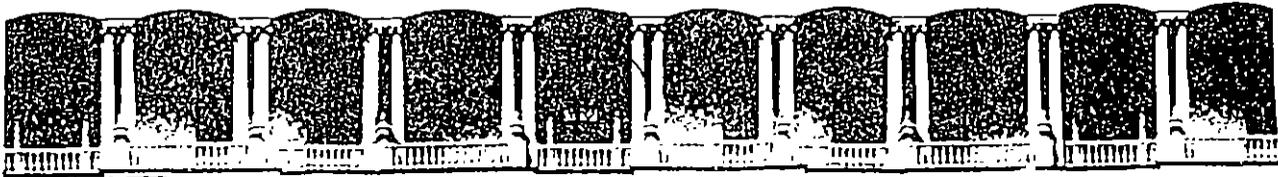


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS
CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
2 y 3 de mayo 1995
DIRECTORIO DE PROFESORES.

M.I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO
HACIENDA CHAPA # 5
COL. PRADO COAPA
CP. 14350
DELEG. TLALPAN
MEXICO, D.F.
TEL. 671 95 80 ó 671 42 84

M.I. RICARDO TORRES VELAZQUEZ
PIONEROS DEL COOPERATIVISMO # 145
CASA 1
COL. MEXICO NUEVO
ATIZAPAN DE ZARAGOZA
CP. 54500
ESTADO DE MEXICO
TEL. 671 95 40



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES 1995 2 y 3 de mayo

ABARCA ALVAREZ NAHO
JEFE DE OFICINA
ALTADENA No. 23
COL. NAPOLES
TEL. 682 80 06
CP. 03810 MEXICO, D.F.
DIR. GRAL. DE CARRETERAS FED.

ANCHONDO SANCHEZ JORGE ANTONIO
ENC. RESIDENCIA GENERAL
EJERCITO NACIONAL 780
COL. PROF. FEDERALES
MEXICALI, B.C.
TEL. 61 43 63
S.C.T.

REFAEL BARRUETA OCAÑA
DIR. GRAL. DE CARRETERAS FED.
ALTADENA No. 23
COL. NAPOLES
03810 MEXICO D.F.
TEL. 687 61 99

ING. SILVIO AGUIRRE HERNANDEZ
RESIDENTE DE OBRA
S.C.T.
ALTADENA No. 23 1er. PISO
COL. NAPOLES DEL. BENITO JUAREZ
03810 MEXICO D.F.
DIR. GRAL. DE CARRETERAS FED.

CASTAÑEDA MOLINA HECTOR ARMANDO
S.C.T.
RESIDENTE
ALTADENA No. 23
COL. NAPOLES
CP. 03810
DIR. GRAL. CARRETERAS FED.

CASTILLO GUILLERMO
RESIDENTE DE OBRA
J.G. LEAL No. 209 NTE.
COL. PADILLA
CADEREYTA JIMENEZ, N.L.
TEL. (828) 4 42 23
S.C.T.

CASTILLO RIVAS JUAN MANUEL
JEFE DE OFICINA
S.C.T.
Av. COYOACAN 1895
COL ACACIAS
03240 MEXICO D.F.
TEL. 534 95 04

CASTILLO SOTO JOSE LUIS
UNIV. MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDA
PROFESOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CI
CIUDAD UNIVERSITARIA EDIFICIO C
DEL. COYOACAN
TEL. 16 73 59

CEPEDA ALDAPE ERNESTO
RESIDENTE DE OBRA
S.C.T.
J.G. LEAL 211 NTE.
COL. PADILLA
CADEREYTA JIMENEZ, N.L.
828 44 24

DE LA CRUZ BAUTISTA VICTOR
SRIO. PART. DEL DIRECTOR DE OBRAS
ALTADENA No. 23
COL. NAPOLES
S.C.T. CARRETERAS FED.
CP. 03810
TEL. 523 81 06



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

- 1 -

DIAZ CARMONA EDUARDO HORACIO
CONTROL DE CALIDAD S.A. DE C.V.
SUPERVISOR DE OBRA
CAMPANA 46
COL. INSURGENTES MIXCOAC
CP. 03920
TEL. 611 51 20

DOMINGUEZ LOPEZ JOSE JUAN
S.C.T.
RESIDENTE DE OBRA
ALTADENA 23
COL. NAPOLES
03810 MEXICO D.F.
6-87 61-99

DOMINGUEZ SUAREZ CARLOS
SUPERVISOR DE PROYECTO
S.C.T.
AV. COYOACAN No.1895
COL. ACACIAS
MEXICO D.F.
7-85-75-74 5-24-70-05

ESPINOZA VELAZQUEZ FELIPE DE JESUS
RESIDENTE GENERAL
S.C.T.
CALLE 643 No.244 SAN JUAN DE ARAGON
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO CP 07979
MEXICO D.F.
7-96-34-33 5-23-81-06

ESQUIVEL SANDOVAL JOSE LUIS
RESIDENTE DE OBRA
SCT
PRIV. JUAN DE DIOS PEZA No. 7
COL. CENTRO ATLACOMULCO
EDO. DE MEXICO
2-11-06 6-87-61-99

FAJARDO VAZQUEZ JUAN
DIRECTOR
EJECUCION Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS
FRANCISCO HUIZAR No. 126
COL. ALDAMA DEL. S.R. C.P.44130
GUADALAJARA JALISCO
6-05-38-74

FELIX ESPINOZA JOSE A.
JEFE DE RESIDENTES
D.D.F.
AV. 699 No.185 COL. AMP. CTM. ARAGON
DEL. GUSTAVO A. MADERO CP. 07979
MEXICO D.F.
7-66-94-05 6-88-24-43

GALLEGOS FRAGA LAURENCIO
ENC. DE RESIDENCIA GRAL.
S.C.T.
MARIANO OTERO No.830
COL. LAS AGUILAS
SAN LUIS POTOSI, SLP
17-78-99

GARCIA JIMENEZ BENITO
SUPERVISOR DE SOLDADURA
SECRETARIA DE COMUNICACIONES
AV. COYOACAN No.1895
COL. ACACIAS COYOACAN CP. 08240
MEXICO D.F.
5-24-72-85 5-34-95-65

GARCIA ROJAS JAIME



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

- 2 -

SANCHEZ MEJIA MIGUEL
JEFE DE DEPARTAMENTO
SCT
POBLACION TEQUEZQUINAHUAC
DOMICILIO CONICIDO
TEXCOCO EDO DE MEX
5-34-97-65

SANTIAGO LUIS ALBERTO
SUPERINTENDENTE DE CONTROL DE CALIDAD
ICA SA
AV CANAL NACIOANL 2090
SAN ANTONIO CULHUACAN IZTAPALAPA
09800 MEXICO D F
6-97-84-42 272-99-91

SERRANO LOZANO RUBEN
JEFE DE LABORATORIO
SCT
AV SAN JAVIER 404-5-304
ACUEDUCTO DE GAUDALUPE
07270 MEXICO D F
391-38-41

SERRANO QUIROZ ALBERTO
AUXILIAR DE RESIDENTE
DIRECCION GRAL DE CARRETERAS FEDERALES
GUADALUPE VICTORIA 1
XOCHITECATITLA TLAXCALA

TAGARA MONTALVO ADOLFO
JEFE DE LABORATORIO
GEOVISA SA DE CV
CERRADA TENORIOS 9
EXHACIENDA COAPA
14300 MEXICO D F
594-27-27

TELLEZ SALAS ROBERTO
JEFE DE LABORATORIO
SCT
5 NORTE No 1804
TEHUACAN PUEBLA
3-10-84 6-82-80-06

TRUJANO ROMERO ESTANISLAO
ASESOR DE LA DIRECCION DE OBRAS PUBLICAS
H AYUNTAMIENTO DE TEXCOCO
ZARAGOZA No 5
PAPALOTLA EDO DE MEX
5-38-09 4-52-21 4-58-41

VALLADARES VICTOR

VELAZCO SANTA EDUARDO

VERA GOMEZ JAIME
RESIDENTE DE OBRA
SCT
DR. VELAZCO SUAREZ 45
PALENQUE CHIAPAS
91-934-5-03-16



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

- 3 -

GUZMAN GARCIA GUSTAVO

HERNANDEZ GUZMAN SALVADOR
JEFE DE SECCION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD MICHOACANA
EDIF C C.U. ESCUELA DE ING. CIVIL DE
16-29-11

HIDALGO VAZQUEZ JESUS
SUPERVISOR DE OBRAS
DIRECCION GRAL DE CARRETERAS FEDERALES SCT
CALLE TLACOTAL 2 No 2409
COL RAMOS MILLAN
08720 MEXICO D F
654-81-23 687-61-99

LIZARRAGA TEODORO ARTURO
SCT

LOPEZ FLORES RUPERTO
SUBRESIDENTE DE OBRA
SCT
NEVADO DE TOLUCO 109
COL LOMA VERDE
APIZACO TLAXCALA
2-41-18

LOPEZ FUENTES AMANDO
SUPERVISOR DE OBRA
CONTROL DE CALIDAD DE MEDICIONES SA DE
COLINA DE LA XIMENA 9
FRACC BOULEVARES
53140 NAUCALPAN EDO DE MEX
560-56-74 611-51-20

LOPEZ TENORIO ANDRES
SUPERVISOR TECNICO
SCT
JUAN ESCUTIA 88
CHALMA
CHIHUATENPAN TLAXCALA
2-41-18

MARTINEZ DE LOS SANTOS HUGO
RESIDENTE GENERAL
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPOR
KM. 0+600 CARRET. XALAPA VERACRUZ
COL. ANIMAS
XALAPA. VERACRUZ
12-52-64

MARTINEZ ESPIRITU CRISOFORO

MELO SANTIAGO RAFAEL
RESIDENTE DE OBRA
CARRETERAS FEDERALES S.C.T. (VERACRUZ)
LAGUNA DE SAN ANDRES No. 95 (PART.)
EL COYUL
VER. VER.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

- 4 -

ANTONIO RIOS CARLOS
RESIDENTE DE OBRA
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
CENTRAL OTE. No. 1228
TEL. 91 961 299 11

CACHO VAZQUEZ ALFONSO
CATEDRATICO
U.N.A.M.
CIUDAD UNIVERSITARIA
04510 MEXICO D.F.

ARROYO CHAVEZ CARLOS RAMON
RESIDENTE DE OBRA
DIRECCION GENERAL DE CARR. FEDERALES
ALTADENA No. 23
COL. NAPOLES
MEXICO D.F.
687 61 99

BAEZ TORRES JERONIMO A.

BAUTISTA MENDEZ JUAN M.

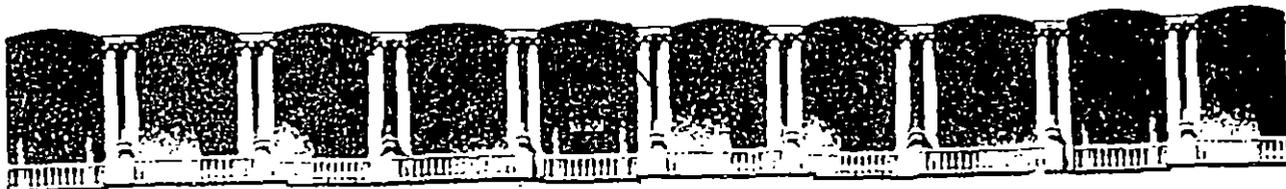
CARDENAS PACHEO JOEL
AUX. DE LA RESIDENCIA DE OBRA
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPOR
CALLEJON DE MADERO No. 680
COL. EL REFUGIO
TECATE BAJA CALIF.
419 63

CARRETE SILVA JUAN ONESIMO
RESIDENTE DE OBRA S.C.T.
GURIDI Y ALCOCER No 14
TLAXCALA TLAXCALA
COL. CENTRO
TEL. 241 18

CARRILLO VIZACAYA ALEJANDRO
AUX. DE LA RESIDENCIA
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPOR
GURIDI Y ALCOCER S/N ESQ. CALZ. DE LOS
COL. CENTRO
90000 TLAXACALA TLAXCALA
241 18

ROJAS SARMENTAS SALVADOR

ROMUALDO SUAREZ PRUDENCIO
RESIDENTE DE OBRA
SCT
8a NORTE PONIENTE No 50
COMITAN
20104 TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS
201-04 299-11



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

- 5 -

ORNELAS LIZARDI JOSE DE JESUS
RESIDENTE DE OBRA
SCT
13 ORIENTE No 103
TEHUACAN PUEBLA
2-15-27 682-80-06

PARDO ENCISO ROSA ANGELICA
JEFE DE LABORATORIO
CONTROLDE CALIDAD DE MEDICIONES SA DE C
CERRO DEL TEJOCOTE No 91
COL J JIMENEZ CANTU
54910 TLALNEPANTLA EDO DE MEXICO
788-49-75 611-51-20

PARRA SAAVEDRA GERMAN
JEFE DE OFICINA DE CONTROL DE SUP. EXT E INF
DIRECCION GRAL DE CARRETERAS FEDERALES
EMILIANO ZAPATA No 910
REFORMA
OAXACA DE JUAREZ, OAX
3-55-03 6-87-61-99

PEÑALOZA ORDOÑEZ ISABEL
JEFE DE CONTROLDE CALIDAD
CONSTRUCTORA KUKULCAN SA DE CV
90 CALLE ORIENTE 54-A
CENTRO
30700 TAPACHULA CHIAPAS
5-43-54 6-23-07

PINTO BORRAS JOSE ALFREDO
JEFE DE LABORATORIO
SCT
TACUBAYA 213
J VICENTE VILLADA
57260 NETZAHUACOYOTL EDO DE MEX

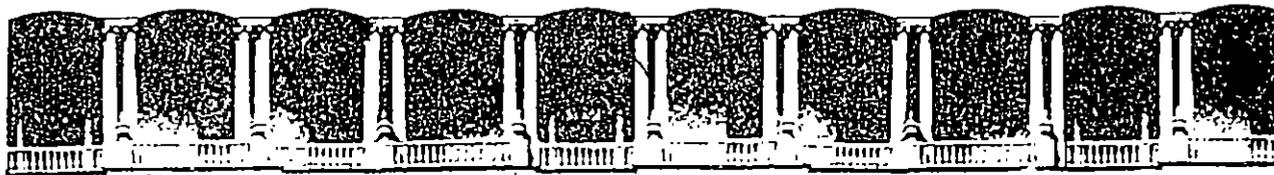
PULIDO BAÑOS JUAN JOSE

PULIDO SILVA ADELAIDO

QUIÑONES BURCIAGA JULIO
RESIDENTE DE OBRA
SCT
OCAMPO 161
FRACC SAN LEONEL
78387 SAN LUIS POTOSI, SLP
91-48-20-06-36 6-87-61-99

RODRIGUEZ ALVAREZ J J ALEJANDRO
DIRECTOR DE DESARROLLO URBANO Y OBRAS PUBLICAS
H AYUNTAMIENTO DE TEXCOCO
REFORMA 3
SANTA CRUZ DE ARRIBA
21100 TEXCOCO EDO DE MEX
4-48-54 4-55-22

RODRIGUEZ COLUNGA JORGE
SUPERVISOR DE CONSTRUCCION
CFE
MICHOACAN 814
CHALMA DE GUADALUPE
07210 MEXICO D F
303-18-23 203-20-29



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

- 6 -

GOMEZ GOMEZ MARCO A.
ING. CIVIL
CONTROL DE MEDICION SA DE CV
CALLE OTOMIES 11-L
AJUSCO HUAYAMILPAS COYOACAN
CP 04300 MEXICO D F
617-15-94 6-11-51-20

GUTIERREZ CASANOVA URIEL
PRESIDENTE DE OBRA
DIRECCION GRAL DE CARRETERAS FEDERALES
AV. ALTADENA No 23 PISO 3
COL NAPOLES
CP. 03810 MEXICO D F
6-87-61-99

NARANJO RAMIREZ ISIDRO
RESIDENTE DE OBRA
SCT
ALTADENA 23
COL NAPOLES
03810 MEXICO D F
687-61-99

ORBE REYNA SANTIAGO

CRITERIOS BASICOS DE CONTROL DE CALIDAD

RAUL V. OROZCO S.*

RESUMEN

Se hace resaltar la necesidad de que el proyectista correlacione las propiedades fundamentales de un suelo compactado (estabilidad volumétrica y resistencia al esfuerzo cortante), con parámetros fácilmente medibles (compacidad y humedad), con el fin de establecer los criterios de aceptación y rechazo que guíen al controlador de calidad durante la construcción.

1) INTRODUCCION

Con frecuencia observamos fallas o serias deficiencias en las obras de tierra sometidas a fluctuaciones en el contenido de agua, sobre todo en los suelos finos compactados que dan como consecuencia importantes cambios volumétricos y pérdidas de resistencia al esfuerzo cortante. Esto es más notorio en el caso de canales y caminos.

Es una práctica generalizada compactar "lo más que se pueda" un suelo para "que sea más resistente e indeformable", pero, cuando se trata de suelos finos y arcillosos, se está fabricando una estructura voluméricamente inestable. Es decir, que cuando el suelo absorbe agua libremente, su humedad aumenta a tal grado que se presentan cambios volumétricos indeseables y la resistencia al esfuerzo cortante se reduce en forma notable.

El párrafo anterior y la mayor parte de los siguientes están tomados de la Referencia 1.

Para la estimación de los cambios volumétricos en suelos parcialmente saturados, en el Capítulo 2 se proponen criterios apoyados en el concepto compacidad, aplicables tanto para la condición inalterada como para la compactada.

* Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería (Vías Terrestres), Gerente de Geotecnia y Control de Calidad.- Compañía Contratista Nacional, S. A. (COCONAL).

Con el objeto de establecer en forma racional los criterios de aceptación y rechazo que sirvan de base a las cartas de control de calidad, en el Capítulo 3 se sugieren criterios para seleccionar las condiciones gravimétricas iniciales (compacidad y humedad).

Finalmente, en el Capítulo 4 se presentan las etapas recomendables que se proponen durante el proyecto y construcción de una obra de tierra, para lograr un control de calidad verdaderamente ingenieril y efectivo.

2) ESTIMACION DE CAMBIOS VOLUMETRICOS

2.1 Generalidades

En este Capítulo se discute el concepto grado de compactación, cuyo uso como parámetro único para el control de calidad en suelos compactados es debatible, ya que en la práctica ingenieril se considera como equivalente del nivel de calidad. Debido a esta concepción errónea, a últimas fechas se están exigiendo compactaciones muy altas.

También se presenta el concepto compacidad, propuesto como una medida universal de la compactación, y se sugieren criterios para estimar los cambios volumétricos por saturación de los suelos.

2.2 Medida de la compactación

2.2.1 Grado de compactación

En un suelo compactado o en estado natural, es usual medir el acomodo de sus partículas con el llamado grado de compactación, definido como la relación entre dos pesos volumétricos secos: el que tiene el suelo y el máximo adoptado. Se expresa en por ciento (%).

El grado o porcentaje de compactación, no es un indicador universal, sino que depende de la organización que establezca la escala de valores. Por ejemplo, el 100% de compactación de la SAHOP es diferente al de la SARH y al del USBR o cualquier otro organismo oficial o privado, debido a que las normas de compactación que determinan el peso volumétrico seco máximo son diferentes en cada caso.

Es un concepto algo peligroso si no se maneja racionalmente. Muchos ingenieros consideran como sinónimos el nivel de calidad de un suelo compactado y el grado de compactación correspondiente; es decir, suponen que a mayor "porcentaje de compactación" mejor "nivel de calidad" se alcanza.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

C U R S O S A B I E R T O S

C O N T R O L D E C A L I D A D D E O B R A S C I V I L E S

T O D A S L A S N O T A S D E L C U R S O

M. EN I. RAUL VICENTE OROZCO
SANTOYO

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CURSO:
CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES
CON LA COLABORACION DE LA SOCIEDAD MEXICANA
DE MECANICA DE SUELOS

COORDINADOR: M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo
DURACION: 16 horas
FECHA: 2 y 3 de mayo de 1995
HORARIO: 9:00 a 18:00 horas

INTRODUCCION

La construcción de las obras civiles de ingeniería requiere una revisión minuciosa de los planos y las especificaciones de Proyecto, una eficiente Supervisión y un auténtico Control de Calidad, con el fin de lograr que tales obras cumplan con su propósito.

Normalmente todas las actividades de una obra: Planeación, Proyecto, Construcción, Supervisión, Control de Calidad, Conservación y Operación se desarrollan con cierta independencia, lo cual da motivo a deficiencias y a conflictos innecesarios entre los responsables de esas actividades. Esto se evita con un sistema integrado de acciones de retroalimentación constante y de actitud siempre positiva.

El Nivel de Calidad lo define el responsable de la planeación de la obra, para que el proyectista lo establezca y el constructor lo asegure, el supervisor lo verifique, el controlador de calidad lo certifique y los responsables de la conservación y la operación vigilen y mantengan respectivamente ese Nivel de Calidad estipulado, tanto en geometría y acabados como en materiales y procedimientos constructivos.

El Control de Calidad debe llevarse en cada una de las Etapas de Previsión, Acción e Historia y en todas las actividades de la obra.

OBJETIVO

Dar un panorama general sobre el auténtico Control de Calidad de una obra con énfasis en la Etapa de Acción durante la construcción, lo cual requiere que sea ágil y oportuno.

DIRIGIDO A

Todas las personas involucradas en las obras de ingeniería dentro de las actividades de Planeación, Proyecto, Construcción, Supervisión, Control de Calidad, Conservación y Operación.

PROFESORES

M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo
M.I. Ricardo Torres Velázquez

TEMARIO

Introducción. Reflexiones. Conceptos fundamentales. Estabilidad de una obra civil. Cualidades. Interrelación entre Planeación, Proyecto, Construcción, Supervisión, Control de Calidad, Conservación y Operación.

Nivel de Calidad. Alcances y definiciones. Responsabilidad de los grupos que intervienen. Ejemplo: caso del concreto hidráulico.

Control de Calidad. Definiciones diversas. Filosofía recomendada para el auténtico Control de Calidad. Comparación entre la metodología "convencional" (historia) y la "ágil y oportuna" (previsión y acción).

Etapas de Control. Previsión, Acción e Historia. Ejemplos (Acción): análisis rápido de la composición del concreto tierno mediante la prueba de inmersión y de suelos compactados o concretos asfálticos con equipo nuclear. Cartas de Control: zonas de aceptación, corrección y rechazo. Ejemplos.

Criterios de aceptación y rechazo. Propiedades fundamentales y subordinadas. Diagrama CAS (Compacidad-Agua o Asfalto-Saturación). Relaciones entre C (compacidad), e (relación de vacíos), n (porosidad) y $\Delta V/V_0$ (cambio volumétrico unitario). Curvas isocaracterísticas. Correlación con parámetros fácilmente medibles. Zonas de aceptación, corrección y rechazo. Cartas de control CAS. Comparación con las cartas de control convencionales. Aplicaciones.

Suelos finos compactados. Identificación de suelos volumétricamente inestables. Predicción de cambios volumétricos por variaciones de humedad. Selección de las zonas, de aceptación y rechazo para satisfacer simultáneamente los requisitos de resistencia y deformabilidad. Ejemplo.

Concretos asfálticos. Módulo elástico Marshall. Selección de las zonas de aceptación y rechazo para satisfacer simultáneamente los requisitos de rigidez (módulo Marshall) y grado de saturación (vacíos ocupados por asfalto). Ejemplo.

Concretos hidráulicos. Granulometrías discontinuas. Ventajas sobre las granulometrías continuas. Selección de las zonas de aceptación y rechazo para satisfacer simultáneamente los requisitos de composición y consistencia. Pruebas de inmersión (composición) y de revenimiento (consistencia). Ejemplos.

Pavimentos. Sub-bases rigidizadas con cemento Portland. Sección invertida. Medición de deflexiones con el equipo dinámico KUAB (Falling Weight Deflectometer) y calificación estructural durante y después de la construcción. Obtención de módulos elásticos en las capas y simulación de su comportamiento. Casos prácticos.

Canales. Pérdida unitaria por infiltración. Estanques de prueba a escala natural. Revestimientos de concreto hidráulico y asfáltico. Cartas de control de calidad. Casos prácticos.

Secuencia de actividades para los responsables de la realización de una obra civil. Actividades inherentes al proyectista, al constructor y al controlador de calidad. Orden lógico de intervención. Importancia de su colaboración estrecha.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS
CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES
 2 y 3 de mayo de 1995

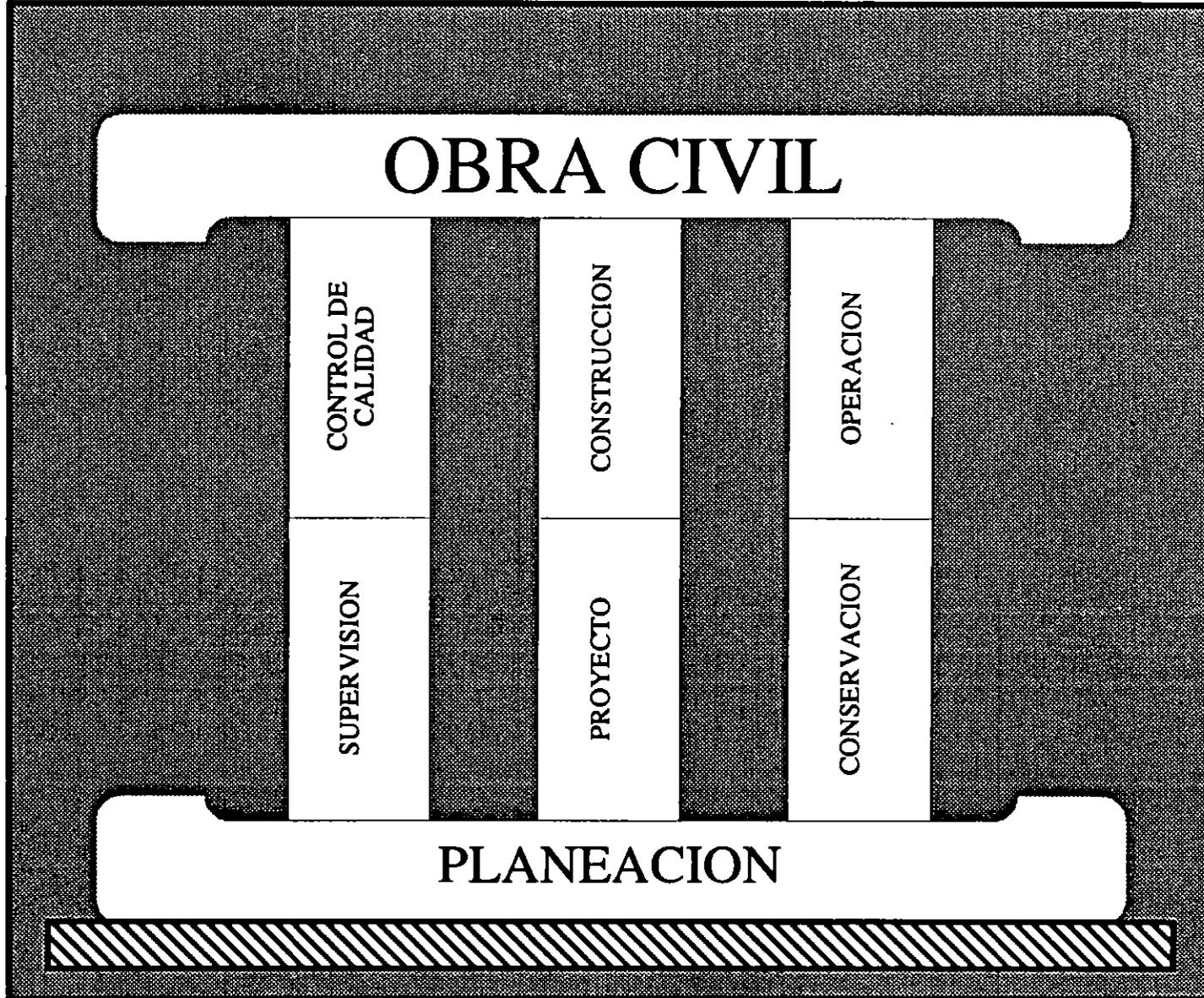
FECHA	HORARIO	TEMA	OBJETIVO	EXPOSITOR
Martes 2	9:00 a 14:00 h	Introducción Nivel de calidad Control de calidad Etapas de control Concretos hidráulicos	Conceptos fundamentales Definiciones y alcances Filosofía recomendada Delimitar actividades Aplicaciones	Ing. Raúl Vicente Orozco Santoyo
	15:00 a 18:00 h	Suelos finos compactados Criterios de aceptación y rechazo Concretos asfálticos	Conocimiento y aplicaciones Establecimiento y aplicación Conocimiento y aplicaciones	Ing. Raúl Vicente Orozco Santoyo
Miércoles 3	9:00 a 13:00 h	Pavimentos	Conocimiento y aplicaciones	Ing. Raúl Vicente Orozco Santoyo
	13:00 a 14:00 h	Simulaciones	Formulaciones y aplicación	Ing. Ricardo Torres Velázquez
	15:00 a 17:00 h	Canales	Conocimiento y aplicaciones	Ing. Raúl Vicente Orozco Santoyo
	17:00 a 18:00 h	Secuencia de actividades recomendada	Responsabilidades del proyectista, constructor y controlador de calidad	Ing. Raúl Vicente Orozco Santoyo

CALIDAD

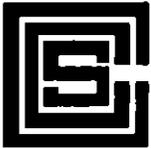
Del latín *Qualitas-atés*. Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie



ESTABILIDAD DE UNA OBRA CIVIL

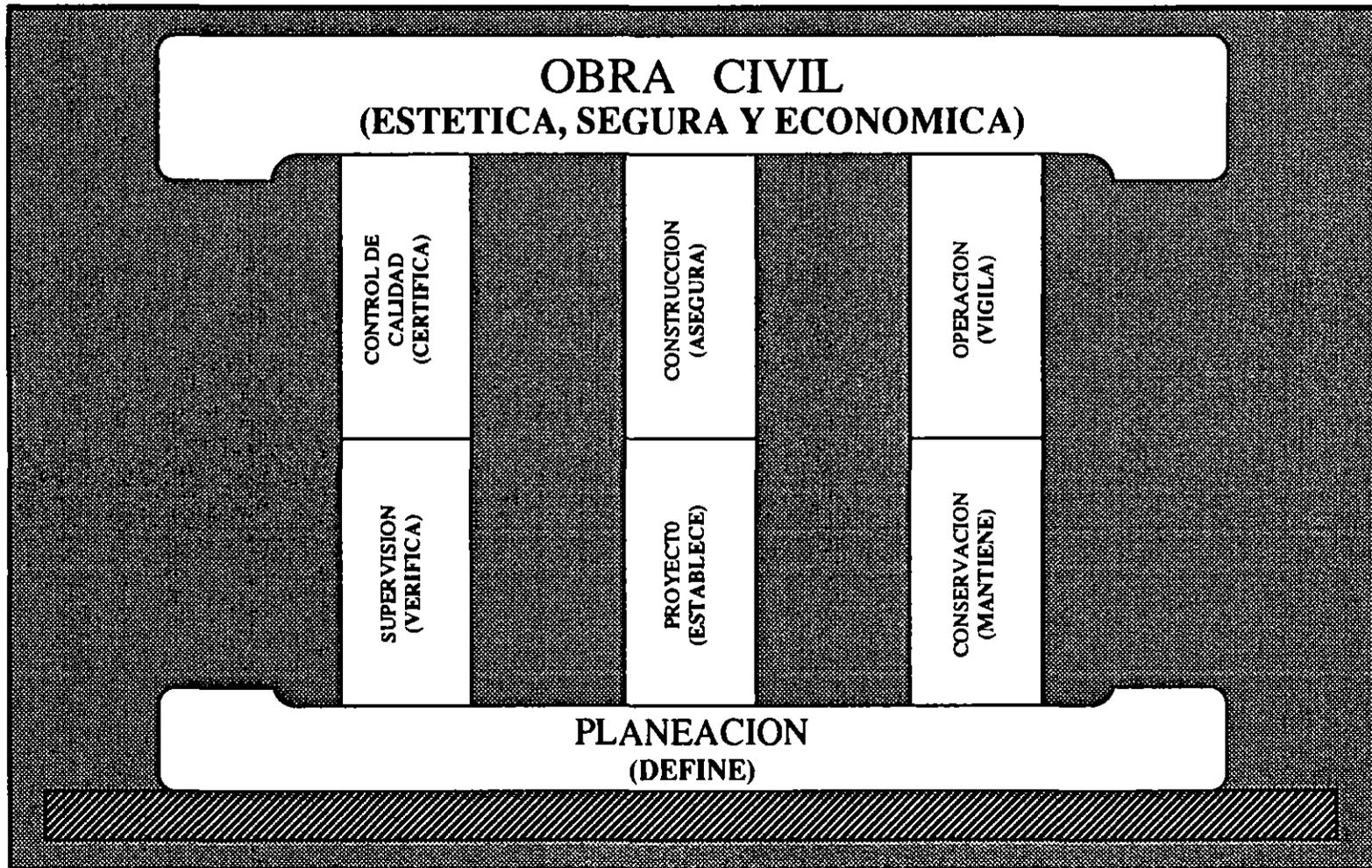


20/VI/94



NIVEL DE CALIDAD

(GEOMETRIA, ACABADOS, MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS)





REFLEXIONES SOBRE CONTROL DE CALIDAD *

*M.I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO
DIRECTOR GENERAL*

¿Es necesario fabricar probetas cilíndricas del concreto hidráulico para ensayarlas a la compresión simple a los 28 días de edad?

¿Que ocurre si se rompe la continuidad en la granulometría de un agregado para concreto hidráulico? ¿Qué pasa si la curva granulométrica se sale de los límites tradicionales?

¿Es correcto controlar la calidad de un revestimiento de concreto hidráulico para un canal, a partir de pruebas de compresión simple a 28 días de edad?

¿Es necesario que el revestimiento de un canal sea siempre impermeable?

¿Es correcto diseñar y controlar la calidad de un revestimiento asfáltico impermeable para un canal, con base en las especificaciones tradicionales tipo Marshall o similares?

¿Es lícito construir una carpeta asfáltica de alta rigidez sobre una base de apoyo deformable, en una aeropista?

¿Es sinónimo de calidad exigir los "famosos" 100% mínimo de compactación, para las capas de suelo en un pavimento?

Así como estas reflexiones hay muchas otras que el ingeniero civil debe tomar en consideración en cualquier etapa de proyecto, construcción y Control de Calidad de una obra.

* Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura, Vol. LVI No. 2



REFLEXIONES SOBRE CONTROL DE CALIDAD

INTRODUCCION

Es muy común entre los ingenieros que se dedican a la construcción de obras civiles, preocuparse de los aspectos relativos a los conceptos de obra para alcanzar la máxima eficiencia en todas las operaciones constructivas y, por ende, el mayor beneficio económico posible.

Esto trae, como consecuencia, un descuido radical en los aspectos técnicos, íntimamente ligados a la concepción, la ejecución y el Control de Calidad de un proyecto.

Cuando se concibe y desarrolla un proyecto de ingeniería, el Proyectista tiene que establecer con toda claridad el Nivel de Calidad que debe asegurar el Constructor de la obra.

El Nivel de Calidad viene siendo el conjunto de características cualitativas y cuantitativas que deben satisfacer los materiales, las instalaciones y componentes de la obra, en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos totales y diferenciales, deformaciones, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc.

El Nivel de Calidad implica establecer el criterio de aceptación o rechazo, mediante el Valor Medio de la característica a medir y su Desviación Estándar o Coeficiente de Variación (como medidas de dispersión de valores, con respecto al Medio), así como la Probabilidad de Falla en los ensayos (cada ensayo es el promedio de 2 valores, como mínimo, de la característica medida).

Hay características básicas y subordinadas a éstas. Entre las características básicas se tienen, por ejemplo:

- La resistencia a la compresión simple o a la flexión del concreto hidráulico, estimada de probetas convencionales.



- La permeabilidad de un suelo compactado o del concreto (hidráulico ó asfáltico), obtenida del coeficiente de permeabilidad medido en parámetros diseñados ex-profeso, y

- La resistencia a la erosión del concreto hidráulico o asfáltico, estimada a partir de una prueba de desgaste convenida.

La humedad y el grado de compactación de un relleno estructural, por ejemplo, son características subordinadas a la capacidad de carga y la deformabilidad, que son las básicas.

El Nivel de Calidad deseado lo complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o en menos, con respecto al Valor Medio Requerido de la característica a medir. Por lo tanto el Control de Calidad consiste, precisamente, en verificar que durante el proceso constructivo se vaya asegurando el Nivel de Calidad deseado, especialmente en el producto ya terminado.

El Control de Calidad incluye todas las operaciones inherentes al muestreo, ensaye, inspección y selección de materiales, previamente a la ejecución de la obra, para asegurar que el procedimiento constructivo satisfaga las exigencias de la misma.

Durante la construcción de la obra, el responsable del Control de Calidad, que llamaremos por brevedad: el Laboratorio, ejecutará la inspección, el muestreo y los ensayes necesarios, en todas las etapas, para que se logre el Nivel de Calidad deseado en los diversos conceptos de obra involucrados; además, tiene que suministrar información oportuna a la Residencia de construcción para que, con debido conocimiento, actúe en plan correctivo, oportuno y eficaz, a fin de evitar defectos en métodos constructivos, en caso de así requerirse, habida cuenta de que el Laboratorio no tiene carácter ejecutivo en la obra, salvo en casos especiales.



De lo anterior expuesto, se puede establecer que el Control de Calidad es un sistema integrado de actividades, factores, influencias, procedimientos, equipos y materiales, que afecten el establecimiento y, posteriormente, el logro del Nivel de Calidad estipulado, para que una obra cumpla con su propósito.

PRIMERA REFLEXION

¿Es necesario fabricar probetas cilíndricas del concreto hidráulico para ensayarlas a la compresión simple a los 28 días de edad?

Conviene analizar primero el proceso de Control de Calidad llevado por el Constructor de una obra en un caso cualquiera.

En la Lámina 1 se presenta un sistema para satisfacer el Nivel de Calidad establecido por el Proyectista, que debe asegurar el Constructor mediante el Control que el Laboratorio le proporciona.

No basta que el Proyectista fije la Resistencia de Proyecto (f'_c), que es lo más usual, sino que es necesario fijar, además, la Probabilidad de Falla en los ensayos (P_f). Por ejemplo, si $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, es necesario saber si de cada (5) ensayos (teoría elástica) o de cada (10) (teoría plástica), puede fallar (1); o bien, según la importancia del elemento estructural: por ejemplo, en las losas de una banqueta se podría permitir que de cada (3) ensayos fallara (1) ($P_f = 1/3$) o, si se trata de una trabe maestra de gran importancia, podría adoptarse un $P_f = 1/20$ a $1/100$, según lo considere el Proyectista.

Ahora bien, el Constructor de la obra debe asegurar una Resistencia Media Requerida (f_{cr}) evidentemente mayor que la de Proyecto (f'_c). Con el auxilio del Laboratorio se fijará la Mezcla de Diseño (M_d), según el Coeficiente de Variación Total (V_t) obtenido durante la construcción, que representa una medida de la dispersión de los resultados.



En la Lámina 2 se observa que, para una Resistencia de Proyecto dada ($f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$) y una Probabilidad de Falla en los ensayos dada ($P_f = 1/5$), a mayor Coeficiente de Variación ($V_t = 0.10$ a 0.20) se necesita una mayor Resistencia Media Requerida ($f_{cr} = 218$ a 240 kg/cm^2). En otras palabras, mientras menor Control de Calidad haya durante la construcción, mayor será el Coeficiente de Variación Total (V_t), según se ilustra en la Lámina 3.

Para facilitar el cálculo de f_{cr} , en la Lámina 4 se presenta la relación gráfica entre los conceptos anteriormente mencionados. Como ilustración, para $V_t = 0.15$ y $P_f = 1/5$, $f_{cr}/f'_c = 1.15$. Si $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, $f_{cr} = 230 \text{ kg/cm}^2$. Por lo tanto:

La Mezcla de Diseño (M_d) será dada por el Laboratorio al Constructor para lograr una Resistencia Media Requerida (f_{cr}) de 230 kg/cm^2 .

Una vez que se tiene seleccionada la Mezcla de Diseño (M_d), el Laboratorio debe proceder al Control de Calidad por "Etapas" y "Niveles", tal como se ilustra en la Lámina 5 y se explica a continuación:

a) PREVISION

El primer Nivel de Control corresponde a la etapa de PREVISION en los ingredientes separados, para su aceptación o rechazo. Esto se logra mediante Cartas de Control, aplicadas a los indicadores o parámetros más relevantes, como los sugeridos en la Lámina 6.

Para el caso de la arena, en las Láminas 7 y 8 se presentan dos ejemplos de Cartas de Control correspondientes al Módulo de Finura y al Contenido de Finos, respectivamente.



En la Lámina 7 se observa que la gráfica de tendencias está dentro de la Zona de Aceptación. Cada punto representa, no el valor individual, sino el promedio de los cinco últimos valores consecutivos de los ensayos durante el proceso continuo. En la Lámina 8 se nota que la gráfica de tendencias ha entrado prácticamente a la Zona de Aceptación.

Lo importante de la PREVISION del Laboratorio estriba en tomar las medidas correctivas oportunas, para tratar de mantener el ingrediente dentro de la Zona de Aceptación. En caso de que la gráfica de tendencias entre a la Zona de Corrección, no debe suspenderse el proceso continuo (producción) hasta que entre marcadamente a la Zona de Rechazo.

Para el caso de la grava, en las Láminas 9 y 10 se presentan dos ejemplos de Cartas de Control correspondientes al Módulo de Finura y al Contenido Indeseable de Arena, respectivamente.

En la Lámina 9 se observa que la gráfica de tendencias ha entrado a la Zona de Aceptación. En cambio, en la Lámina 10 hubo interrupciones en el proceso continuo, debido a que la gráfica de tendencias entró a la Zona de Rechazo (muestra 7) y se reinició el cribado, pero dentro de la Zona de Correcciones, hasta que realmente se hizo efectivo a partir de la muestra 27 en que se entró a la Zona de Aceptación.

Se hace notar que los límites de Aceptación, Corrección y Rechazo deben establecerse claramente en el proyecto. De no ser así, deben fijarse de común acuerdo entre el Constructor y el Propietario de la obra, a través de sus respectivos responsables del Control de Calidad.

Para el caso del cementante (Lámina 6), que puede ser cemento solo o mezclado con puzolana, se pueden llevar Cartas de Control similares a las expuestas y relativas a "indicadores" sensibles, como la Resistencia Compresiva en morteros convencionales, que sirve fundamentalmente para juzgar las variaciones en las propiedades mecánicas que el cementante imparte a la pasta aglutinante.



Para el caso de los aditivos y el agua, se aplican también Cartas de Control similares.

En esta etapa de PREVISION, que corresponde al primer Nivel de Control, deben satisfacerse los criterios de Aceptación. Si no se satisfacen, no puede continuarse al segundo y tercer Nivel de Control en que los ingredientes ya están mezclados.

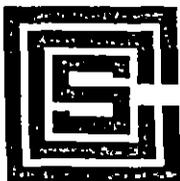
b) ACCION

Tanto el segundo como el tercer Nivel de Control se refieren a la etapa de ACCION, cuando el concreto está tierno.

En el segundo Nivel de Control debe controlarse la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, u otra similar.

En cada colado se debe llevar una Carta de Control para tratar de llevar la gráfica de tendencias dentro de la Zona de Aceptación. En la Lámina 11 se presenta una Carta de Control para el caso del revenimiento medido en la forma, en donde se muestran los Valores Medios para treinta ensayos consecutivos y el Coeficiente de Variación Medio correspondiente. Se nota que la gráfica de tendencias está en la Zona de Aceptación y el Coeficiente de Variación Medio tiende a bajar, lo cual refleja una mejora gradual en la homogeneidad del concreto. Estas Cartas de Control se deben llevar tanto en la revolvedora como en la forma, para conocer la pérdida de agua durante el transporte del concreto y hacer los ajustes pertinentes. El número de pruebas depende de los volúmenes por colar y de la distribución aleatoria de las mismas.

El tercer Nivel se refiere a la composición del concreto: es decir, el balance de ingredientes en el concreto ya colocado y vibrado, que se puede conocer mediante la "prueba de inmersión".



A grandes rasgos, la “prueba de inmersión”, consiste en lo siguiente:

Se toma una muestra representativa del concreto en la forma; se pesa al aire; se vacía el concreto en un recipiente cilíndrico y se agrega agua para separar los ingredientes. Se agita con una varilla hasta expulsar todo el aire atrapado. Se dejan reposar los ingredientes y se llena de agua el resto del recipiente hasta enrasarlo. Se pesa el concreto sumergido. Se separa la grava por malla # 4 mediante lavado y se pesa sumergida; se separa la arena por la malla # 100 y se pesa sumergida junto con la grava.

Aplicando el principio de Arquímedes y tomando en cuenta todos los datos obtenidos, más el Contenido de Finos de la arena (pasan la malla # 100), es posible conocer la cantidad de grava, arena, cemento y agua que componen la unidad de volumen del concreto. En otras palabras, se puede conocer la composición real del concreto “IN SITU” y compararla con la dosificación de la Mezcla de Diseño (M_d).

Aquí es donde la etapa de ACCION juega el papel más importante en el Control de Calidad. Aunque en una planta se esté controlando por peso la dosificación de los agregados, durante el transporte, colocación y vibrado puede haber segregación de los mismos y “se presume que el concreto satisface el Nivel de Calidad estipulado”.

Si se efectúa la “prueba de inmersión”, podemos saber si el concreto ya vibrado en la forma satisface ese Nivel de Calidad para que, en caso contrario, se tomen a tiempo las medidas correctivas y se logre que los ingredientes del concreto ocupen el espacio que les corresponde.

La “prueba de inmersión” puede hacerse también con muestras tomadas de la revolvedora, para conocer la eficiencia del mezclado.



En la Lámina 12 se muestran los indicadores que conviene obtener de la "prueba de Inmersión" (composición de ingredientes).

En la Lámina 13 se presentan los resultados de una "prueba de Inmersión" del concreto tomado en la forma. Se observa que durante el colado se fueron tomando medidas correctivas para lograr el acomodo y balance de los ingredientes dentro de la masa de concreto.

Si el concreto en la forma satisface la Mezcla de Diseño (M_d) y se toman las medidas necesarias para que el concreto tierno alcance su resistencia con el tiempo, mediante el correcto curado del concreto, ¿es necesario tomar muestras para conocer la resistencia del concreto endurecido?

Al finalizar un colado basta que el responsable del Control de Calidad constate que el trabajo fue exitoso.

Aquí termina la etapa de ACCION, que viene a ser el auténtico Control de Calidad.

Para continuar con los Niveles de Control, que corresponden a los ingredientes mezclados, pero del concreto ya endurecido, es necesario entrar a la etapa de la HISTORIA (Niveles 4 y 5).

c) HISTORIA

El cuarto Nivel de Control se refiere a la resistencia del concreto a las 48 horas de edad, o menos, por medio del curado acelerado a vapor o el autógeno, de probetas tomadas principalmente de la forma, con el fin de conocer anticipadamente la resistencia a 28 días de edad.

En la Lámina 14 se presenta una correlación entre resistencias compresivas a 2 y 28 días.



La resistencia obtenida después de un colado viene a ser HISTORIA, que es conveniente para la obra, pero no para decidir si se demuele o no un elemento estructural recién colado.

La terminación de un colado indica que en los diversos "Niveles", las Cartas de Control estuvieron bien aplicadas.

El quinto Nivel de Control se refiere a la resistencia a 28 días de probetas de concreto curadas convencionalmente y tomadas principalmente de la forma.

En las Láminas 15, 16 y 17 se presentan tres Cartas de Control que corresponde, respectivamente, a resistencias compresivas a 28 días y a la flexión (Módulo de Ruptura) a 7 y 28 días.

Para responder a la pregunta de esta Primera Reflexión, podría establecerse lo siguiente:

No es necesario tomar probetas cilíndricas del concreto hidráulico para ensayarse a la compresión simple, ni a los 28 días, ni a edades menores, ya que si el concreto vibrado en la forma tiene la dosificación de proyecto, hay una probabilidad muy grande de que se logre la resistencia esperada.

Para finalizar, conviene hacer hincapié en que cada uno de los que participan en el proceso constructivo debe desarrollar sus actividades con la mayor eficiencia posible, como: la correcta ejecución de las pruebas de laboratorio y, principalmente, la observación de los resultados; el vibrado efectivo; la aplicación correcta de la membrana de curado; el ranurado completo y oportuno de las losas de concreto para el control de las grietas; etc.



SEGUNDA REFLEXION

¿Qué ocurre si se rompe la continuidad en la granulometría de un agregado para concreto hidráulico? ¿Qué pasa si la curva granulométrica se sale de los límites tradicionales?

Normalmente los Laboratorios rechazan las gravas cuya granulometría está fuera de los límites especificados, como los de la Lámina 18, "porque sólomente deben aceptarse agregados cuya graduación siga una cierta ley de continuidad" aceptada por la costumbre. Sin embargo, es muy conveniente pensar en que la sucesión de tamaños más adecuada para lograr un mejor acomodo entre las partículas del agregado, no es la de la ley parabólica o similar, sino el de los cambios bruscos en tamaños, como se explica a continuación:

Si se tienen tres esferas de radio R_1 sobre un plano horizontal y se trata de formar un tetraedro con una cuarta esfera también de radio R_1 , el espacio comprendido entre las cuatro esferas sólo puede ser llenado con otra de radio menor R_2 , como se ilustra en la Lámina 19. El espacio dejado entre las esferas de radios R_1 y R_2 puede llenarse con una esfera de radio menor R_3 , como se muestra en la Lámina 20. De la misma manera se puede ir obteniendo teóricamente la ley de la variación, como la indicada en la Lámina 21.

Los límites recomendables para una granulometría discontinua se sugieren en la Lámina 22.

Es importante hacer notar que el concreto más compacto se logra con el mínimo de arena y de agua. Un concreto compacto tendrá menor agrietamiento y, por consiguiente, será más impermeable y resistente, manteniendo otros factores constantes.

Supóngase que en el tetraedro de la Lámina 19 se coloca una esfera intermedia entre las de radio R_1 y R_2 . ¿Qué pasará? Pues simplemente esa esfera desplazará a las demás. Si se continúan llenando huecos con esferas de graduación continua, siempre se seguirán desacomodando las demás esferas.



Precisamente la granulometría que da la mayor permeabilidad es la continua, como la de las arenas o gravas que en especial se recomienda en los subdrenos o capas filtrantes; es decir, la graduación continua da la máxima permeabilidad.

La graduación discontinua rompe esa continuidad y permite un mejor acomodo entre las partículas del agregado pétreo.

Existen muchas experiencias sobre las ventajas de los concretos con agregados de granulometría discontinua, en relación a los que tienen agregados con graduación continua convencional. Por ejemplo, en la Lámina 23 se puede observar que para una relación agua/cemento y revenimiento dados, la resistencia compresiva a 28 días de edad resulta mayor para un concreto con graduación discontinua que si ésta fuera continua y, además, con un consumo de cemento menor. El incremento en resistencia es de $270 - 220 = 50 \text{ kg/cm}^2$, que representa un 23%.

Hay un caso palpable que actualmente se está presentando en los concretos de los puentes y obras auxiliares del camino Salina Cruz - Pochutla. Para una Resistencia de Proyecto dada ($f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$), con granulometría continua se obtenían consumos de cementos de unos 380 kg/m^3 y, al provocar una discontinuidad en el agregado grueso (quitando los tamaños menores de $1/2''$ para usarlos como material de sello), el consumo de cemento se redujo a 300 kg/m^3 , aproximadamente. Esto representa un ahorro del 21%.

En resumen, si la curva granulométrica "se sale" de las normas tradicionales o son aparentemente defectuosas, es posible lograr mejores concretos, siempre y cuando se diseñen las mezclas adecuadas y se evite la segregación con el empleo de aditivos apropiados.

Es importante hacer notar que los concretos con agregados de graduación discontinua han tenido buena aceptación por parte de las autoridades.



TERCERA REFLEXION

¿Es correcto controlar la calidad de un revestimiento de concreto hidráulico para un canal, a partir de pruebas de compresión simple a 28 días de edad?

Se tienen evidencias de que en el proyecto de un canal se acostumbra fijar resistencias mínimas, por ejemplo: 250 kg/cm², y de que el concreto "pasa" todas las pruebas estipuladas en las normas tradicionales, pero a veces también "se pasa" el agua a través del mismo.

En muchos casos se observa claramente el efecto de un colado con relación al de otro día. A pesar de que los cilindros de concreto "dieron" la resistencia y el revestimiento "pasó" las pruebas, el agua también lo hizo.

¿No es mejor diseñar el concreto hidráulico con un criterio racional en que se tome en cuenta el Coeficiente de Permeabilidad?

CUARTA REFLEXION

¿Es necesario que el revestimiento de un canal sea siempre impermeable?

Desde luego que se puede diseñar un revestimiento permeable, cuando el nivel freático se encuentra sobre la cubeta.

Hay criterios para definir cuando es necesario utilizar un revestimiento impermeable y/o su drenaje complementario, como el presentado en la Lámina 24.

Los criterios de Aceptación y Rechazo para el Control de Calidad, deberán estar fundamentados en consideraciones de permeabilidad.



QUINTA REFLEXION

¿Es correcto diseñar y controlar la calidad de un revestimiento asfáltico impermeable para un canal con base en las especificaciones tradicionales tipo Marshall o similares?

Es práctica frecuente entre los ingenieros aplicar "a ciegas" las especificaciones convencionales de tipo general a casos particulares. Por ejemplo, las normas para construcción de pavimentos, en especial las de carpeta asfáltica, no deben aplicarse para el caso de un revestimiento de un canal, ya que las finalidades perseguidas son distintas.

En el caso de un revestimiento impermeable de concreto asfáltico, la principal finalidad buscada es la siguiente: "Lograr un revestimiento de concreto asfáltico con el máximo de impermeabilidad, durabilidad, estabilidad en el talud, flexibilidad, resistencia a la erosión y economía".

Las propiedades directrices en el diseño de las mezclas de concreto asfáltico son: la impermeabilidad y la durabilidad, a las cuales se subordinan la flexibilidad, la estabilidad en el talud y la resistencia a la erosión. Su representación esquemática se ilustra en la Lámina 25.

Todo el conjunto de propiedades debe estar "cimentado" en una BASE DE APOYO FIRME Y HOMOGENEA; de no ser así, los párrafos que siguen carecen de significado.

La propiedad fundamental es la IMPERMEABILIDAD que se logra con una alta COMPACIDAD del concreto asfáltico, obtenida con la MANEJABILIDAD adecuada de la mezcla. No basta que el revestimiento sea "impermeable" sino que debe estar ausente de "grietas y fisuras", causadas principalmente por la falta de FLEXIBILIDAD o de ESTABILIDAD EN EL TALUD.



La FLEXIBILIDAD del concreto asfáltico está íntimamente ligada a la PLASTICIDAD de la mezcla durante su rodillado; en cambio, la ESTABILIDAD EN EL TALUD depende fundamentalmente de la RIGIDEZ del concreto asfáltico "endurecido". Por lo tanto, la FLEXIBILIDAD y la ESTABILIDAD EN EL TALUD implican dos propiedades respectivamente contrarias: la PLASTICIDAD y la RIGIDEZ, cuyo balance debe definirse en función de la COMPACTIDAD exigida y de la ECONOMIA limitante.

Íntimamente ligada a la IMPERMEABILIDAD se tiene la RESISTENCIA A LA EROSION, propiedad intrínseca generada por la RIGIDEZ del concreto asfáltico ya "endurecido".

La IMPERMEABILIDAD debe asegurarse sin grietas ni fisuras, durante la "vida económica" asignada al revestimiento asfáltico en los estudios, que traen consigo otra propiedad fundamental tan importante como la IMPERMEABILIDAD: la "DURABILIDAD". Por consiguiente, la DURABILIDAD que se exija dependerá de las limitaciones impuestas por la ECONOMIA.

Para establecer los criterios de Aceptación y Rechazo que requiere el Control de Calidad, es necesario satisfacer los siguientes Requisitos Básicos:

Primero.- "Asegurar que las filtraciones sean menores que las económicamente admisibles, con el espesor y el coeficiente de permeabilidad reales esperados de la capa impermeable".

Para relacionar estos conceptos se propone la siguiente expresión:

$$k = R \cdot e \quad (1)$$

donde k = coeficiente de permeabilidad de la capa impermeable, en m/día

e = espesor de la capa impermeable, en m

R = pérdida unitaria por infiltración, en m/día (Lámina de agua infiltrada/tirante del canal/día)



Para fines de proyecto se puede asignar a "R" un valor medio de 0.005 m/m/día.

Segundo.- "Evitar la formación de grietas y fisuras en la capa impermeable, a fin de garantizar la impermeabilidad exigida por el Requisito Primero". Esto se logra mediante:

- Una "base de apoyo firme y homogénea" que absorba los movimientos diferenciales del terreno de sustentación.

- Un aumento en la fricción interna del concreto asfáltico que reduzca al mínimo el flujo plástico en el talud: Aumentar al máximo la "estabilidad en el talud".

- Una mezcla suficientemente "plástica y manejable" durante su rodillado, para lograr la "flexibilidad" y la "compacidad" previstas, compatibles con la "rigidez" del concreto asfáltico exigida por la "estabilidad en el talud".

La experiencia ha demostrado que la correcta ejecución de un revestimiento asfáltico impermeable es función directa de la calidad de la base de apoyo, con un sistema eficiente de subdrenaje. La máxima calidad de esta base corresponde a la asfáltica con grava semitriturada.

Tercero.- "Asegurar la adherencia de los agregados con el cemento asfáltico, para que la "impermeabilidad" del concreto asfáltico se mantenga durante la vida económica asignada al revestimiento". Este requisito se refiere a la "durabilidad" del concreto asfáltico.

La Pérdida Unitaria (R) que interviene en la expresión (1) se debe obtener a partir de estanques de prueba.



En la Lámina 26 se muestran algunos resultados obtenidos para el caso de suelos. Es interesante hacer notar que los revestimientos gruesos de suelo compactado pueden tener Pérdidas Unitarias (R) similares a las del caso de un concreto hidráulico. El revestimiento impermeable de concreto asfáltico tiene mucho menor Pérdida Unitaria (R) que el de concreto hidráulico, debido a la ausencia de juntas o ranuras que, en general, son "pasos" de agua.

Durante el diseño de mezclas asfálticas y el Control de Calidad respectivo, se debe tener especial cuidado en las mediciones del Coeficiente de Permeabilidad; estabilidad en el talud; flexibilidad; adherencia; dureza del cemento asfáltico; temperaturas del concreto asfáltico; etc. En la Lámina 27 se sugieren lineamientos generales para el Control de Calidad en el concreto asfáltico.

Respecto a las bases de apoyo, éstas pueden ser de grava-arena; concreto asfáltico poroso a manera de filtro invertido, que debe conectarse a los subdrenes de la cubeta para dar salida al agua que se logra infiltrar. En el caso de vasos artificiales, se debe colocar una serie de capas bajo la capa impermeable, con diferentes grados de permeabilidad, diseñadas de concreto asfáltico semi-permeable y de grava.

En el caso del Canal Alimentador del Norte en Mexicali, B.C., se decidió una base de apoyo impermeable sobre la cual se colocó la verdadera capa impermeable, que se compactó con dos rodillos ligeros hasta lograr el revestimiento con las propiedades previstas de "impermeabilidad", "flexibilidad", etc.

La Carta de Control que se llevó fue similar a la mostrada en la Lámina 28.

Se tienen evidencias del buen comportamiento de este Canal.



SEXTA REFLEXION

¿Es lícito construir una carpeta asfáltica de alta rigidez sobre una base de apoyo deformable en una aeropista?

En la Lámina 29 se presentan las propiedades fundamentales de un pavimento flexible para una aeropista.

La más importante de esas propiedades se refiere a la INDEFORMABILIDAD de la superficie de rodamiento.

Debe recordarse que un piloto prefiere el aterrizaje o el despegue en una superficie plana, semejante a una "mesa de billar" con una determinada rugosidad.

La DURABILIDAD y la ECONOMIA, están íntimamente ligadas a la "vida" asignada a la obra.

Con el fin de lograr la INDEFORMABILIDAD deseada, la carpeta asfáltica debe diseñarse y construirse para satisfacer simultáneamente las siguientes propiedades básicas:

Primera.- La FLEXIBILIDAD, que implica admitir tensiones sin agrietamientos en el concreto asfáltico que, a su vez, impide la infiltración de aguas superficiales. Se logra dando PLASTICIDAD a la mezcla asfáltica, mediante una reducción en la angulosidad de las partículas (menor porcentaje de triturado) o un aumento en el contenido de cemento asfáltico.

Segunda.- la IMPERMEABILIDAD, que protege las capas subyacentes de las filtraciones del agua superficial. Se obtiene impartiendo una COMPACTIDAD adecuada a la mezcla asfáltica. y,

Tercera.- La ESTABILIDAD, que implica una mayor capacidad para soportar cargas, mediante la RIGIDEZ en el concreto asfáltico proporcionada por un aumento en la angulosidad de las partículas (mayor porcentaje de triturado) o una disminución en el contenido de cemento asfáltico. También se logra con cemento asfáltico más duro, pero va en perjuicio de la DURABILIDAD.



Las propiedades anteriormente esbozadas deben estar "cimentadas" en una BASE DE APOYO FIRME Y HOMOGENEA, en lo que se refiere a la ESTABILIDAD VOLUMETRICA por cambios de humedad y a la RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD bajo esfuerzos repetidos.

Ahora bien, cuando una aeropista no tiene esa BASE DE APOYO, es imperativo equilibrar simultáneamente la FLEXIBILIDAD, la IMPERMEABILIDAD y la ESTABILIDAD, a fin de lograr una INDEFORMABILIDAD razonablemente aceptable para la operación de las aeronaves.

Si se construye una carpeta asfáltica con materiales totalmente triturados y se respetan los valores de ESTABILIDAD Marshall estipulados en las normas convencionales, se tendrá un concreto asfáltico con una rigidez grande y, en virtud de que en algunas ocasiones no se tiene la BASE DE APOYO FIRME Y HOMOGENEA, se está propiciando el agrietamiento de esa carpeta, lo cual no es conveniente.

En esos casos, es preferible utilizar una mezcla asfáltica con la suficiente PLASTICIDAD para lograr la FLEXIBILIDAD deseada. Así se tendrá mayor probabilidad de éxito, que si se tuviera la rigidez especificada tradicionalmente.

¿Para qué se exige innecesariamente el doble de Estabilidad, con la consiguiente rigidez del concreto asfáltico que acorta su vida útil? ¿No es preferible un concreto asfáltico menos rígido y más duradero?

En el caso de un aeropuerto en operación que no tenga BASE DE APOYO FIRME Y HOMOGENEA, el Nivel de Calidad que conviene estipular para la construcción de una sobrecarpeta de concreto asfáltico, debe satisfacer los siguientes requisitos:

Primero.- Evitar la RIGIDEZ del concreto asfáltico. Se logra limitando los valores superiores de la ESTABILIDAD (Marshall) y excluyendo las partículas trituradas en el agregado pétreo; esto es, utilizar mezclas asfálticas prácticamente sin triturado.



Segundo.- Asegurar la IMPERMEABILIDAD del concreto asfáltico. Se obtiene principalmente con una COMPACIDAD relativamente alta; también con más cemento asfáltico.

Este Nivel de Calidad implica definir y establecer los criterios de Aceptación y Rechazo, es decir: las "Reglas del Juego" propias de la obra.

Los criterios de Aceptación y Rechazo que se propongan deben tener un fundamento sólido y racional, apoyado en las técnicas de la Estadística y en consideraciones de carácter económico y funcional. Aquí cabe esta pregunta: ¿Es correcto "remendar" un traje de mezclilla con "parches" de casimir inglés?, o viceversa, v.gr.: cuando se trata del "bacheo" de una carpeta.

SEPTIMA REFLEXION

¿Es sinónimo de calidad exigir los "famosos" 100% mínimo de compactación, para las capas de suelo en un pavimento?

Cuando un suelo con poca humedad y bajo grado de saturación se compacta demasiado, al saturarse experimentará cambios volumétricos (expansiones) muy importantes, con la consiguiente pérdida de resistencia al esfuerzo cortante. Por eso, en cada caso particular debe estudiarse la interrelación que hay entre la humedad, el grado de saturación y la compactación "iniciales" de un suelo, así como los cambios volumétricos esperados al saturarse, para establecer el criterio de Aceptación y Rechazo compatible con la estabilidad volumétrica y la resistencia al esfuerzo cortante deseadas en el proyecto.

Especificar una compactación "mínima" de 100 ó 95% "a secas", es sumamente peligroso, si no se entiende y conoce el comportamiento probable del suelo al saturarse. Mientras no se disponga de datos, es preferible establecer criterios conservadores. El uso de Cartas de Control permite tomar las medidas correctivas oportunamente, como las mostradas en las Láminas 30 y 31 que fueron sugeridas para los rellenos estructurales del proyecto "La Caridad, Son".



En la Lámina 30 se observa que la mayor parte de la gráfica de tendencias correspondiente al Grado de Compactación, se mantuvo en la Zona de Aceptación.

En la Lámina 31, en que se ha sugerido como "indicador" sensible de las condiciones de humedad a la Relación de Humedades (Humedad del lugar/Humedad Optima), se observa que se ha tratado de mantener la gráfica de tendencias dentro de la Zona de Aceptación.

Desde el punto de vista de estabilidad volumétrica, hay manera de decidir cuál es la compactación inicial más conveniente, para obtener el mínimo de cambios volumétricos. Se sugiere el criterio esbozado en las Láminas 32 y 33.

La Lámina 32, correspondiente a un suelo fino arcilloso de Mexicali, B.C., muestra que si se compacta a grados superiores a 95% (Proctor SRH), los cambios volumétricos cíclicos de humedecimiento y secado aumentan demasiado, para una condición de sobrecarga ligera, como el revestimiento rígido de un canal. Esto traerá como consecuencia el desarrollo de presiones que agrietan las losas.

Muchas veces se ha reparado el daño a base de dar cada vez más compactación, con resultados evidentemente desastrosos. Por ejemplo, si se fija un mínimo de 95 ó 100%, porque así está escrito en las "normas inviolables", y las losas de rompen de inmediato se le "echa" la culpa al Residente o el Contratista es "muy malo".

¿No sería más práctico recomendar una compactación de $90 \pm 5\%$ (Proctor SRH), en que los cambios volumétricos son aceptables?, sin perder de vista los aspectos de resistencia al esfuerzo cortante.

Un criterio más ingenieril es fijar un cambio volumétrico máximo admisible, por ejemplo: 3 ó 4%. Aplicando los resultados de la Lámina 33, se puede fijar la Zona de Rechazo, definida como aquella en que la combinación de compacidades (C) y humedades (w) proporciona un cambio volumétrico mayor del 4% cuando el suelo se satura.



De lo expresado en el párrafo anterior se puede establecer que, en ese caso, no es conveniente compactar el suelo con una humedad inicial menor de 23%. Podrá recomendarse como criterio de Aceptación una humedad inicial de $25 \pm 2\%$, desde el punto de vista de estabilidad volumétrica. Desde el punto de vista de resistencia al corte, deben procurarse pesos volumétricos altos.

La Lámina 33 corresponde a un caso particular de aplicación de un criterio sugerido para estimar los cambios volumétricos de un suelo a partir de las trayectorias de saturación cuando se pasa de una condición inicial (i) a otra final (f), como se ilustra en las Láminas 34 y 35.

La Lámina 34 se refiere a un suelo natural con tendencia a expandirse por saturación, cuando pasa de la condición inicial (i) a la final (f). La Lámina 35, corresponde a otro suelo natural con tendencia a contraerse por saturación, al paso de (i) a (f).

A partir de los resultados efectuados en tramos de prueba, como los mostrados en la Lámina 36, es posible recomendar la Relación de Humedades (Natural/Optima) más adecuada y el número de pasadas más conveniente, para el equipo de compactación utilizado y el suelo particular compactado. Muchas veces se rompe la estructura del suelo cuando se dan más pasadas de lo recomendado, en lugar de aumentar la compactación. Se hace notar que conviene controlar la humedad inicial de los tramos, antes de que el equipo empiece a compactar, ya que, si la Relación de Humedad no es la indicada, es inútil tratar de alcanzar el grado de compactación deseado mediante un gran número de pasadas.

En la Lámina 37 se presenta una Carta de Control perteneciente al camino Salina Cruz-Pochutla.

Para finalizar, conviene mencionar que los cambios volumétricos por saturación en los suelos compactados (base y capa subrasante) de la pista del Nuevo Aeropuerto de Villahermosa, Tab., se minimizaron al cambiar la especificación de 100% mínimo a 95% mínimo (Proctor Est.), lo cual fue aceptado por SAHOP. Un buen subdrenaje habría ayudado bastante al respecto.

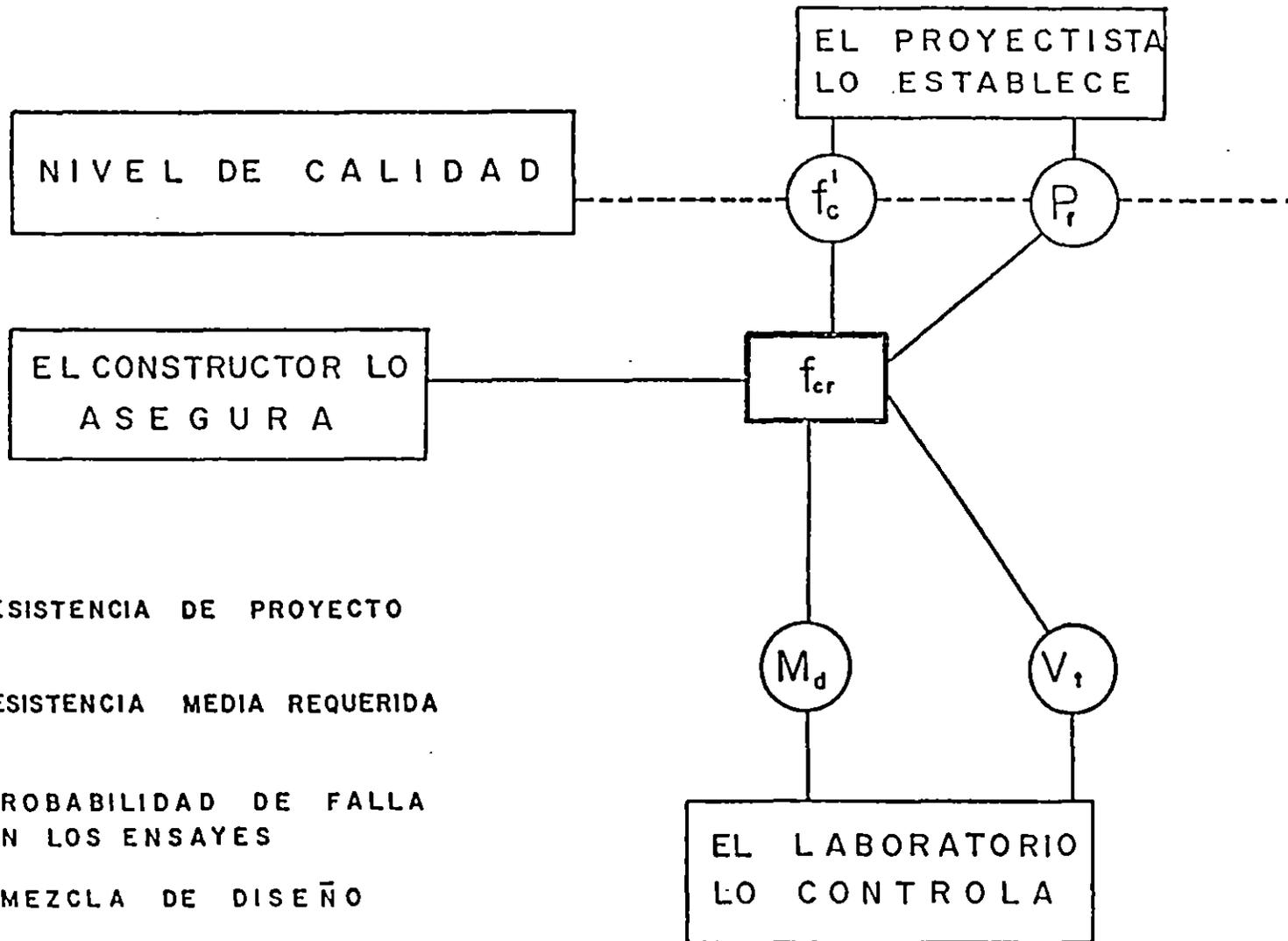


RECOMENDACIONES

Primera.- Para que el Control de Calidad sea efectivo, es necesario hacer sentir a cada persona que interviene en el proceso constructivo, incluyendo a los sobrestantes, que se requiere su contribución personal para lograr el Nivel de Calidad estipulado, al mínimo costo. En otras palabras, "hacer las cosas bien hechas" al menor costo posible.

Segunda.- Optimizar todas las actividades del proceso constructivo, incluyendo personal y equipo, para lograr el Nivel de Calidad que se pretende, con el afán de superación siempre presente y acorde con la finalidad de la obra.

Tercera.- Antes de iniciar la construcción de una obra, el Proyectista debe estipular el Nivel de Calidad y los criterios de Aceptación y Rechazo correspondientes, propios de esa obra, para que el Laboratorio de Control de Calidad auxilie al Constructor en el logro de ese Nivel de Calidad establecido.



f'_c = RESISTENCIA DE PROYECTO

f_{cr} = RESISTENCIA MEDIA REQUERIDA

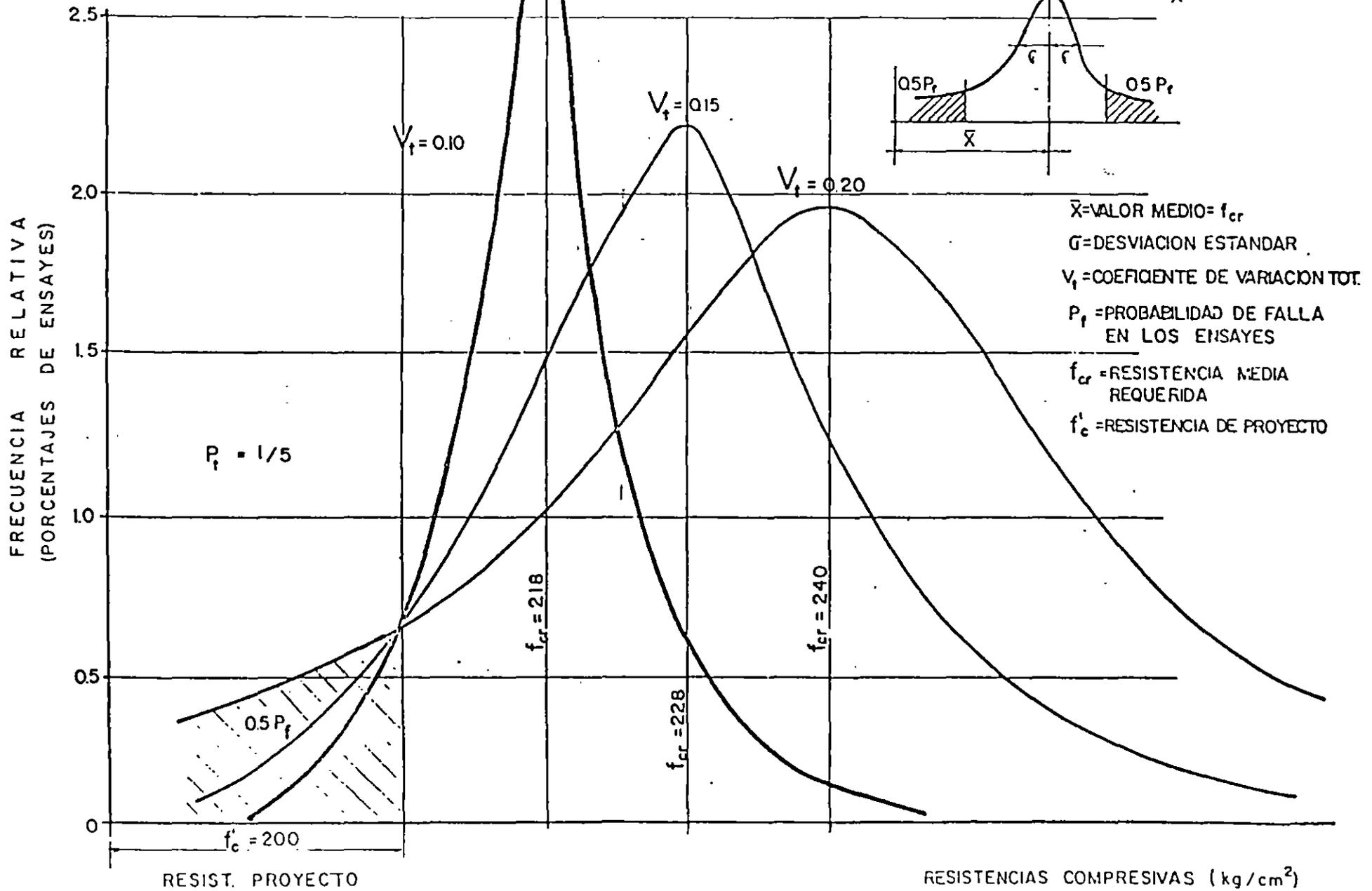
P_f = PROBABILIDAD DE FALLA EN LOS ENSAYES

M_d = MEZCLA DE DISEÑO

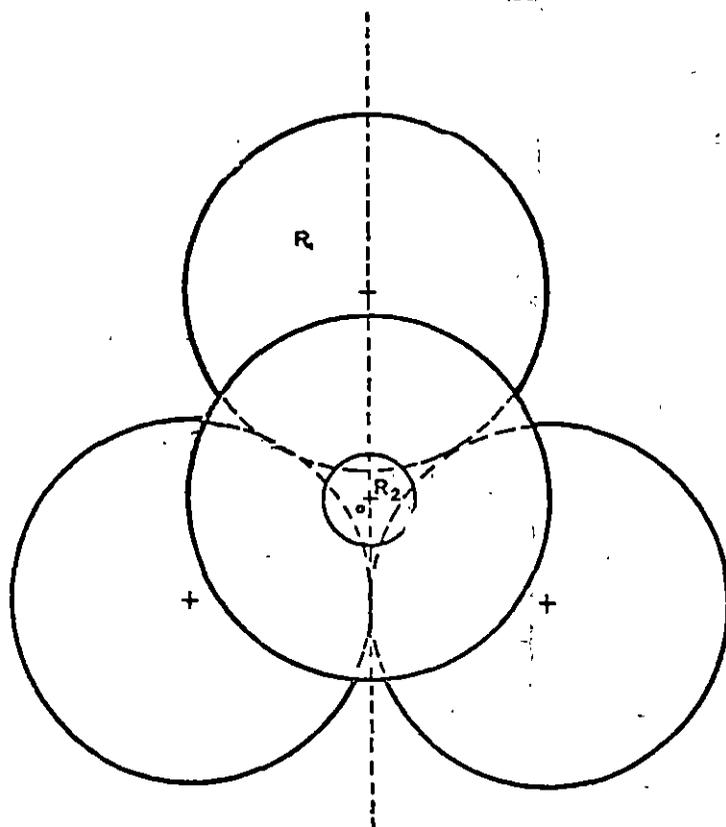
V_t = COEFICIENTE DE VARIACION TOTAL

CURVAS NORMALES DE FRECUENCIA

LAMINA 2

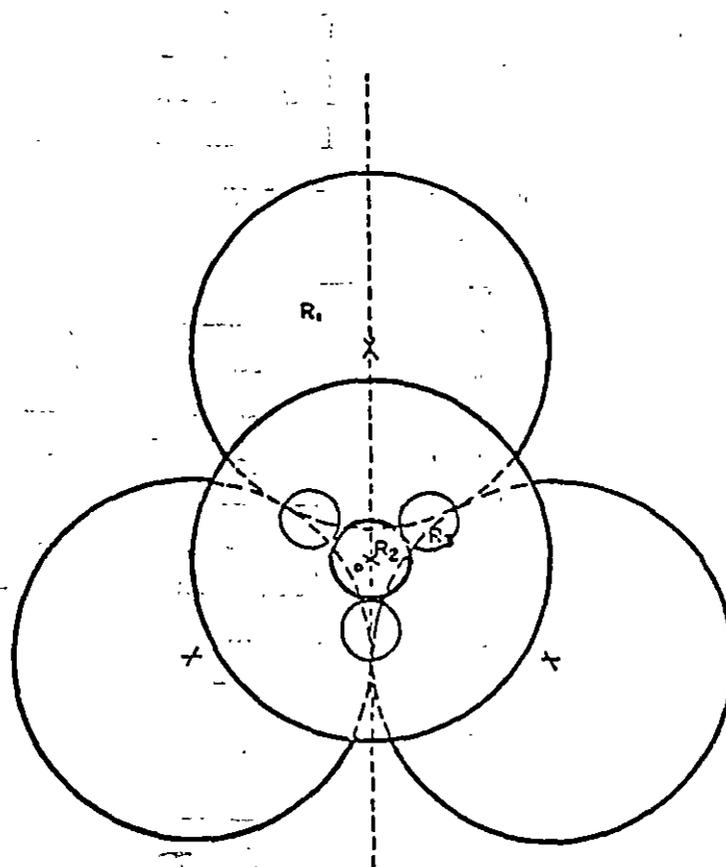


PLANTA R₁ y R₂



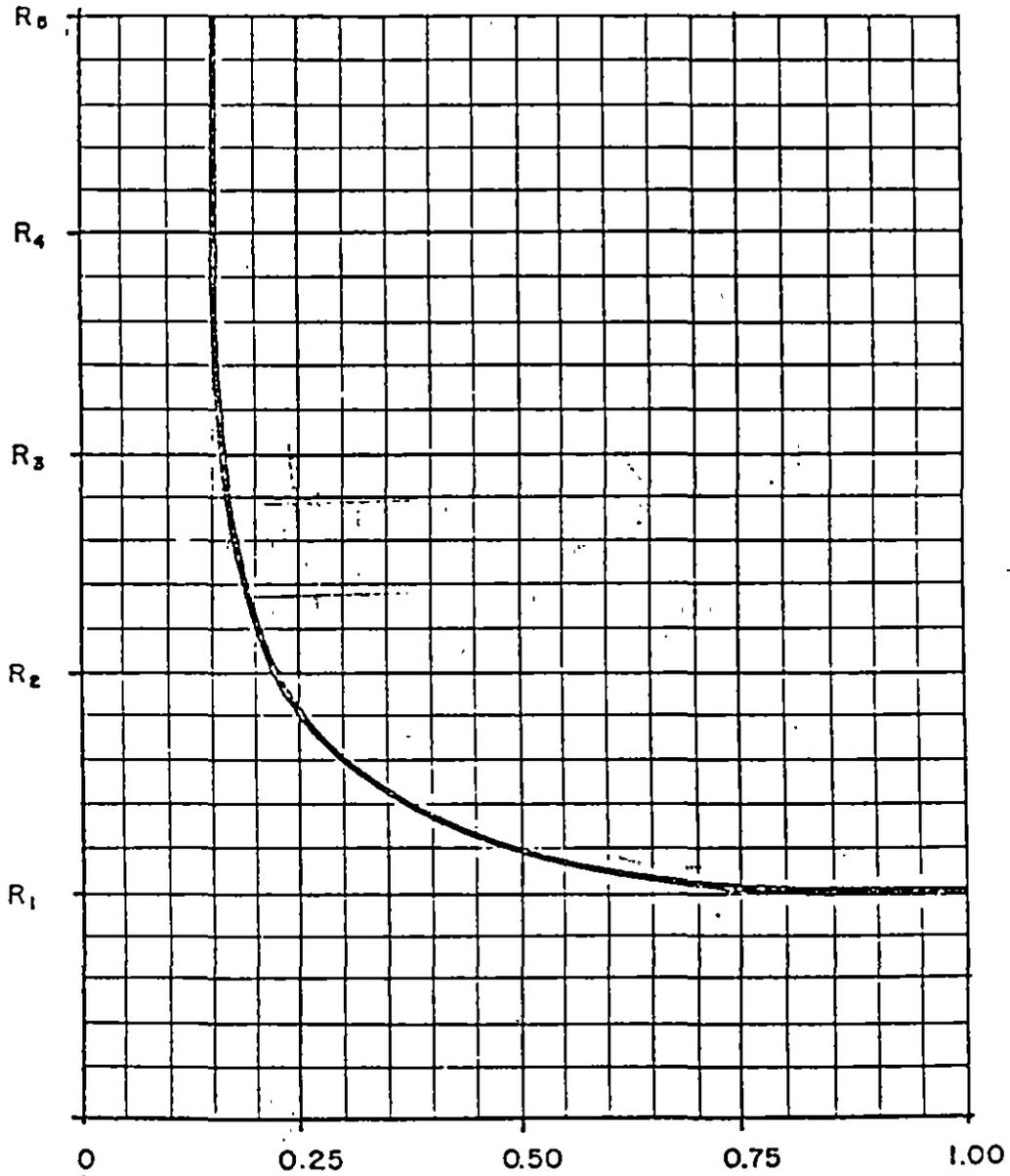
R.A.O.S.

PLANTA R₁, R₂ y R₃



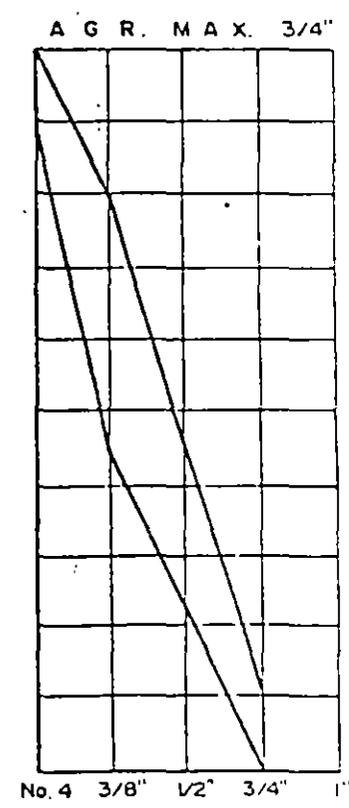
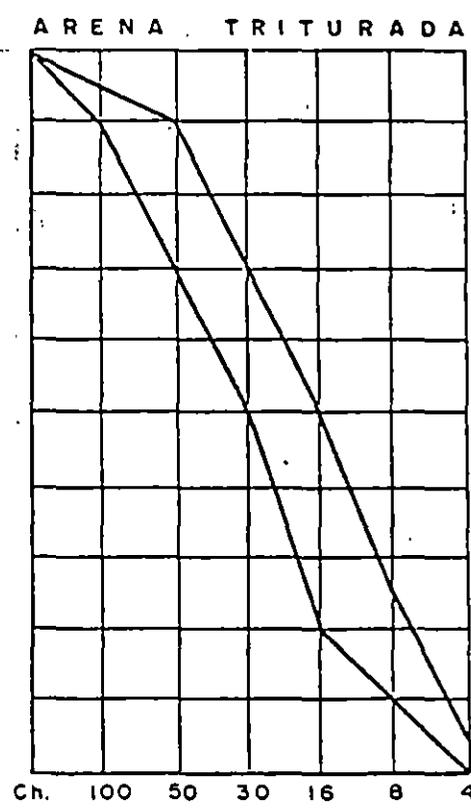
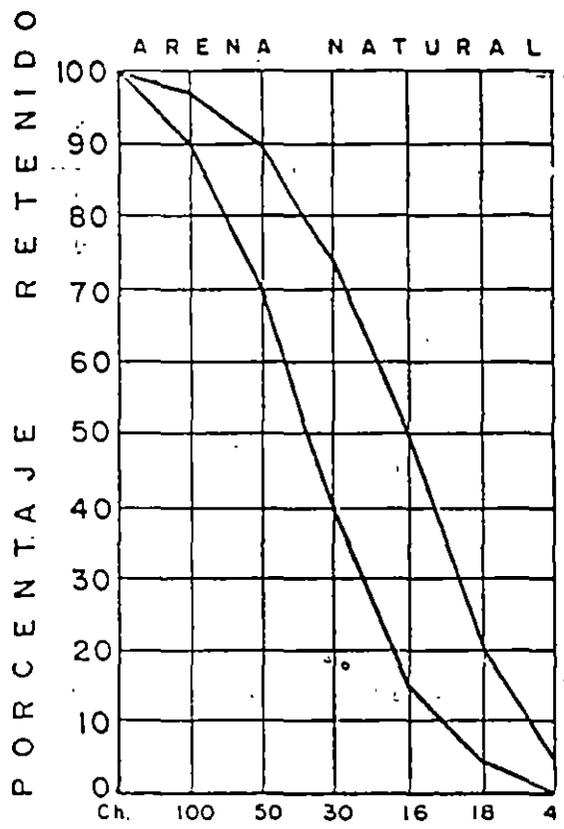
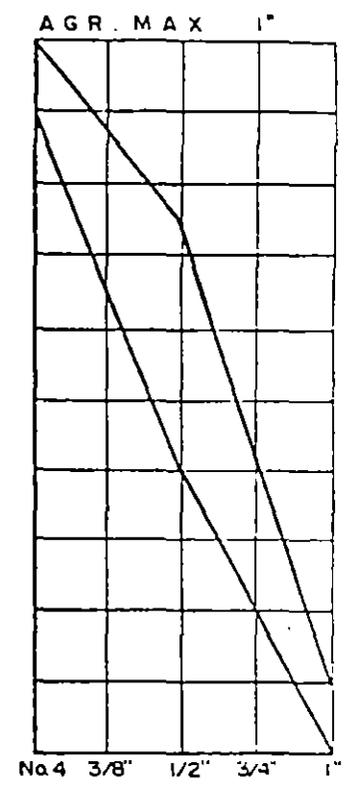
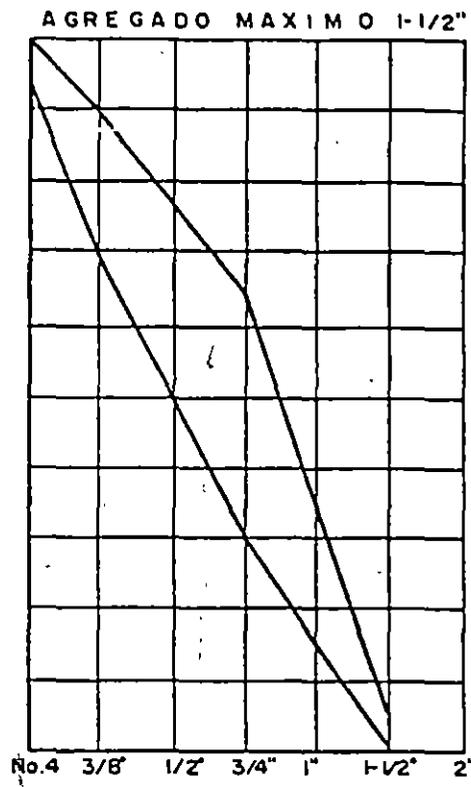
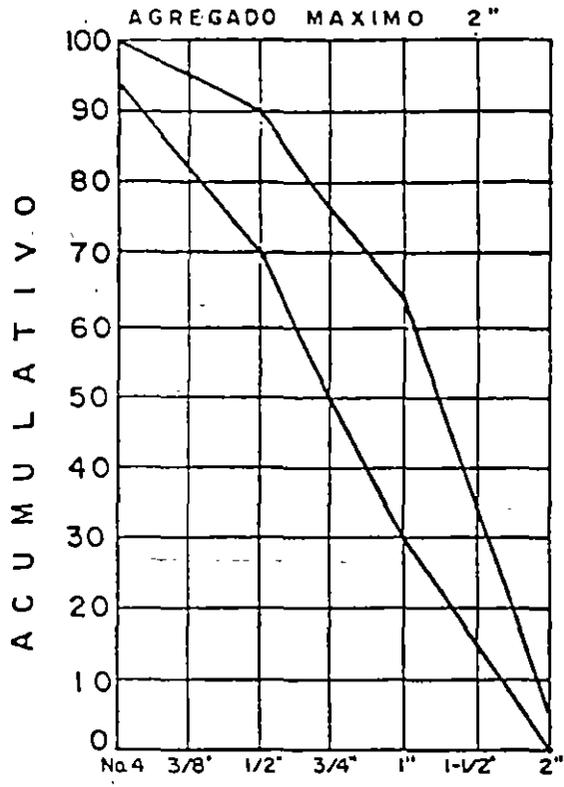
R. A. O. S.

RELACION ENTRE RADIOS



R.A.O.S.

R_l / R_l
 $l = 1, 2, 3$

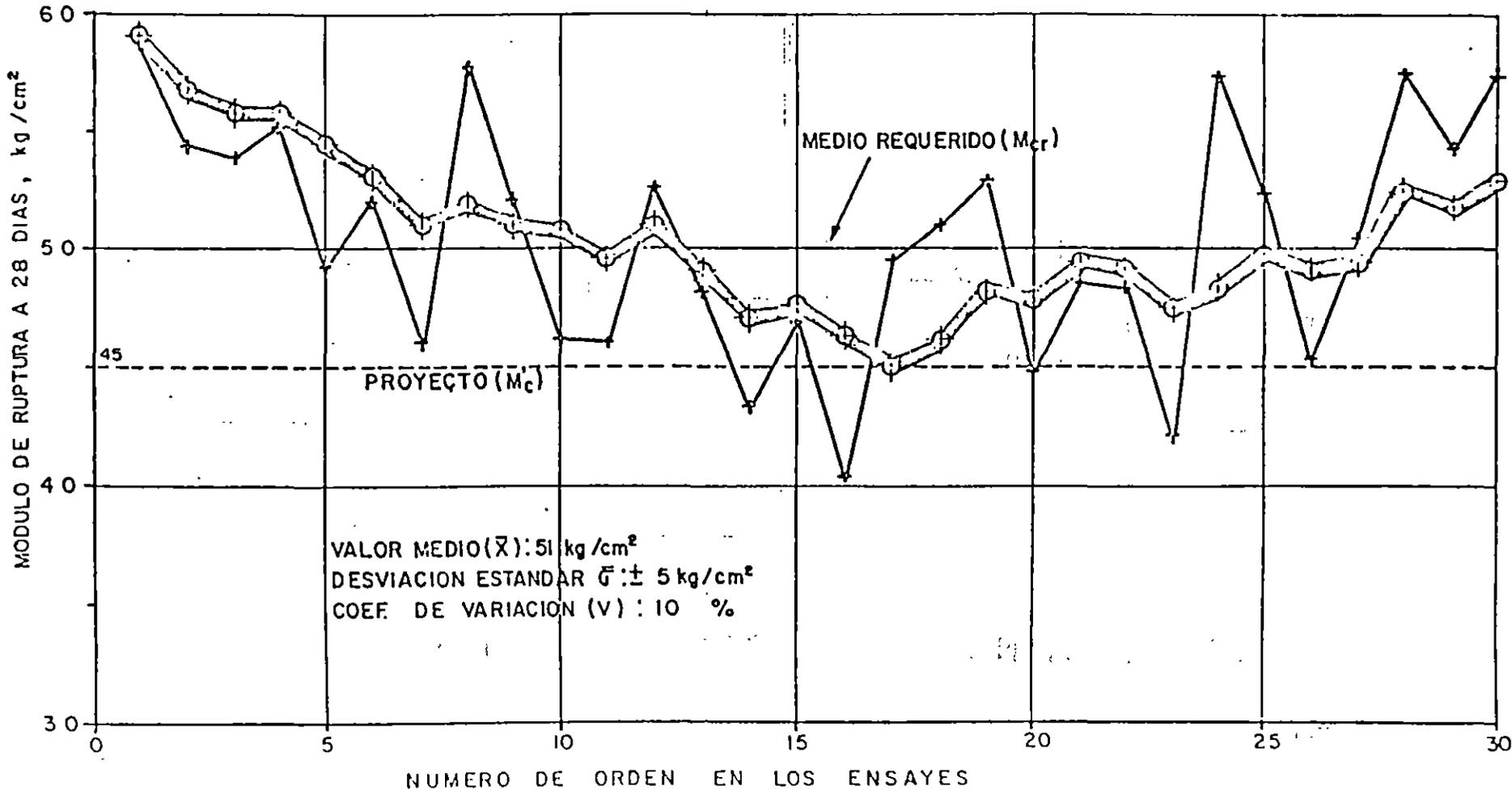


LIMITES GRANULOMETRICOS DE AGREGADOS

CARTA DE CONTROL : RESISTENCIA EN LOSAS

- ⊕ PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS
- + PROMEDIO DE 2 VALORES INDIVIDUALES

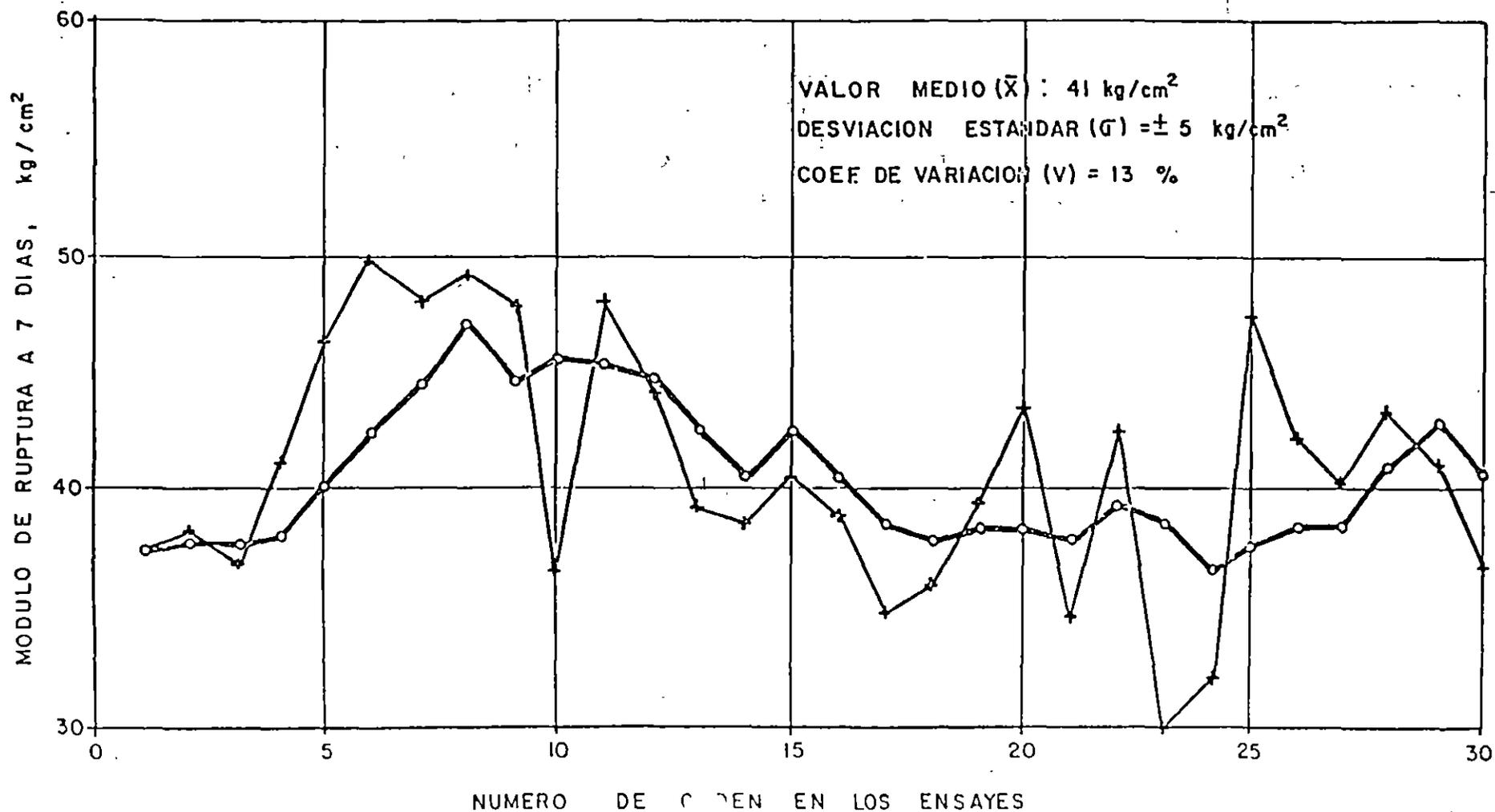
$M_{cr} = 1.11 M_c'$



CARTA DE CONTROL: RESISTENCIA EN LOSAS

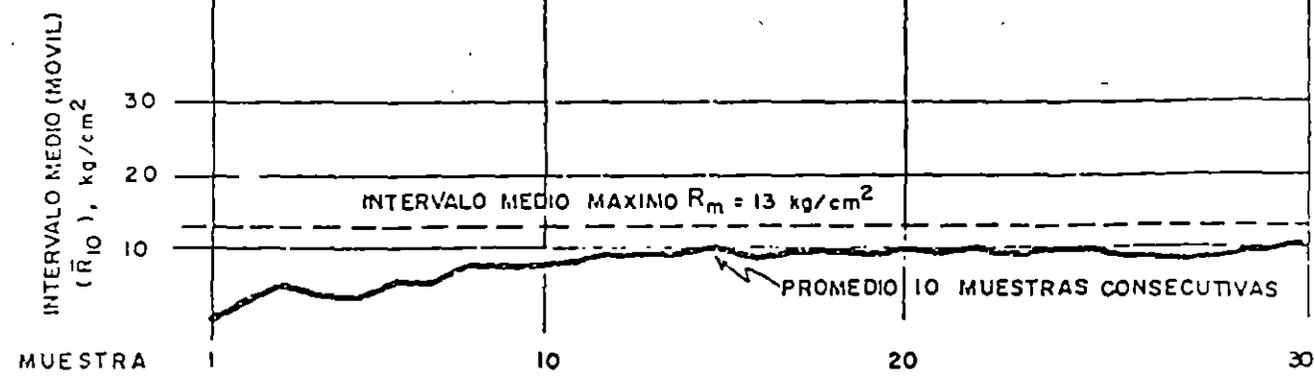
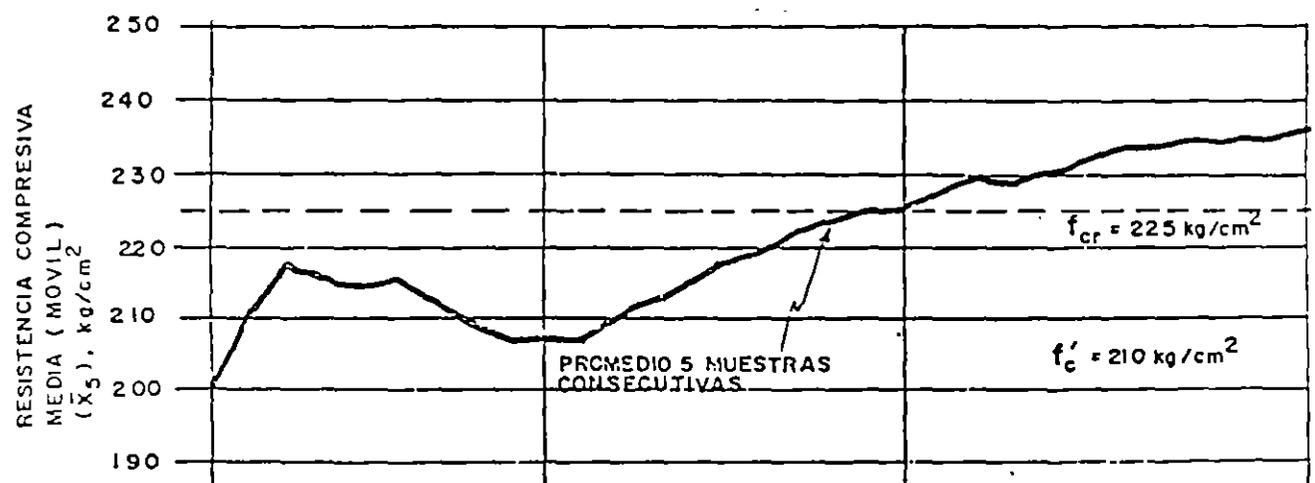
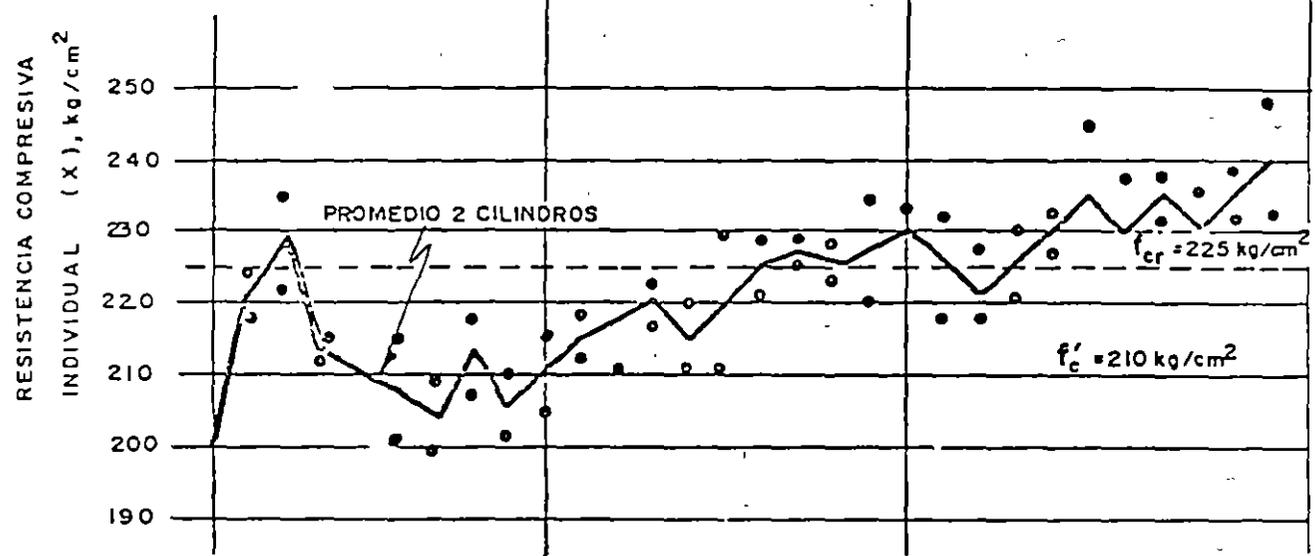
○ PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS

+ PROMEDIO DE 2 VALORES INDIVIDUALES



CARTA DE CONTROL: ANALISIS DE RESISTENCIAS COMPRESIVAS A 28 DIAS

(CCT - 73)



MUESTRA

1

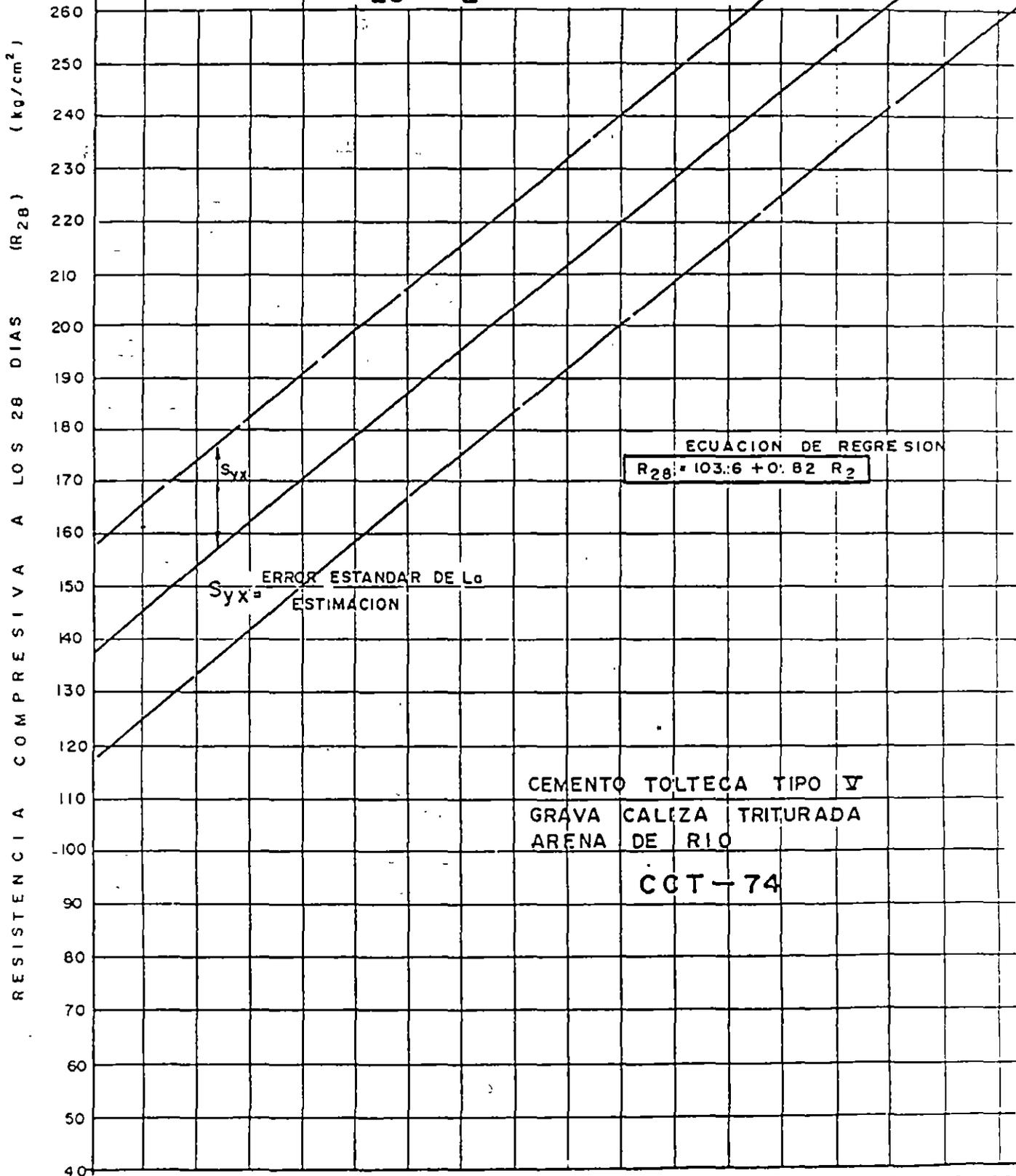
10

20

30

LA CORRELACION ENTRE RESISTENCIAS COMPRESIVAS $R_{28} \rightarrow R_2$

LAMINA 14



ECUACION DE REGRESION

$$R_{28} = 103.6 + 0.82 R_2$$

ERROR ESTANDAR DE La ESTIMACION

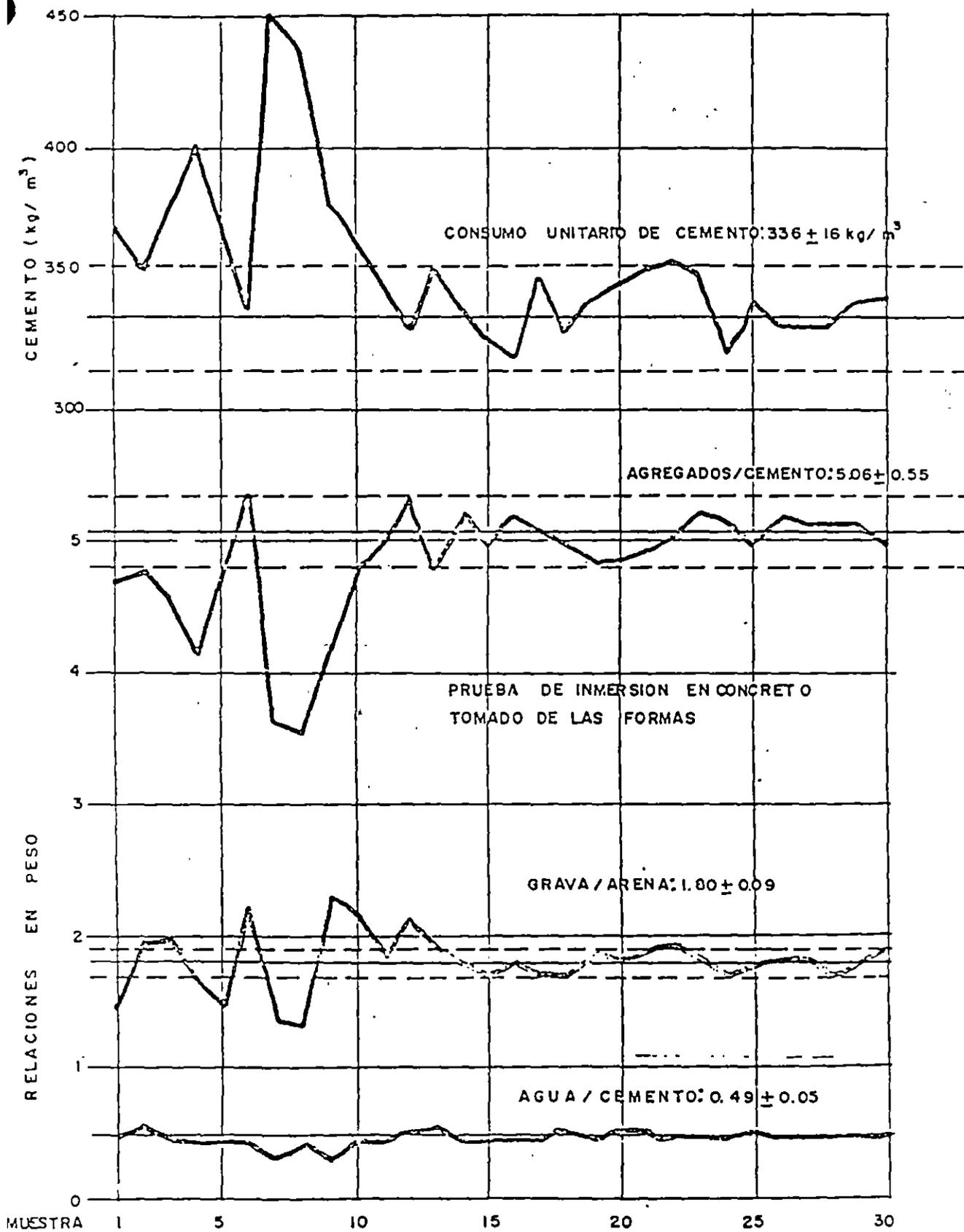
CEMENTO TOLTECA TIPO V
GRAVA CALIZA TRITURADA
ARENA DE RIO

CCT-74

RESIST. COMPRESIVA A LOS DOS DIAS (R_2) - CURADO AUTOGENO (kg/cm^2)

CARTA DE CONTROL: COMPOSICION DEL CONCRETO TIERNO (CCT - 73)

LAMINA 13



NIVEL ③ :

CONTROL DEL CONCRETO TIERNO :
COMPOSICION DE INGREDIENTES

R E L A C I O N E S

C O N T E N I D O S

AGUA / CEMENTANTE

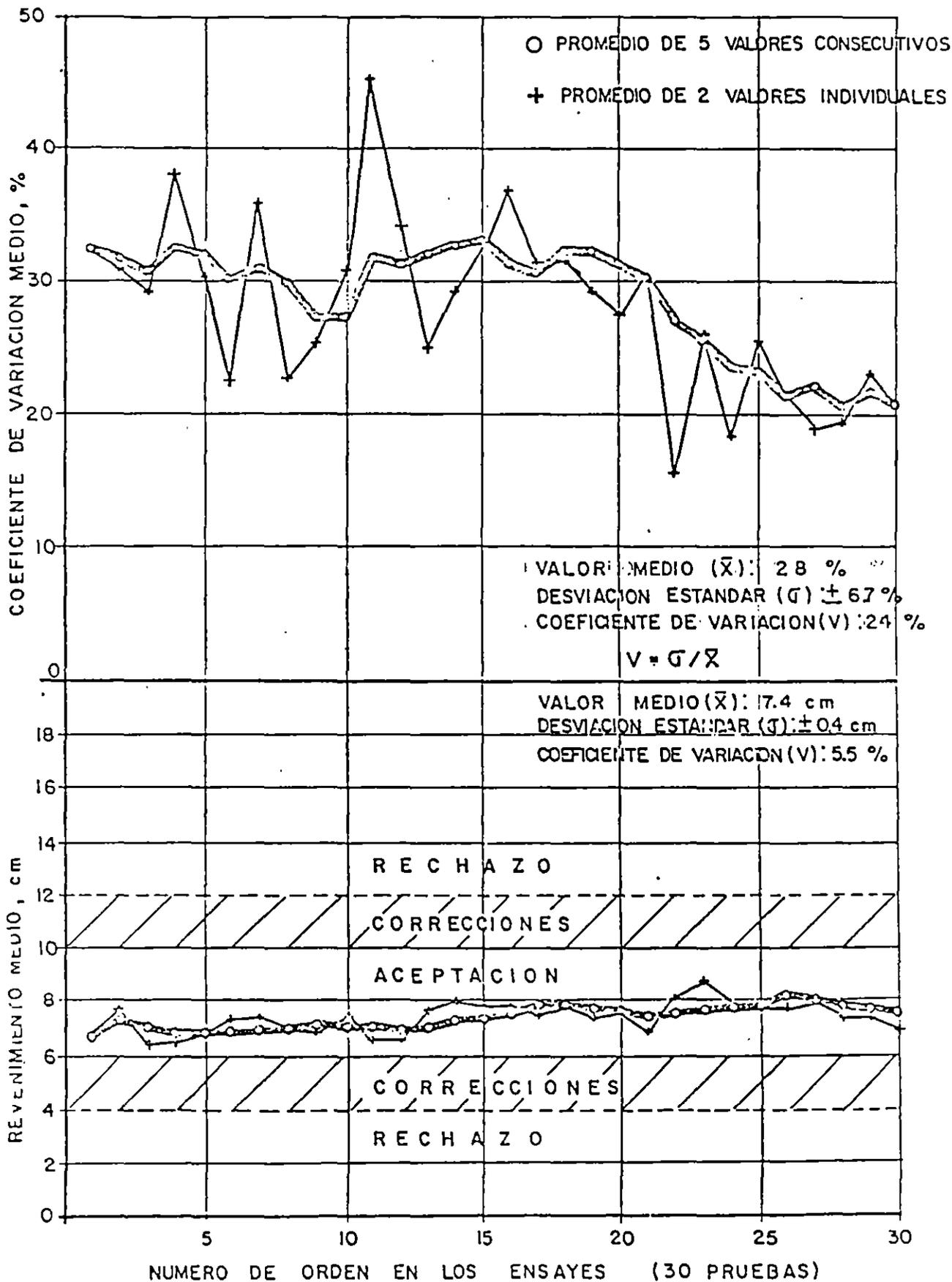
AGREGADOS / CEMENTANTE

GRAVA / ARENA

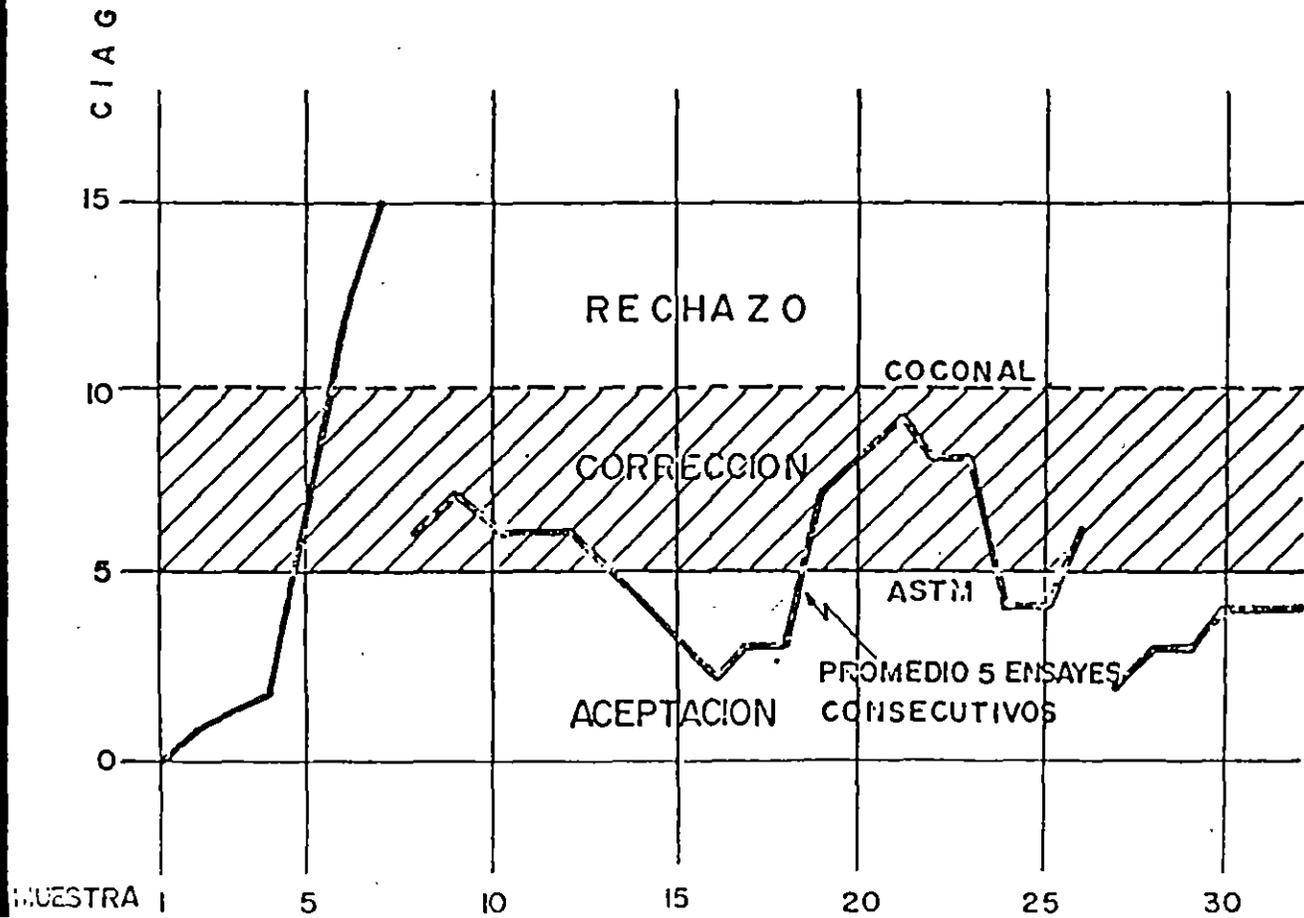
CONSUMO UNITARIO
DE CEMENTANTE

PORCENTAJE DE
AIRE INCLUIDO

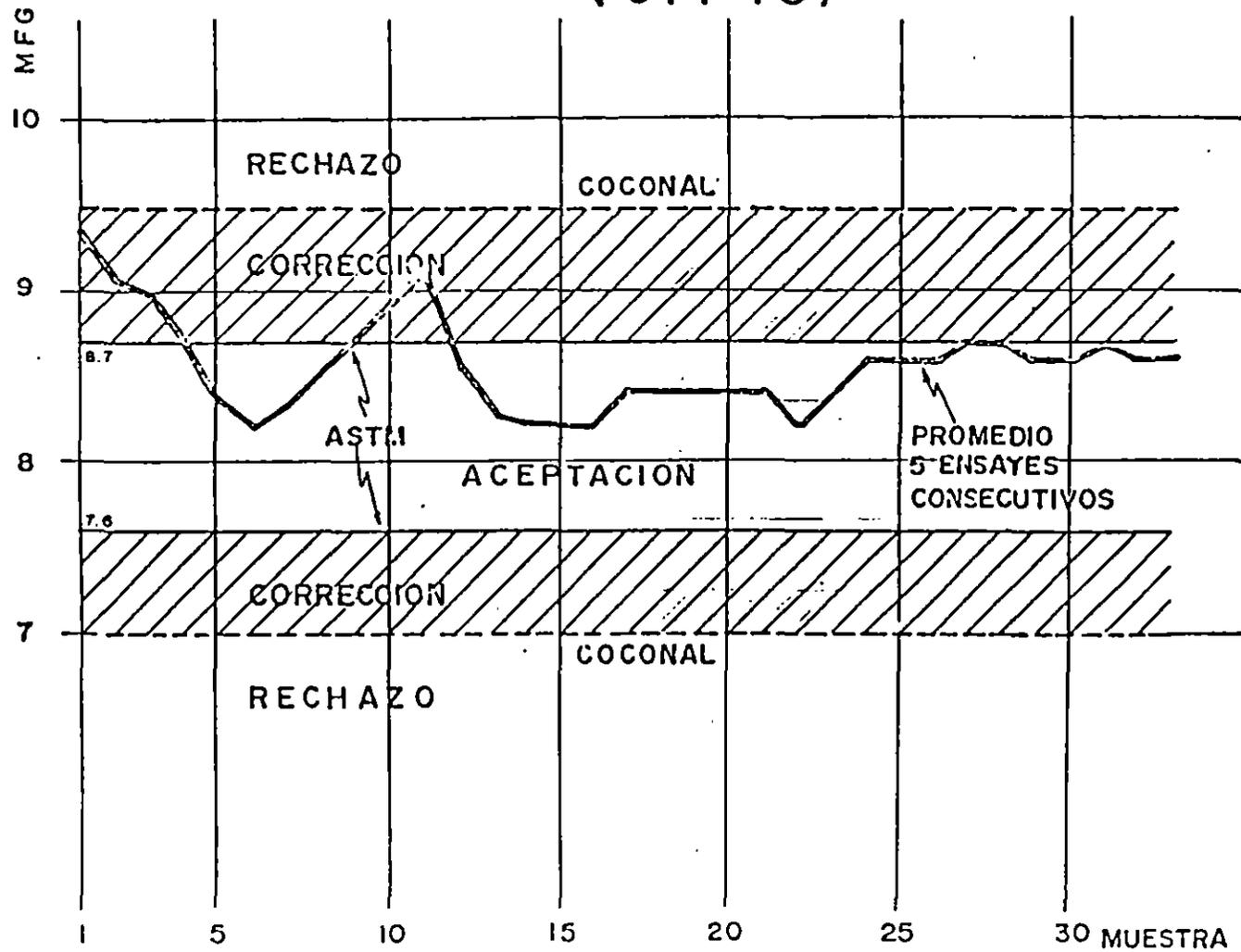
ANALISIS ESTADISTICO DE REVENIMIENTOS EN : LA FORMA



CARTA DE CONTROL: CONTENIDO INDESEABLE DE ARENA EN LA GRAVA (CTT-73)

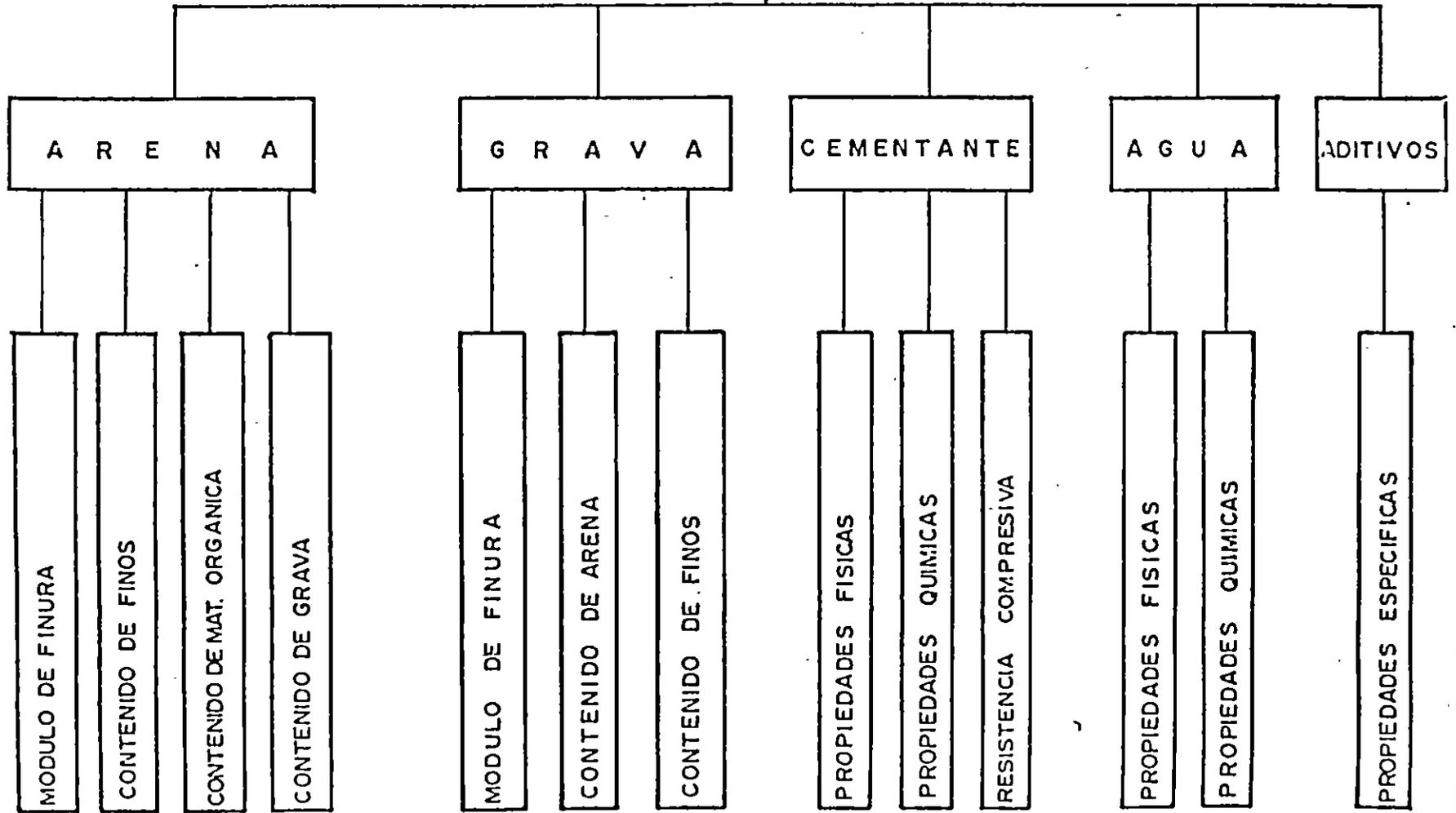


CARTA DE CONTROL: MODULO DE FINURA DE LA GRAVA (CTT-73)

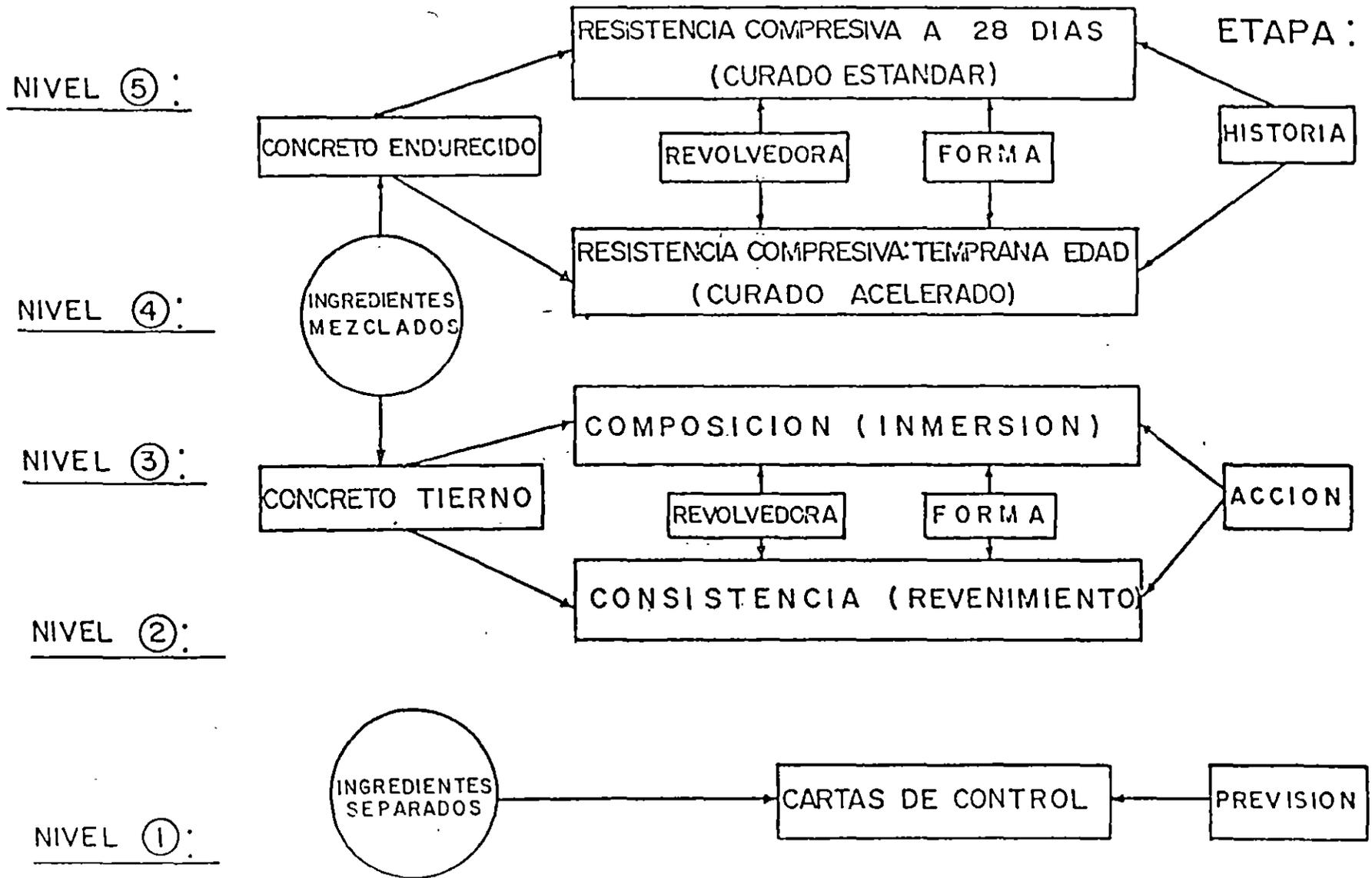


NIVEL (I)

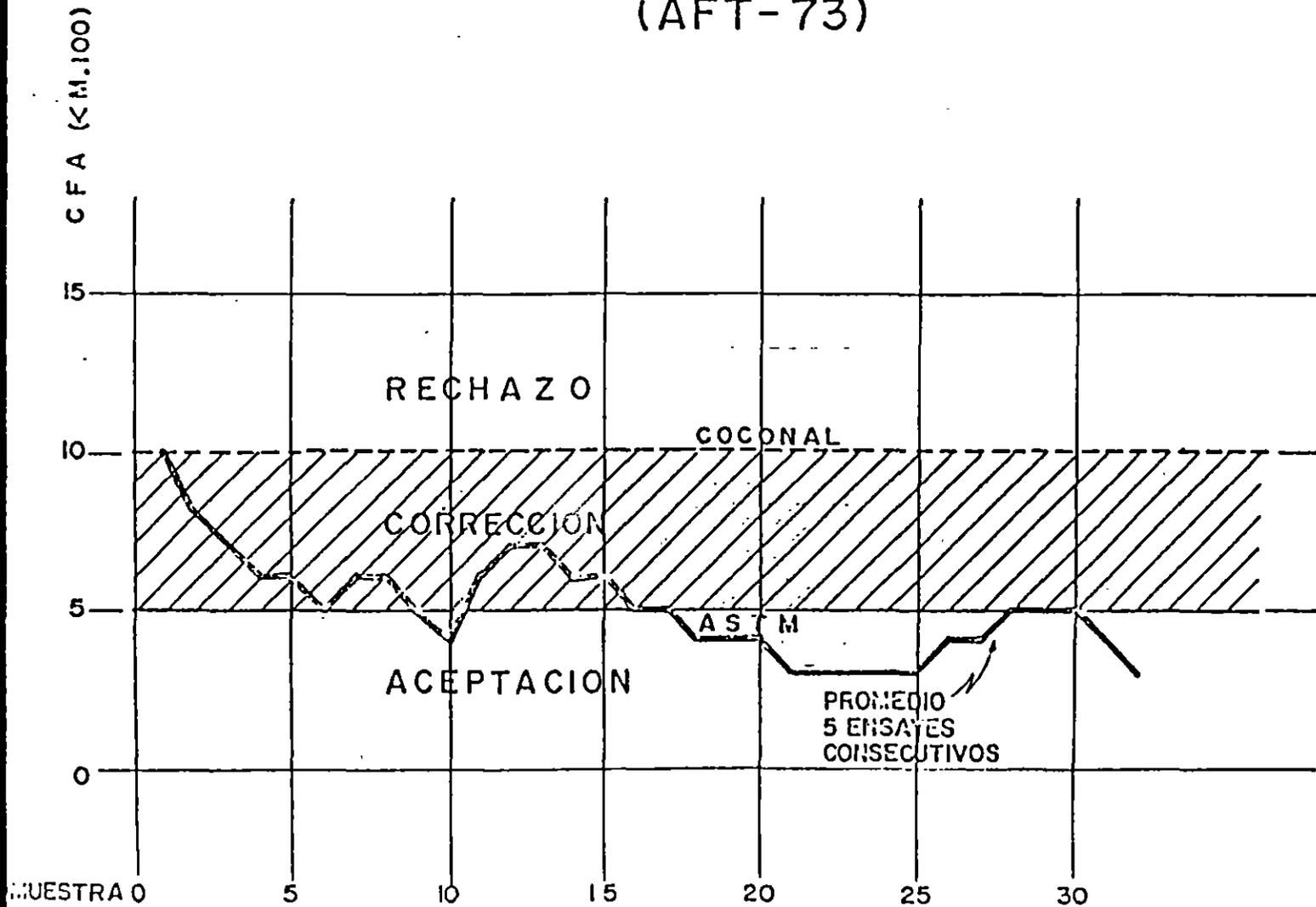
CONTROL DE INGREDIENTES SEPARADOS



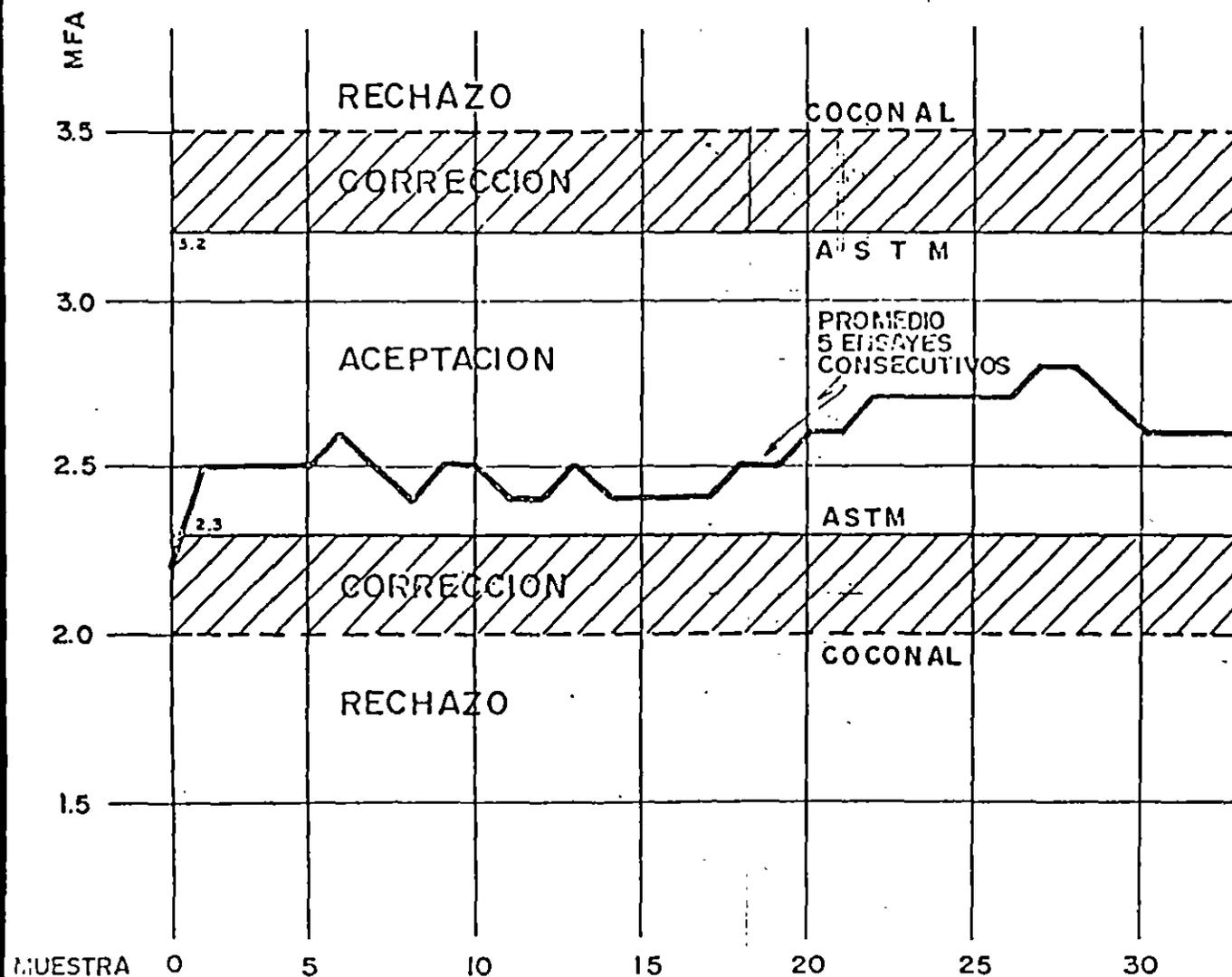
ETAPAS Y NIVELES DE CONTROL



CARTA DE CONTROL: CONTENIDO DE FINOS EN LA ARENA (AFT-73)

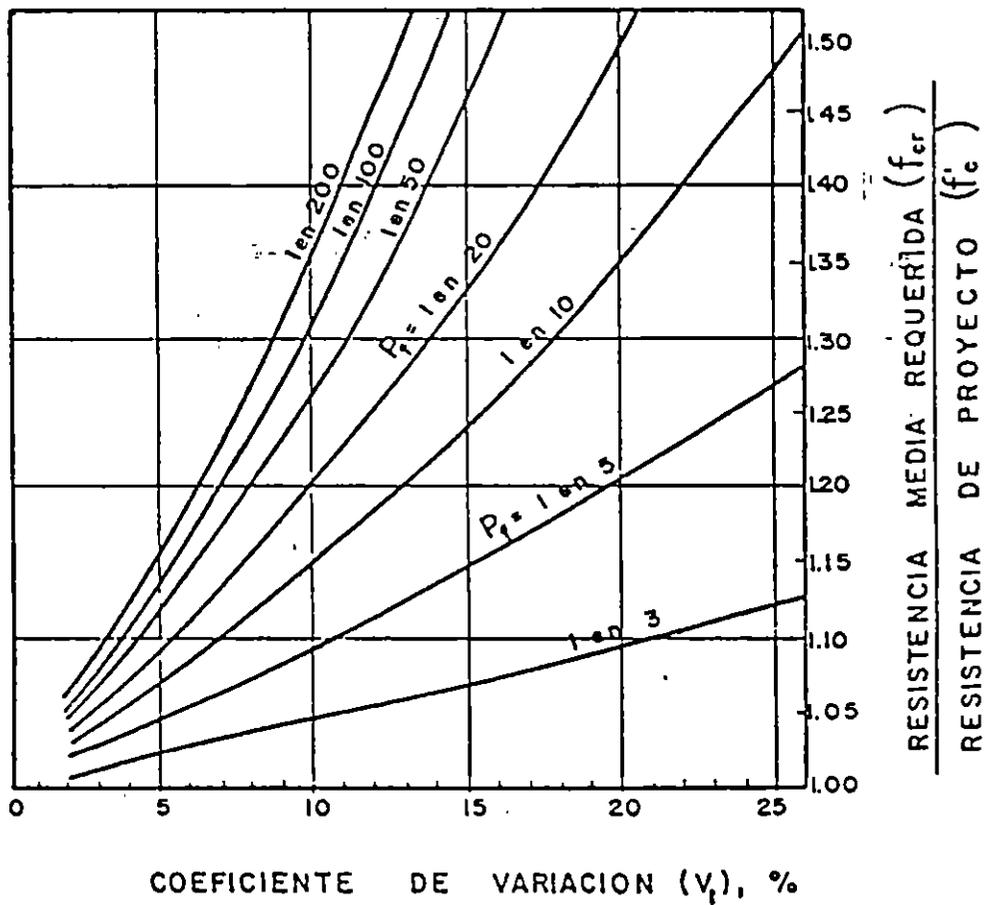


CARTA DE CONTROL: MODULO DE FINURA DE LA ARENA (AFT-73)



SELECCION DE LA MEZCLA DE DISEÑO

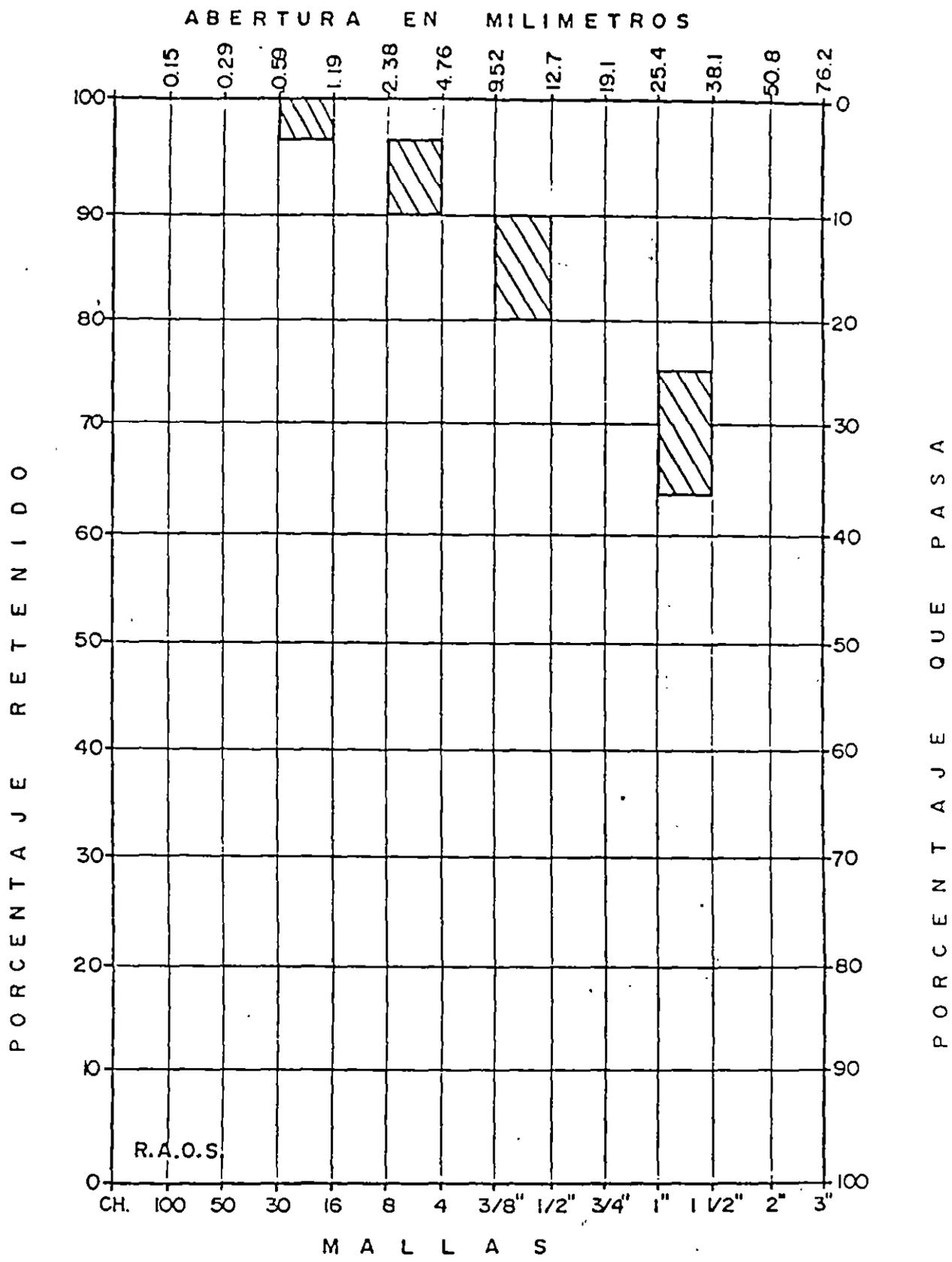
PROBABILIDAD DE FALLA EN LOS ENSAYES (P_f)



GRADO DE UNIFORMIDAD DEL CONCRETO

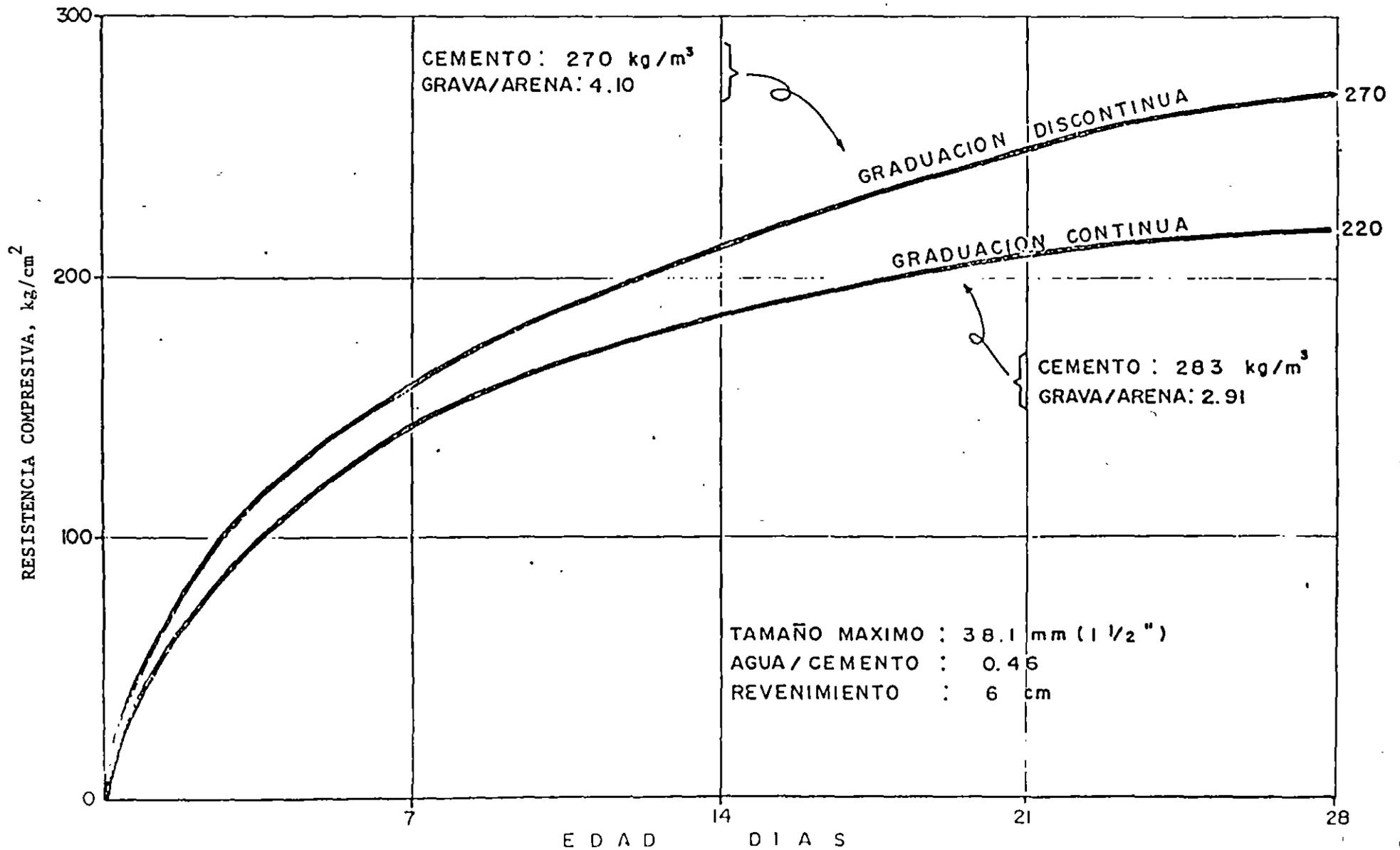
COEFICIENTE DE VARIACION TOTAL (V_f)	CALIFICACION	CONDICION
0 a 0.05	EXCELENTE	LABORATORIO
0.05 a 0.10	MUY BUENO	<u>PRECISO</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>PESO</u>
0.10 a 0.15	BUENO	<u>BUEN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>PESO</u>
0.15 a 0.20	MEDIANO	<u>ALGUN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>PESO</u>
0.20 a 0.25	MALO	<u>ALGUN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>VOLUMEN</u>
> 0.25	MUY MALO	<u>NINGUN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>VOLUMEN</u>

LAMINA 22



ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES
 PARA AGREGADOS CON GRANULOMETRIA
 DISCONTINUA

RESISTENCIAS COMPARATIVAS EN CONCRETOS



CRITERIO PARA
DEFINIR:

SE NECESITA
CUANDO:

NO SE NECESITA
CUANDO:

REVESTIMIENTO
IMPERMEABLE

$$\frac{q_{med}}{k_{med}} > ai$$

$$\frac{q_{med}}{k_{med}} < ai$$

DRENAJE
COMPLEMENTARIO

$$\frac{q_{max}}{k_{min}} > ai$$

$$\frac{q_{max}}{k_{min}} < ai$$

Q = CAUDAL DE FILTRACION
 Q = AREA DE FILTRACION
 i = GRADIENTE HIDRAULICO

k = COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
 DEL TERRENO DE APOYO

PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL REVESTIMIENTO
IMPERMEABLE DE CONCRETO ASFALTICO

DURABILIDAD

ECONOMIA

RESISTENCIA
A LA
EROSION

I M P E R M E A B I L I D A D

FLEXIBILIDAD

COMPACIDAD

ESTABILIDAD
EN EL TALUD

PLASTICIDAD

M A N E J A -
B I L I D A D

R I G I D E Z

B A S E D E A P O Y O F I R M E Y H O M O G E N E A

VALORES DE LA PERDIDA UNITARIA "R" RECOMEN-
DADOS PARA DIFERENTES SUELOS EN EL DISTRI-
TO DE RIEGO RIO COLORADO, B. C.

TIPO DE SUELO PREDOMINANTE (SUCS)	PERDIDA UNITARIA "R" (m/m/día)
<u>Suelos muy impermeables</u>	
- Arcillas de alta plasticidad, de con- sistencia firme a dura (CH)	0.002 a 0.05
- Arcillas compactadas de baja plasti- cidad, de consistencia firme a dura (CL)	
<u>Suelos impermeables</u>	
- Arcillas limosas de baja plasticidad, de consistencia blanda a firme (CL)	0.05 a 0.10
- Limos arcillosos de baja compresibilidad, semi-compactos a muy compactos (ML)	
<u>Suelos semi-permeables</u>	
- Limos arcillosos con intercalaciones de arenas limpias, de sueltos a compactos (ML)	0.10 a 0.20
<u>Suelos permeables</u>	
- Arenas arcillosas, de sueltas a semi- compactas (SC)	0.20 a 0.50
- Arenas limosas con intercalaciones de limos arcillosos, de sueltas a compac- tas (SM)	
<u>Suelos muy permeables</u>	
- Arenas limosas, de muy sueltas a semi- compactas (SM)	0.50 a 0.80
- Arenas limpias mal graduadas (SP)	

CONTROL DE LAS MEZCLAS IMPERMEABLES

a) Fabricación

El control se hará esencialmente para asegurar:

- La calidad de los materiales
- La adherencia del cemento asfáltico con los agregados
- El tiempo de mezclado y la temperatura de la mezcla
- La composición de las mezclas:
 - 1) Entrega de los ingredientes antes del mezclado
 - 2) Ensayes de compacidad
 - 3) Ensayes de extracción (rotarex)
- La estabilidad en el talud (y la flexibilidad)

Las probetas destinadas a los ensayos de fluencia (y flexibilidad) se harán con las muestras obtenidas en la planta y en condiciones similares a las de la obra (presión de rodillado y compacidad).

b) Supervisión de la colocación

Durante la ejecución de la obra se deberá dar mucha importancia a la supervisión permanente de los siguientes puntos:

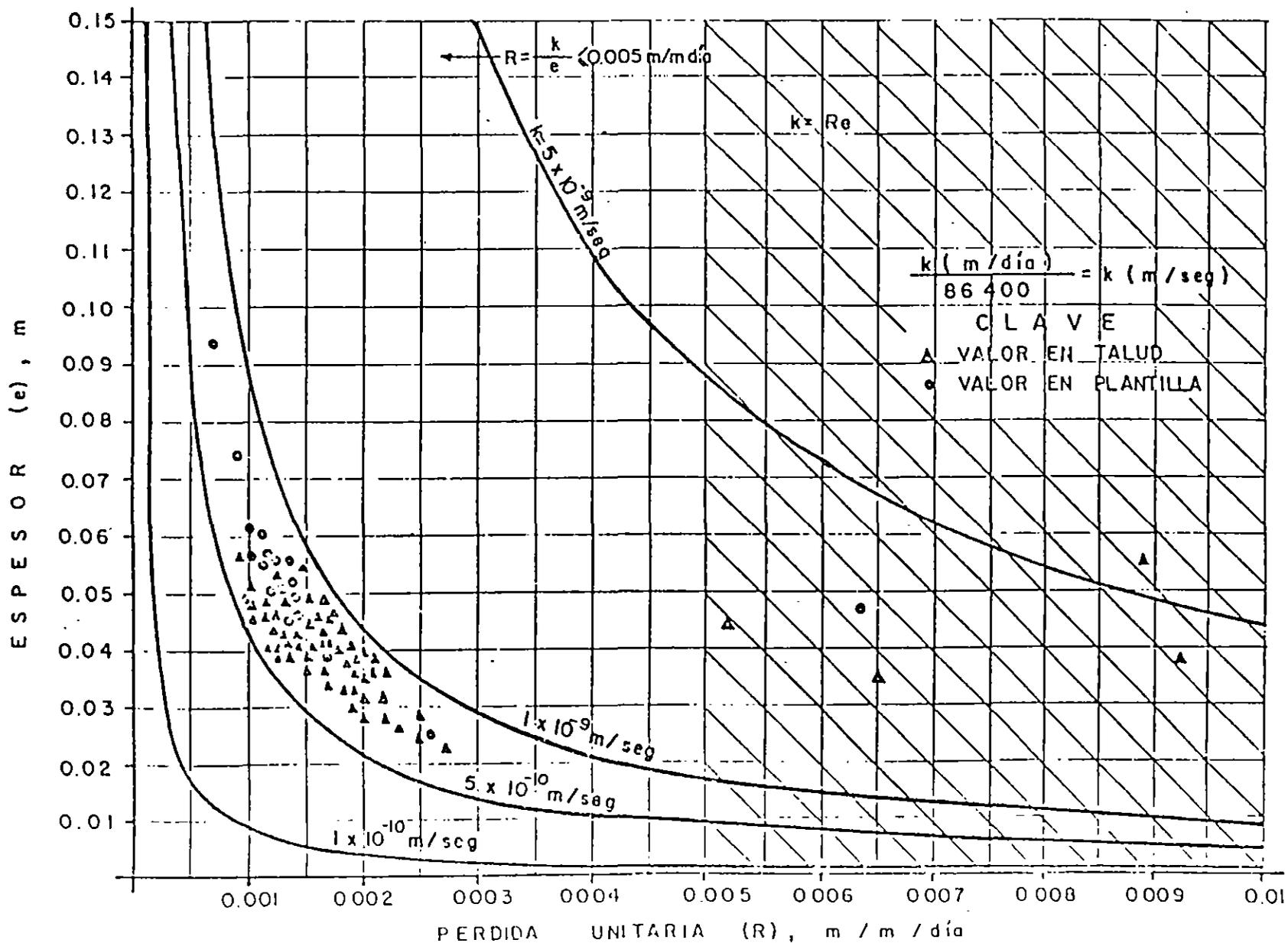
- Condiciones del terreno de apoyo
- Temperatura de la mezcla: en los camiones, después del tendido y antes del rodillado (tanto en la parte continua como en las juntas)
- Control de espesor de la mezcla suelta
- Posición de las juntas (traslapo entre capas)
- Velocidad del tendido y rodillado
- Tratamiento de las juntas
- Control en la colocación de los colectores de drenaje

c) Control de la ejecución

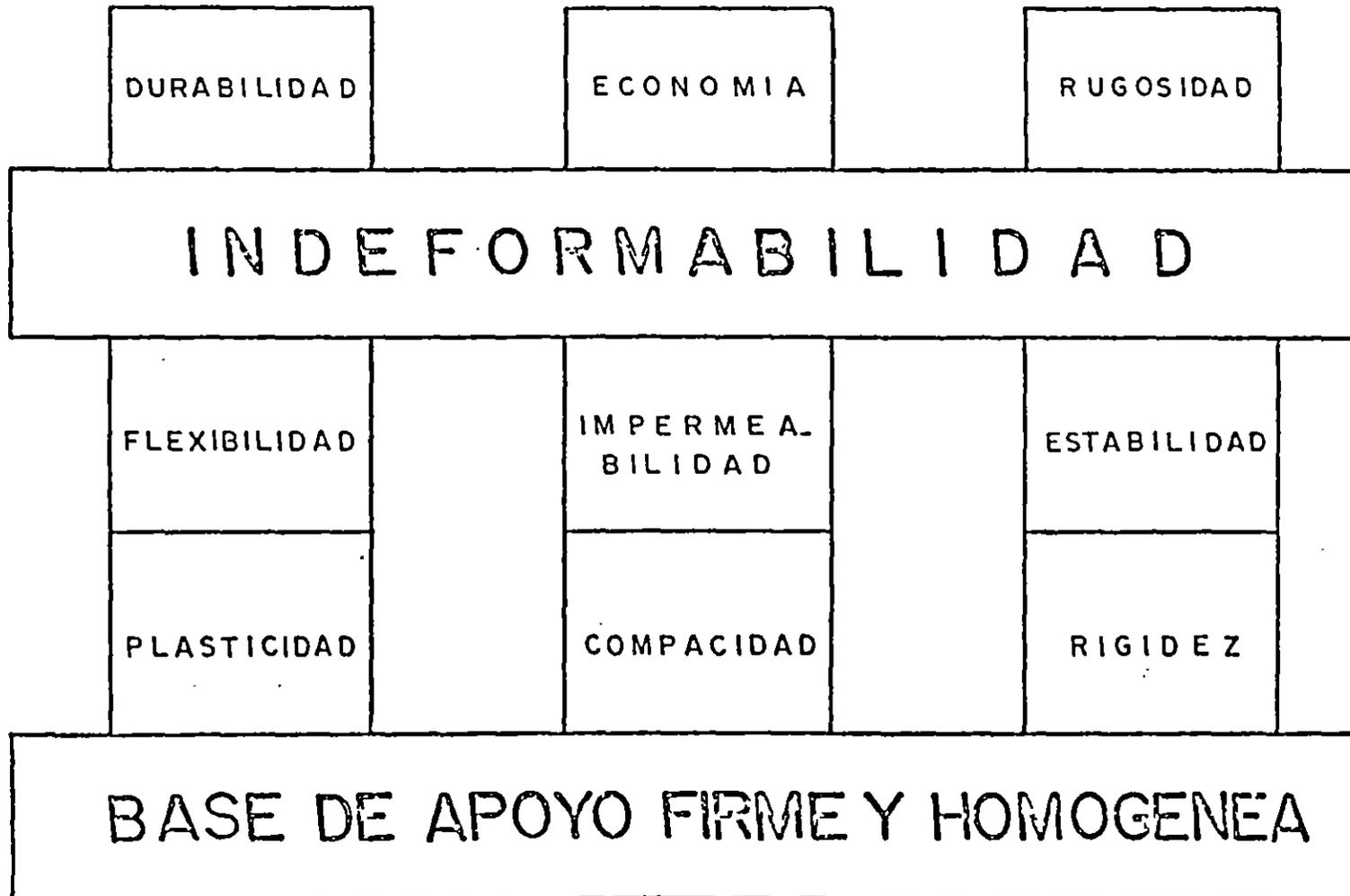
Sobre los "corazones" extraídos de la capa impermeable endurecida, se procederá a las siguientes mediciones:

- Espesor
- Permeabilidad
- Compacidad

CARTA DE CONTROL: CAPA IMPERMEABLE

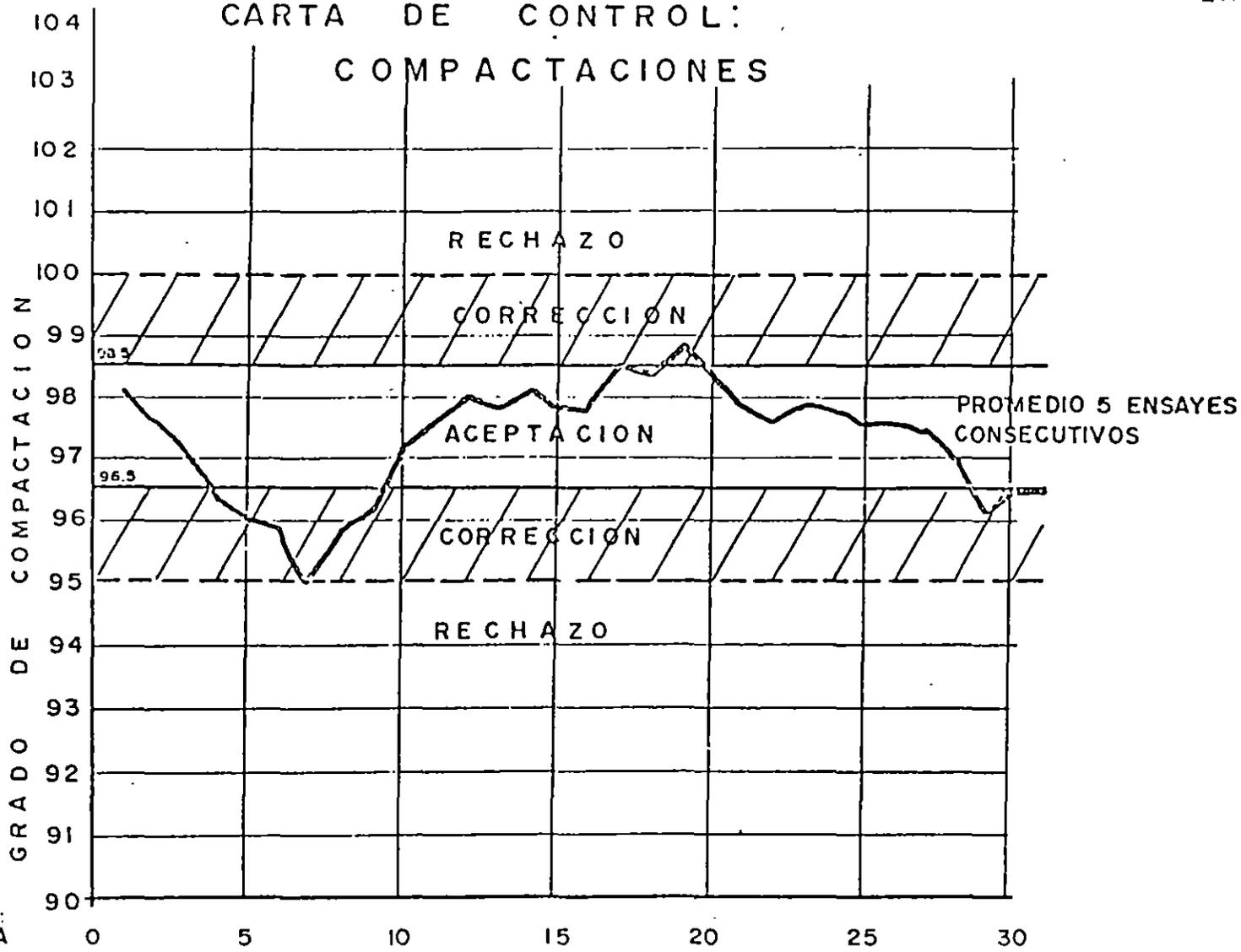


PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA UNA AEROPISTA



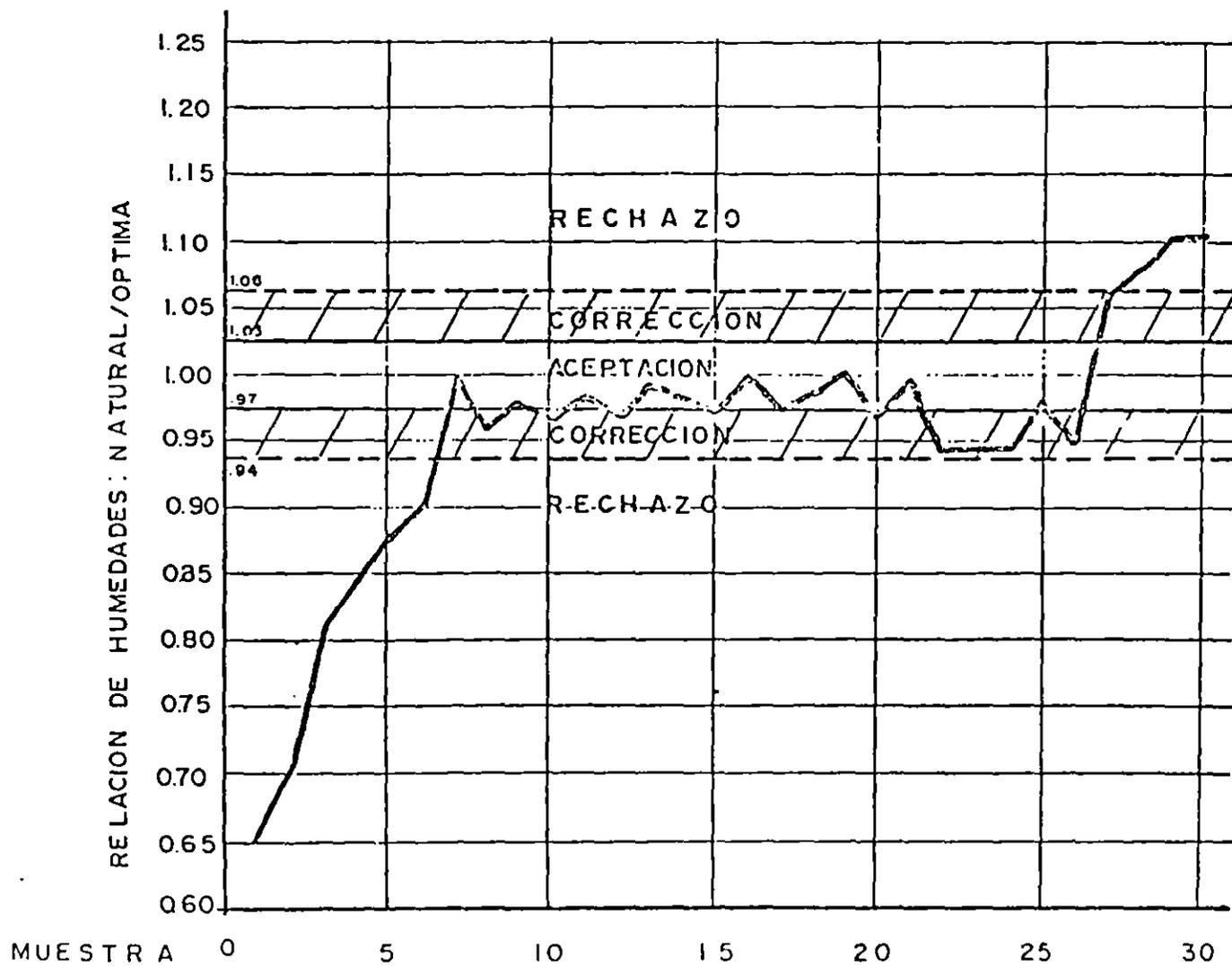
- ESTABILIDAD VOLUMETRICA POR CAMBIOS DE HUMEDAD, SUBDRENAJE
- RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD BAJO ESFUERZOS REPETIDOS

CARTA DE CONTROL: COMPACTACIONES

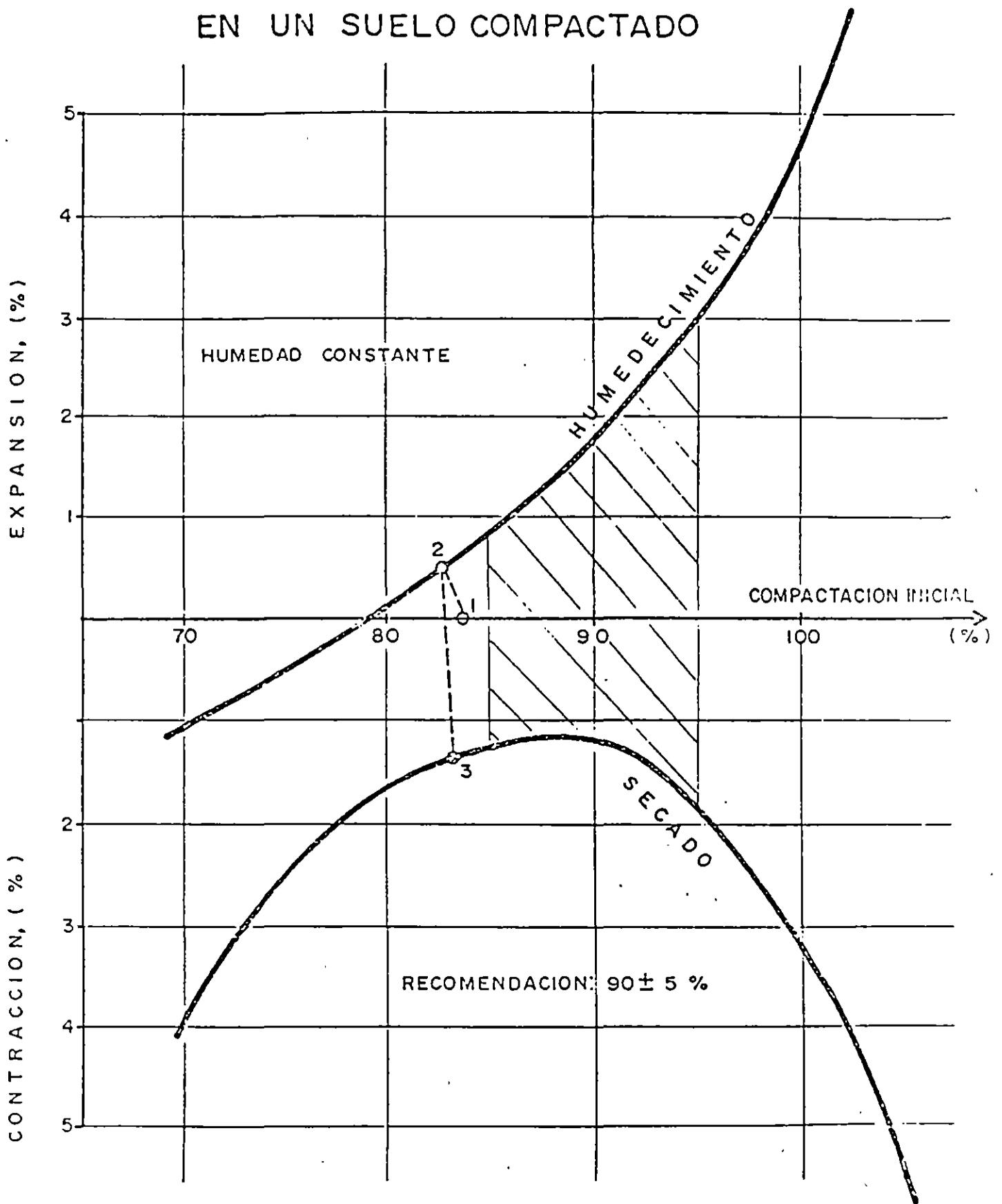


MUESTRA

CARTA DE CONTROL: HUMEDADES



CAMBIOS VOLUMETRICOS EN UN SUELO COMPACTADO



$$C = C(S_s, w, G_w)$$

$S_s =$ Peso específico relativo de los sólidos = 2.20

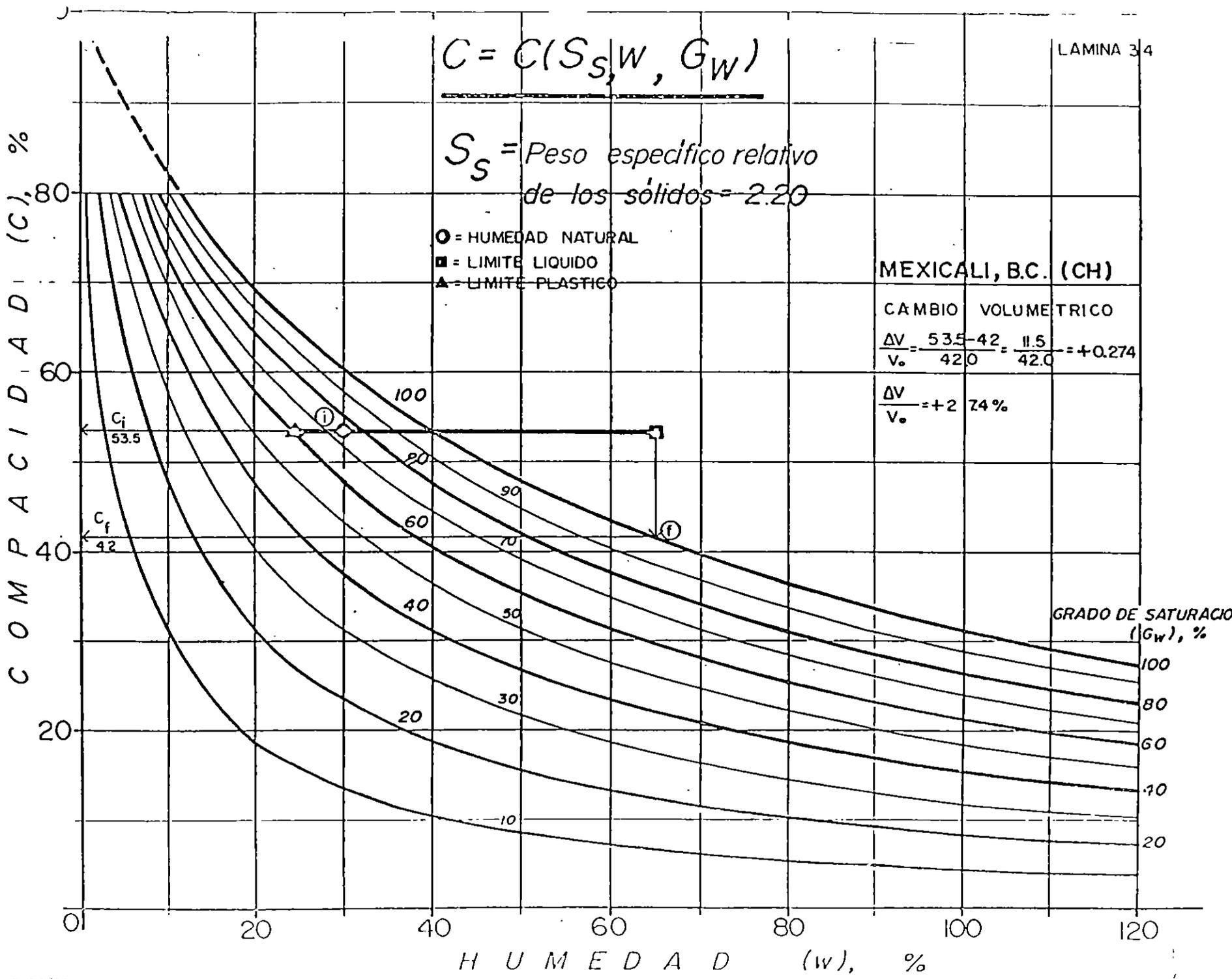
- = HUMEDAD NATURAL
- = LIMITE LIQUIDO
- ▲ = LIMITE PLASTICO

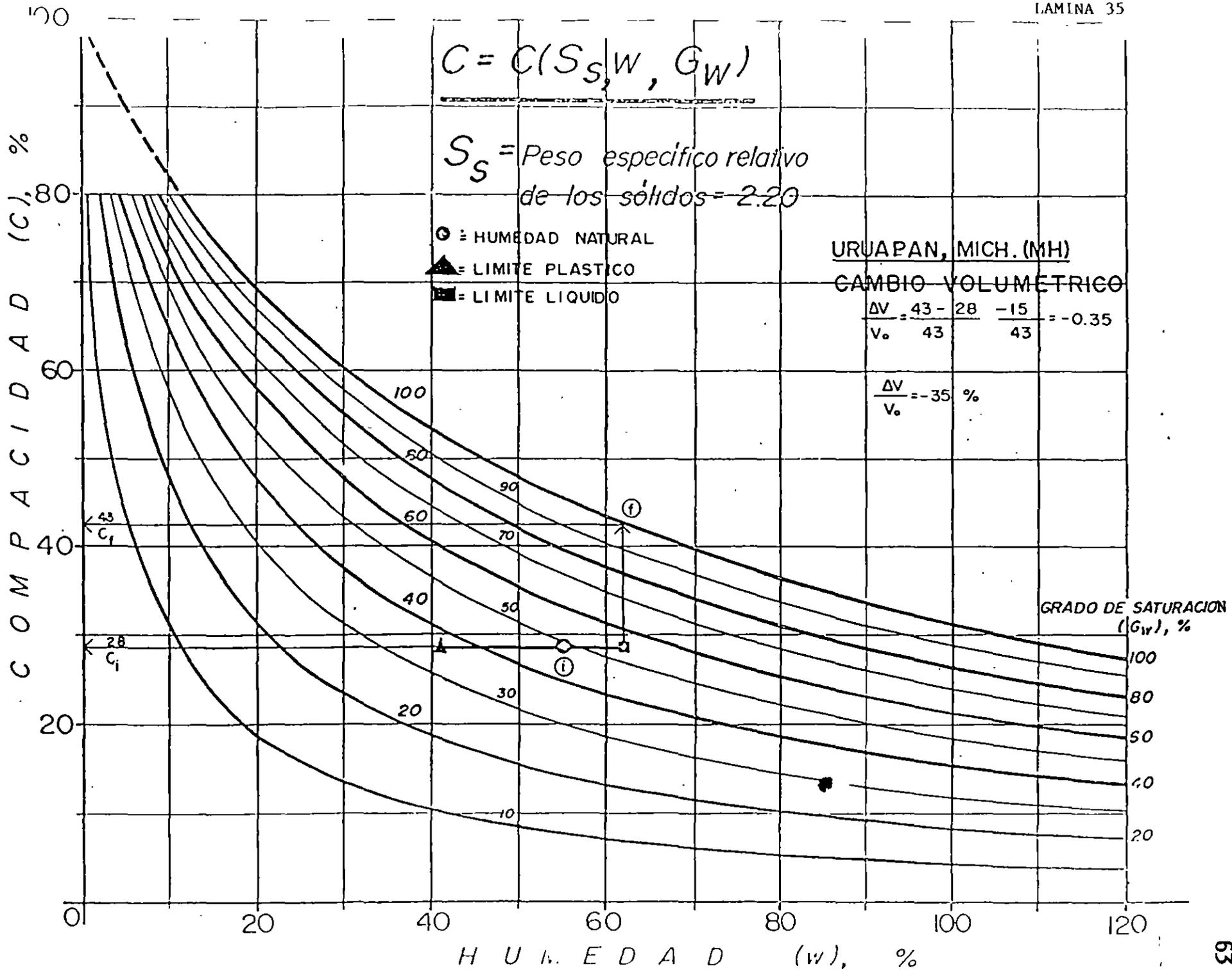
MEXICALI, B.C. (CH)

CAMBIO VOLUMETRICO

$$\frac{\Delta V}{V_o} = \frac{53.5 - 42}{42.0} = \frac{11.5}{42.0} = +0.274$$

$$\frac{\Delta V}{V_o} = +274\%$$



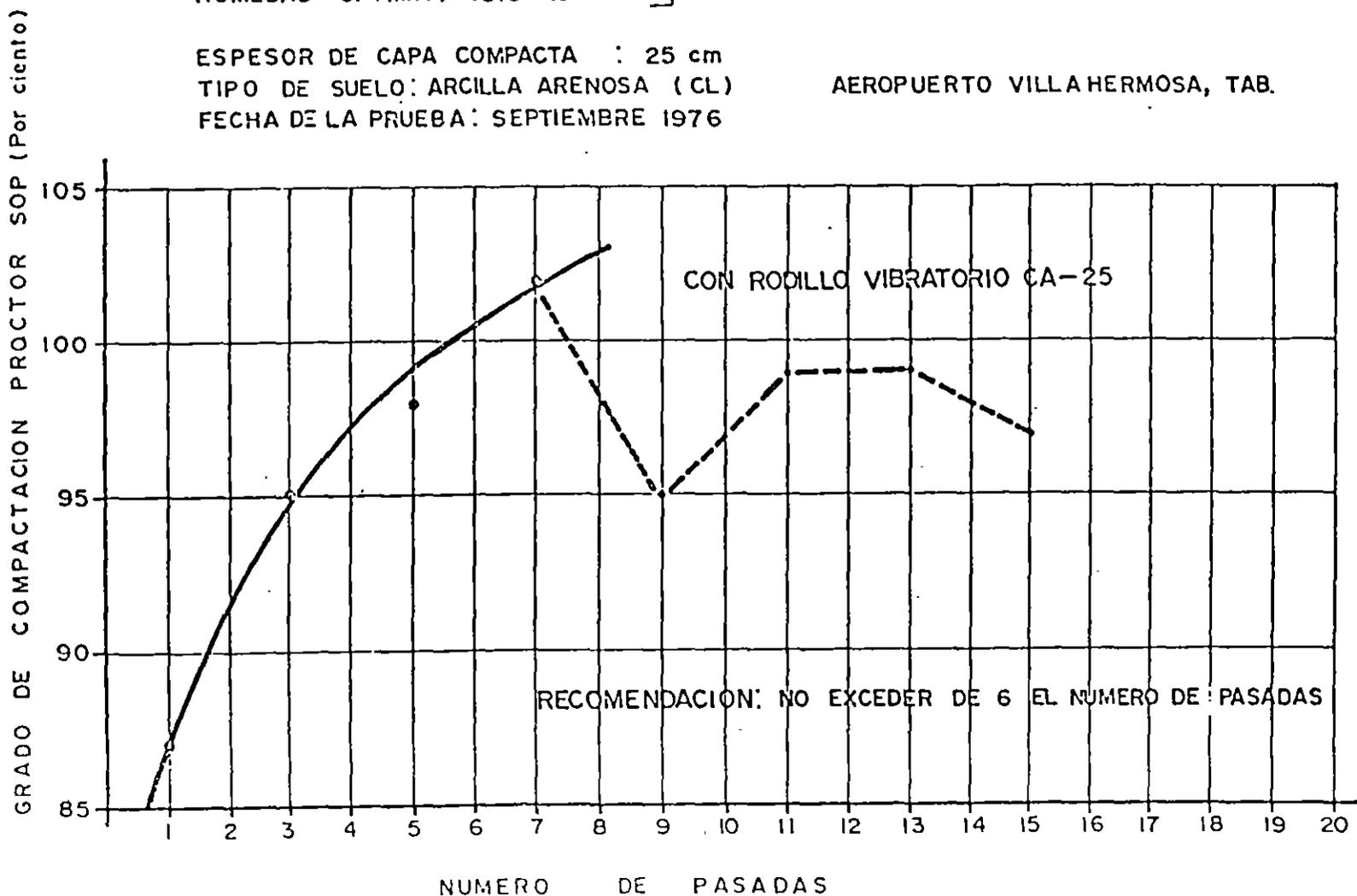


TRAMO DE PRUEBA EN CAPA SUBRASANTE

HUMEDAD INICIAL : 15.5 ± 1.5 % }
 HUMEDAD OPTIMA : 18.5 % } RELACION DE HUMEDAD = $\frac{15.5}{18.5} = 0.84$

ESPESOR DE CAPA COMPACTA : 25 cm
 TIPO DE SUELO : ARCILLA ARENOSA (CL)
 FECHA DE LA PRUEBA : SEPTIEMBRE 1976

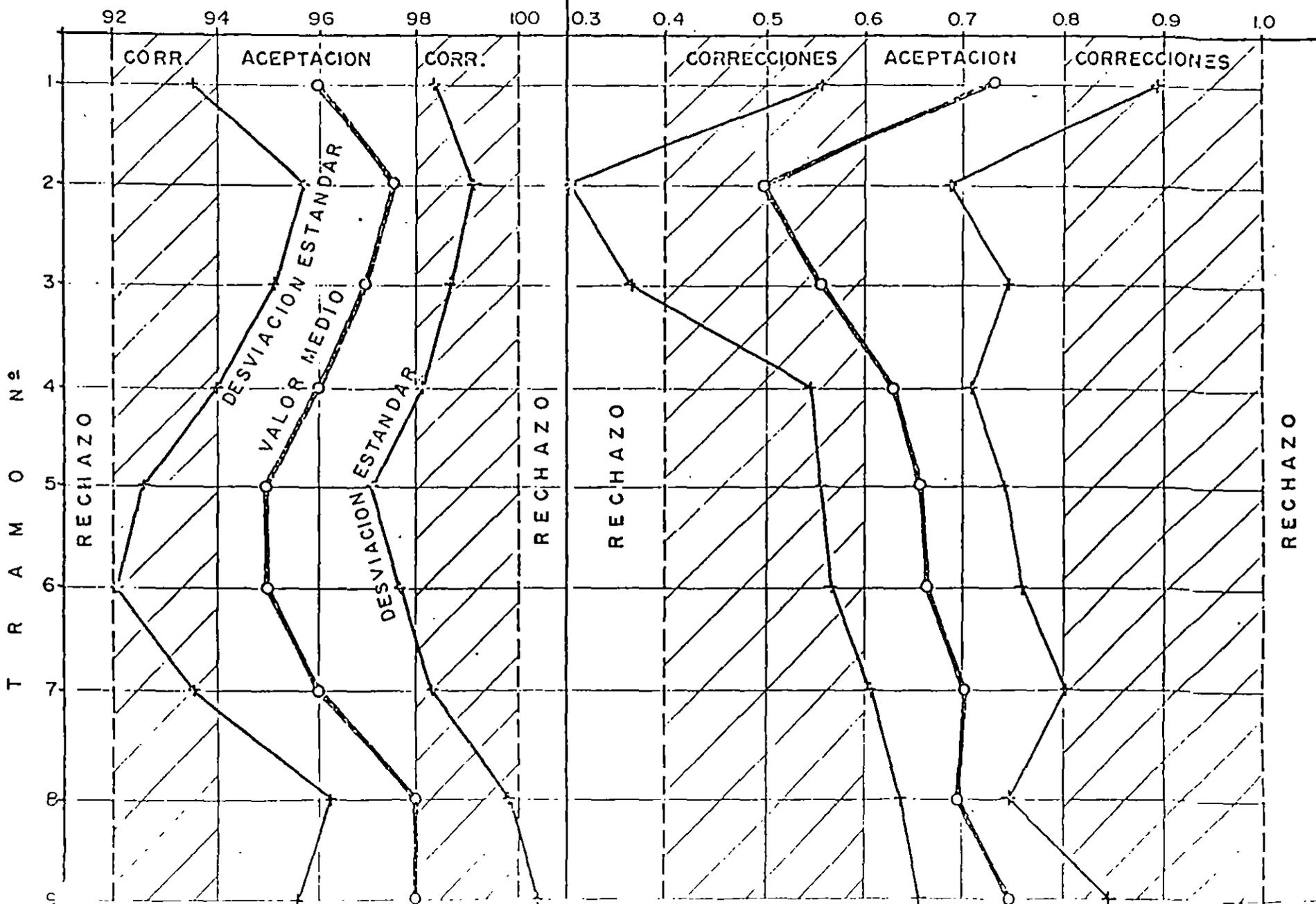
AEROPUERTO VILLA HERMOSA, TAB.



CARTA DE CONTROL: CAPA SUBRASANTE LAMINA 37

COMPACTACION, %

RELACION DE HUMEDAD



ASOCIACION MEXICANA DE CAMINOS
SEMINARIO SOBRE COMPACTACION DE SUELOS

"CRITERIOS BASICOS DE CONTROL DE CALIDAD"

M. I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO

Gerente de Geotecnia y Control de Calidad

COCONAL

CRITERIOS BASICOS DE CONTROL DE CALIDAD

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
1 INTRODUCCION	1
2 ESTIMACION DE CAMBIOS VOLUMETRICOS	2
2.1 Generalidades	2
2.2 Medida de la compactación	2
2.2.1 Grado de compactación	2
2.2.2 Concepto de compacidad	3
2.3 Criterios para estimar cambios volumétricos	6
2.3.1 Caso de suelos inalterados	6
2.3.2 Caso de suelos compactados	7
3 CONTROL DE CALIDAD EN SUELOS COMPACTADOS	9
3.1 Generalidades	9
3.2 Criterios para seleccionar la compacidad y la humedad iniciales	10
3.3 Relación entre proyecto y control de calidad	11
4 ETAPAS RECOMENDABLES EN EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE UNA OBRA DE TIERRA	12
5 REFERENCIAS	14
TABLAS	
LAMINAS	

La propiedad más significativa del revestimiento asfáltico es la impermeabilidad, cuyo valor máximo corresponde a la máxima compactación del concreto asfáltico, con la cual se presenta todavía una manejabilidad adecuada de la mezcla asfáltica. Asimismo, se debe evitar simultáneamente la presencia de grietas o fisuras, causadas principalmente por la falta de flexibilidad o de estabilidad en el talud del concreto asfáltico

La flexibilidad del concreto asfáltico está íntimamente ligada a la plasticidad de la mezcla durante su "rodillado". En cambio, la estabilidad del concreto asfáltico en el talud es función, básicamente, de la rigidez del concreto asfáltico "endurecido". Por lo tanto, se debe lograr un equilibrio entre la plasticidad y la rigidez, considerando la compactación exigida y las restricciones económicas.

La impermeabilidad está también relacionada con la resistencia a la erosión. Este parámetro, a su vez, depende de la rigidez del concreto asfáltico.

La durabilidad del revestimiento asfáltico está sujeta a las limitaciones económicas y es un parámetro tan importante como la impermeabilidad.

Proyecto de la Capa Impermeable

Una vez que se conoce el valor de la pérdida unitaria por infiltración (R), se procede a determinar el espesor de la capa impermeable (e). El valor del coeficiente de permeabilidad (k) de esta capa es función de las propiedades del concreto asfáltico, así como de la temperatura (T_r) y la presión (p_r) de "rodillado" de la mezcla asfáltica. El grado de impermeabilidad especificado es función directa de k y e , siempre y cuando no se presenten grietas ni fisuras, debidas esencialmente a la heterogeneidad en la calidad de las terracerías. Estas discontinuidades se evitan por medio de la construcción de una base. Otra causa importante del agrietamiento es la falta de fricción interna del concreto asfáltico en el talud; esto ocasiona el escurrimiento (fluencia o flujo plástico) de la capa impermeable, que origina la formación de grietas, cuya abertura aumenta con el tiempo.

El coeficiente de permeabilidad también está relacionado con la porosidad del concreto asfáltico:

$$k = f(n) \quad (2)$$

en donde:

k = coeficiente de permeabilidad de la capa impermeable, m/día;
 n = porosidad.

Por otra parte, la porosidad puede expresarse en función de la compacidad:

$$n = 1 - C \quad (3)$$

en donde:

C = compacidad.

Por lo que, para un grado de permeabilidad especificado, se puede establecer una compacidad equivalente. Es muy probable que se presenten grietas y fisuras en el talud cuando la compacidad es baja (o la porosidad es alta). Asimismo, el agrietamiento en el talud también es causado por la baja plasticidad de la mezcla asfáltica durante el "rodillado", la cual se origina por la escasez de finos y/o de cemento asfáltico, así como por una temperatura de la mezcla asfáltica demasiado baja. Adicionalmente, se puede agregar dentro de estos factores, el exceso de peso en los rodillos. En resumen, la compacidad del concreto asfáltico de la capa impermeable depende, principalmente, de los parámetros indicados en la siguiente ecuación:

$$C = f(C_a, C_f, T_r, p_r) \quad (3)$$

en donde:

C_a = contenido de cemento asfáltico;

C_f = contenido de finos;

T_r = temperatura de "rodillado";

p_r = presión de "rodillado".

En el caso del canal "Independencia", se fijaron los siguientes valores de los parámetros de proyecto:

$T_r = 140 \text{ }^\circ\text{C}$;

$p_r = 15 \text{ kg/cm}^2$;

$C > 97\%$;

$k < 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$.