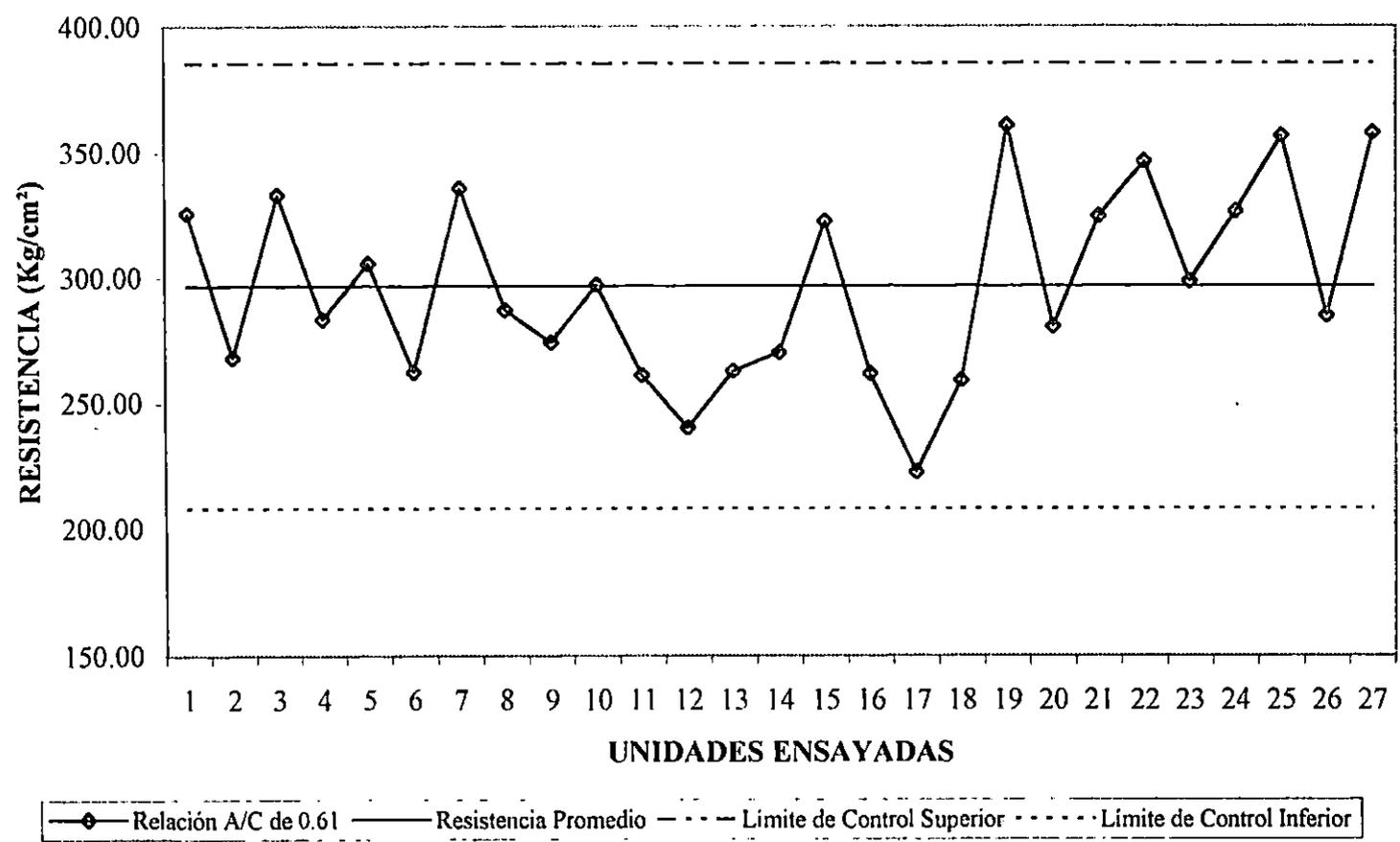


Figura 4.16

TABLA 4.16
ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
RELACION AGUA-CEMENTO: 0.62
EDAD (DIAS): 28
TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I
ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm²)	
1	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.09	5.10	4.91	4.92	25.96	7600.00	8028.22	309.18
2	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.10	5.09	4.96	4.96	25.96	7625.00	7644.21	302.18
3	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.08	5.10	4.99	5.00	25.96	7324.19	7324.19	282.14
4	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	4.97	4.94	4.61	4.60	24.55	8000.00	8234.23	335.38
5	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	4.98	4.98	4.60	4.64	24.80	7275.00	7480.20	301.62
6	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	4.72	5.10	4.66	4.70	24.07	7200.00	7402.20	307.50
7	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.00	5.10	4.74	4.70	25.50	7875.00	8104.22	317.81
8	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	4.97	5.09	4.80	4.70	25.30	6875.00	7064.18	279.25
9	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.10	5.00	4.65	4.78	25.50	8475.00	8728.25	342.28
10	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.08	5.09	5.03	5.03	25.86	7400.00	7610.20	294.32
11	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.08	5.10	5.05	5.10	25.91	7500.00	7714.21	297.75
12	28.00	22.98	28/09/00	28/10/00	5.07	5.09	5.04	5.03	25.81	7625.00	7844.21	303.97
13	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.08	5.08	5.04	5.00	25.81	7600.00	7818.21	302.96
14	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.07	5.07	5.20	5.07	25.70	7825.00	8156.23	317.30
15	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.09	5.10	5.03	5.03	25.96	8575.00	8832.25	340.24
16	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.10	5.08	5.00	5.01	25.91	8250.00	8494.24	327.86
17	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.10	5.09	5.00	5.00	25.96	7325.00	7532.20	290.16
18	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.10	5.09	4.96	5.00	25.96	7525.00	7740.21	298.17
19	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.10	5.10	5.00	5.00	26.01	8125.00	8364.23	321.58
20	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.08	5.09	5.00	5.00	25.86	7325.00	7532.20	291.30
21	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.09	5.10	5.00	5.02	25.96	7925.00	8468.24	328.22
22	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	4.95	5.10	5.02	5.00	25.25	7550.00	7768.21	307.63
23	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	4.98	4.94	4.89	4.90	24.60	7125.00	7324.19	297.72
24	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	4.88	5.22	4.92	5.00	25.47	8825.00	9092.26	356.93
25	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.12	5.08	5.00	5.02	26.01	7125.00	7324.19	281.60
26	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.10	5.10	5.10	4.96	26.01	7900.00	8130.22	312.58
27	28.00	25.53	28/09/00	28/10/00	5.14	5.10	5.10	5.09	26.21	7050.00	7248.19	276.42

Promedio \bar{X} =

Desviación Estándar =

Límite de Control Superior (LCS) =

Límite de Control Inferior (LCI) =

308.22
20.45
355.87
260.58

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.62 para 28 días

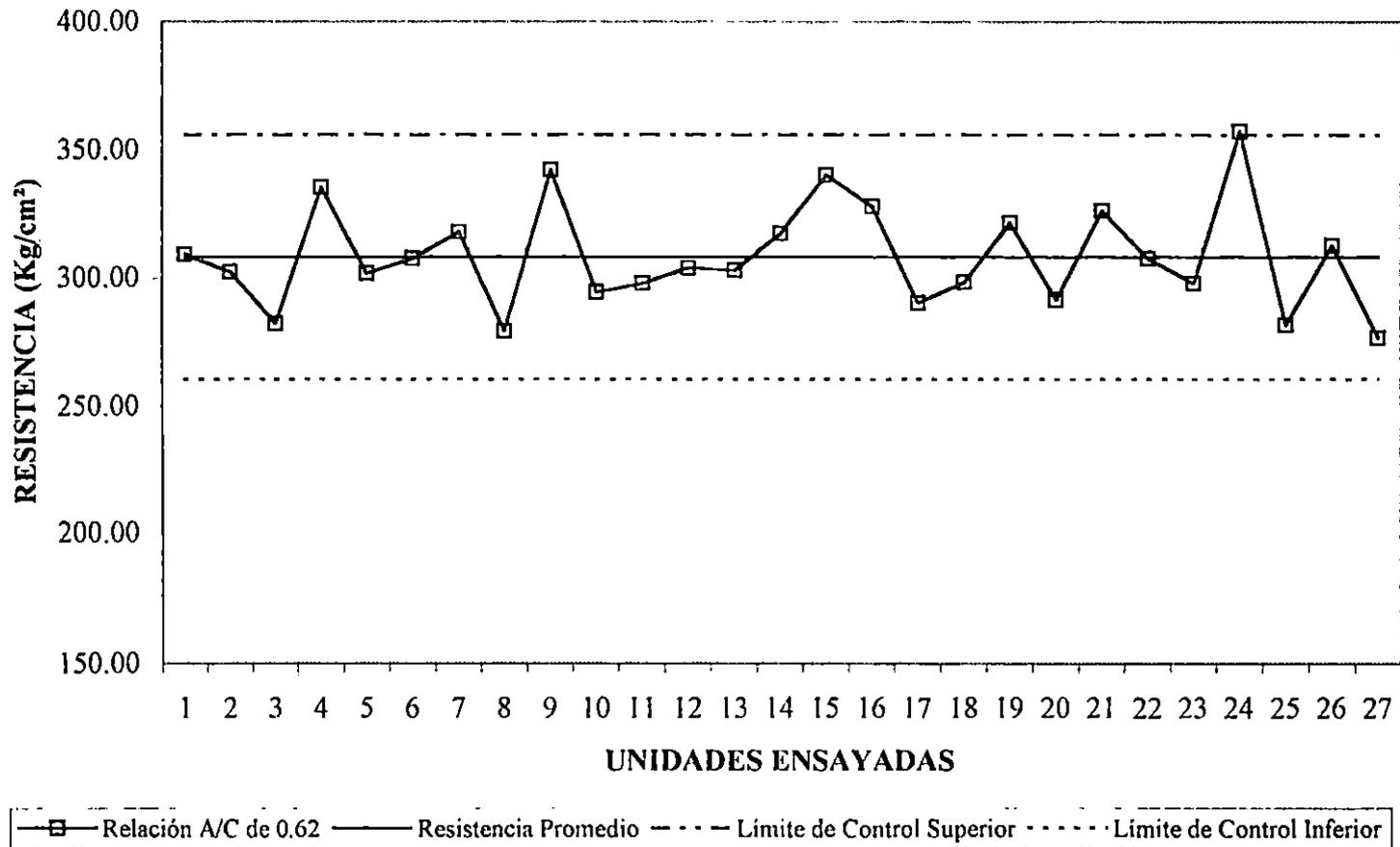


Figura 4.17

TABLA 4.17

ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS

RELACION AGUA-CEMENTO: 0.63

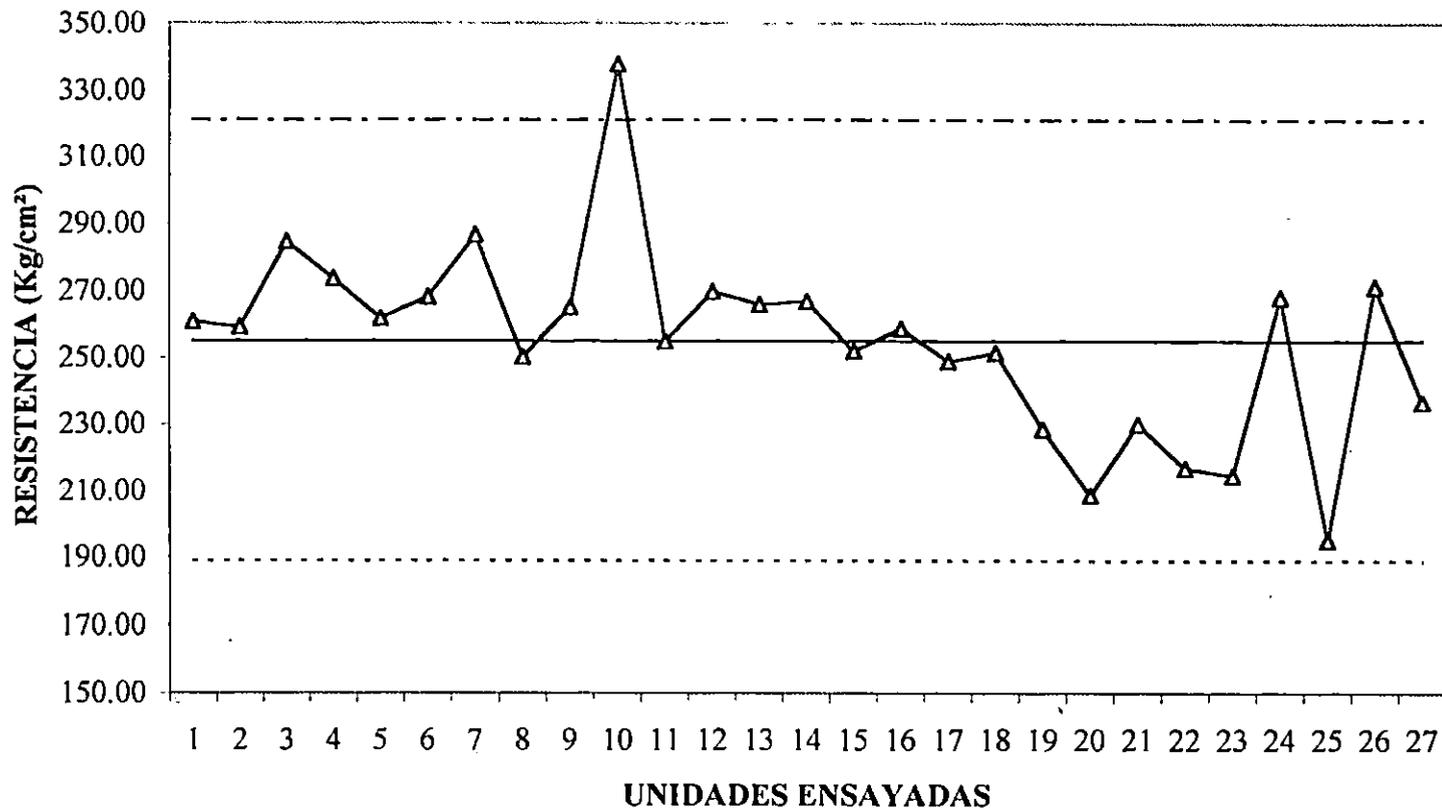
EDAD (DIAS): 28

TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I

ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)		Altura (cms)		Area (cms ²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm ²)
1	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.08	5.10	5.00	4.99	25.91	277.20	6575.00	6752.17	260.82
2	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.10	5.11	5.00	5.01	26.06	277.20	6575.00	6752.17	259.09
3	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.10	5.10	5.00	5.03	26.01	278.30	7200.00	7402.20	284.59
4	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.10	5.10	5.03	5.02	26.01	279.00	6925.00	7118.18	273.59
5	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.10	5.10	5.05	5.04	26.01	278.40	6625.00	6804.17	261.60
6	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.11	5.12	5.02	5.01	26.16	278.10	6825.00	7012.18	268.02
7	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.12	5.10	4.95	4.92	26.11	271.90	7275.00	7480.20	286.47
8	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.15	5.10	4.94	4.92	26.27	274.70	6400.00	6570.16	250.15
9	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.13	5.10	4.97	4.98	26.16	274.00	6750.00	6934.16	265.04
10	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.22	4.92	4.92	4.91	25.66	272.80	8425.00	8676.25	337.83
11	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.20	4.98	4.81	4.79	25.90	280.70	6425.00	6596.16	254.72
12	27.00	17.26	29/09/00	27/10/00	5.00	4.97	4.73	4.72	24.85	247.10	6525.00	6700.17	269.62
13	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.00	5.10	5.00	5.04	25.50	268.00	6600.00	6778.17	265.81
14	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.08	5.00	4.80	4.80	25.40	257.80	6600.00	6778.17	266.86
15	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.04	4.97	4.75	4.79	25.05	245.40	6150.00	6310.15	251.91
16	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	4.92	4.96	4.93	4.90	24.40	252.90	6150.00	6310.15	258.58
17	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.02	5.03	4.77	4.73	25.25	253.70	6125.00	6284.15	248.87
18	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	4.77	5.09	4.77	4.76	24.28	245.50	5950.00	6102.14	251.33
19	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.10	5.10	5.00	5.02	26.01	275.40	5800.00	5948.14	228.61
20	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.10	5.10	5.04	5.08	26.01	278.20	5300.00	5428.12	208.62
21	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.10	5.07	5.05	5.04	25.66	277.10	5800.00	5948.14	229.96
22	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.12	5.10	5.04	5.10	26.11	275.40	5525.00	5660.13	216.76
23	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.15	5.10	5.04	5.03	26.27	278.20	5500.00	5634.12	214.51
24	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.17	5.10	5.04	5.03	26.37	276.40	6875.00	7064.18	267.92
25	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.09	5.10	5.08	5.05	25.96	277.60	4950.00	5062.10	195.00
26	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.11	5.10	5.08	5.02	26.06	278.30	6875.00	7064.18	271.06
27	27.00	18.18	29/09/00	27/10/00	5.12	5.08	5.01	5.02	26.01	275.50	6000.00	6154.15	236.61
Promedio \bar{X} =												254.95	
Desviación Estandar =												28.38	
Limite de Control Superior (LCS) =												321.08	
Limite de Control Inferior (LCI) =												188.83	

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.63 para 28 días



▲ Relación A/C de 0.63
 — Resistencia Promedio
 - - - Limite de Control Superior
 ····· Limite de Control Inferior

Figura 4.18

TABLA 4.18

ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS

RELACION AGUA-CEMENTO: 0.64

EDAD (DIAS): 28

TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I

ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)		Altura (cms)		Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.11	5.09	4.93	4.93	26.01	272.70	7475.00	7688.21	295.59
2	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.09	5.09	4.95	4.93	25.91	274.70	7400.00	7610.20	293.74
3	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.08	5.08	4.98	5.00	25.81	274.50	6925.00	7116.18	275.75
4	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.09	5.09	4.99	4.99	25.91	278.00	7250.00	7454.20	287.72
5	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.10	5.09	4.97	4.98	25.96	276.70	6500.00	6874.17	257.10
6	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.10	5.09	4.97	4.98	25.96	276.80	6925.00	7116.18	274.13
7	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.09	5.09	5.00	5.00	25.91	278.20	6500.00	6874.17	257.81
8	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.10	5.10	4.98	4.98	26.01	275.60	8125.00	6284.15	241.61
9	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.10	5.10	4.95	4.95	26.01	276.00	5750.00	5894.14	226.61
10	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.08	5.08	5.00	4.99	25.81	276.40	7250.00	7454.20	288.85
11	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.08	5.09	4.97	4.98	25.86	274.80	7000.00	7194.19	278.23
12	27.00	12.61	2/10/00	30/10/00	5.06	5.08	4.98	4.99	25.70	274.40	7875.00	8104.22	315.28
13	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.08	5.09	4.98	4.99	25.86	277.00	7125.00	7324.19	283.26
14	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.07	5.09	4.99	5.00	25.81	276.50	6500.00	6674.17	258.63
15	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.09	5.08	4.98	4.99	25.86	276.80	5875.00	6024.14	232.98
16	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.92	5.10	5.00	5.01	25.09	265.70	5375.00	5504.12	219.36
17	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.98	4.92	4.90	4.89	24.50	251.70	4250.00	4334.07	178.89
18	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.89	5.24	4.90	4.92	25.62	270.30	8125.00	6284.15	245.25
19	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.91	4.93	4.73	4.72	24.21	244.30	5500.00	5634.12	232.75
20	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.98	4.94	4.73	4.72	24.60	246.90	5625.00	5764.13	234.30
21	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.10	4.70	4.72	4.75	23.97	242.50	5125.00	5244.11	218.78
22	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.98	5.02	4.71	4.71	25.00	250.30	5500.00	5634.12	225.37
23	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.10	4.99	4.72	4.79	25.45	255.90	5275.00	5400.12	212.19
24	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	4.97	5.13	4.77	4.76	25.50	256.40	6250.00	6414.16	251.57
25	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.10	5.10	4.85	4.95	26.01	270.90	8125.00	6284.15	241.61
26	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.10	5.08	4.85	4.84	25.91	268.50	5125.00	5244.11	202.41
27	27.50	12.70	2/10/00	30/10/00	5.08	5.02	4.81	4.93	25.50	270.70	7250.00	7454.20	292.30
Promedio \bar{X} =												252.59	
Desviación Estandar =												33.53	
Límite de Control Superior (LCS) =												330.71	
Límite de Control Inferior (LCI) =												174.46	

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.64 para 28 días

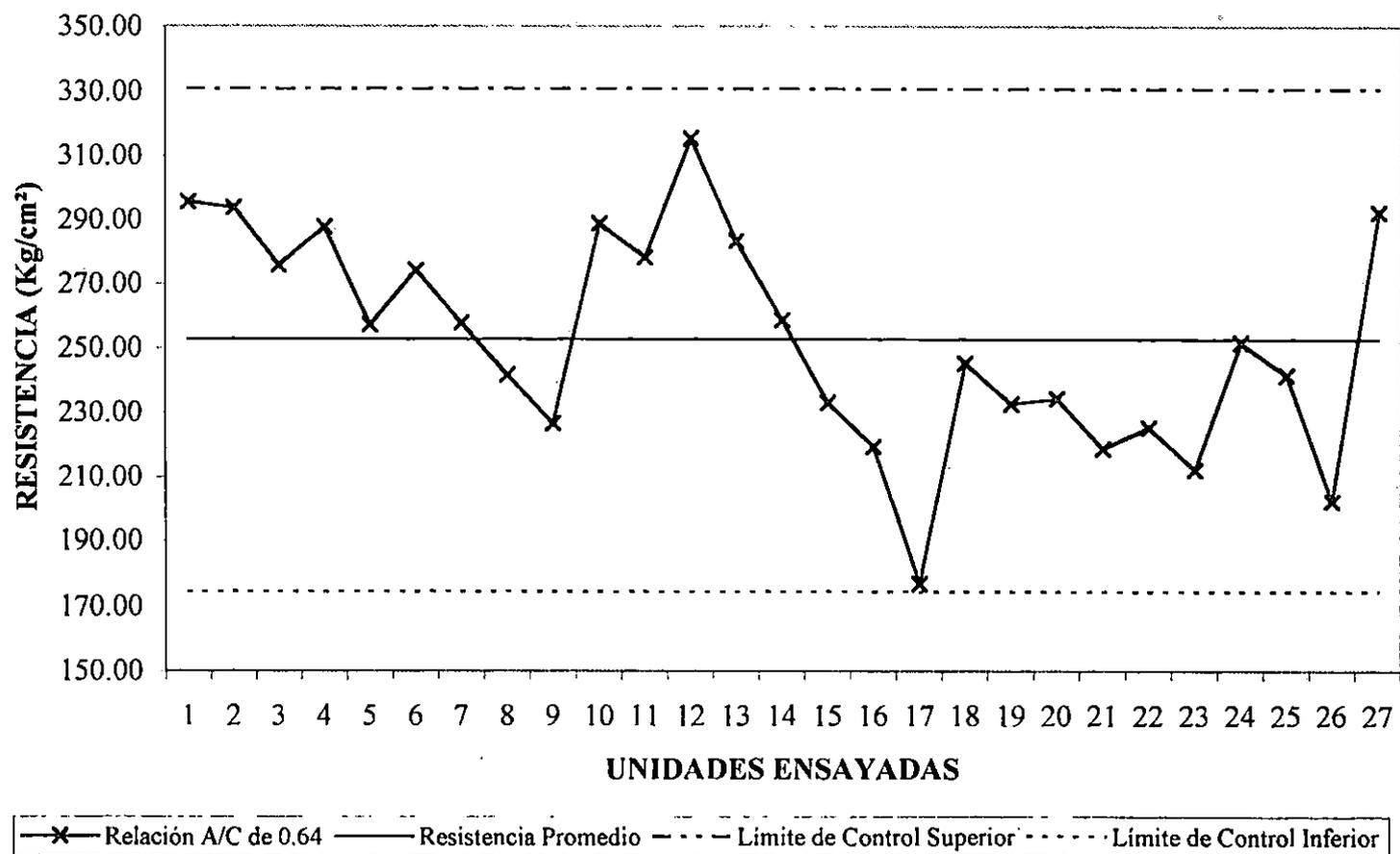


Figura 4.19

TABLA 4.19
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.85
 EDAD (DIAS): 28
 TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000 PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Acholal" (Comalapa)

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (Kgs)	Carga Comprimida (Kgs)	Resistencia (kg/cm²)		
1	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	4.90	5.30	4.92	4.86	25.97	274.40	5775.00	5920.14	227.98
2	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	4.94	4.92	4.88	4.90	24.30	252.70	5875.00	6024.14	247.86
3	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.03	4.92	4.81	4.90	24.75	285.30	6275.00	6440.16	260.23
4	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	4.94	5.18	4.81	4.80	25.59	265.20	6375.00	6544.16	255.74
5	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	4.97	5.00	4.74	4.76	24.85	255.00	6275.00	6440.16	259.16
6	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.00	5.08	4.78	4.79	25.40	280.80	6500.00	6674.17	262.76
7	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.10	4.74	4.77	4.76	24.17	248.20	7075.00	7272.19	300.83
8	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	4.97	4.92	4.76	4.78	24.45	251.30	6450.00	6622.16	270.82
9	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.00	4.92	4.84	4.85	24.80	245.80	6500.00	6674.17	271.31
10	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.08	5.09	5.05	5.02	25.85	278.80	6925.00	7118.18	275.21
11	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.10	5.10	5.00	5.00	26.01	278.20	6300.00	6468.16	248.60
12	26.50	13.48	3/10/00	31-10-000	5.10	5.10	5.00	5.00	26.01	277.20	7050.00	7246.19	278.59
13	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.09	5.09	5.00	5.01	25.81	279.80	6750.00	6934.18	267.65
14	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.08	5.12	5.00	5.01	26.01	278.30	6625.00	6804.17	261.60
15	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.08	5.09	4.94	4.95	25.86	276.50	6125.00	6284.15	242.08
16	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.10	5.09	4.83	4.82	25.86	276.50	6750.00	6934.18	268.17
17	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.09	5.08	4.87	4.88	25.86	287.80	6750.00	6934.18	268.17
18	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.11	5.09	4.88	4.86	26.01	266.70	6550.00	6728.17	258.60
19	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.13	5.09	4.82	4.86	26.11	288.80	5775.00	5920.14	228.72
20	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.08	5.12	5.02	5.03	26.01	278.80	5975.00	6128.14	235.81
21	26.00	13.42	3/10/00	31-10-000	5.08	5.08	4.92	4.96	25.81	277.00	6425.00	6598.16	255.60
22	26.00	13.51	4/10/00	1/11/00	5.08	5.10	4.98	5.00	25.91	276.80	6000.00	6154.15	237.54
23	26.00	13.51	4/10/00	1/11/00	5.10	5.04	5.04	5.03	25.91	279.60	6675.00	6858.17	264.64
24	26.00	13.51	4/10/00	1/11/00	5.10	5.08	5.02	5.03	25.91	278.40	6500.00	6674.17	257.81
25	26.00	13.51	4/10/00	1/11/00	5.09	5.09	5.00	5.01	25.81	279.10	7250.00	7454.20	287.72
26	26.00	13.51	4/10/00	1/11/00	5.08	5.09	5.01	4.99	25.86	276.70	6800.00	6988.18	270.16
27	26.00	13.51	4/10/00	1/11/00	5.08	5.09	4.98	4.92	25.88	274.40	6925.00	7116.18	275.21

Promedio \bar{X} = 260.25
 Desviación Estándar = 17.13
 Límite de Control Superior (LCS) = 300.15
 Límite de Control Inferior (LCI) = 220.34

Gráfica de Resistencia con una Relación Agua/Cemento de 0.65 para 28 días

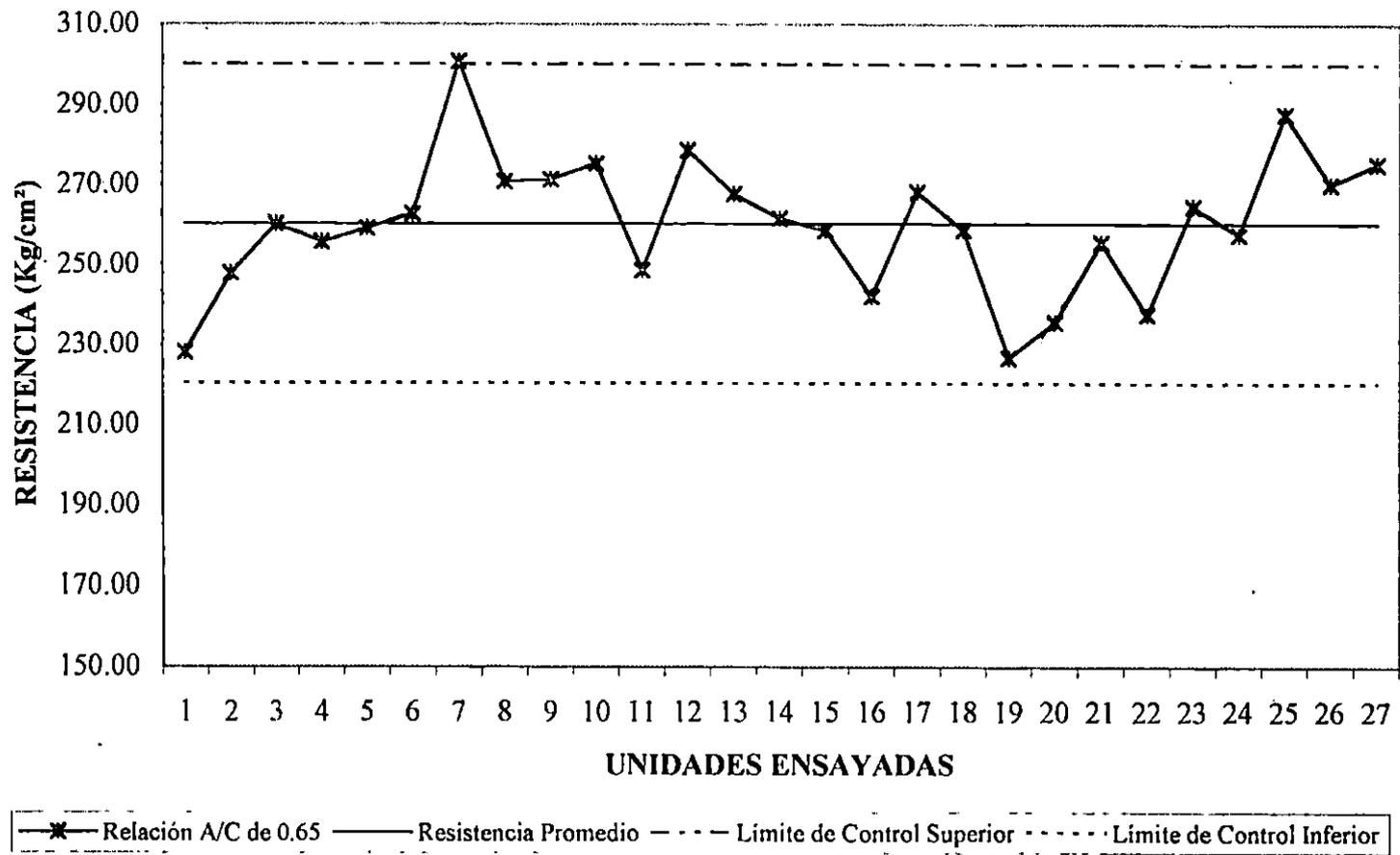


Figura 4.20

Gráfica de Resistencia a Edad de 24 hrs. con Aditivo Acelerante

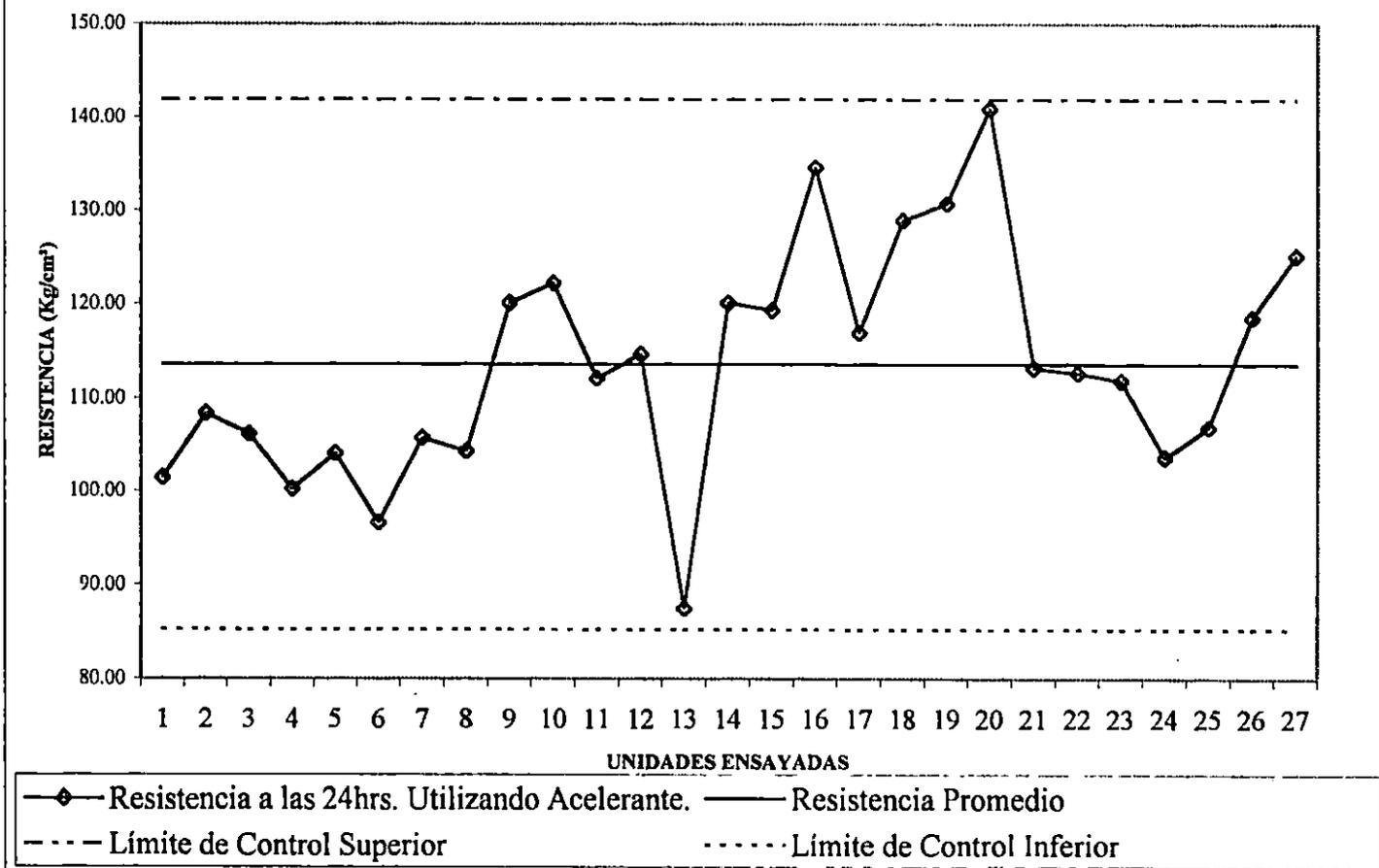


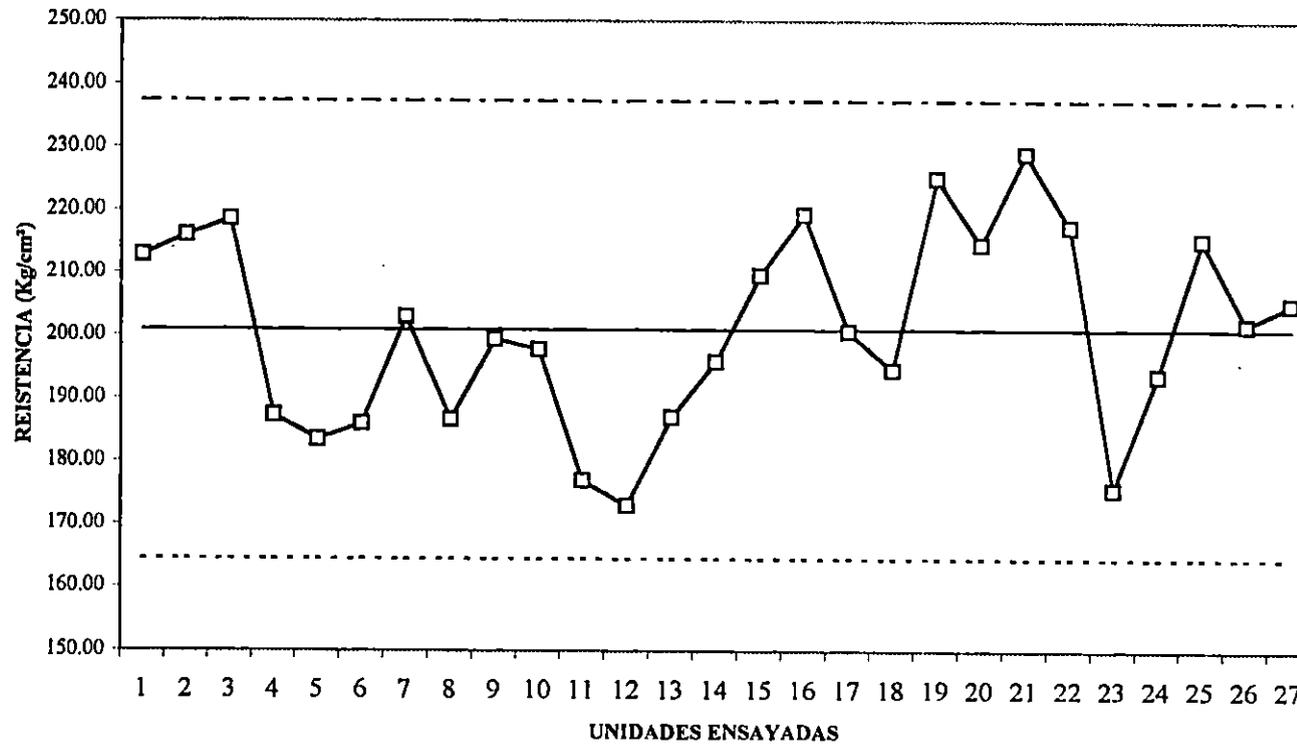
Figura 4.21

TABLA 4.21
 ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS
 RELACION AGUA-CEMENTO: 0.81
 EDAD (DÍAS): 3
 TIPO DE CEMENTO: GESSA 5000 PORTLAND TIPO I
 ARENA: Hacienda "El Achobal" (Camalepa)
 ADITIVO: SIKKA SET L

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)	Altura (cms)	Área (cms ²)	Peso (grs.)	Carga (kg)	Carga Correída (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)		
1	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.12	4.88	4.83	4.80	25.50	256.10	5300.00	5428.12	212.81
2	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	4.87	4.80	4.82	25.25	255.50	5325.00	5452.12	215.95
3	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	4.99	5.00	4.73	4.72	24.95	249.70	5325.00	5452.12	218.52
4	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	5.10	4.88	5.00	25.91	259.20	4750.00	4854.09	187.36
5	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.13	5.10	5.05	5.10	26.18	271.30	4700.00	4802.09	183.55
6	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.09	5.10	4.99	5.03	25.96	259.50	4725.00	4828.09	185.99
7	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	5.08	5.10	5.04	25.70	273.10	5100.00	5218.11	203.00
8	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.10	5.10	5.09	5.08	26.01	273.40	4750.00	4854.09	186.62
9	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.10	5.08	5.05	5.02	25.91	270.60	5050.00	5188.11	199.40
10	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	5.09	5.00	5.00	25.86	287.70	5000.00	5114.10	197.76
11	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	5.11	5.00	5.02	25.86	270.50	4500.00	4894.08	176.98
12	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	5.10	5.04	4.98	25.81	259.00	4375.00	4484.08	172.99
13	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.08	5.10	5.00	4.99	25.98	273.80	4750.00	4894.09	188.99
14	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.12	5.10	5.00	5.00	26.11	273.90	5000.00	5114.10	195.65
15	29.00	28.18	24/10/00	27/10/00	5.10	5.10	4.99	5.00	26.01	272.70	5325.00	5452.12	209.82
16	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	4.93	4.97	4.68	4.64	24.50	240.10	5250.00	5374.11	219.33
17	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.06	4.91	4.75	4.68	24.84	243.90	4875.00	4884.10	200.81
18	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.12	4.82	4.73	4.80	24.88	241.30	4700.00	4802.09	194.59
19	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.10	5.09	5.08	5.00	25.98	278.00	5700.00	5842.13	225.05
20	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.15	5.10	5.05	5.00	26.27	275.80	5500.00	5694.12	214.51
21	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.09	5.10	5.00	4.98	25.96	274.30	5800.00	5948.14	229.08
22	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.13	5.10	4.92	4.94	26.18	288.40	5550.00	5686.13	217.33
23	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.14	5.12	5.00	5.04	26.32	275.20	4525.00	4620.08	175.58
24	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.10	5.10	5.00	5.00	26.01	273.00	4925.00	5036.10	183.62
25	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	4.90	5.22	4.88	5.00	25.86	280.10	5375.00	5594.12	215.19
26	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.10	4.92	4.90	4.98	25.09	252.30	4650.00	5062.10	201.74
27	27.00	18.19	24/10/00	27/10/00	5.33	4.99	4.90	4.91	26.60	286.50	5325.00	5462.12	204.99

Promedio \bar{X} = 200.93
 Desviación Estándar σ = 15.87
 Límite de Control Superior (LCS) = 237.43
 Límite de Control Inferior (LCI) = 164.43

Gráfica de Resistencia a Edad de 3 días con Aditivo Acelerante



—□— Resistencia a los 3 días Utilizando Acelerante — Resistencia Promedio
- - - Límite de Control Superior - - - Límite de Control Inferior

Figura 4.22

TABLA 4.22

ELABORACION Y RUPTURA DE CUBOS

RELACION AGUA-CEMENTO: 0.61

EDAD (DIAS): 7

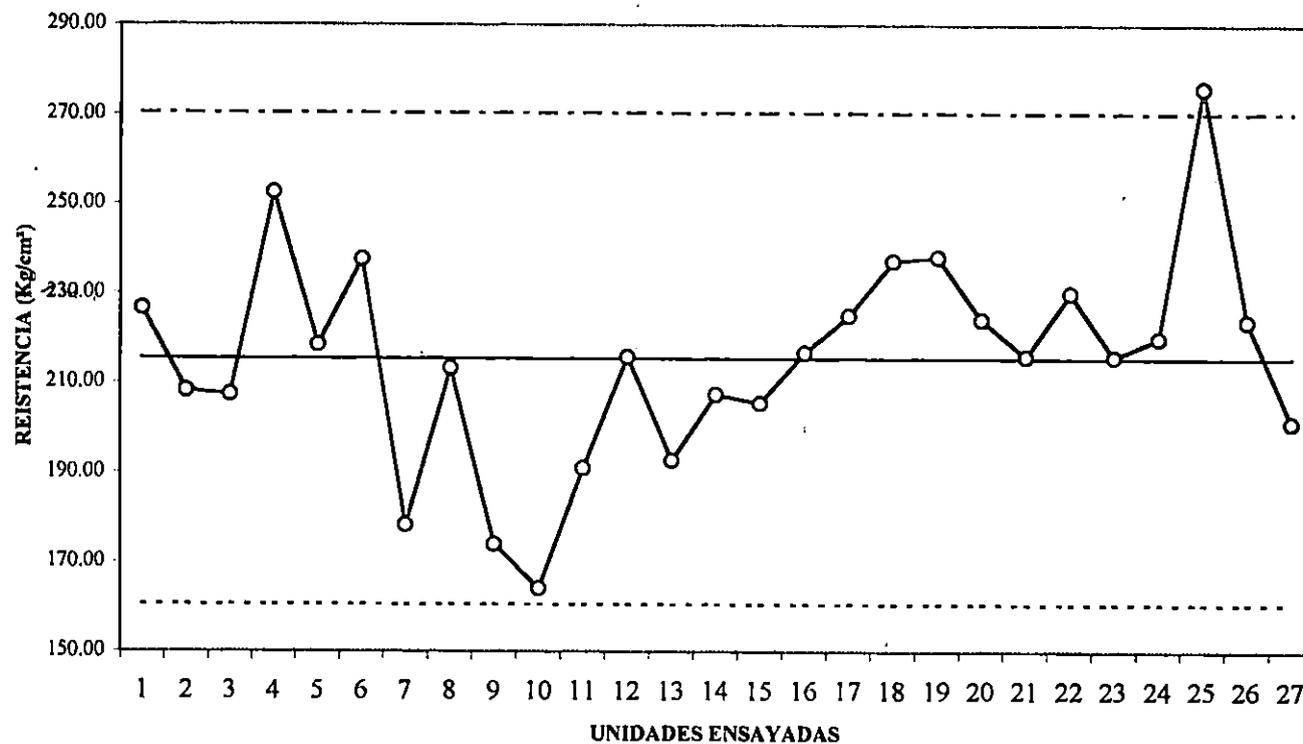
TIPO DE CEMENTO: CESSA 5000, PORTLAND TIPO I

ARENA: Hacienda "El Achotal" (Comalapa)

ADITIVO: SIKA SET L

# de Cubo	Temp. (°C)	Fluidez (seg.)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Base (cms)		Altura (cms)		Area (cms²)	Peso (grs.)	Carga (kgs)	Carga Corregida (kgs)	Resistencia (kg/cm²)
1	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.11	5.09	5.01	5.00	28.01	274.10	5750.00	5894.14	228.81
2	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.08	5.08	5.01	5.03	25.81	274.10	5250.00	5374.11	208.25
3	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.09	5.03	5.04	25.91	275.50	5250.00	5374.11	207.43
4	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.08	5.10	5.02	5.02	25.91	273.80	6375.00	6544.16	252.59
5	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.09	5.00	5.00	25.91	271.40	5525.00	5680.13	218.47
6	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.09	5.09	5.07	25.91	273.30	6000.00	6154.15	237.54
7	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.06	5.09	5.05	5.02	25.76	273.50	4500.00	4594.08	178.37
8	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.08	5.08	5.02	5.00	25.81	272.00	5375.00	5504.12	213.29
9	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.05	5.08	5.00	5.06	25.85	273.00	4375.00	4484.08	174.01
10	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.10	5.00	5.05	25.96	275.60	4175.00	4258.07	163.65
11	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.10	5.09	5.09	5.10	25.96	277.30	4850.00	4958.10	191.00
12	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.08	5.07	5.02	25.76	278.30	5425.00	5558.12	215.73
13	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.08	5.09	5.00	5.02	25.88	275.50	4875.00	4984.10	192.75
14	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.09	5.00	5.03	25.91	275.00	5250.00	5374.11	207.43
15	29.00	19.59	23/10/00	30/10/00	5.09	5.09	5.02	5.01	25.91	273.70	5200.00	5322.11	205.42
16	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	5.12	4.96	4.81	4.82	25.40	280.00	5375.00	5504.12	218.74
17	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	5.08	4.93	4.72	4.78	25.04	253.50	5500.00	5834.12	224.97
18	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	4.97	5.00	4.89	4.68	24.85	248.50	5750.00	5894.14	237.19
19	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	5.00	5.28	5.00	4.98	28.40	271.40	6125.00	6284.15	238.04
20	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	4.84	4.90	4.89	4.84	24.21	247.60	5300.00	5426.12	224.16
21	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	4.88	5.12	4.84	4.82	25.50	280.40	5375.00	5504.12	215.87
22	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	4.98	4.92	4.74	4.78	24.50	243.00	5500.00	5834.12	229.95
23	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	4.95	4.96	4.71	4.71	24.55	241.60	5175.00	5298.11	215.71
24	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	4.74	5.08	4.75	4.78	24.08	241.40	5175.00	5288.11	219.85
25	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	5.12	5.09	4.88	4.79	28.06	288.80	7000.00	7194.19	276.05
26	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	5.12	5.10	4.90	4.90	28.11	288.70	5700.00	5842.13	223.73
27	30.00	22.61	23/10/00	30/10/00	5.09	5.12	4.87	4.84	28.06	287.00	5125.00	5244.11	201.23
Promedio \bar{X} =												215.42	
Desviación Estandar =												23.59	
Límite de Control Superior (LCS) =												270.39	
Límite de Control Inferior (LCI) =												160.46	

Gráfica de Resistencia a Edad de 7 días con Aditivo Acelerante



—○— Resistencia a los 7 días Utilizando Acelerante — Resistencia Promedio
- - - Límite de Control Superior - - - Límite de Control Inferior

Figura 4.23

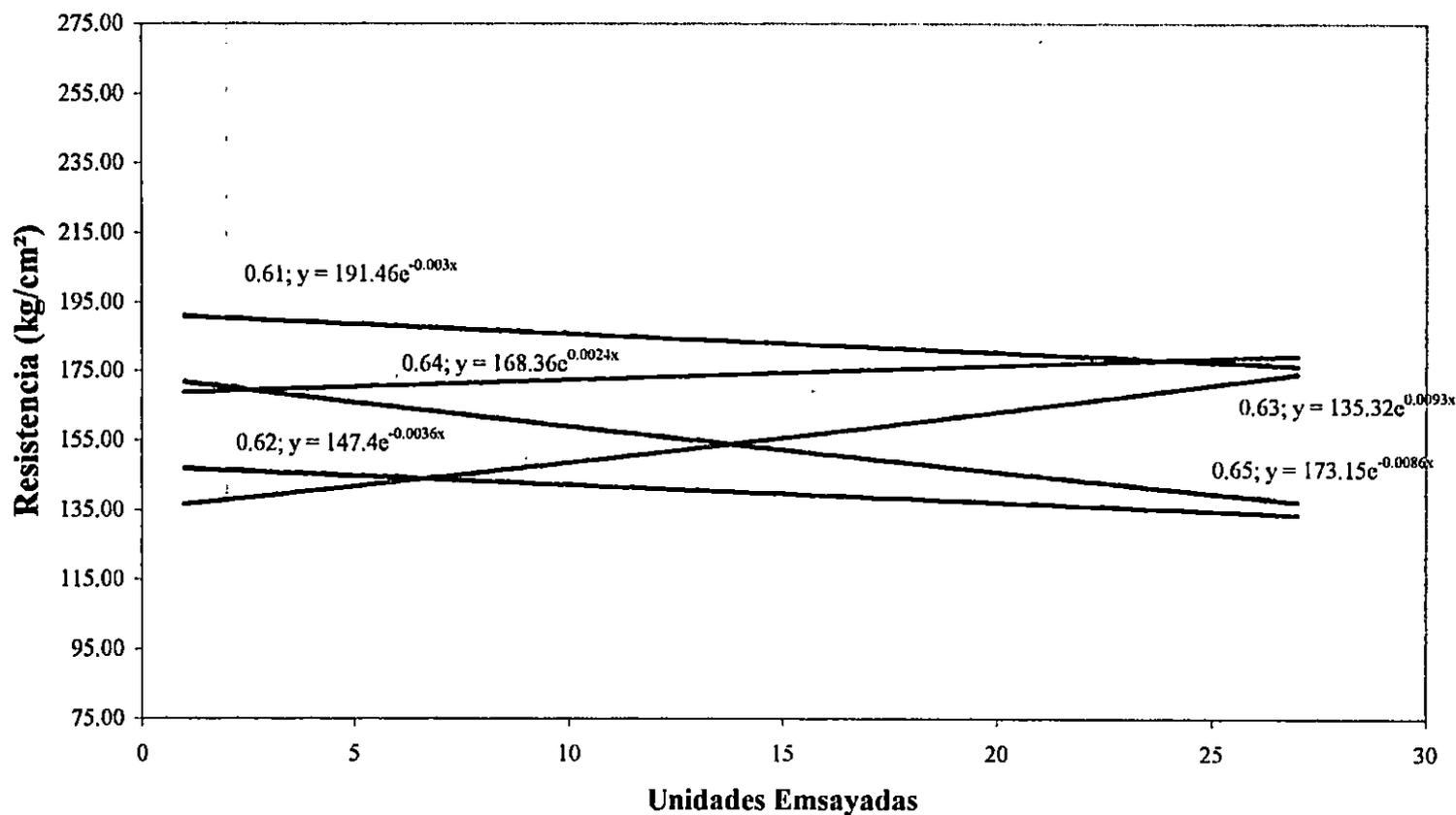
TABLA 4.23
CUADRO RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIOS

Relación A/C	Edades		
	3 días	7 días	28 días
0.61	185.46	232.16	296.65
0.62	141.29	231.56	308.22
0.63	155.53	200.95	254.95
0.64	175.11	177.31	252.59
0.65	154.46	203.59	260.25

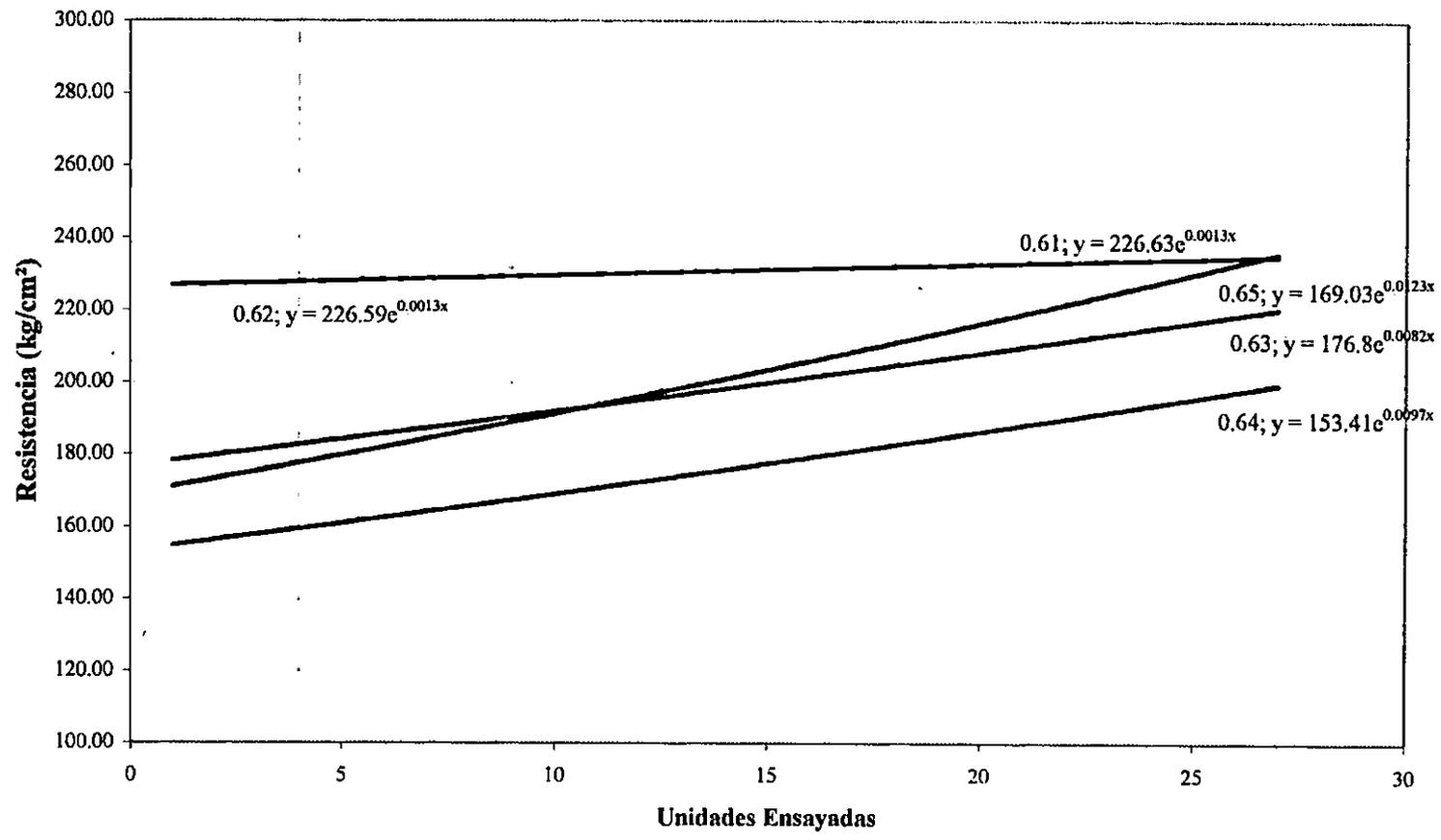
TABLA 4.24
% DE RESISTENCIAS OBTENIDAS UTILIZANDO ADITIVO
ACELERANTE RESPECTO A LOS 28 DIAS PARA LA
RELACION A/C DE 0.61

Tiempo	Resistencia	%
24 hrs.	113.60	38.29
3 días.	200.93	67.73
7 días.	215.42	72.62

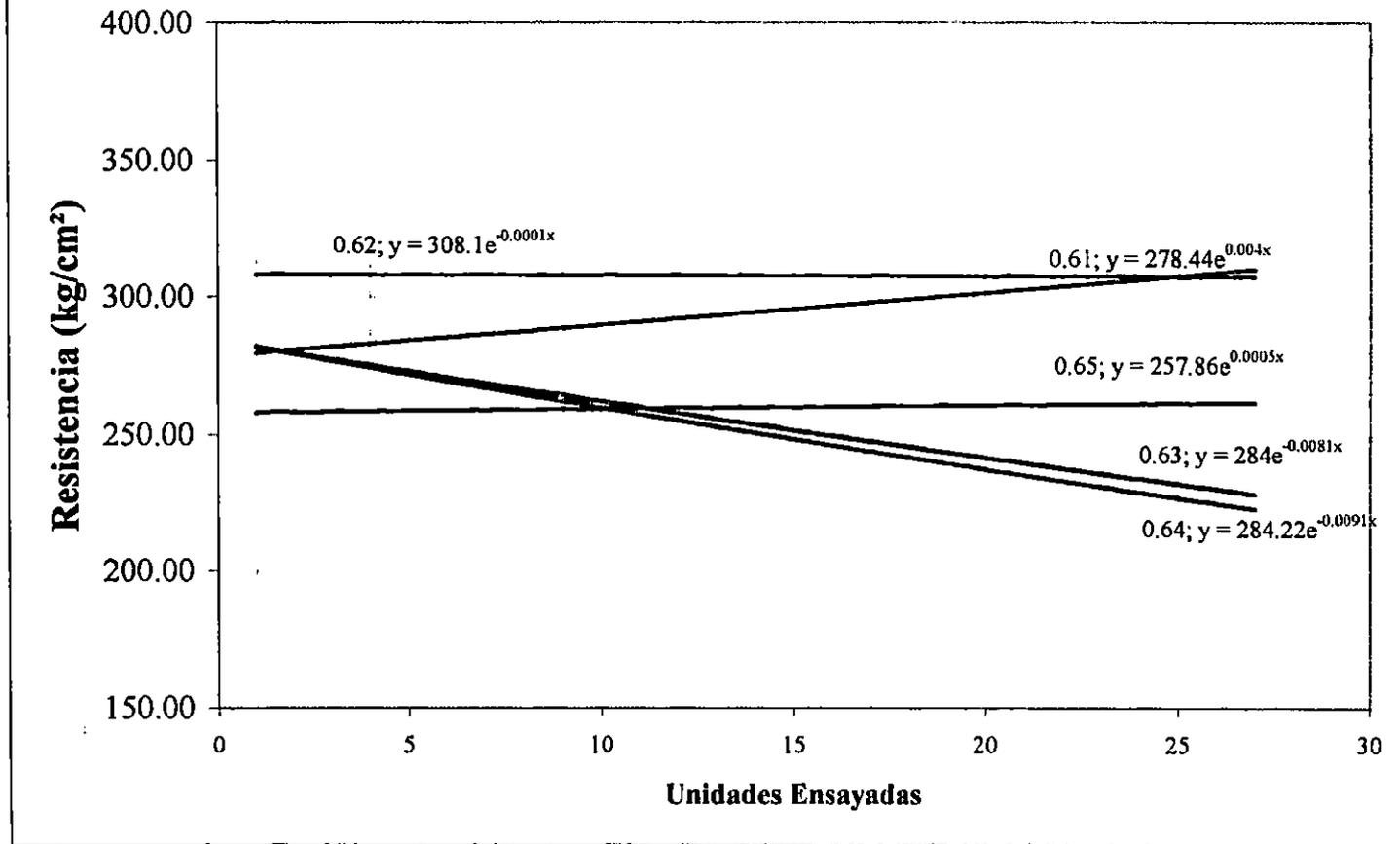
Comportamiento de la Resistencia a la Compresión para los 3 días a diferentes relaciones A/C



Comportamiento de la Resistencia a la Compresión para los 7 días a diferentes relaciones A/C.



Comportamiento de la Resistencia a la Compresión para los 28 días a diferentes relaciones A/C.



Gráfica Comparativa entre la Resistencia Normal y la Resistencia utilizando Aditivo Acelerante

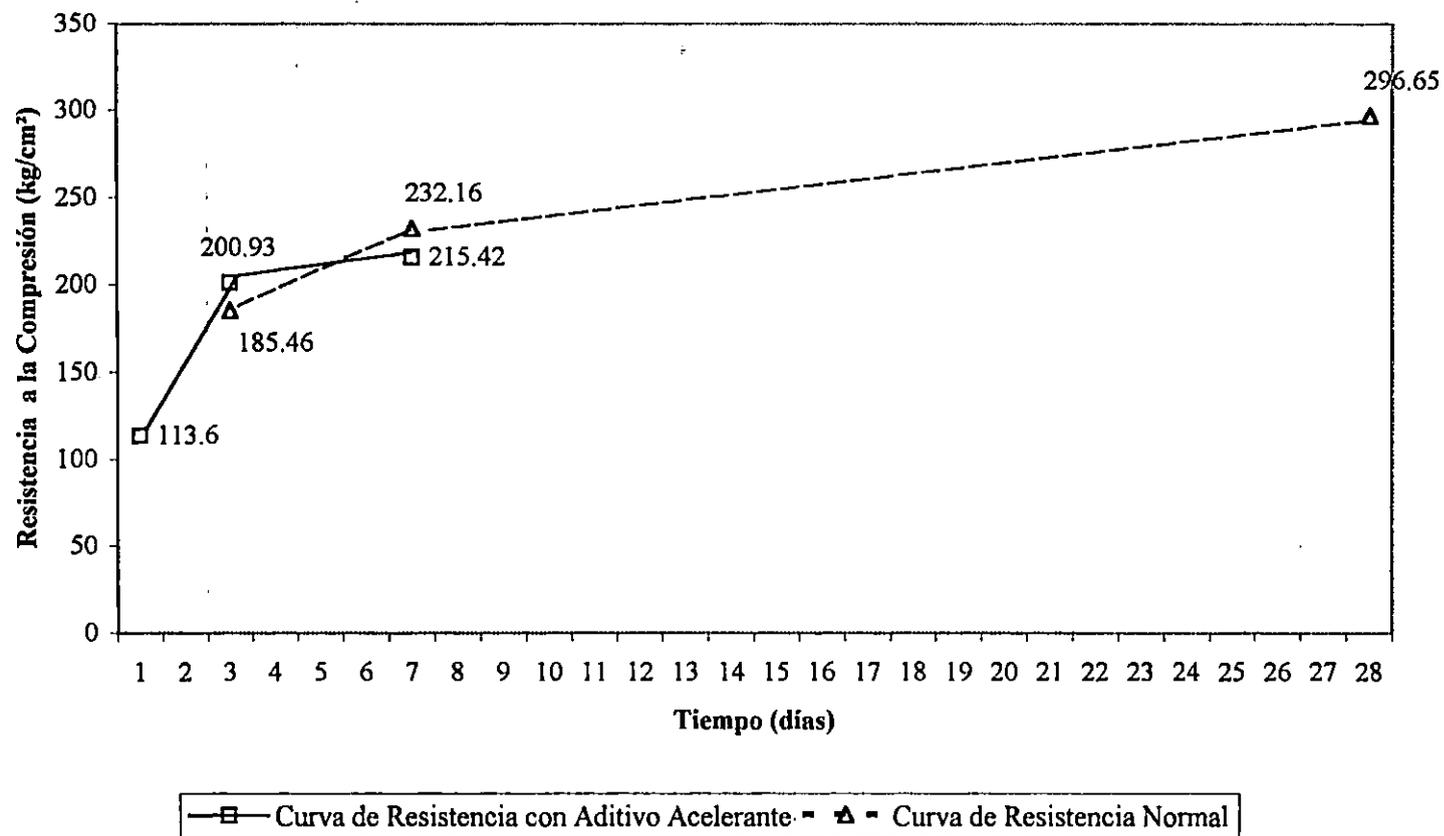


Figura 4.25

Gráfica de Fluidéz Promedio de las diferentes relaciones agua/cemento estudiadas.

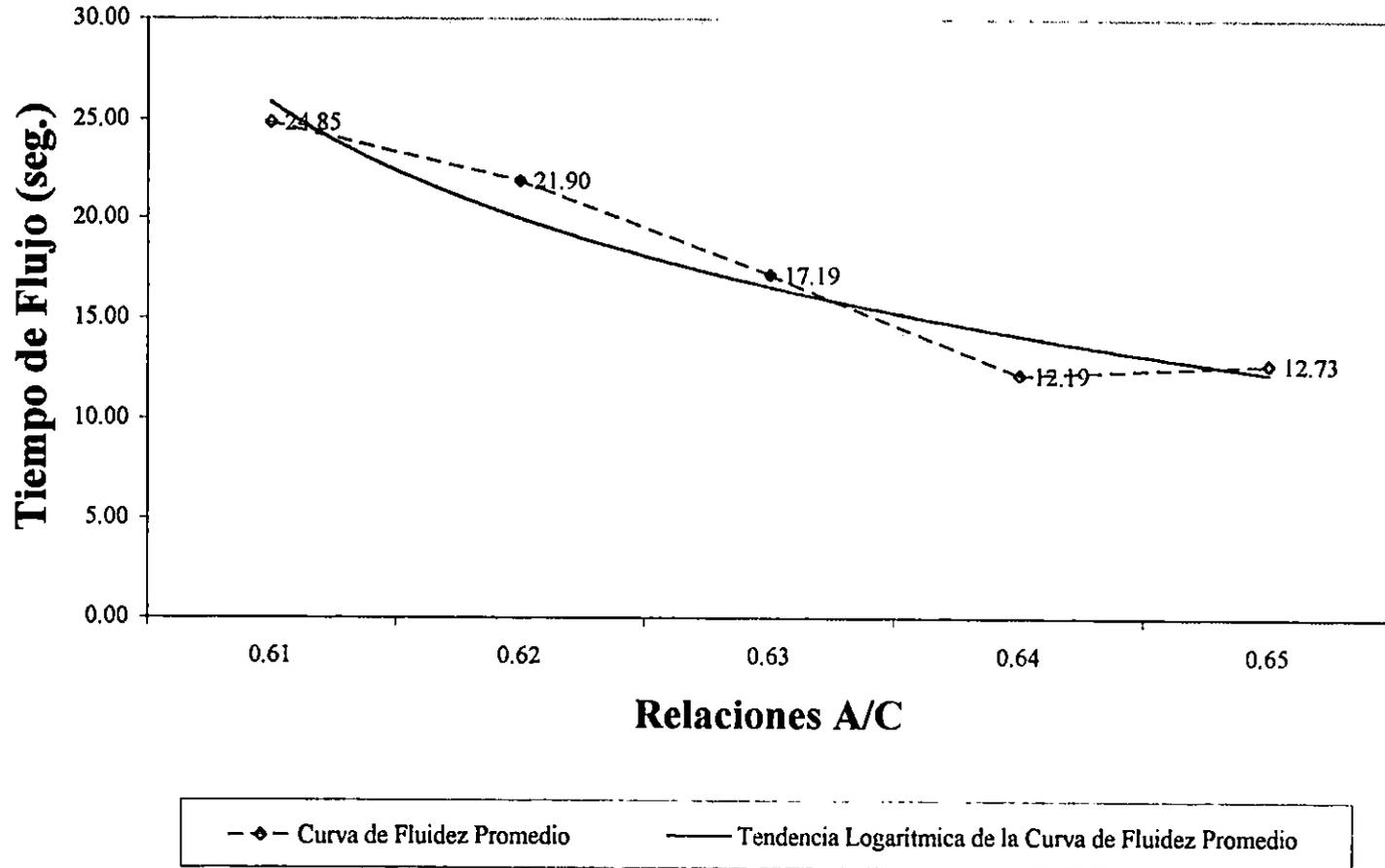


Figura 4.26

4.3. OBSERVACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES DE SLURRY DE CEMENTO PORTLAND.

Esta observación se realizó mediante visitas periódicas a los cuatro tramos de prueba colocados. Los dos primeros tramos fueron colocados en Santa Tecla, cada uno con un espesor de 5mm. Y los otros se colocaron en la Universidad de El Salvador con espesores de 7 y 10 mm, para observar el comportamiento de espesores mayores al de los tramos anteriores.

4.3.1. COMPORTAMIENTO DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND EN TRAMOS DE 5MM. DE ESPESOR.

4.3.1.1. Tramo No.1.

La visita para la observación de este tramo se realizó tres días después de haberse sometido al tráfico. En esta ocasión se pudieron observar problemas de adherencia y agrietamiento, debido a que el desprendimiento sobrepasaba el 50% del área total en el que fue colocado el Slurry de Cemento Pórtland (ver figuras 4.27 y 4.28), se procedió a colocar otro tramo en la misma zona pero en diferentes condiciones, como se mencionó en el Capítulo III.



Figura 4.27

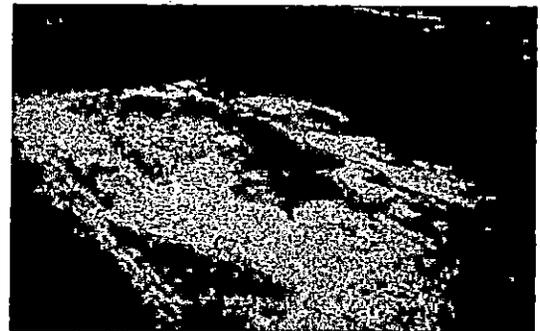


Figura 4.28

4.3.1.2. Tramo No.2.

Este tramo se observó cada 7 días, después de su apertura al tráfico. En la primera visita los daños observados fueron agrietamientos en distintas partes del área de colocación del Slurry de Cemento Pórtland; además, se encontró desprendimiento en la parte inicial del tramo, en las partes donde el espesor no fue constante (menor que 5mm), en donde presentaba agrietamiento la carpeta asfáltica y en las esquinas del rectángulo de colocación, haciendo un total del 10% de área de desprendimiento. (ver figuras 4.29 y 4.30).



Figura 4.29
Estado que presentaba el SCP en la 1ª Visita



Figura 4.30
Desprendimientos en las zonas agrietadas

En la segunda visita, se mantenía adherido un 80% y se pudo observar que el desprendimiento progresaba en forma lenta donde el daño existía, debido a la acción continua de los vehículos (ver figura 4.31).



Figura 4.31
Estado de la sobrecapa del SCP a los 14 días.

En la tercera visita, se observó que el tramo se mantenía adherido en un 70%, presentando siempre desprendimiento en las áreas lisas y agrietadas de la carpeta asfáltica (ver figuras 4.32 y 4.33).

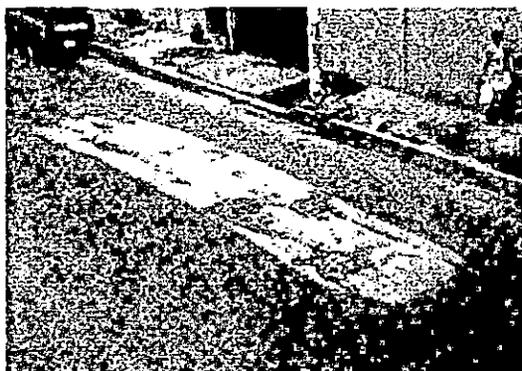


Figura 4.32
Estado del SCP a los 21 días



Figura 4.33
Desprendimiento en las zonas agrietadas

En la cuarta visita, se observó que el tramo se mantenía adherido en un 60% del área total de colocación, el desprendimiento existía con más frecuencia en las partes donde la carpeta asfáltica originalmente presentaba agrietamientos tipo

piel de lagarto y una superficie lisa, así como también, en el borde inicial del tramo, especialmente en las esquinas (ver figura 4.34).

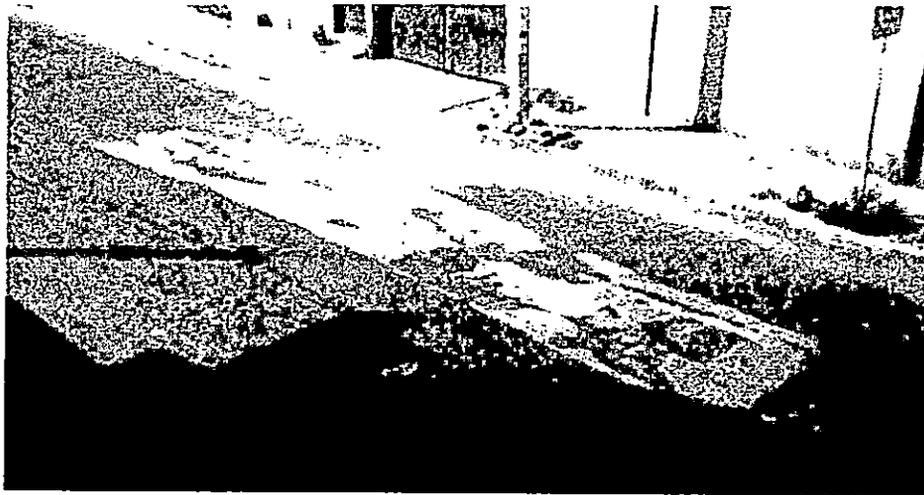


Figura 4.34
Apariencia de la sobrecapa de SCP a los 28 días

4.3.2. COMPORTAMIENTO DEL SLURRY DE CEMENTO PORTLAND EN TRAMOS DE 7MM. Y 10 MM. DE ESPESOR.

4.3.2.1. Tramo No 1 (espesor de 10mm).

Este tramo fue observado con la misma frecuencia que el colocado en Santa Tecla. En la primera visita realizada se pudo observar que solamente presentaba agrietamiento en forma de pequeños bloques (figura 4.36). La longitud promedio de las grietas era de 49.91cm, en la figura 4.35 se pueden ver dichas grietas. Además, estas presentaban un espesor promedio de 0.31mm y una profundidad promedio de 2.77mm. Estos valores promedios se calcularon con los datos que se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 4.25

DETERMINACION DE VALORES PROMEDIOS EN DAÑOS EN TRAMO N° 1.

GRIETA	LONGITUD (CM)	ANCHO (MM)	PROFUNDIDAD (MM)
A	103	0.41	3.0
B	60	0.10	3.0
C	62	0.18	2.0
D	34	0.10	2.0
E	41	0.41	3.0
F	55	0.50	3.0
G	43	0.25	5.0
H	41	0.35	3.0
I	60	0.41	2.0
J	15	0.41	2.0
K	35	0.30	2.5
Promedio	49.91	0.31	2.77

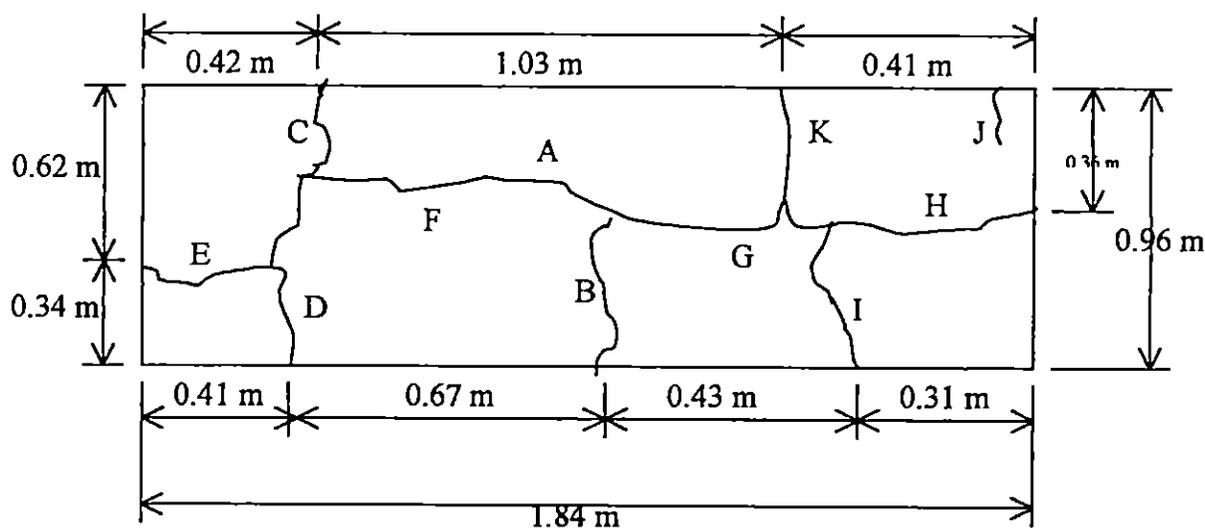


Figura 4.35

Tramo No. 1 con espesor de 10 mm. Ubicado en la Universidad de El Salvador

(Esquema sin escala)

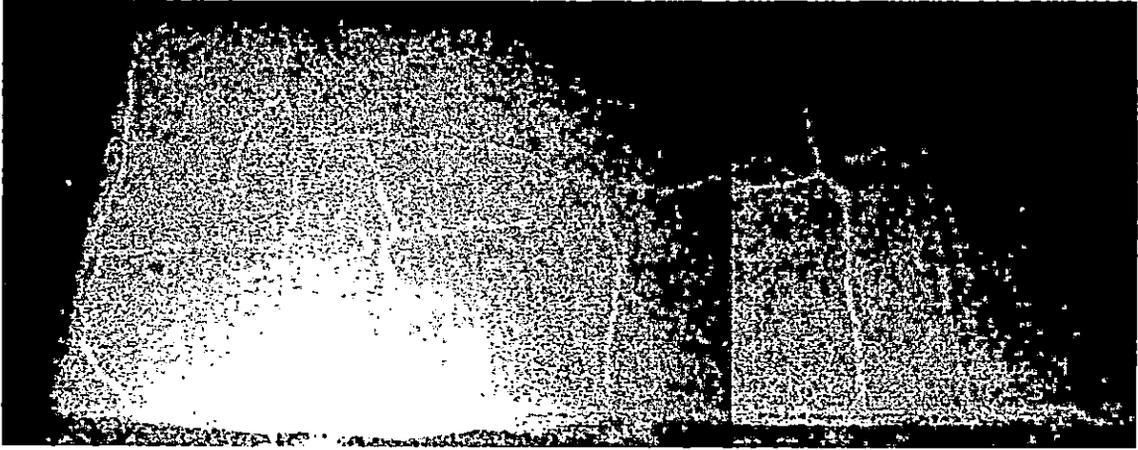


Figura 4.36
Grietas en forma de bloques presentadas en la 1ª Visita.

En la segunda visita, no se observaron mas daños que los descritos anteriormente, por lo que no se documentaron los registros.

En la tercera visita, el tramo mostraba un desprendimiento mínimo en la parte inicial (ver figura 4.37), debido al golpe de las llantas de los vehículos al hacer contacto con éste, se verificó también, que las grietas progresaban lentamente formándose otras más pequeñas (ver Tabla 4.26).

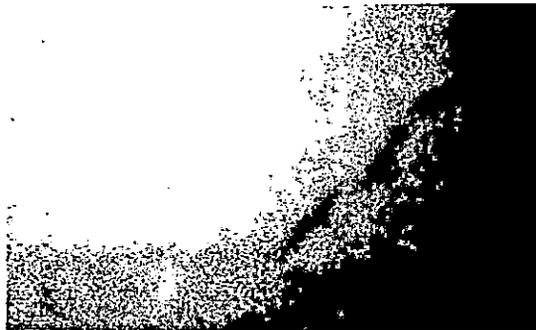


Figura 4.37
Desprendimiento en la zona de los bordes.

TABLA 4.26
 NUEVOS VALORES DE LOS TAMAÑOS DE GRIETAS, TOMADOS EN LA
 TERCERA VISITA

GRIETA	LONGITUD (CM)	ANCHO (MM)	PROFUNDIDAD (MM)
A	103	0.50	3.0
B	60	0.55	3.0
C	62	0.60	2.0
D	34	0.41	2.0
I	60	0.60	2.0
J	15	1.00	2.0
K	35	0.50	2.5

4.3.2.2. Tramo N° 2 (espesor de 7mm).

La frecuencia de visitas para la observación de este tramo, también fue cada 7 días. En la primera visita realizada se pudo observar que éste de igual forma que el tramo anterior solamente presentaba agrietamiento en forma de bloques (figura 4.39). La longitud promedio de las grietas fue aproximadamente de 39.82cm, en la figura 4.38 se puede observar dicho agrietamiento. Estas grietas presentaban un espesor promedio de 0.35mm y una profundidad promedio de 2.40mm. Estos valores promedios se calcularon con los datos que se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 4.27

DETERMINACION DE VALORES PROMEDIOS EN DAÑOS EN TRAMO N° 2.

GRIETA	LONGITUD (CM)	PROFUNDIDAD (MM)	ANCHO (MM)
A	59	3	0.50
B	34	3	0.50
C	39	3	0.35
D	50	3	0.41
E	45	2	0.35
F	10	2	0.30
G	50	2	0.25
H	45	2	0.41
I	50	2	0.35
J	12	2	0.25
K	50	2	0.41
L	24	3	0.35
M	50	2	0.35
N	45		0.05
O	23		0.05
P	39	3	0.41
Q	52	2	0.30
Promedio	39.82	2.40	0.35

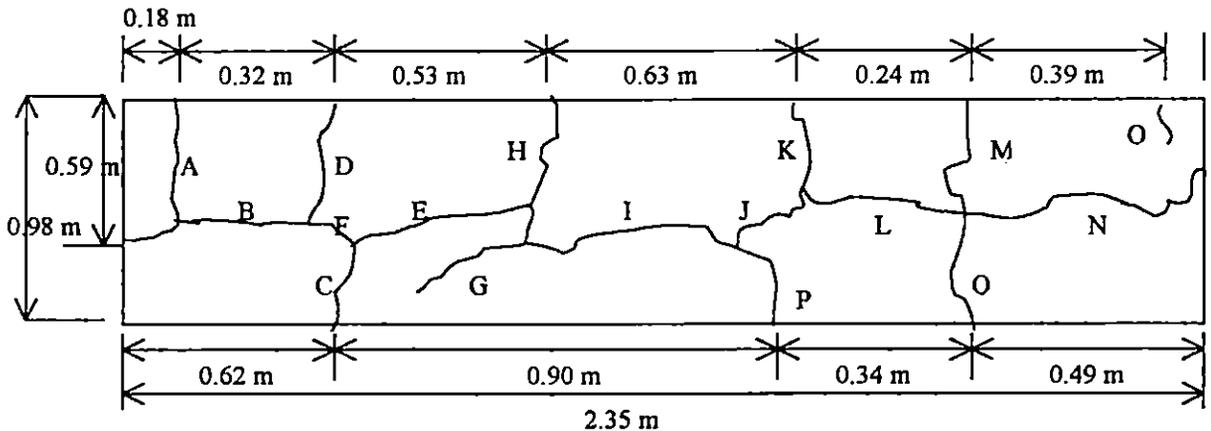


Figura 4.38

Tramo No. 2 con espesor de 7 mm. Ubicado en la Universidad de El Salvador

(Esquema sin escala)

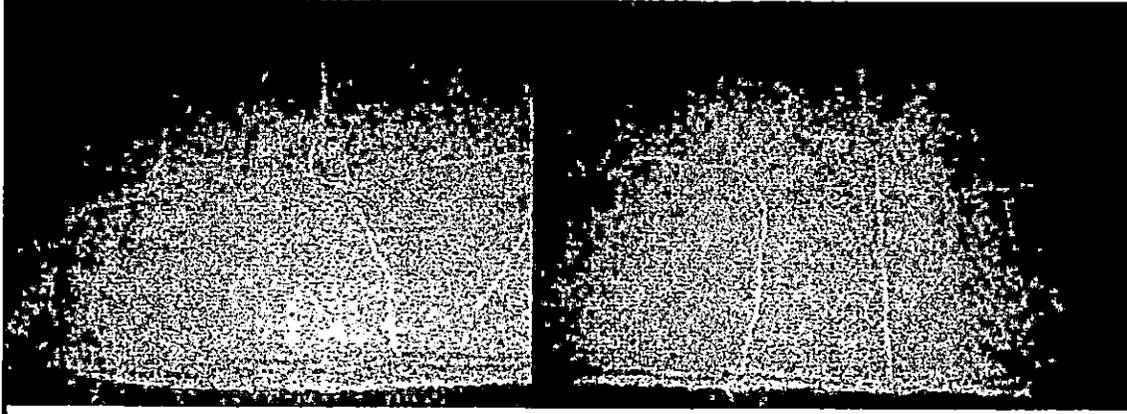


Figura 4.39
Grietas en forma de bloques, presentadas en la 1ª Visita

En la segunda visita, no se observaron mas daños que los descritos anteriormente, por lo que no se documentaron los registros.

En la tercera visita, el tramo se mantenía sin presentar ningún tipo de desprendimiento, pero se verificó que el agrietamiento también progresaba lentamente y de igual forma que en el tramo anterior aparecían nuevas grietas, ver tabla 4.28.

TABLA 4.28

NUEVOS VALORES DE LOS TAMAÑOS DE GRIETAS, TOMADOS EN LA
TERCERA VISITA

GRIETA	LONGITUD (CM)	PROFUNDIDAD (MM)	ANCHO (MM)
A	59	3	0.60
B	34	3	0.60
C	39	3	0.70
D	50	3	0.50
E	45	2	0.50
F	10	2	0.50
G	50	2	0.35
H	45	2	0.50
I	50	2	0.50
J	12	2	0.50
K	50	2	0.80
L	24	3	0.35
M	50	2	0.50
N	45	2	0.41
O	23	2	0.60
P	39	3	0.60
Q	52	2	0.50
Promedio	39.82	2.58	0.50

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

INTRODUCCION:

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones realizadas de acuerdo a las diferentes experiencias que se obtuvieron en el desarrollo de toda la investigación, sobre la restauración superficial de los pavimentos flexibles, utilizando sobrecapas ultra delgadas de mortero de Cemento Pórtland. Basándose en el análisis de los resultados de los trabajos de laboratorio y campo se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1. CONCLUSIONES.

- a) El procedimiento estadístico de las Cartas de Control, resultó ser el método que más se adaptó para realizar el análisis de los resultados, en el ensayo de la resistencia a la compresión de los especímenes.
- b) Es importante destacar que mediante el ensayo para determinar el tiempo de fraguado inicial del cemento según la norma ASTM C191 (aguja de Vicat), se logró determinar que era de 148.5 minutos, lo cual garantiza suficiente tiempo para su colocación en obra.
- c) Las temperaturas obtenidas para las diferentes mezclas, se caracterizaron por haber presentado valores bajos; lo que indica que estas mezclas poseen un menor calor de hidratación.
- d) La arena con que se elaboró el Slurry de Cemento Pórtland, procedente de la hacienda el Achotal, posee una curva granulométrica donde el uso granulométrico (según norma ASTM C 136) es aceptable, a partir del material

que pasa la malla No.8. aún cuando la arena no posee una buena granulometría, entre las mallas 3/8" y No.8, esto no representa ningún problema para el caso en estudio, ya que el tamaño máximo nominal utilizado para la elaboración del Slurry de Cemento Pórtland es el que pasa la malla No. 16 (1.18mm.); pero en el segundo análisis granulométrico el porcentaje de material que pasa la malla N°.16 es menor que el mínimo permitido (según norma ASTM C 144). Además, la arena posee un modulo de finura, un porcentaje de finos que pasan la malla No.200 y un porcentaje de partículas desmenuzables que están dentro de los límites permisibles por sus respectivas normas ASTM. También esta arena presenta buenas características de limpieza según la prueba de impurezas orgánicas. Por todo lo anterior esta arena puede ser utilizada para la elaboración del Slurry de Cemento Pórtland.

- e) Con los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de cubos de mortero, estas mezclas pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones en el campo de la construcción.
- f) Para espesores menores de 5mm, el Slurry de Cemento Pórtland se desintegra fácilmente.
- g) El aditivo acelerante, empleado en la elaboración de cubos de mortero, les proporcionó una alta resistencia temprana a los 3 días, no así a los siete días.
- h) De todas las relaciones estudiadas, la relación A/C de 0.61 fue con la que se obtuvo mejor resultado a la compresión, junto con una fluidez adecuada que facilitó la colocación del Slurry de Cemento Pórtland.

- i) De acuerdo a los resultados de la prueba de fluidez medidos con el cono de fluidez, se observo que los tiempos disminuyen a medida que la relación A/C aumenta.
- j) La colocación del Slurry de Cemento Pórtland es más conveniente realizarla por la noche, debido a las altas temperaturas diurnas que provocan problemas en los procesos de mezclado y colocación.
- k) La falta de adherencia se da cuando la superficie de la carpeta asfáltica no presenta rugosidad y debido a la falta de limpieza en las grietas. Esto se pudo comprobar mediante la extracción de núcleos los lugares donde se colocaron los tramos experimentales.
- l) La forma de grada que los bordes del Slurry de Cemento Pórtland presentan, hace que estos se desintegren debido al golpe que las llantas de los vehículos hacen cuando entran en contacto con la sobrecapa.
- m) El Slurry de Cemento Pórtland debe poseer un espesor uniforme para evitar agrietamientos producto de cualquier protuberancia.
- n) La técnica del Slurry de Cemento Pórtland, necesita ser mayormente investigada y evaluada a fin de determinar la aplicabilidad del mismo a un caso específico.

5.2. RECOMENDACIONES.

- a) Se recomienda que para la colocación del Slurry de Cemento Pórtland se tome en consideración que para lograr una adecuada adherencia entre el Slurry de Cemento Pórtland y la carpeta asfáltica, es necesario que la superficie sea picada de tal forma que se obtenga una superficie rugosa.
- b) Debe tomarse en cuenta que el factor limpieza juega un papel muy importante para el logro de buenos resultados. Se determinó que una adecuada limpieza puede ejecutarse con una barredora mecánica con cerdas metálicas, previo a la eliminación de finos remanentes a través del uso de un compresor de aire.
- c) Cuando la carpeta asfáltica presente agrietamientos; antes de colocar el Slurry de Cemento Pórtland se aplique una lechada de Cemento Pórtland para garantizar un buen sellado.
- d) Se debe suavizar la pendiente en los bordes de la sobrecapa, para evitar que exista golpe, cuando las llantas de los vehículos entren en contacto con ella.
- e) Profundizar la investigación sobre el tiempo de apertura al tráfico, con el objeto de determinar el tiempo óptimo para su habilitación.
- f) Hacer investigaciones sobre el tiempo de fraguado inicial de los diferentes cementos disponibles en nuestro país, para poder determinar su uso óptimo.
- g) Los estudios posteriores deben estar encaminados a la investigación del comportamiento del conjunto Slurry de Cemento Pórtland - Carpeta Asfáltica.
- h) Considerar estudios sobre niveles de tráfico para determinar bajo que condiciones resulta ser más aplicable.

- i) Realizar un estudio sobre severidad de daños para determinar hasta que niveles se pueden corregir con esta técnica.
- j) Estudiar el uso de aditivos que puedan mejorar la adherencia y flexibilidad para lograr aperturas tempranas al tráfico.

BIBLIOGRAFIA

1. AASHTO-AGC-ARTBA JOINT COMMITTEE
SUBCOMMITTEE ON NEW HIGHWAY MATERIAL
“GUIDE SPECIFICATIONS FOR CONCRETE OVERLAYS
OF PAVEMENT AND BRIDGE DECKS”.
2. STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION
MATERIALS AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING.
Nineteenth Edition, 1998. Part II.
3. ESTUDIOS DE LOS MÉTODOS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR.
Aguirre Juárez, Rogelio Antonio y Otros. (1997). / Tesis / UES.
4. ASTM. (1995). “ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS”.
Vol. 04-02.
5. COMO ESPECIFICAR Y UTILIZAR MORTERO PARA MAMPOSTERÍA.
Beall Christine / 1ª Edición / The Aberdeen Group.
6. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS
URBANAS PARA EL MOP Y DUA.
CPK consultores, S.A. (1979) / Documento EG-79 / segunda parte / San Salvador
/ El Salvador.
7. LECHADAS CEMENTANTES E INYECCIÓN DE LECHADA.
Kosmatka, Steven H. (1999) / 1ª Edición / IMCYC / México.

8. PROPUESTA PARA EL RECARPETEO DE PAVIMENTO FLEXIBLES EN VÍAS URBANAS DE SAN SALVADOR, UTILIZANDO SOBRE CAPAS DE CONCRETO HIDRÁULICO DE ESPESORES ULTRADELGADOS.
Martínez Vélis, Fidel Angel y Otros. (1998) / Tesis / UES.
9. MANUAL PARA LA EJECUCIÓN DEL INVENTARIO VIAL POR MEDIOS VISUALES.
MOP. (1999).
10. CONTROL DE CALIDAD
Manuel Mayorga G.
11. COLECCIÓN BASICA DEL CONCRETO (TOMO 4)
CONCRETOS Y MORTEROS, MANEJO Y COLOCACION EN OBRA.
Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO) / Instituto del Concreto.
12. ELEMENTOS DE ESTADISTICAS DESCRIPTIVA Y PROBABILIDAD.
Gilberto Bonilla / UCA Editores.