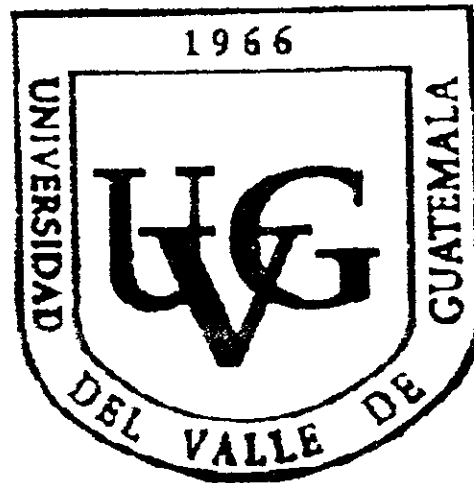


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil



USO DEL HORMIGON COMPACTADO CON RODO
COMO PAVIMENTO EN GUATEMALA


ALVARO MAYORGA GIRÓN

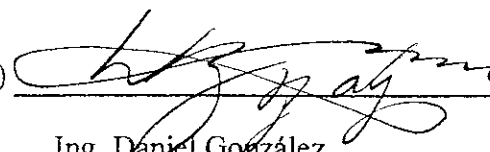


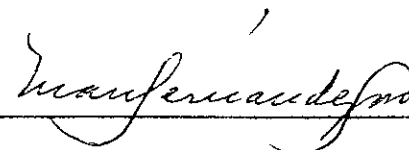
Trabajo de graduación presentado para optar al grado académico de Licenciatura en
Ingeniería civil

GUATEMALA
1992

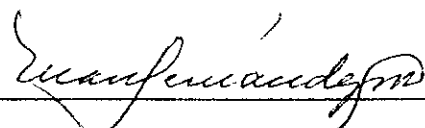
Tribunal Examinador

(f.) 
Ing. Franklin Matzdorf

(f.) 
Ing. Daniel González

(f.) 
Ing. Manuel Fernández

VoBo. Asesor

(f.) 
Ing. Manuel Fernández

Ciudad de Guatemala noviembre de 1992

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

USO DEL HORMIGON COMPACTADO CON RODO
COMO PAVIMENTO EN GUATEMALA

ALVARO MAYORGA GIRÓN

GUATEMALA
1992

CONTENIDO

RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. MATERIALES USADOS EN EL H.C.R.	4
A. Cemento y puzolana	4
B. Agregados	8
C. Aditivos	14
D. Agua	15
III. DISEÑO DE MEZCLAS PARA H.C.R.	16
A. Criterios de diseño	16
B. Diseño de proporciones	19
C. Diseño de espesores	20
D. Detalles del diseño	21
IV. CONSTRUCCION CON H.C.R.	24
A. Proceso de construcción	24
1. Planta mezcladora y procesos	24
B. Colocación del H.C.R.	31
1. Espesor de capas	41
C. Compactación	41
D. Curado	47
E. Calidad superficial	50

F. Control de calidad	51
V. USO DEL H.C.R. COMO PAVIMENTO EN GUATEMALA	53
A. Estudio preliminar para usar el H.C.R. en el acceso a la planta Cementos Progreso S.A. y HORCALSA en zona 6, Ciudad de Guatemala.	53
B. Diseños finales de mezclas para el proyecto.	114
C. Construcción del proyecto con H.C.R.	135
1. Maquinaria utilizada en el proyecto	135
2. Construcción del proyecto	143
D. Resultados del Proyecto	146
1. Ensayos de resistencia	146
2. Reporte de las densidades de compactación en los tramos construidos con H.C.R.	161
3. Lectura de deflexiones (Viga Benkelman)	169
E. Reporte de observaciones de los tramos construidos con H.C.R.	172
1. Tramo 0+000 - 0+225	172
2. Tramo 0+225 - 0+326	175
3. Acceso Norte Estadio C.F. Novella	177
4. Parqueo de oficinas principales	177
VI. CONCLUSIONES	181
VII. RECOMENDACIONES	183
VIII. BIBLIOGRAFIA	186

RESUMEN

El siguiente trabajo es un estudio de la utilización del Hormigón Compactado con Rodo (H. C. R.) como pavimento en Guatemala.

El trabajo se divide en dos partes principales. En la primera parte se dan las generalidades del H.C.R. como pavimento en sí: materiales, diseño y construcción. En la segunda parte se presenta el estudio completo del uso del H.C.R. como pavimento en un proyecto realizado en el acceso a la planta Cementos Progreso S.A. y Horcalsa en zona 6, Ciudad de Guatemala.

I. INTRODUCCION

En 1935 comenzó el uso de bases con suelo-cemento en carreteras cuando se estabilizaron bases de roca triturada con un porcentaje relativamente pequeño de cemento. Surgió así el término base estabilizada con cemento (cement treated base, C.T.B.). Sin embargo, estos materiales tratados con cemento presentan el problema que se les debe proteger contra la abrasión del tránsito por medio de la colocación de materiales asfálticos en su superficie.

Nació entonces, años después, el hormigón compactado con rodo (H.C.R.), que difiere principalmente del suelo-cemento o base estabilizada con cemento en que tiene un contenido más alto de cemento y está diseñado para proveer resistencias a la flexión y a la compresión considerablemente mayores y, por lo consiguiente, no requiere tratamientos superficiales con materiales asfálticos para protegerlo de la abrasión del tránsito.

El H.C.R. es una mezcla de agregados, conglomerante y agua con una consistencia seca ó "no-slump", que es colocado en obra como suelo-cemento o como concreto asfáltico y luego compactado o consolidado con rodo vibratorio de hierro o rodo neumático. Cuando estas técnicas de construcción son usadas, el H.C.R. puede ser hasta un 30% más económico que un pavimento de asfalto de diseño equivalente. A pesar que su concepto y tecnología son relativamente nuevas, este sistema ha probado ser efectivo en su costo en muchos proyectos de otros países. Su resistencia es similar

e incluso mayor que la de un pavimento de concreto convencional, alcanzándose así resistencias a la compresión de hasta 5,800 libras por pulgada cuadrada, y a la flexión de 620 libras por pulgada cuadrada.

La capacidad portante inmediata que se consigue con este material se debe a la gran estabilidad del esqueleto mineral formado por los agregados, una vez que el material ha sido compactado. Esta es una gran ventaja del hormigón compactado con rodo, pues permite una apertura rápida al tránsito, que es un factor importante en el caso de obras urbanas en las cuales el tiempo de cierre de una calzada puede ser crítico o en el caso de refuerzo de la capa de rodadura de una carretera, dada la poca disponibilidad que existe en general para poder desviar el tránsito por trayectos alternos.

Lógicamente, hoy en día el H.C.R. presenta también algunas limitaciones: quizás la más importante es la insuficiente regularidad superficial conseguida con los medios de colocación tradicionales que obliga, en casos con tránsito importante o con velocidad de circulación alta, a la utilización de maquinaria moderna específica para la construcción de este pavimento, o cubrir la superficie del hormigón con una capa de rodadura de mezcla bituminosa de varios centímetros de espesor.

Sólo en vías de baja intensidad de tránsito, que tienen en general asociada una velocidad de circulación reducida, la regularidad superficial resultante y el acabado

superficial antideslizante, producido mediante la compactación mecánica, es suficiente para garantizar la comodidad y la seguridad del usuario.

Otro inconveniente que presenta la utilización de este material es la notable sensibilidad de su resistencia a pequeñas variaciones de densidad en el proceso de su colocación en la obra. Por este motivo, es muy importante asegurar la compactación adecuada del material con un número suficiente de pasadas de los rodillos vibratorios y hacer chequeos para que la densidad mínima exigida se haya alcanzado.

El desarrollo del hormigón compactado con rodo (H.C.R.), como pavimento de servicio pesado, ha avanzado muchísimo en un período de tiempo relativamente corto. Su desarrollo en los Estados Unidos de América se encuentra aún en una etapa temprana y la industria mundial apenas empieza a conocer el proceso. En Guatemala, el H.C.R. es un pavimento poco conocido y no fue sino hasta 1991 cuando se probó por primera vez de manera práctica en un proyecto.

II. MATERIALES USADOS EN EL H.C.R.

A. Cemento y puzolana

El agente que actúa como aglomerante exclusivo en el hormigón compactado con rodo en aplicaciones de construcción de carreteras, es casi siempre el cemento Portland convencional.

En un principio el tipo de cemento más utilizado era el multi-propósito o ASTM Tipo I; sin embargo, el uso de cemento Portland de baja temperatura o ASTM Tipo IV se ha ido incrementando, pues da un mayor tiempo para el acabado y la compactación. Este cemento es más lento en alcanzar su resistencia y además reduce los esfuerzos provocados por la temperatura durante la hidratación cuando se compara con el ASTM Tipo I, presentando como única desventaja que no puede ser expuesto al tránsito tan rápido como el primero.

Existen investigaciones que se llevan a cabo continuamente para estudiar más a fondo el uso del cemento Tipo IV y del cemento Portland puzolánico ASTM Tipo IP como aglomerante en el H.C.R.; y de los efectos cuando son sometidos a tránsito inmediato. Otros estudios tratan de determinar la cantidad exacta de aglomerante a utilizarse y de su composición, incluyendo en él escorias de sílice y cenizas volátiles (Clase F). Los resultados de estos estudios pueden ser explicados parcialmente como un resultado de las siguientes propiedades:

- La cantidad de agua presente en el concreto es importante para la hidratación del cemento. Debido al poco contenido de agua en el concreto compactado con rodo vibratorio, la hidratación del cemento disminuye rápidamente por el proceso de auto-disecación. De aquí que en muchos de los ensayos no se utilice curado con agua, sino que sellado con emulsión asfáltica.
- Las reacciones puzolánicas necesitan la presencia de agua. Con la poca cantidad de agua disponible no les es posible reaccionar a las cenizas volátiles. Por otro lado, las escorias de sílice, más aptas para reaccionar, sí tienen reacción con el agua.

De lo anterior se deduce que el empleo de cenizas volátiles en el H.C.R. no es recomendable, y sí es permitido agregar al aglomerante hasta un 10% de escorias de sílice acompañadas de un dispersante para asegurar homogeneidad.

El uso de la puzolana en el H.C.R. es una forma efectiva de aumentar el volumen de la pasta para proveer mayor cantidad de materiales finos que ayudarán en la compactación. Los niveles de puzolana, principalmente cenizas volátiles Clase F o Clase C, han alcanzado desde un 20 hasta un 40% en el contenido total del cemento. Estos niveles altos de cenizas volátiles han servido incluso para reemplazar un porcentaje de los finos en la mezcla del H.C.R. y han ayudado bastante en la compactación.

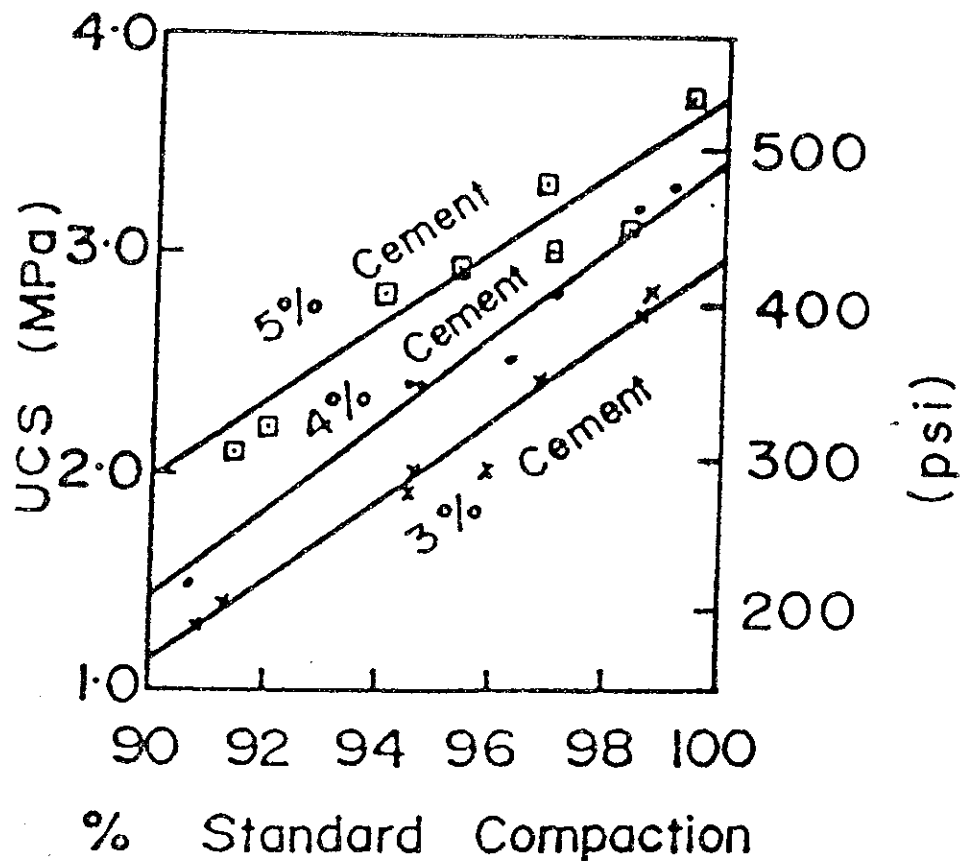
El contenido de cemento en pavimentos cementados es, actualmente, fijado por pruebas de laboratorio para esfuerzos de compresión no confinada, efectuadas en ensayos o testigos compactados al 100% y usando el método standard de densidad seca relativa.

El contenido de cemento empleado es el que da por lo menos un esfuerzo de compresión no confinada de 3 MPa o 435 libras por pulgada cuadrada (psi), después de un curado de 7 días. A lo anterior es recomendable sumar un 0.5% por variabilidad encontrada en el campo.

Se puede utilizar así desde un 3% hasta un 4% de cemento por masa seca para gravas con buena granulometría o piedra triturada con plasticidades bajas; y desde un 5% hasta un 6% para materiales con granulometrías pobres y finos con plasticidades considerables.

Un ejemplo de los efectos sobre los esfuerzos de compresión no confinada, que ejerce la variación del contenido de cemento y las densidades, está ilustrado en la Gráfica No. 1, para H.C.R. producido con gravas y buena granulometría.

GRAFICA No. 1



RELACION ENTRE ESFUERZO
DE COMPRESION NO CONFINADA,
CONTENIDO DE CEMENTO Y COMPACTACION

UCS: Esfuerzo de compresión no-confinada
MPa: Mega Pascales

B. Agregado

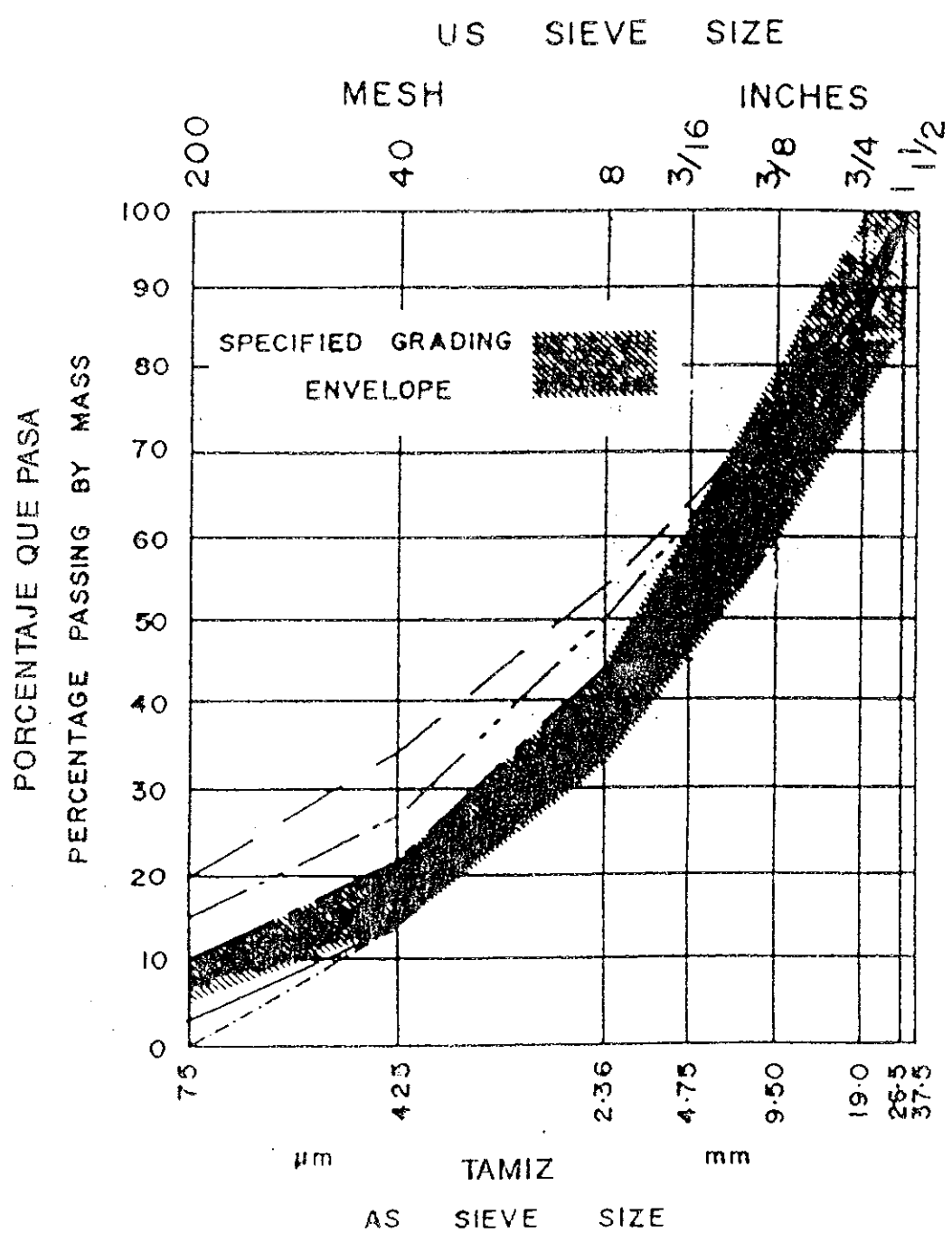
La estabilización con cemento fue originalmente empleada para corregir deficiencias como exceso de finos y alta plasticidad en gravas mal graduadas. Sin embargo, estos materiales tratados con cemento, tienen sólo una fracción de la dureza y rigidez de las bases bien graduadas o gravas de roca triturada cuando éstas son mezcladas con la misma cantidad de cemento. Además, presentan menos problemas en su colocación y compactación.

Es por eso que la tendencia actual es de producir H.C.R. con gravas bien graduadas o de roca triturada para alcanzar los módulos de elasticidad propuestos en el diseño del pavimento.

Los límites de la granulometría de los agregados empleados en el H.C.R. varían para cada proyecto específico; sin embargo, la curva granulométrica generalmente preferida es la presentada en la Gráfica No. 2. El efecto de esta curva granulométrica sobre el esfuerzo de compresión no confinada, el módulo de elasticidad y el esfuerzo de tensión, está ilustrado en las Gráficas No. 3, 4 y 5, respectivamente.

Además de que deben tener una buena curva de granulometría, los agregados tienen que ser estables cuando son sometidos a la vibración de los rodos y contener un rango de finos que pasan el tamiz número 200, comprendido entre el 5 y el 10%.

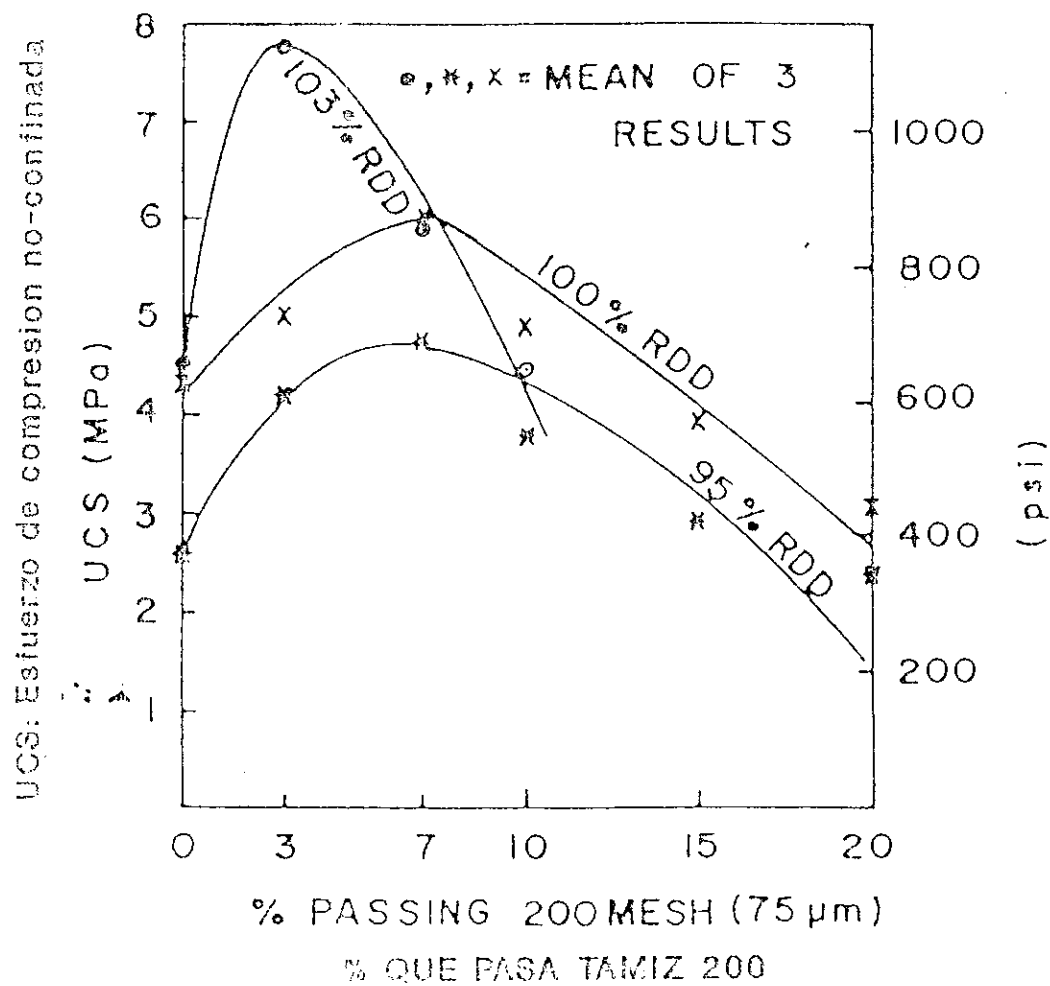
GRAFICA No. 2



CURVA GRANULOMETRICA
EXPERIMENTAL PARA H.C.R.

GRAFICA No. 3

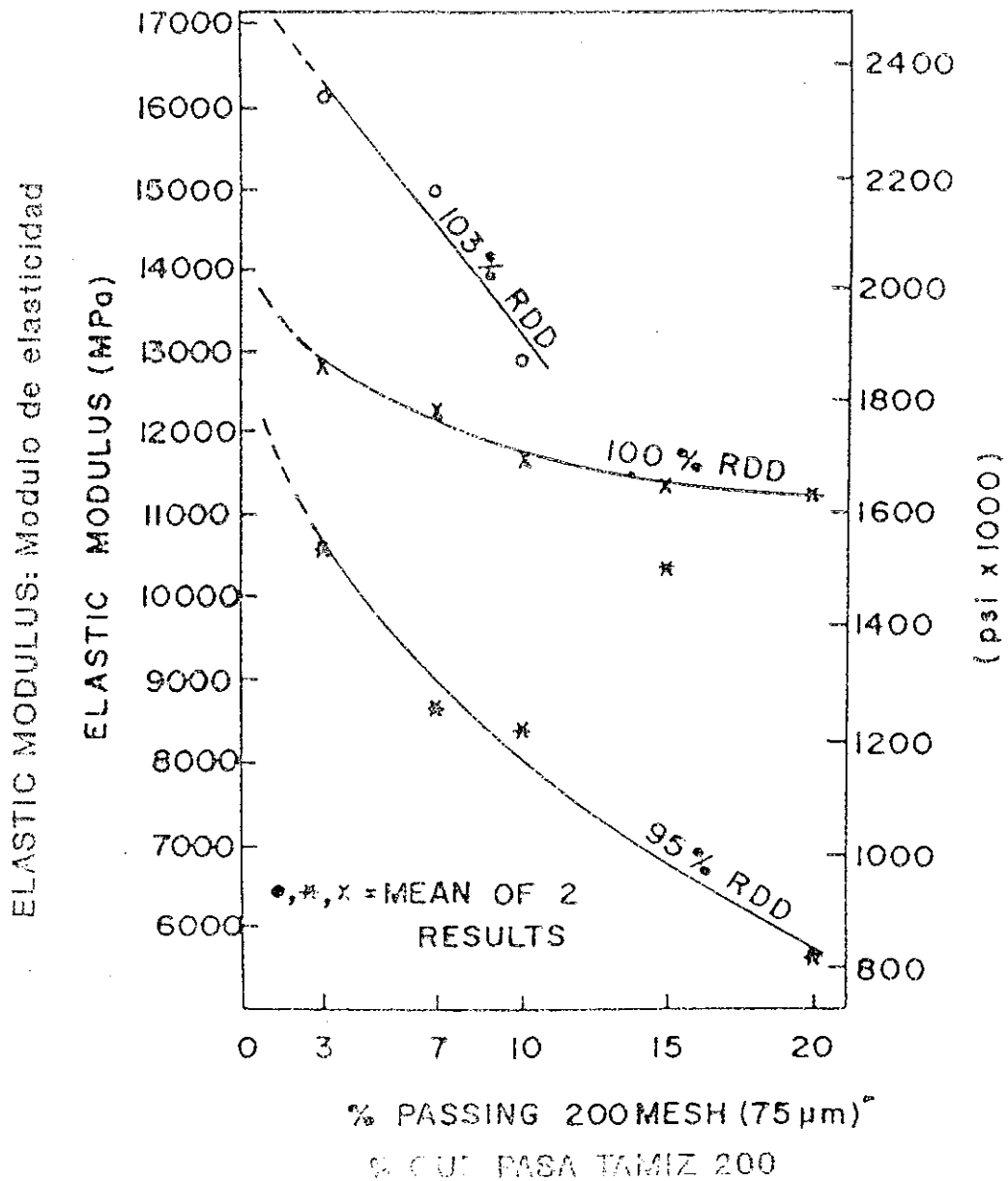
RELACION ENTRE ESFUERZO DE COMPRESION NO CONFINADA A 7 DIAS Y PORCENTAJE DE AGREGADO QUE PASA EL TAMIZ No. 200



MPa: Mega Pascales

RDD: Densidad seca relativa

GRAFICA No. 4

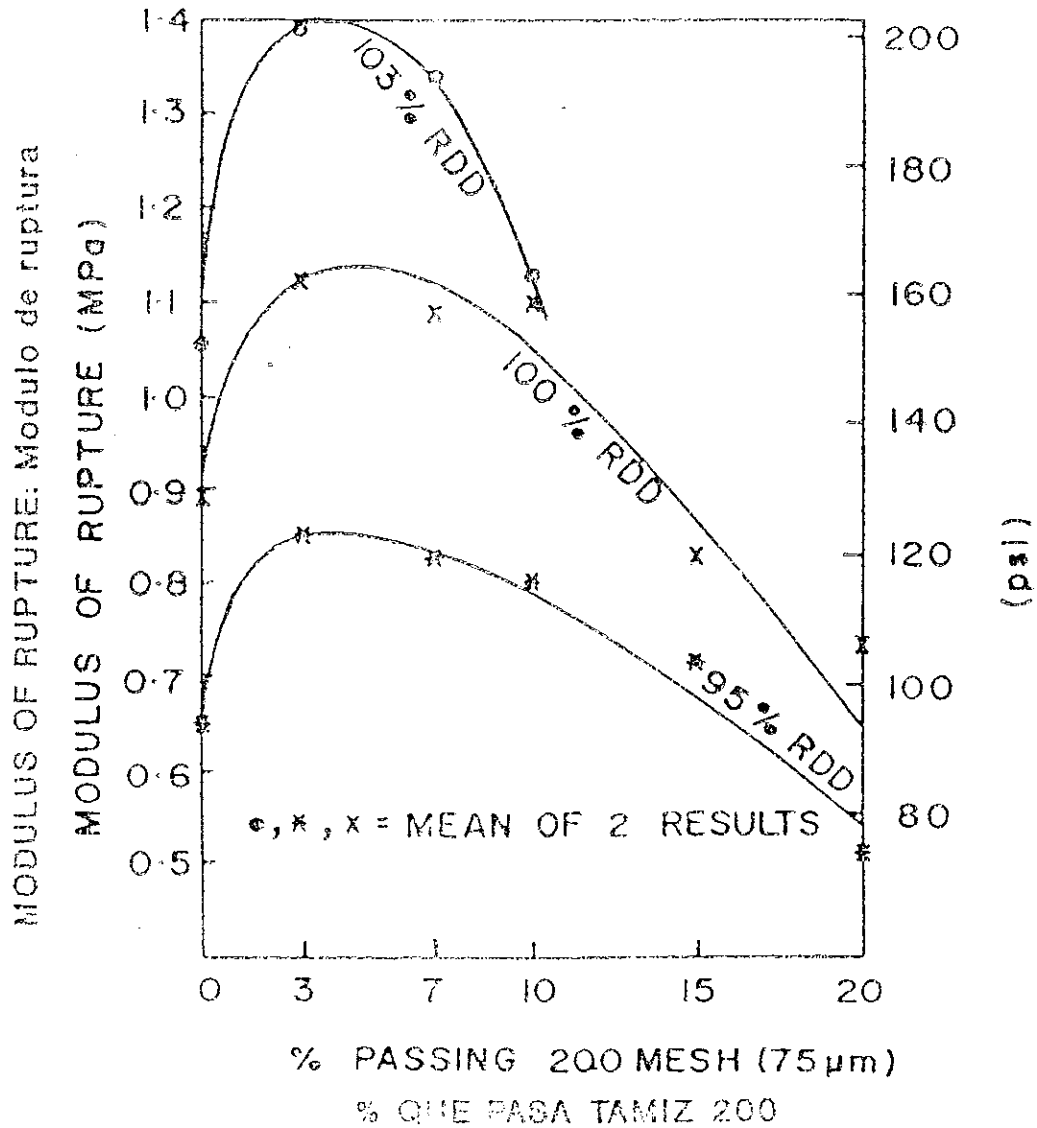


RELACION ENTRE MODULO DE ELASTICIDAD Y
PORCENTAJE DE AGREGADO QUE PASA EL TAMIZ No. 200

Mpa: Mega Pasceles

RDD: Densidad seca relativa

GRAFICA No. 5



RELACION ENTRE ESFUERZO FLEXIONANTE Y
 PORCENTAJE DE AGREGADO QUE PASA EL TAMIZ No. 200

MPa: Mega Pascales

RDD: Densidad seca relativo

Este material fino, no plástico, es excelente como "filler" mineral, ayuda a producir superficies más cerradas y permite la reducción en la cantidad de cemento de la mezcla.

Debido al bajo contenido de agua en las mezclas de hormigón compactado con rodo, el riesgo de que ocurra segregación es considerable. Es por ello que para obtener una superficie impermeable, el tamaño máximo de agregado no debe exceder 1 pulgada. Es también aconsejable, para evitar la segregación, usar un mayor índice de finos que el utilizado en mezclas de concreto convencional.

La utilización de agregados naturales o triturados es aceptada para producir el H.C.R. La grava natural bien graduada necesita menor cantidad de agua y su compactación es más fácil, sin embargo, el riesgo de segregación es considerable. El H.C.R. producido con roca triturada como agregado, tiene menos riesgo de segregación y su capacidad portante es mayor inclusive antes de que el concreto haya alcanzado su máxima resistencia. En algunos casos, esto ha permitido su apertura al tránsito de forma casi inmediata.

El daño que el tránsito hace al H.C.R. cuando este es expuesto inmediatamente, no ha sido determinado en su totalidad. Es así que lo anterior no es recomendable, como se expondrá más adelante en esta investigación.

Es importante también ejercer un control continuo sobre el contenido de agua en los agregados, pues su variación afectará directamente en la superficie del H.C.R.

C. Aditivos

Una gran variedad de aditivos pueden ser usados en las mezclas de H.C.R. y continuamente se llevan a cabo experimentaciones con retardantes para evaluar el comportamiento sobre las mismas.

Estos aditivos son utilizados para permitir un retraso en el proceso de compactación, por ejemplo, si en capas inferiores o intermedias se podría compactar tan sólo una vez, en lugar de capa por capa. O también para evitar las juntas longitudinales.

Un sistema de "inclusión de aire" puede ser logrado a través de aditivos o agentes para auto-aireación, si estos son pre-mezclados con el cemento y con un porcentaje de los agregados gruesos tratados con super-plastificadores, antes de completar la mezcla con el resto de los agregados.

D. Agua

Para que el H.C.R. esté listo para ser compactado por un rodo, tienen que efectuarse constantemente chequeos y estudios preliminares de sus proporciones. Usando una cantidad de aglomerante que corresponda al 14% del peso, casi siempre resultar un contenido de agua desde un 4.8% hasta 5.6% del peso.

El contenido de agua en la mezcla disminuye de forma paulatina debido a la evaporación y a la hidratación del cemento. Por esta razón, el proceso de compactación tiene que estar terminado en un tiempo máximo de 2 horas después de que el H.C.R. fue mezclado, a menos de que se haya utilizado retardantes. Asimismo, en este período de tiempo debiera empezar el curado del hormigón.

III. DISEÑO DE MEZCLAS PARA H.C.R.

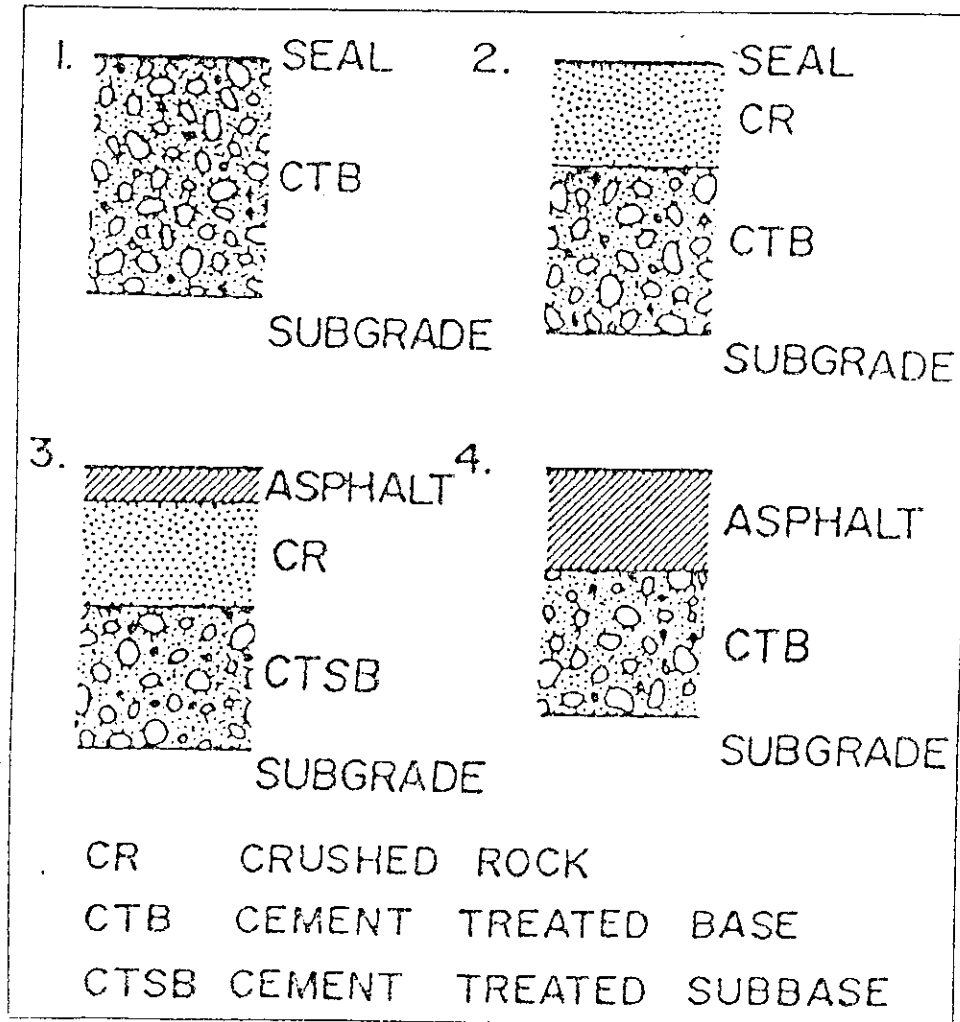
A. Criterios de diseño

Un modelo mecánico pudo haber sido utilizado para desarrollar curvas de diseño de pavimentos que contenían capas "cementadas".

Para adoptar este modelo mecánico, la estructura del pavimento fue considerada como un sistema elástico lineal con capas múltiples, en donde los materiales son caracterizados con un módulo de resiliencia y un módulo de Poisson. Cada capa se asume que es homogénea, isotrópica y de espesor uniforme. La carga vertical es aplicada a través de un sistema de doble rueda, cada una con un área de contacto circular.

Cuatro tipos de modelos para pavimentos típicos conteniendo capas "cementadas" pueden ser investigados para el diseño (Gráfica No. 6). Cada curva de diseño debe ser evaluada para asegurar que es consistente con el rendimiento especificado para pavimentos tratados con cemento. Cada modelo predecirá, entonces, el comportamiento estructural de los pavimentos en una forma aceptable. Como un resultado de estos estudios, se han desarrollado curvas de diseño para los pavimentos mencionados, como las mostradas en la Gráfica No. 7.

GRAFICA No. 6



TIPOS DE PAVIMENTO PARA LOS CUALES
HAY CURVAS DE DISEÑO DISPONIBLES

SEAL: Sello

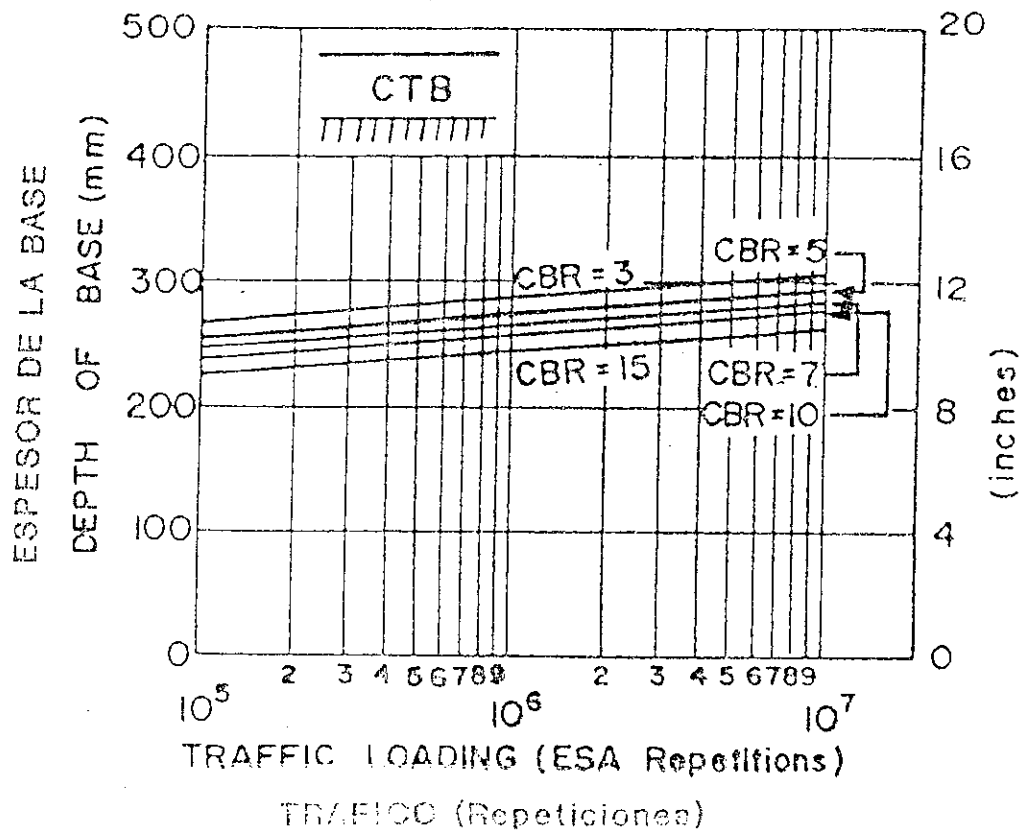
CR: Roca triturada

CTB: Base tratada con cemento

CTSB: Sub-base tratada con cemento

SUBGRADE: Sub-rancho

GRAFICA No. 7



CURVAS DE DISEÑO PARA SECCIONES COMPLETAS
DE BASES TRATADAS CON CEMENTO (C.T.B.)

Es importante hacer notar, sin embargo, que cada proyecto de H.C.R. y de otros pavimentos, tendrá un diseño diferente atendiendo a cada necesidad en particular.

B. Diseño de proporciones

Las proporciones de las mezclas del H.C.R. son hechas, principalmente, con base en la experiencia. Se trata, por lo general, de alcanzar resistencias a la compresión en el orden de 5,000 libras por pulgada cuadrada, y a la flexión, de 600 libras por pulgada cuadrada, como se había mencionado anteriormente.

Los parámetros para proporcionar mezclas de H.C.R. siguen los principios de construcción de las bases tratadas con cemento. Así, el contenido de agua es seleccionado en el fundamento de un porcentaje óptimo de humedad para alcanzar la máxima densidad de compactación. La hidratación del cemento pasa aquí a un efecto secundario de la presencia del agua.

Para la cantidad de cemento, la práctica general es de usar desde un 10 hasta un 15% por peso de la mezcla total.

En los agregados, la tendencia es usar granulometrías con tamaños máximos de hasta 1 pulgada y finos que pasen el tamíz número 200, con un porcentaje que varíe entre el 5 y el 10%.

C. Diseño de espesores

Los parámetros usuales para seleccionar espesores de pavimentos de concreto convencional, también son aplicados al diseño del hormigón compactado con rodo vibratorio. Estos parámetros usualmente son el módulo de reacción, la magnitud de las cargas, la frecuencia con que son aplicadas las cargas, el área de contacto y la resistencia flexionante del concreto ya compactado. En general, se dice que el valor mínimo para el módulo de reacción debe ser aproximadamente 200 lb/pulg^3 , a través del uso de una base si es necesario, para que el pavimento tenga una fundación firme al momento que sea sometido a la vibro-compactación.

Diversos diseños son desarrollados para cada necesidad. Así, por ejemplo, la Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association-PCA) ha sugerido dos procedimientos para el diseño de espesores de concretos sometidos a cargas industriales altas de ruedas. El primer método se usa para obtener el espesor directo de la capa, variando las cargas transmitidas por las llantas y los valores de la sub-rasante. El segundo método determina los esfuerzos máximos del concreto, a través de cargas diversas de ruedas, valores de sub-rasante y espesores de concreto.

Comparando las relaciones de esfuerzos del esfuerzo actual dividido por el módulo de ruptura, es posible seleccionar el espesor adecuado para un frecuencia específica de cargas.

Un ejemplo de espesores equivalentes entre concretos asfálticos y concretos compactados con rodillo, se muestran en las Gráficas No. 8 y 9.

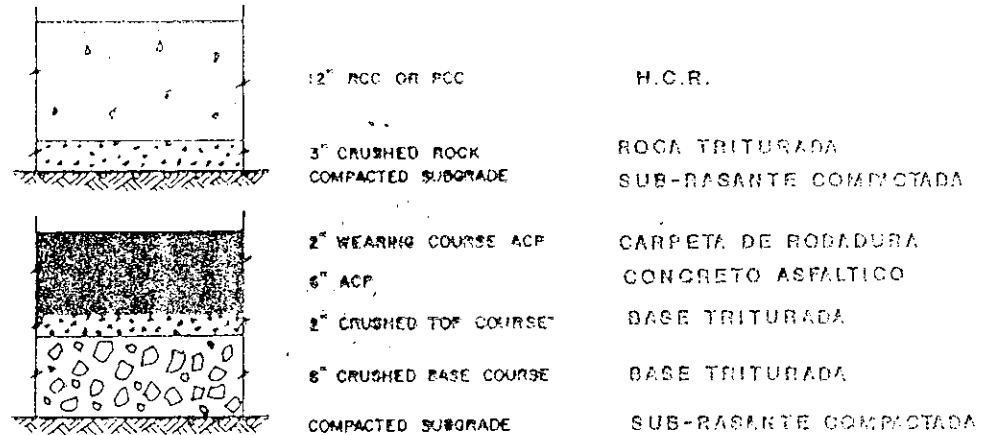
Debido a que la experiencia ha mostrado que las juntas de construcción frías y las juntas de contracción tienden a abrirse, y porque algunos métodos para asegurar la transferencia de cargas en estas aberturas, no han sido desarrollados, el espesor requerido también tiene que determinarse asumiendo condiciones de carga libre en los extremos.

D. Detalles del diseño

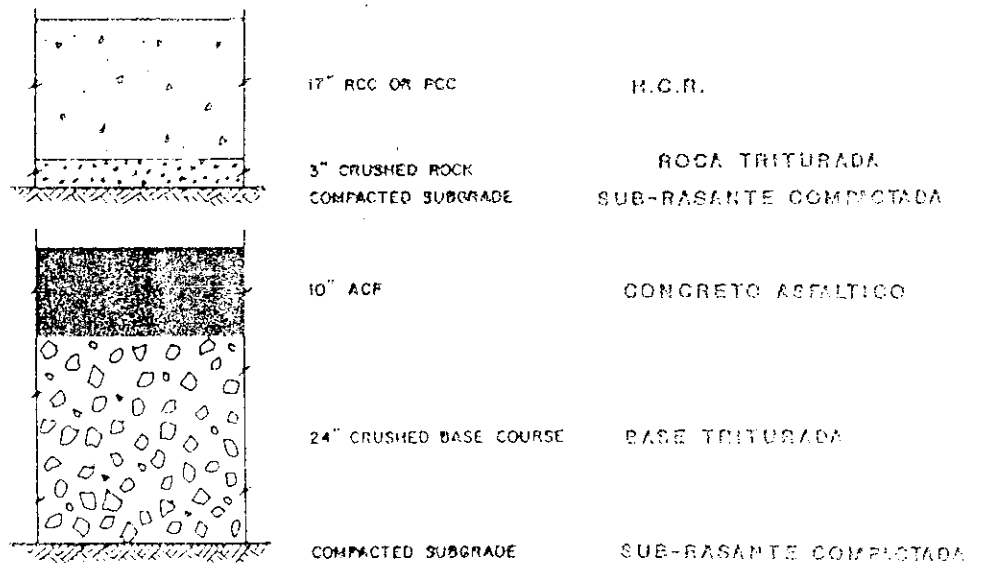
La colocación de bases de por lo menos 3 pulgadas de espesor de roca triturada se ha encontrado que es de mucha ayuda. Sin esta protección bajo el H.C.R., las pavimentadoras, las compactadoras y los camiones de volteo, causarán daños especialmente en sub-rasantes arenosas.

Finalmente, es importante considerar en los diseños que el volumen de compactación del H.C.R. suelto, comparado al de máxima densidad, es cercano al 20% (Coeficiente de contracción). Así, por ejemplo, una capa suelta de 27.0 cms, compactada ser de 21.5 cms.

GRAFICA No. 8



54 KIP WHEEL LOAD PAVEMENT

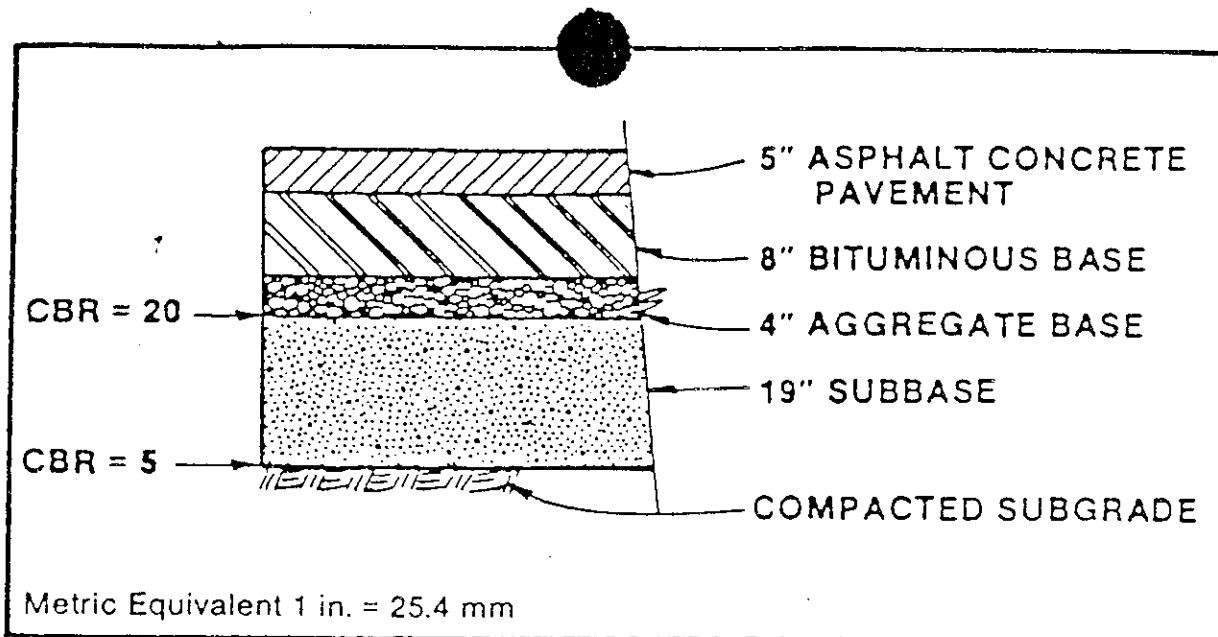


118 KIP WHEEL LOAD PAVEMENT

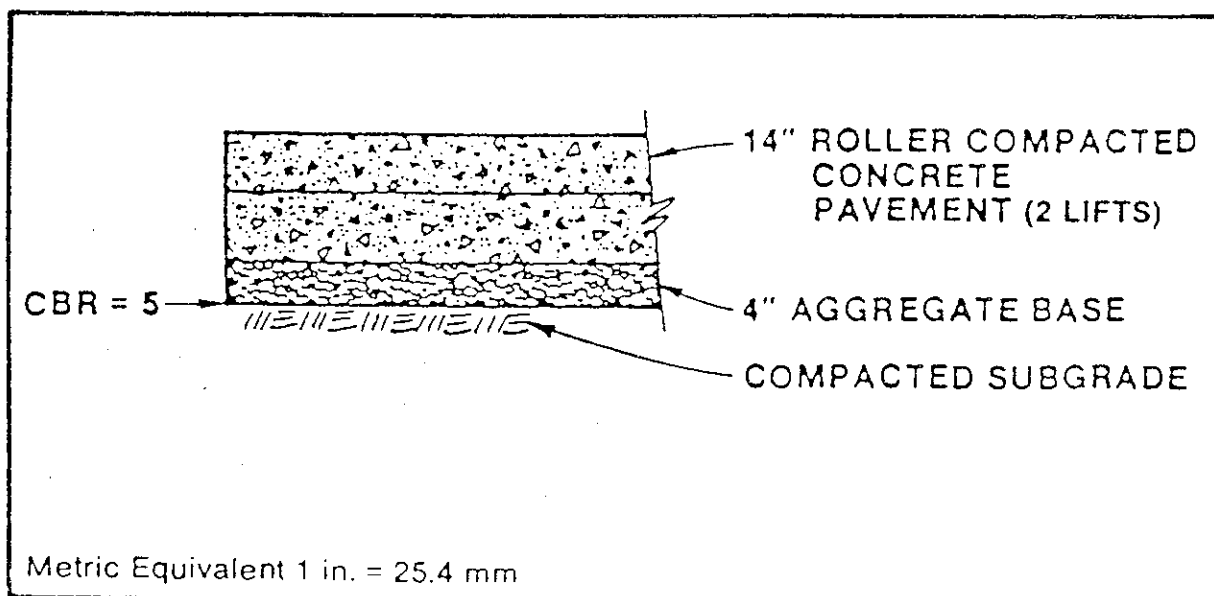
NOTE: PAVEMENT SECTIONS BASED ON SUBGRADE CBR = 20 AND K = 300 PSI/INCH
CONCRETE MOD OF RUPTURE = 650 PSI

SECCIONES DE PAVIMENTOS EQUIVALENTES

GRAFICA No. 9



ASPHALT CONCRETE PAVEMENT SECTION



ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENT SECTION

SECCIONES DE PAVIMENTOS EQUIVALENTES

IV. CONSTRUCCION CON H.C.R.

A. Proceso de construcción

El hormigón compactado con rodo es producido por plantas tipo "pug-mill" de mezcla continua (Fotografía No. 1) y colocado por pavimentadoras de asfalto (Fotografía No. 2).

La planta mezcladora es, generalmente, de tipo móvil ubicada en lugares adyacentes a los proyectos, aunque puede ser instalada de forma permanente en minas o canteras, si las anteriores están cerca de los lugares de trabajo.

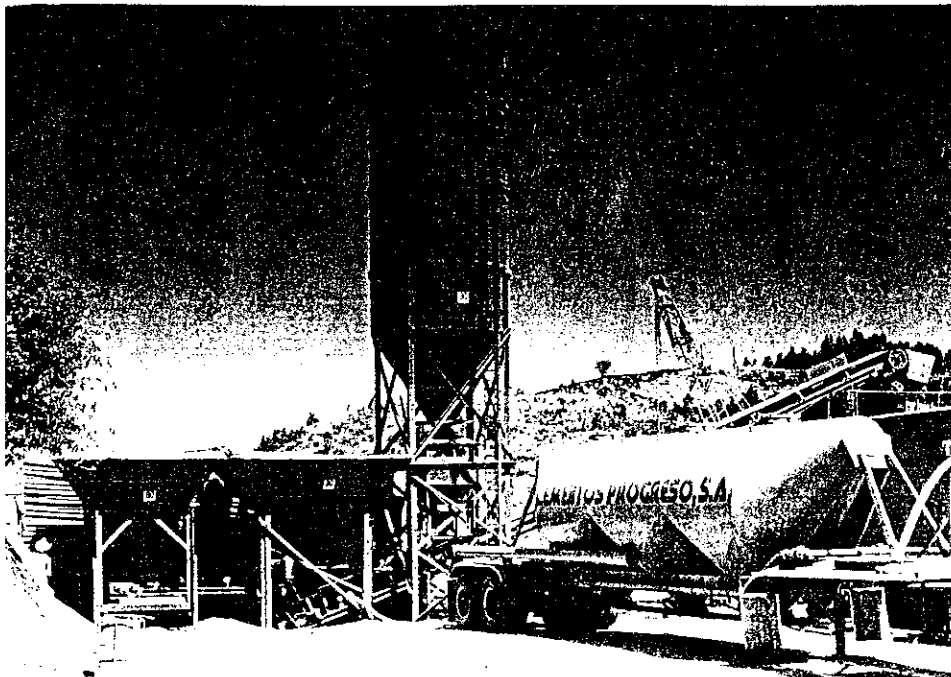
La compactación es llevada a cabo por compactadoras vibratorias de rodo liso (Fotografía No. 3) y si se desea puede utilizarse compactadoras de neumáticos.

I. Planta mezcladora y proceso

Una típica planta mezcladora móvil consiste de:

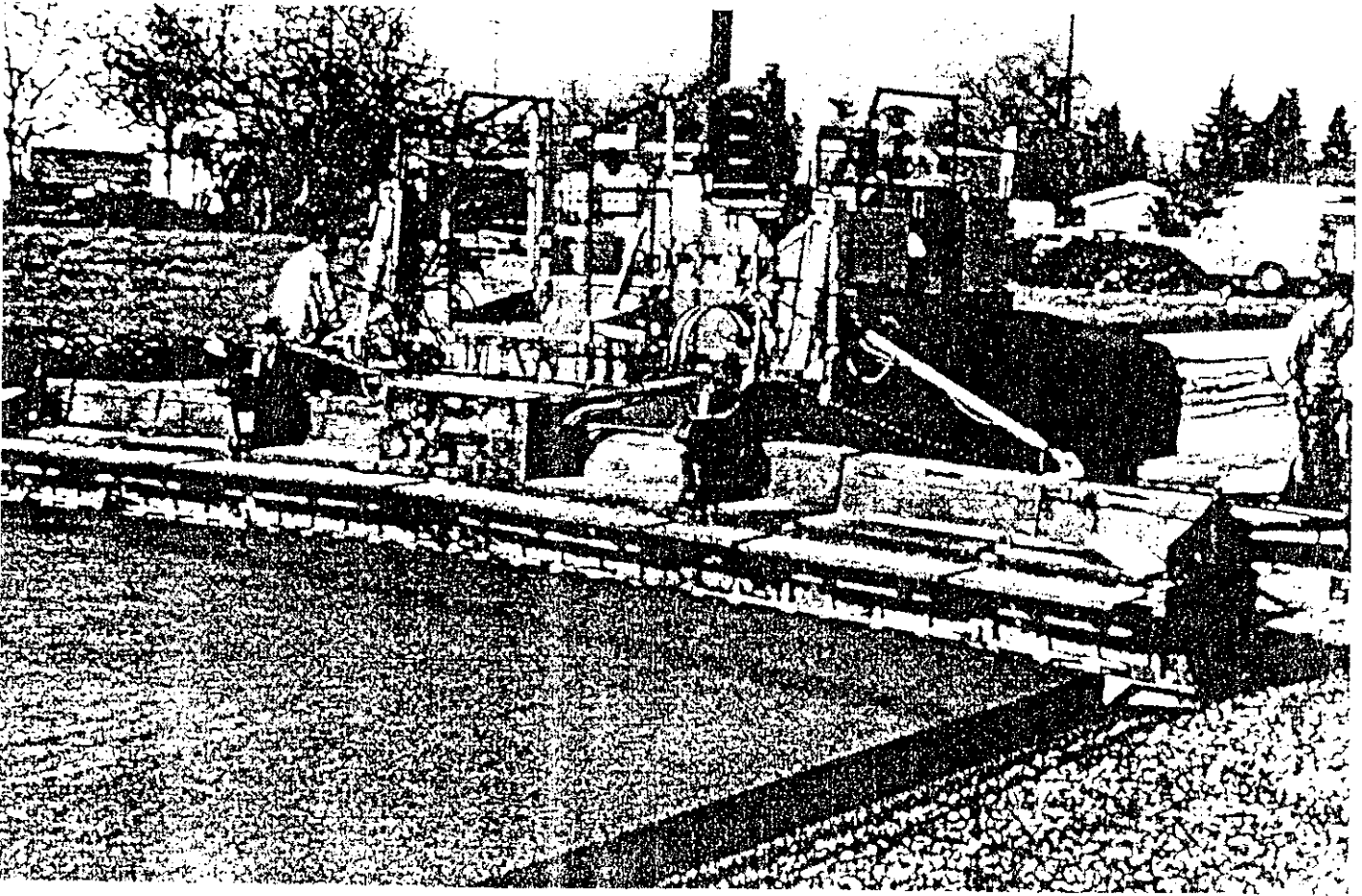
- Una tolva alimentadora de agregados con capacidad de 12 mts^3 (16 yds^3), conectada a un "conveyor" o alimentador de banda, que termina su descarga en un "pug-mill" de doble eje.
- Un silo de cemento de 30 mts^3 (39 yds^3) de capacidad, conectado al "pug-mill" por un alimentador de banda.

FOTOGRAFIA No. 1



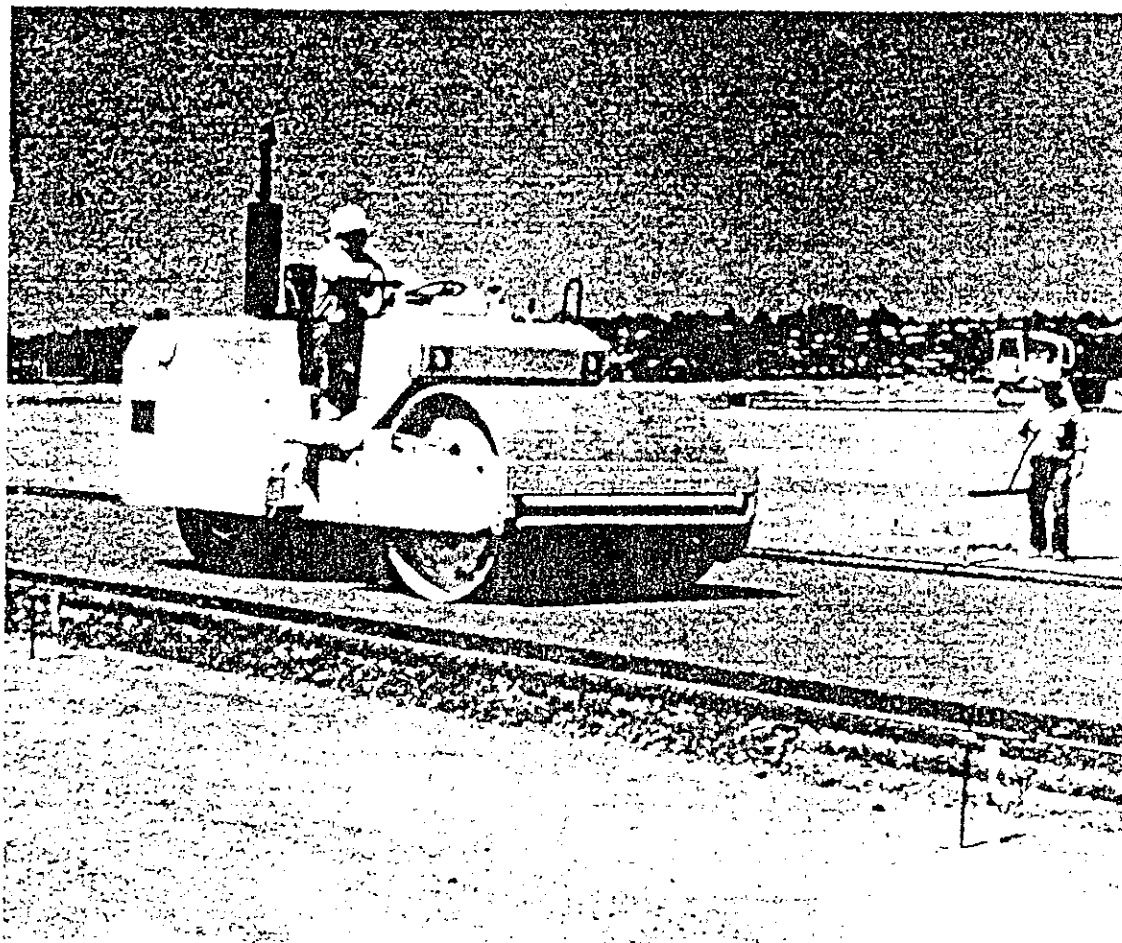
PLANTA TIPO "PUG-MILL"
DE MEZCLA CONTINUA

FOTOGRAFIA No. 2



PAVIMENTADORA
(ASPHALT FINISHER)

FOTOGRAFIA No. 3



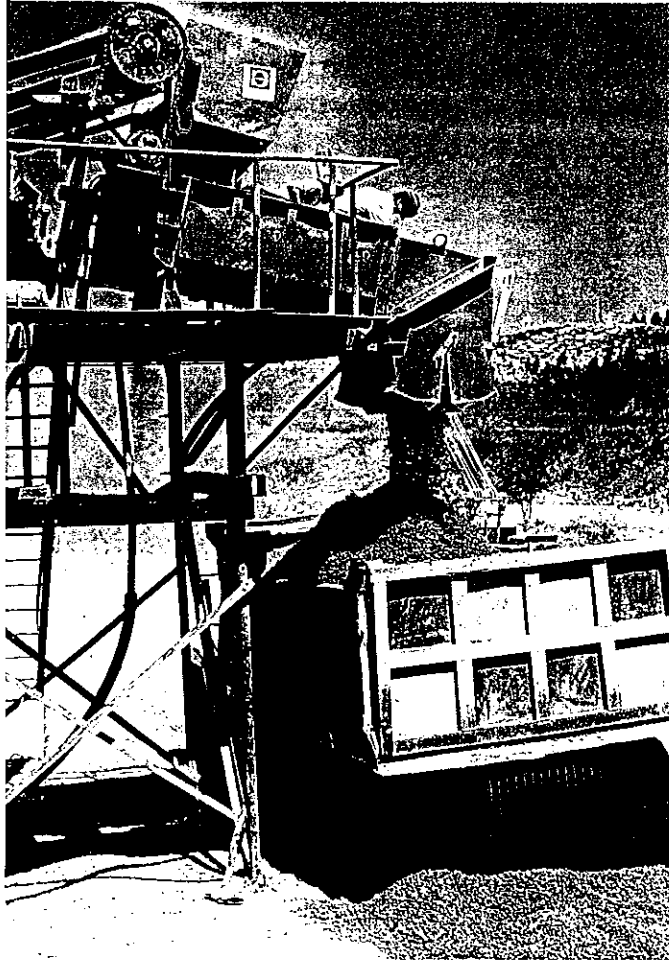
COMPACTADORA DE RODO LISO

- Un "pug-mill", que es un mezclador formado por una serie de paletas adaptadas a uno o varios ejes (generalmente dos), que rotan dentro de un tambor o cajuela fija. Este tipo de mezcladores es muy adecuado para preparar mezclas abrasivas de concreto (Fotografía No. 4).
- Un alimentador de banda que lleva el material ya mezclado a una tolva que carga a los camiones.

Cuando este tipo de plantas mezcladoras es usado, los agregados gruesos y los finos son suministrados al "conveyor" principal a través de las puertas de control de las tolvas. Variaciones en el contenido de humedad y en la granulometría, provocarán también variaciones en la cantidad de agregados suministrados al "conveyor". Un flujo más uniforme de agregados se logra colocando dispersadores de material adentro de las tolvas.

En la mayoría de plantas, el cemento es descargado desde el silo hasta el "pug-mill" por un alimentador de banda o "conveyor", o directamente sobre los agregados transportados en el conveyor principal, por medio de un alimentador de paletas. Sin embargo, esto implica la colocación de otra tolva pequeña (450 lbs hasta 750 lbs) en medio del silo y el alimentador de paletas, para que se obtenga así una descarga uniforme de cemento, manteniendo un nivel constante del mismo en la tolva.

FOTOGRAFIA No. 4



MEZCLADOR TIPO "PUG-MILL"

La descarga de agua puede ser proporcionada a través de una bomba de agua de flujo regulable. Esta es suministrada en forma directa sobre los agregados y el cemento en el "conveyor" principal o en el "pug-mill".

Este tipo de planta debe producir un promedio de 200 metros cúbicos por hora, medidos con material suelto. La producción actual promedio diaria, en un proyecto típico de 9 horas trabajadas, es aproximadamente de 1,300 metros cúbicos.

Las plantas móviles han contribuido de manera significativa al aumento del empleo de pavimentos con cemento producidos en planta. Son montadas en semi-trailers, son auto-eregibles y generalmente toma unas 4 horas para montarlas y ponerlas a trabajar. Además, son auto-suficientes en energía, pues tienen sus propias plantas eléctricas y motores industriales.

La eficiencia mezcladora de las plantas ha mejorado y es posible obtener un contenido promedio de cemento muy cercano al especificado, con una desviación estándar dentro del 0.20 y el 0.30 por ciento (coeficiente de variación dentro del 5% y el 10%). Esto da como resultado que una alta proporción del material mezclado producido tenga un contenido de cemento dentro de la tolerancia especificada del 0.6%, arriba o abajo.

Las medidas que necesitan una especial atención para lograr un buen control de planta son:

- Control del apilamiento y carga de los agregados, para evitar segregación.
- Calibración correcta de la planta.
- Uso correcto de las tolvas para evitar segregación.
- Control riguroso de la humedad de la mezcla.

B. Colocación del H.C.R

La capa o superficie sobre la cual se colocará el hormigón compactado con rodo debe estar bien compactada y razonablemente seca. De no ser así, aparecerán grietas en la superficie terminada del H.C.R.

La colocación no debe efectuarse si se esperan heladas dentro de un término de 24 horas después de la culminación del proceso, ni se puede colocar sobre terrenos dañados por el mismo fenómeno recientemente. Lluvias moderadas tienen poco efecto en este proceso.

Durante la colocación, el espesor de pavimento tiene que incrementarse de un 15% a un 20% para que se obtenga el espesor especificado después de la compactación. Se pueden usar tres tipos de maquinaria para este proceso: cajas dispersadoras (spreader box), motoniveladoras y pavimentadoras (asphalt paver o asphalt finisher).

La calidad requerida para obtener una superficie de buen acabado hace casi imposible el empleo de cajas dispersadoras tipo "spreader".

La utilización de motoniveladoras, aunque éstas tengan un excelente rendimiento y capacidad, y puedan extender el material sobre un área extensa sin producir juntas longitudinales, no es recomendable para el H.C.R. La razón de esto es que con motoniveladoras tampoco se logra un buen acabado y además los materiales mezclados con cemento se deterioran cuando son "sobre-trabajados".

La maquinaria más recomendada para la colocación de H.C.R. es la pavimentadora de alta densidad. Con estas máquinas se logra una buena calidad de superficie y un buen porcentaje de compactación inicial, gracias a sus planchas apisonadoras.

Es importante en la colocación de pavimentos "cementados" mantener tolerancias estrictas en el espesor de las capas, pues su vida útil puede ser reducida por pequeñas deficiencias en los espesores. En las curvas de diseño de espesores se permite hasta un máximo de 20 mm (3/4 pulg) de variabilidad, poco más o menos.

La pavimentación es efectuada generalmente en varias capas dependiendo del espesor final especificado, y la máquina trabaja en líneas rectas y con su pendiente prefijada. La colocación del H.C.R. en varias capas es necesaria para obtener

superficies bien acabadas. Esto también depender de la compactación y de la capacidad de altura de espesor que tenga la pavimentadora.

Para pavimentadoras con planchas apisonadoras, casi siempre es posible colocar capas con espesores compactados de hasta 150 mm (6 pulg). En los casos donde es necesario colocar varias capas, la capa de abajo debe ser compactada sólo por dos pasadas sin vibración. Luego, la capa de arriba es colocada directamente sobre la de abajo (fresco sobre fresco), y el espesor total es compactado. De esta manera se logra una buena unión de las dos capas. La capa superior tiene que ser más delgada.

Dado que las pocas grietas que aparecen en el H.C.R. no afectan su funcionamiento, estos pavimentos son normalmente construidos sin juntas transversales.

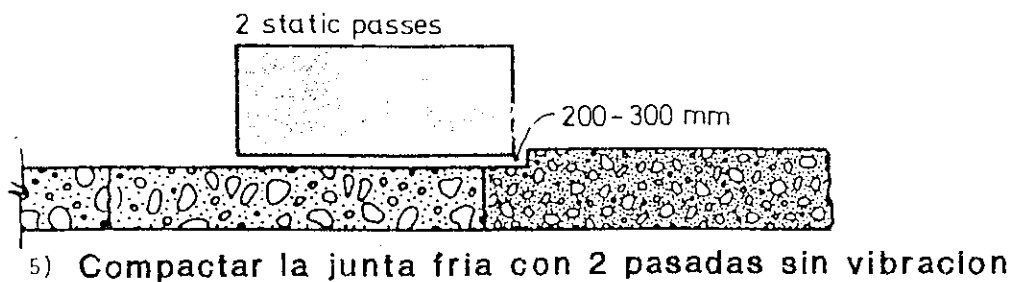
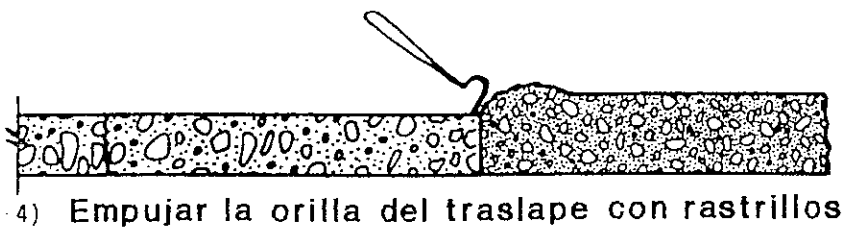
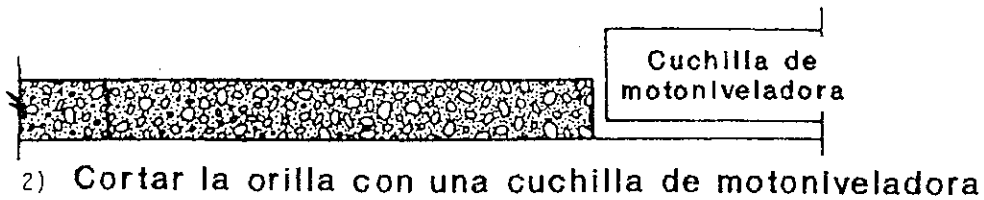
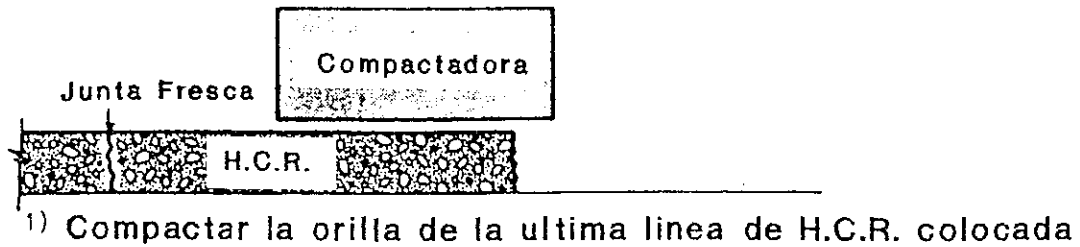
Las juntas frías y juntas longitudinales que no son colocadas fresco sobre fresco, tienen que ser raspadas verticalmente con una cuchilla (Fotografía No. 5) y las superficies limpiadas con cepillos (Gráfica No. 10). Antes de colocar la siguiente línea de pavimento sobre la junta, esta debe ser mojada con una pasta de cemento (lechada) de bajo contenido de cemento. Se debe tomar una precaución particular a la adecuada compactación de las capas.

FOTOGRAFIA No. 5



RASPADO VERTICAL DE
JUNTAS CON CUCHILLA

GRAFICA No. 10



**PROCEDIMIENTO PARA OBTENER
JUNTAS FRIAS DE BUENA CALIDAD**

Una acabada superficie puede ser lograda si se observa lo siguiente:

- Que se mantenga en la pavimentadora una misma cantidad de material para tener una descarga constante.
- Los tornillos sin fin (gusanos) de la pavimentadora tienen que funcionar por lo menos el 80% del tiempo.
- La cantidad de paradas de la máquina pavimentadora tiene que ser mínima. Así como también el golpeteo de los camiones al descargar el material en la máquina.
- El espesor de las capas superiores no debe exceder 10 centímetros ó 4 pulgadas.
- El trabajo bien planificado para evitar juntas transversales.
- Las juntas transversales deben ser construidas adecuadamente y chequeadas de inmediato con una cuchilla recta.
- Tener control riguroso en los espesores.
- La pavimentadora debe ser mantenida en condiciones mecánicas óptimas.

Algunos problemas se encuentran cuando el H.C.R. es construido con pavimentadoras convencionales equipadas con una sola plancha apisonadora:

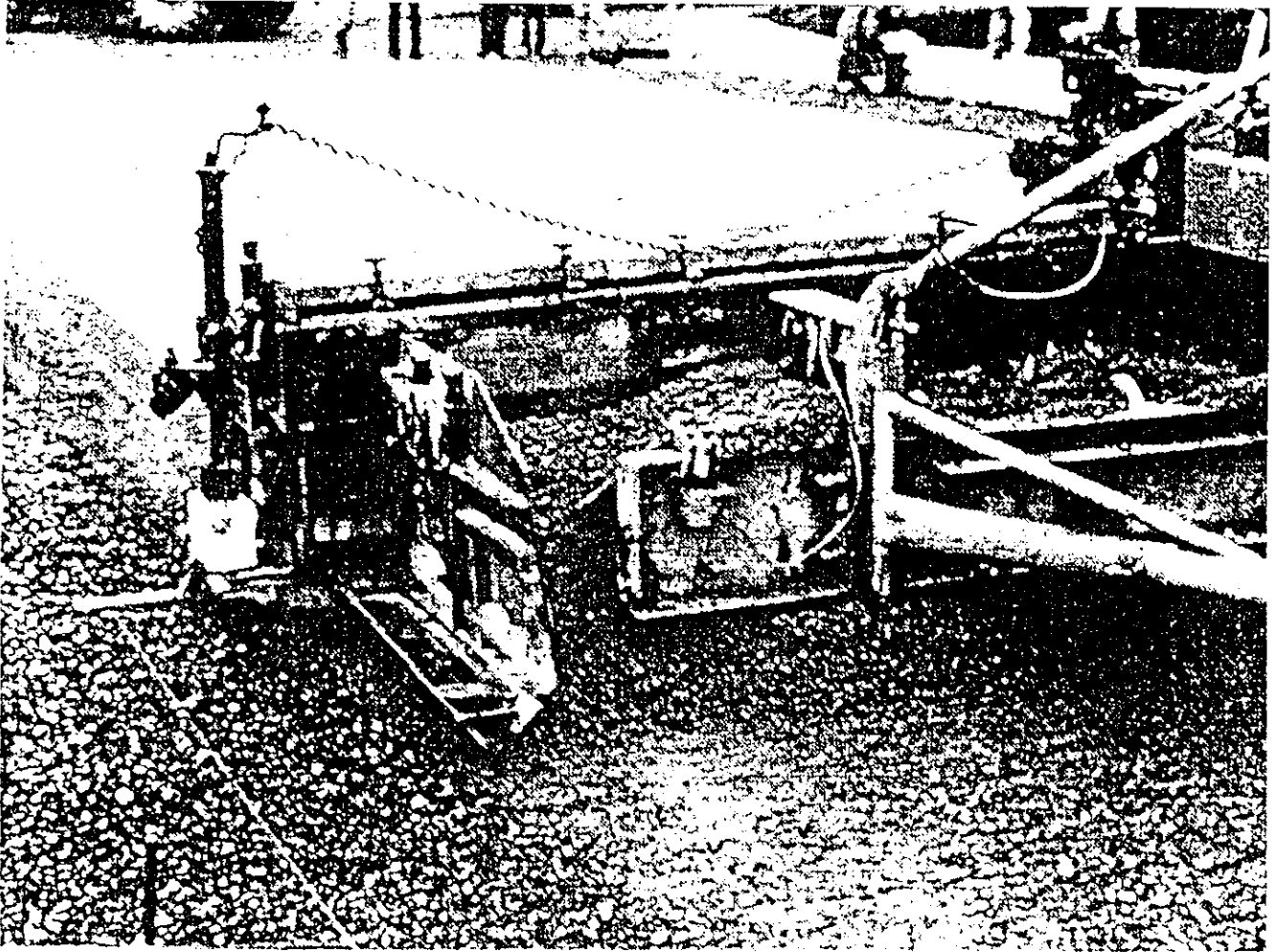
- Debido a que los espesores colocados en el H.C.R. son mucho mayores a los de concreto asfáltico, usualmente el tamaño de la tolva de la pavimentadora es muy pequeño.

- Los tornillos sin fin (gusanos) que distribuyen la mezcla dentro de la pavimentadora tienden a acarrear el agregado grueso al extremo de la cajuela dispersadora, produciendo así mezclas segregadas (Fotografía No. 6). Esto se puede disminuir bastante si se limita el ancho a pavimentar.
- Un H.C.R. de excelente calidad y superficie es difícil de lograr con pavimentadoras equipadas de una sola plancha apisonadora. Una cantidad considerable de pasadas es necesaria para alcanzar la compactación deseada, y existe el riesgo que la superficie se deteriore.

Algunas compañías manufactureras de maquinaria pavimentadora han empezado a fabricar pavimentadoras especializadas para H.C.R. (Fotografía No. 7). Para minimizar la cantidad de pasadas de rodo, estas máquinas vienen equipadas con doble plancha apisonadora y se han reportado compactaciones de hasta un 98%. Con estos equipos se alcanzan superficies de rodadura de óptima calidad con tolerancias de 6 mm (0.25 pulg) en 3 mts. La reducción en la cantidad de pasadas de rodo también aumenta la ventaja económica del H.C.R.

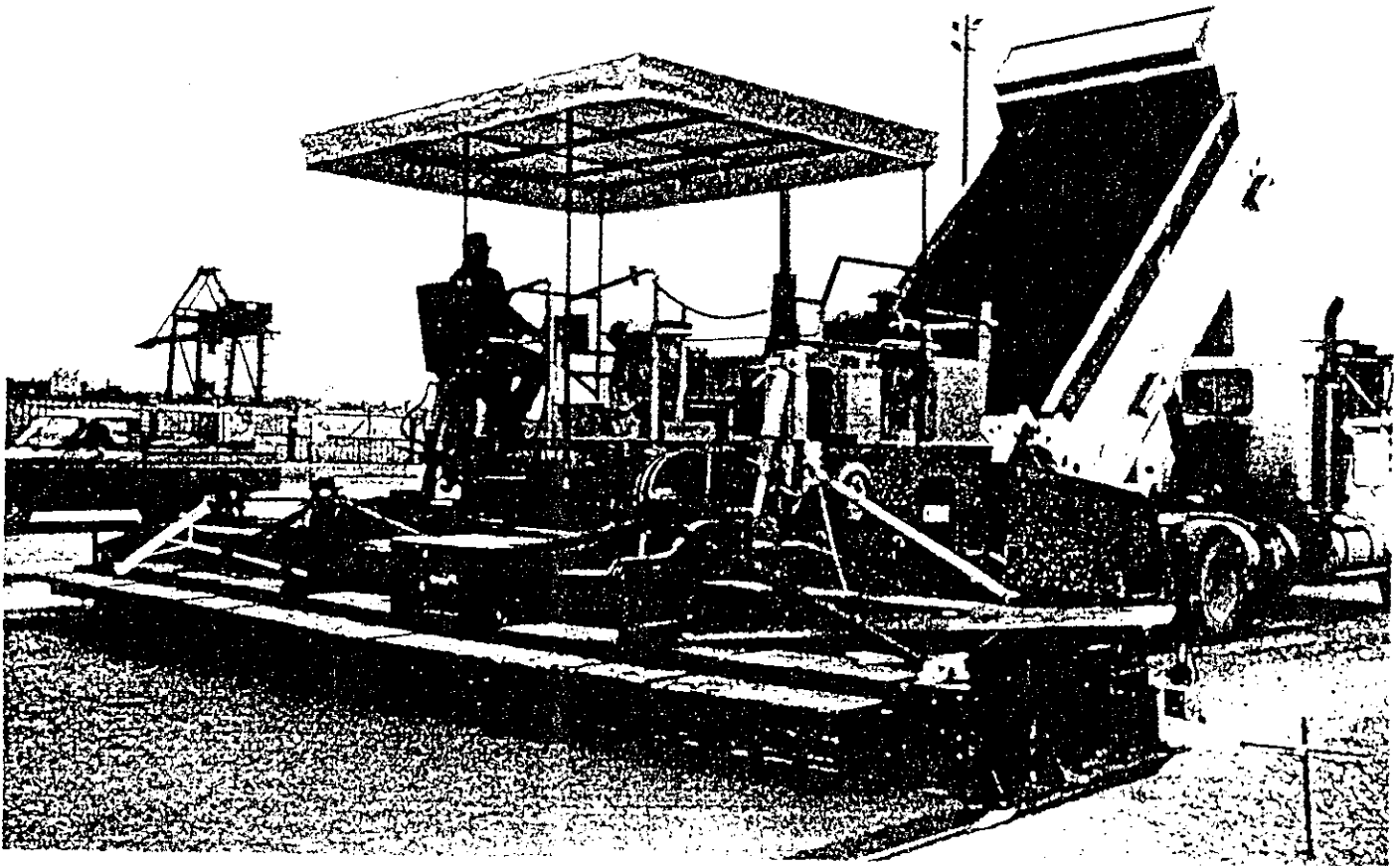
Para proyectos grandes se recomienda la colocación del H.C.R. con varias pavimentadoras que trabajen en forma escalonada (Fotografía No. 8). Esto es mucho más productivo y de menor costo que una sola máquina que debe retroceder periódicamente. Además disminuye de manera radical el número de juntas frías y juntas longitudinales.

FOTOGRAFIA No. 6



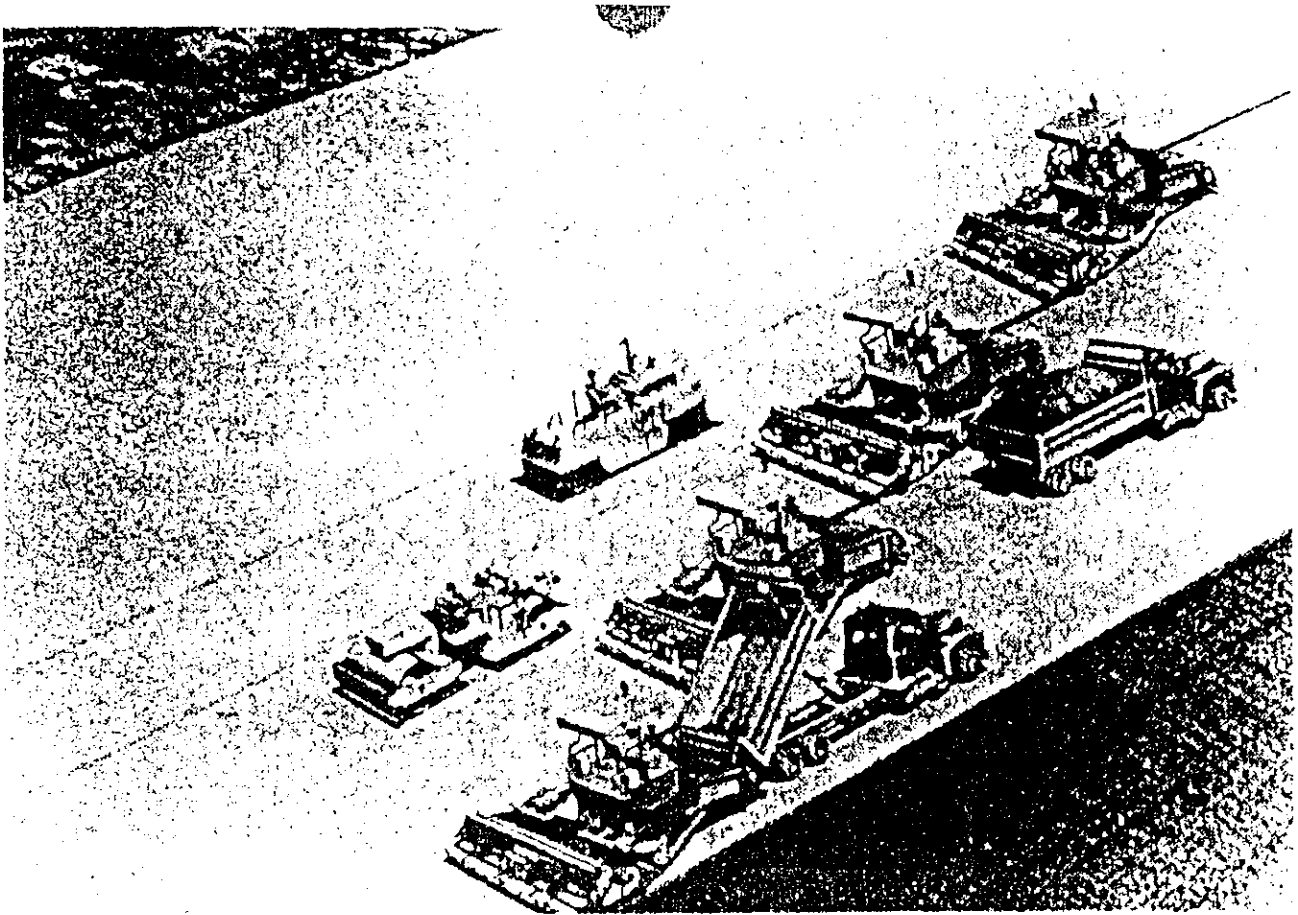
CAJUELA DISPERSADORA

FOTOGRAFIA No. 7



PAVIMENTADORA DE
DOBLE PLANCHA APISONADORA

FOTOGRAFIA No. 8



PAVIMENTADORAS TRABAJANDO
EN FORMA DE ESCALON

1. Espesor de capas.

Colocar la mezcla en una sola capa de hasta 35 cms (14 pulg) de espesor compactado resultar en malos acabados superficiales y compactación inadecuada en la base de la capa. Desde un punto de vista puramente constructivo, es mejor colocar la mezcla en capas con espesores entre 10 y 25 cms (4 a 10 pulg). Sin embargo, la colocación de varias capas es controversial, pues este efecto de discontinuidad no ha sido estudiado en un 100%.

El mayor espesor a colocar en la capa superior no tiene que superar los 10 cms (4 pulg), para asegurar buenas superficies de rodadura. Tampoco es recomendable colocar espesores mayores de 15 cms (6 pulg) en la capa inferior, ya que esto evitar daños al ser sometida a cargas muy grandes. Existen estudios que son llevados a cabo en la actualidad para determinar exactamente los efectos de cargas grandes al H.C.R. construido en capas múltiples.

C. Compactación

Después de colocado, el H.C.R. es compactado por máquinas compactadoras vibratorias capaces de transmitir cargas estáticas entre 15 y 30 kN/m, y con un peso muerto desde 9 hasta 11 toneladas.

Debido a la extrema importancia que tiene la compactación y la suavidad de la superficie, es aconsejable la utilización de compactadoras multi-neumáticas con peso de 20 toneladas. Este equipo, no vibratorio, sellará una gran cantidad de las pequeñas grietas o fisuras que hayan quedado inicialmente en la superficie.

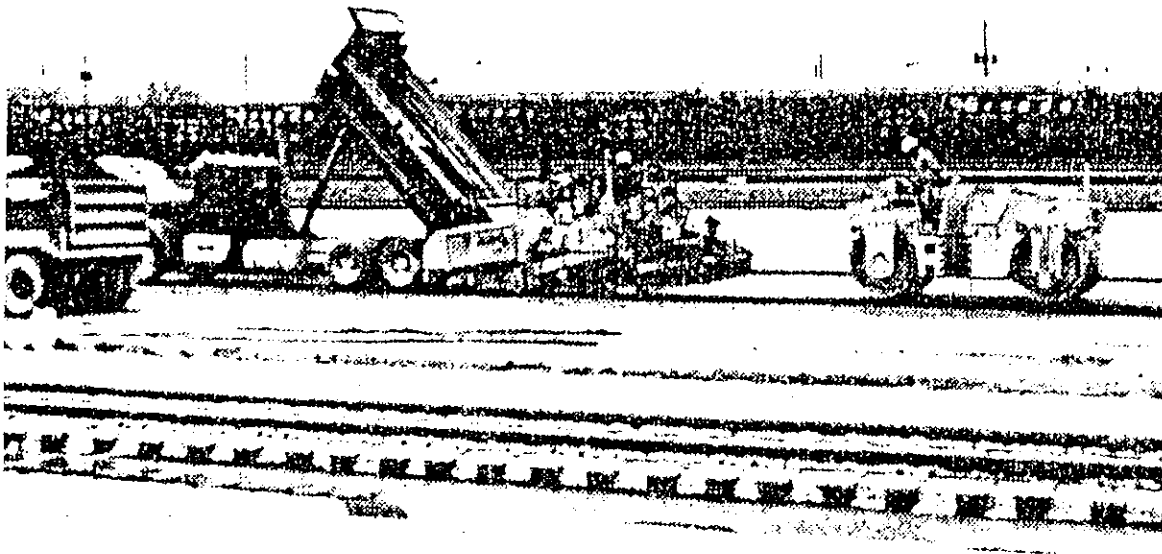
Las compactadoras con tambores forrados de hule dan un buen resultado en la compactación, igual al alcanzado por máquinas equipadas con tambores de hierro de la misma carga estática, pero con un sellado superior en la superficie.

Para obtener la mejor compactación y suavidad de superficie posible, la velocidad de la compactadora tiene que ser menor de 3 km/hr. Además, la vibración debe ser de alta amplitud y baja frecuencia.

Los mismos modelos y métodos de compactación usados en el concreto asfáltico convencional, son usados también en el H.C.R.

La compactación comienza inmediatamente después que la mezcla es colocada con una o dos pasadas estáticas (sin vibración) con la compactadora, siendo conducida hacia adelante y hacia atrás de la misma línea (Fotografía No.9). Estas líneas son cambiadas cada vez que la superficie ya está compactada. Una pequeña formación de olas en la superficie puede ser evitada si no se sigue exactamente la misma línea.

FOTOGRAFIA No. 9



COMPACTACION DEL H.C.R.

Un buen modelo de compactación es mostrado en la Gráfica No. 11. La Gráfica No. 12 muestra también secuencias adecuadas para la compactación y cómo formar las juntas longitudinales frescas.

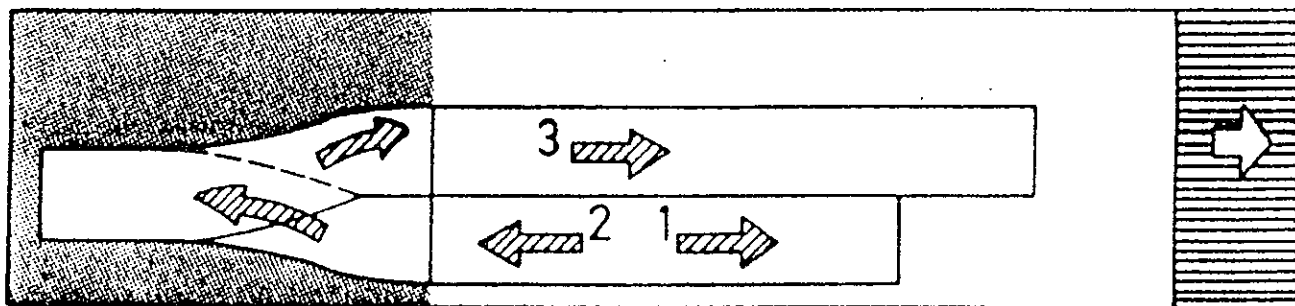
La compactación con vibración da comienzo en la tercera pasada. El número de pasadas con vibración depende de la clase de equipo, el tipo de base sobre el cual es colocado el H.C.R. y el espesor de la capa. La capa fresca ya compactada debe alcanzar por lo menos un grado de compactación del 97%.

La compactación final es efectuada por medio de una o dos pasadas estáticas de la compactadora neumática para reducir el número de grietas en la superficie. Si quedaran huellas de las llantas en la superficie se puede pasar una compactadora liviana (5 a 10 tons) de uno o doble tambor, sin vibrar, para eliminarlas.

Es necesario hacer notar que las compactadoras deben estar equipadas con equipo de riego de agua sobre el tambor o ruedas, para prevenir el levantamiento de material seco en la superficie.

Los resultados pobres en la compactación pueden ser causados por una reacción insuficiente de bases o sub-bases muy suaves, mal control de humedad en la mezcla, tardanza en el inicio del proceso de compactación, y que la compactadora desencompacte el material después de varias pasadas debido a una amplitud de

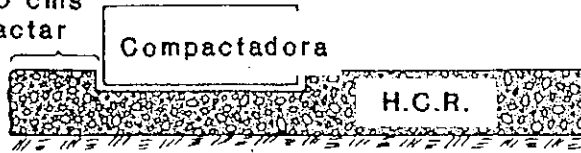
GRAFICA No. 11



LA ONDULACION EN LA SUPERFICIE PUEDE SER ELIMINADA SI NO SE RETROCEDE LA COMPACTADORA EN LA MISMA SECCION. LA VIBRACION TIENE QUE DESCONECTARSE ANTES DE CAMBIAR LA DIRECCION.

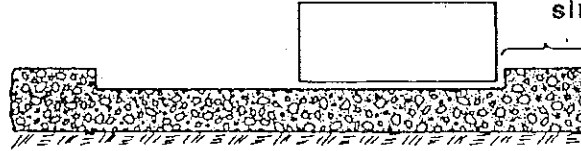
GRAFICA No. 12

Dejar 20-30 cms
sin compactar

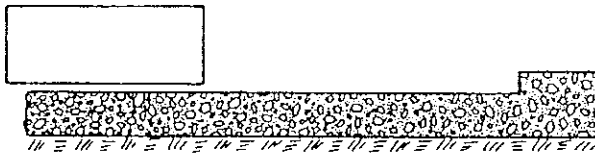


1

Dejar 20-30 cms
sin compactar



2

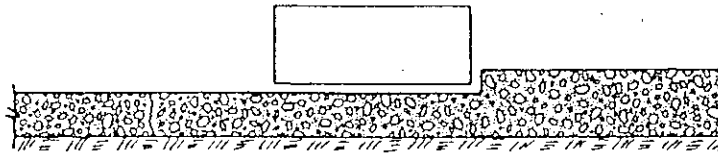


3

Compactadora

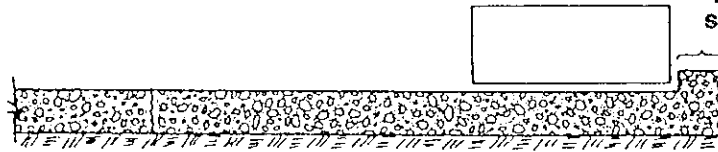


4



5

Dejar 20-30 cms
sin compactar



6

SECUENCIA DE COMPACTACION
PARA JUNTAS FRESCAS

vibración demasiado alta. Las acciones a tomar para reducir estos problemas incluyen poner bases o sub-bases de grava o suelo-cemento, el uso de cemento Tipo IV y retardantes, y la utilización de compactadoras con amplitud de vibración ajustable.

D. Curado

La superficie del H.C.R. está expuesta a numerosos esfuerzos. Los requerimientos de esta superficie son, principalmente, durabilidad, lisura o uniformidad y macrotextura. En la mayoría de los casos, la durabilidad estar determinada por el curado.

El curado con agua que se efectúa en forma correcta es, generalmente, lo mejor para la durabilidad de la superficie y una mayor resistencia del pavimento. Sin embargo, por razones económicas, el H.C.R. es a veces sellado inmediatamente, usando emulsiones asfálticas casi siempre para este propósito.

Debido al bajo contenido de agua en el H.C.R., evitar una pérdida excesiva de humedad a través de evaporación en la superficie, durante e inmediatamente después de la colocación, se vuelve crítico para la integridad del concreto. En efecto, añadir humedad a la superficie compactada, combinado con un poco más pasadas de compactadora, puede ser muy útil para alcanzar una mejor textura superficial, como fue mencionado con anterioridad.

Un exceso de compactación puede producir un mortero muy líquido que es expulsado hacia la superficie. Dicha capa, bajo estas condiciones, será pronto deshecha y levantada por el tránsito, especialmente en proyectos sometidos a heladas.

Es así, que un curado con agua durante las primeras 24 horas (7 días si se necesita resistencia contra el hielo) es esencial. Después de esto, un curado con agua o con un compuesto para formar membranas, es aconsejable hasta que acabe el período de curación.

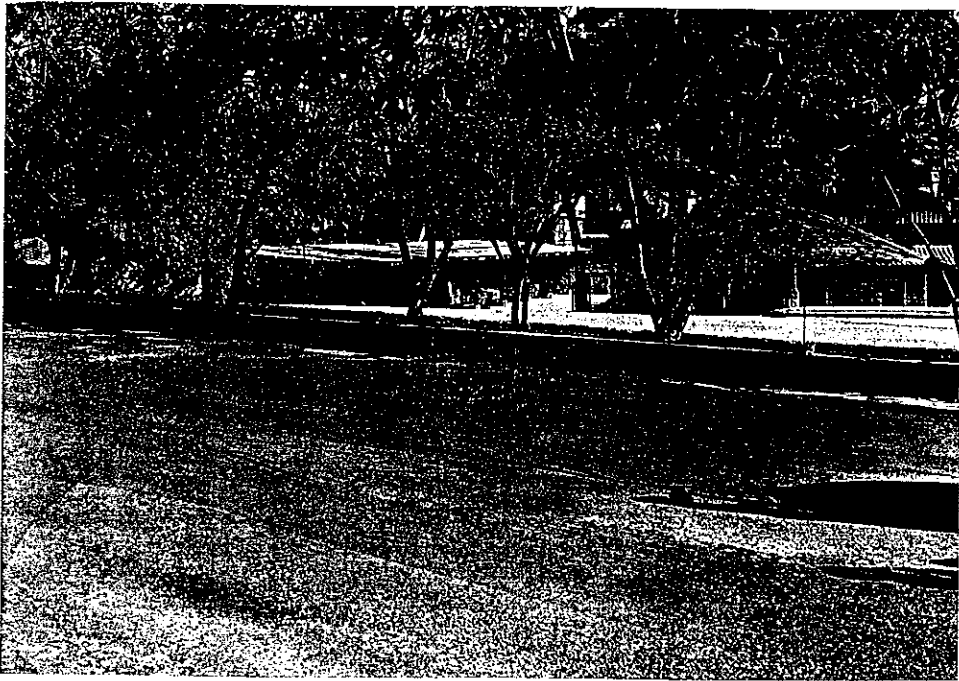
El curado con agua puede ser terminado con alfombras de algodón húmedas, con una capa de arena húmeda, con camiones regadores de agua (Fotografía No. 10) o con sistemas tradicionales de riego (abanicos). Hay que tener cuidado con los dos últimos métodos, pues las corrientes de agua pueden erosionar los finos de la superficie.

El paso de tránsito debe mantenerse al mínimo mientras se termina este tipo de curado.

El curado con tratamientos bituminosos superficiales (Bitumen Surface Treatment- BTS) puede ser aplicado al H.C.R. por dos razones:

- La resistencia a la abrasión del pavimento es, generalmente, insuficiente para aguantar el desgaste causado por el tránsito.
- El tratamiento superficial bituminoso cubre las grietas de encogimiento.

FOTOGRAFIA No. 10



RIEGO DE AGUA

Un curado de este tipo lleva usualmente una capa de bitumen AMC3 o AMC4 (asfalto líquido MC250 o MC800) o emulsión bituminosa (asfalto emulsificado MC), aplicada en una proporción de 0.5 lt/mt^2 . El asfalto emulsificado puede ser diluido al 50:50 con agua para ayudar a su distribución o colocación.

La capa de curado es aplicada normalmente antes de 48 horas de haber completado un tramo. El trabajo es mantenido húmedo a través de riego leve hasta que se aplique la capa protectora o selladora.

Si se desea pasar tránsito inmediatamente, la capa de curado de bitumen (asfalto líquido) tiene que aumentarse a 1.2 lt/mt^2 , y debe ser cubierta con agregado de 7mm (1/4").

E. Calidad superficial

La planicie y lo nivelado de la superficie del H.C.R. depende principalmente del equipo utilizado en relación al espesor del pavimento. Si estos requerimientos no son cumplidos con una capa, la superficie deseada puede lograrse con la colocación de dos capas.

La macrotextura de la superficie determina el drenaje y la tracción del pavimento. La macrotextura del H.C.R., cuando este es colocado con pavimentadoras de doble plancha apisonadora, medida por el método del bache de arena, es generalmente menor de 0.6 mm (0.02 pulg). Debido a lo anterior, estos pavimentos no son recomendados para tránsitos de alta velocidad. Donde las macrotexturas ásperas son deseadas, puede utilizarse un raspado leve de la superficie con cuchillas especiales.

F. Control de calidad

El control de calidad tiene que ser cuidadosamente planeado y ejecutado en la construcción del H.C.R. pues es una técnica relativamente nueva. Pruebas para control de calidad pueden ser las siguientes:

- Determinar correctamente el contenido de humedad y la granulometría de los agregados.
- Chequear la calibración de la planta mezcladora.
- Chequear frecuentemente las densidades del H.C.R. compactado.
- Fabricar modelos de cilindros y vigas de simulación para revisar esfuerzos y densidades.
- Controlar constantemente la regularidad superficial del H.C.R. con cuchillas planas.

Por lo menos un inspector tiene que estar ubicado en la planta mezcladora, y otro en el lugar específico del proyecto para asegurar que las pruebas de control de calidad son llevadas a cabo adecuadamente y con la frecuencia requerida. También se tiene que asegurar el uso de técnicas correctas de construcción. Para esto, los inspectores deben estar familiarizados con todas las pruebas para control de calidad y con los procedimientos de construcción.

V. USO DEL H.C.R. COMO PAVIMENTO EN GUATEMALA

A. Estudio preliminar para usar el H.C.R. en el acceso a la planta Cementos Progreso S.A. y HORCALSA en zona 6, Ciudad de Guatemala

Para construir el acceso a la planta de Cementos Progreso S.A. se empezó el estudio sacando curvas granulométricas de los diferentes agregados que aquí se producen.

La curva granulométrica tomada del pedrín que el 100% pasa 1" y retiene $\frac{3}{4}$ ", está ilustrada en la Gráfica No. 13. La curva del pedrín que el 100% pasa $\frac{3}{4}$ " y retiene $\frac{3}{8}$ " está en la Gráfica No. 14. La curva del pedrín que el 100% pasa $\frac{3}{8}$ " y retiene $\frac{1}{4}$ ", está en la Gráfica No. 15.

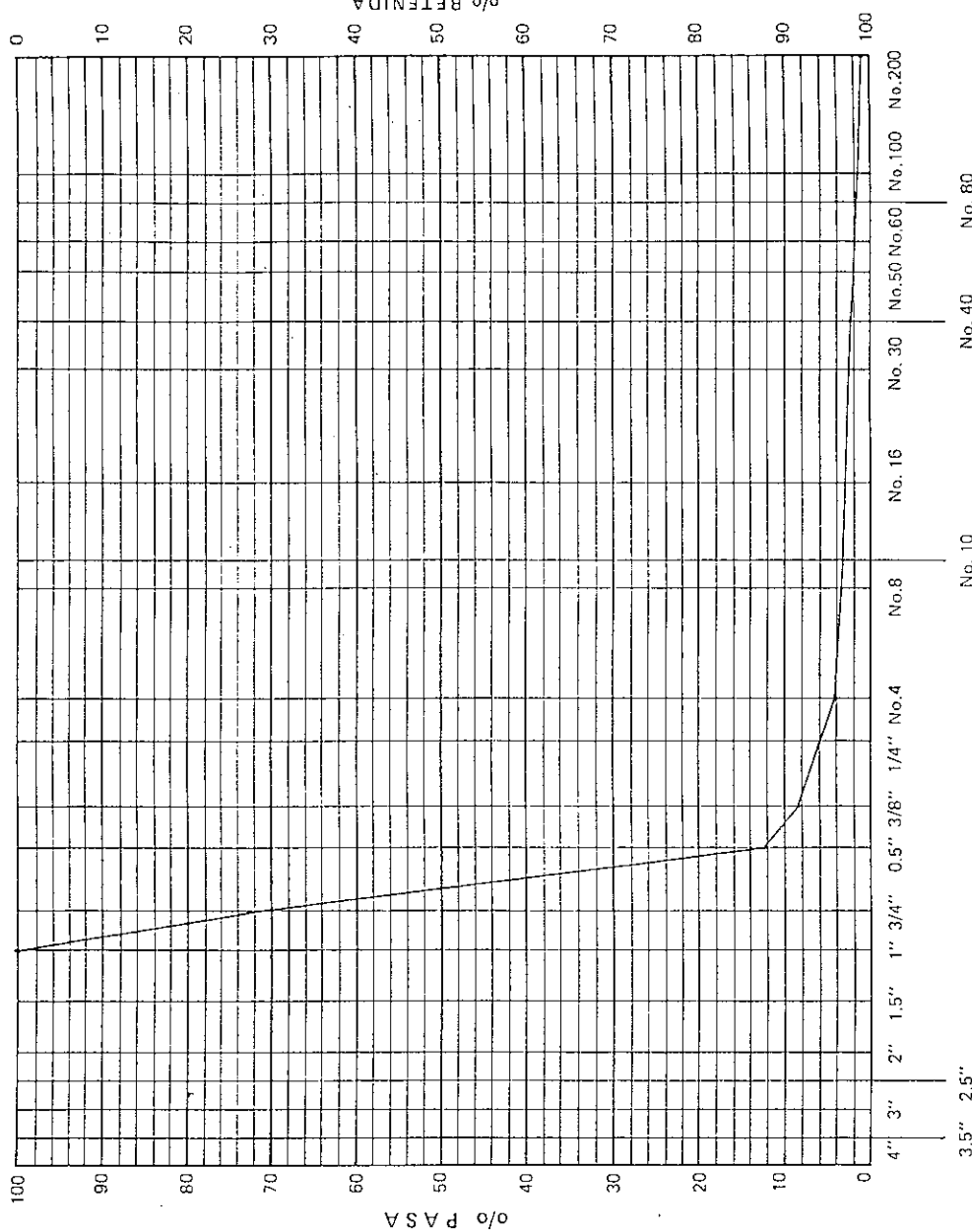
La curva del polvo de piedra se muestra en las Gráficas No. 16 y No. 17.

Con estos agregados se hicieron varias mezclas de prueba, por volumen, agregándose también diferentes cantidades de cemento (Portland Tipo I). Con estas mezclas se efectuaron varios cálculos para ver porcentajes de materiales por peso, cantidad de sacos de cemento por metro cúbico de mezcla (por peso y por volumen), cantidad de agua necesaria por metro cúbico y relaciones agua/cemento.

GRAFICA No. 13

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto HCR
 Muestra No. TANQUEADERA NUEVA
 Procedencia HORCALDA - CERESA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"		100.0	100.0
3/4"	804.5	609.3	75.7
1/2"	2150.9	1956.7	90.7
3/8"	2241.7	2046.5	91.3
No. 4	2532.3	2157.1	85.2
No. 10	2556.3	2161.1	84.9
No. 40	2571.5	2176.3	84.6
No. 200	2404.1	2208.9	91.9

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	2426.5	P.B.S.	
TARA	195.2	TARA	
P.N.S.	2251.3	P.N.S.	

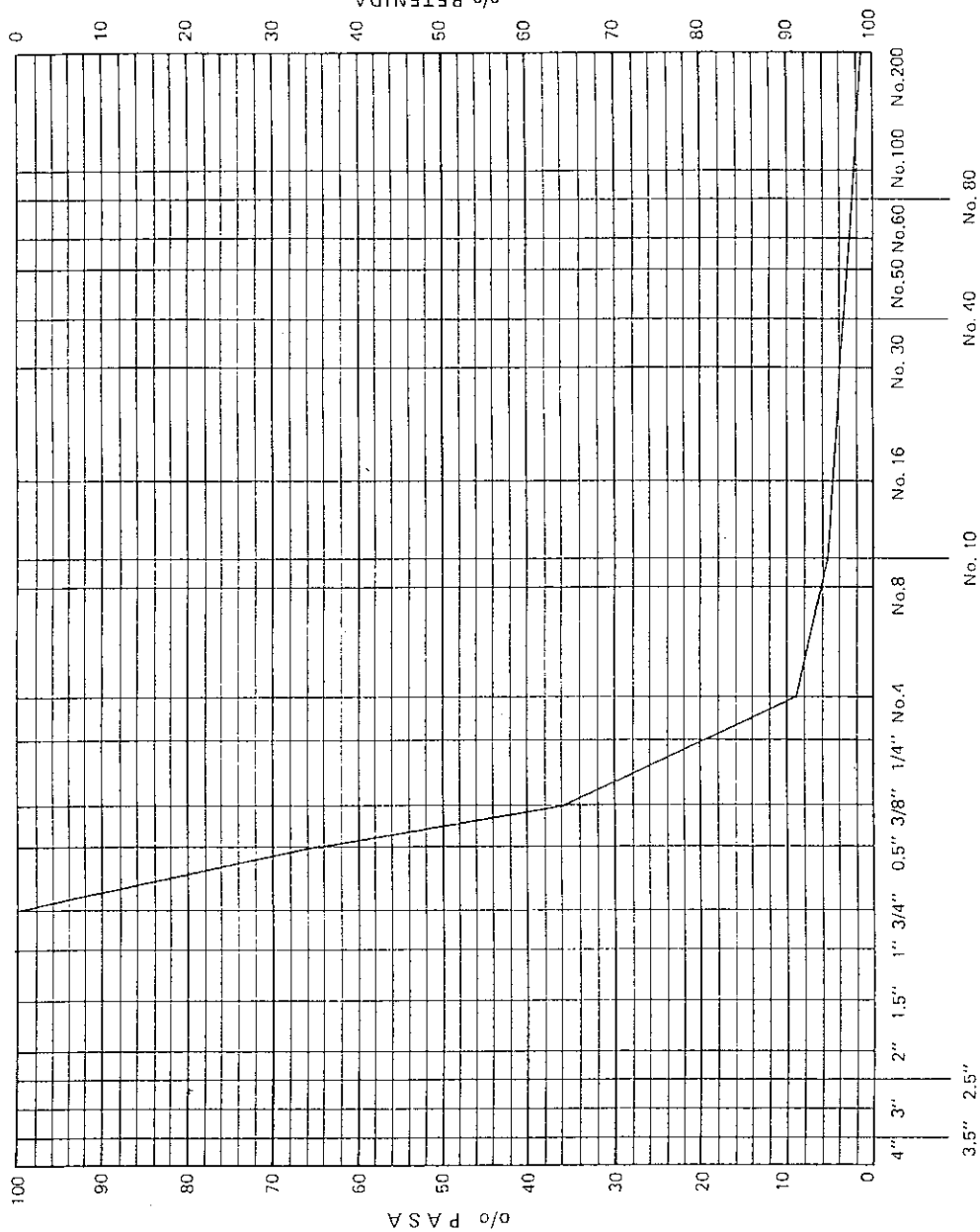
EFFECTUO	
CALCULO	
REVISO	
MUESTRA TOMADA	

OBSERVACIONES	PASA 1" RETIENE 3/4"
TAS	ESPECIFICACIONES SON PARA CURVA
TOTAL DE HCR	ARGENTINA

GRAFICA No. 14

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. TRILIZADORA NUEVA
 Procedencia HORIZALZA - CERESA



ABERTURA TAMICES
 No. 10 No. 40 No. 80
 No. 16 No. 30 No. 50 No. 60 No. 100 No. 200

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			100.0 100.0
3/4"			100.0 85-100
1/2"	540.5	346.1	35.6 70-90
3/8"	820.7	626.5	64.5 60-85
No. 4	1077.6	885.4	91.0 40-65
No. 10	1115.7	919.0	94.6 29-47
No. 20	1130.2	936.0	96.4 16-27
No. 40	1153.9	959.7	98.8 9-19

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. 1165.6 P.B.S. _____

TARA 194.2 TARA _____

P.N.S. 971.0 P.N.S. _____

EFFECTUO _____

CALCULO _____

REVISO _____

MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES PARA 3/4" RETENIDA 3/8"

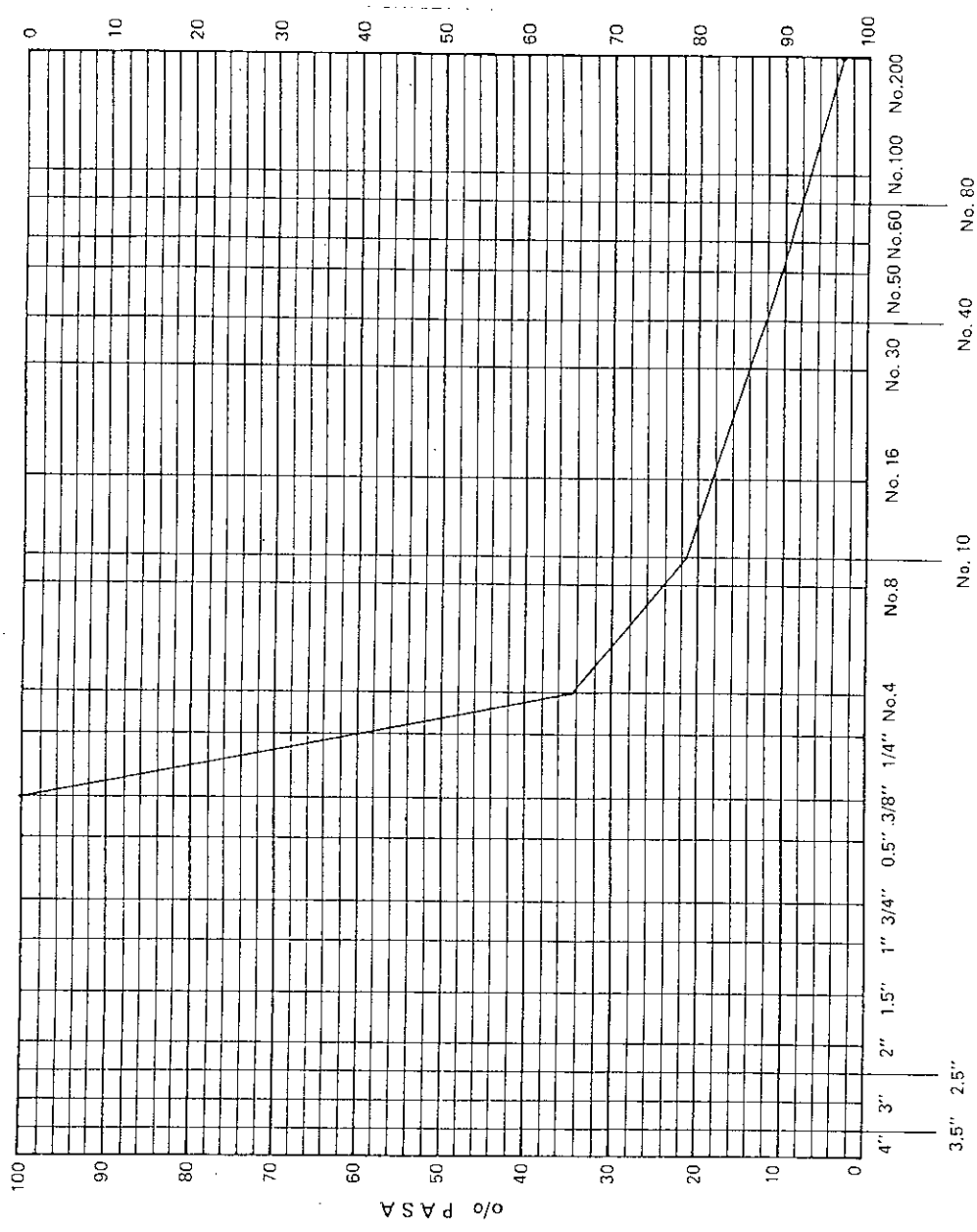
LAS ESTADILIZACIONES SON PARA CURVA

TOTAL DE H.C.R. - ARGENTINA _____

GRAFICA No. 15

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. TRILIZADORA NUEVA
 Procedencia HORCALZA - CUREBA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. P.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			
3/4"			
5/8"			
No. 4	198.2	1.2	0.1
No. 10	757.0	500.0	65.7
No. 40	866.7	669.7	74.3
No. 200	945.3	748.3	81.8
No. 280	1023.2	824.2	96.9
			3.1

PESO SIN LAVAR	PESO LAVADO
P.B.S. _____	P.B.S. <u>1049.2</u>
TARA _____	TARA <u>197.0</u>
P.N.S. _____	P.N.S. <u>852.2</u>

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

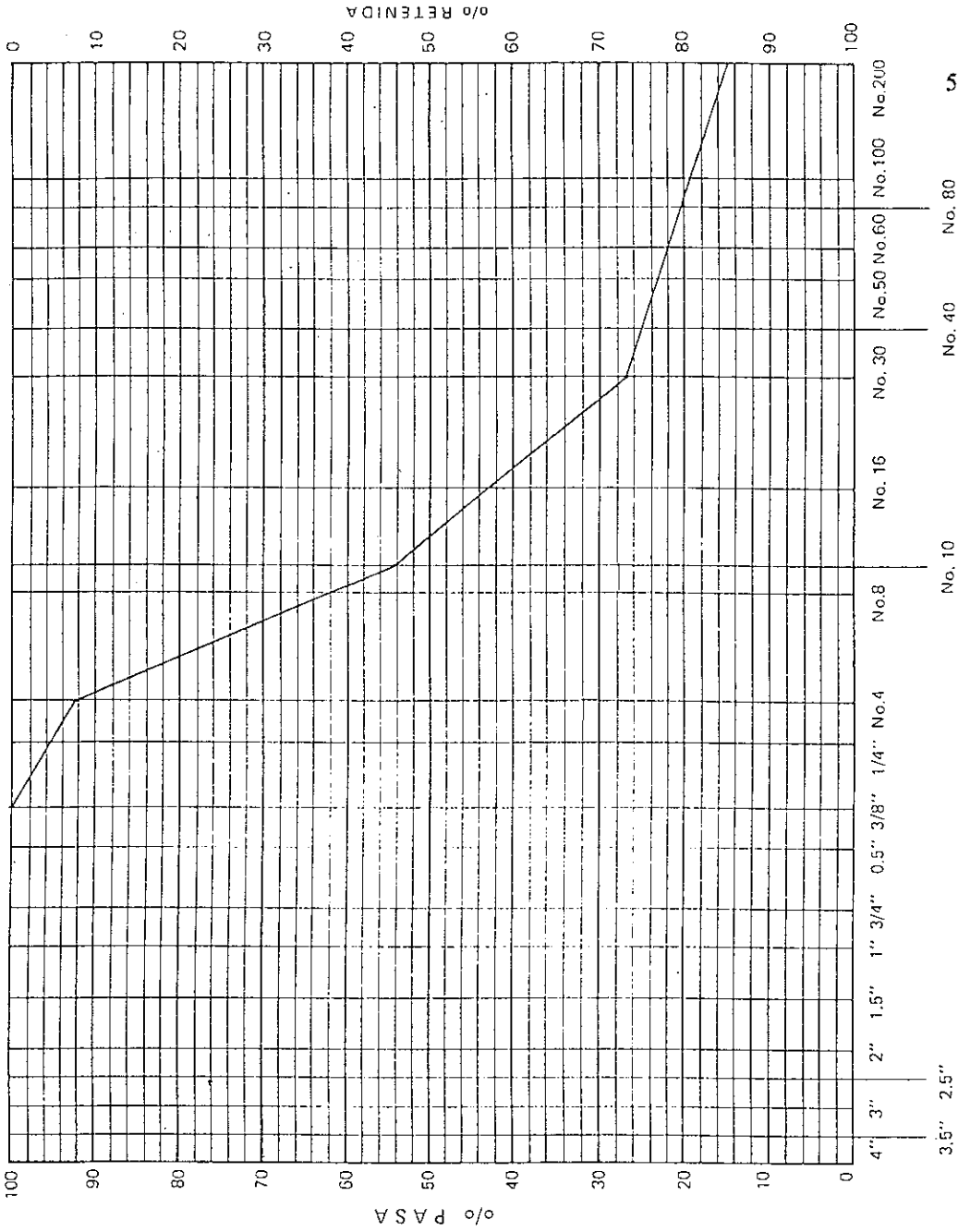
OBSERVACIONES PASA 3/8" RETENIDA 1/4"

ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 16

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. _____
 Procedencia HORSAVA - CEPESA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. P. R.	P. N. R.	% RET. / % PASA ESPECIF.
1"			
3/4"			
1/2"			
3/6"			
No. 4	61.0	7.4	100.0
No. 10	37.6.8	45.7	92.6
No. 40	601.9	73.0	54.3
No. 200	702.4	85.2	27.0

PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____

P.B.S. _____ P.B.S. _____

TARA _____ TARA _____

P.N.S. _____ P.N.S. _____

EFFECTUO _____

CALCULO _____

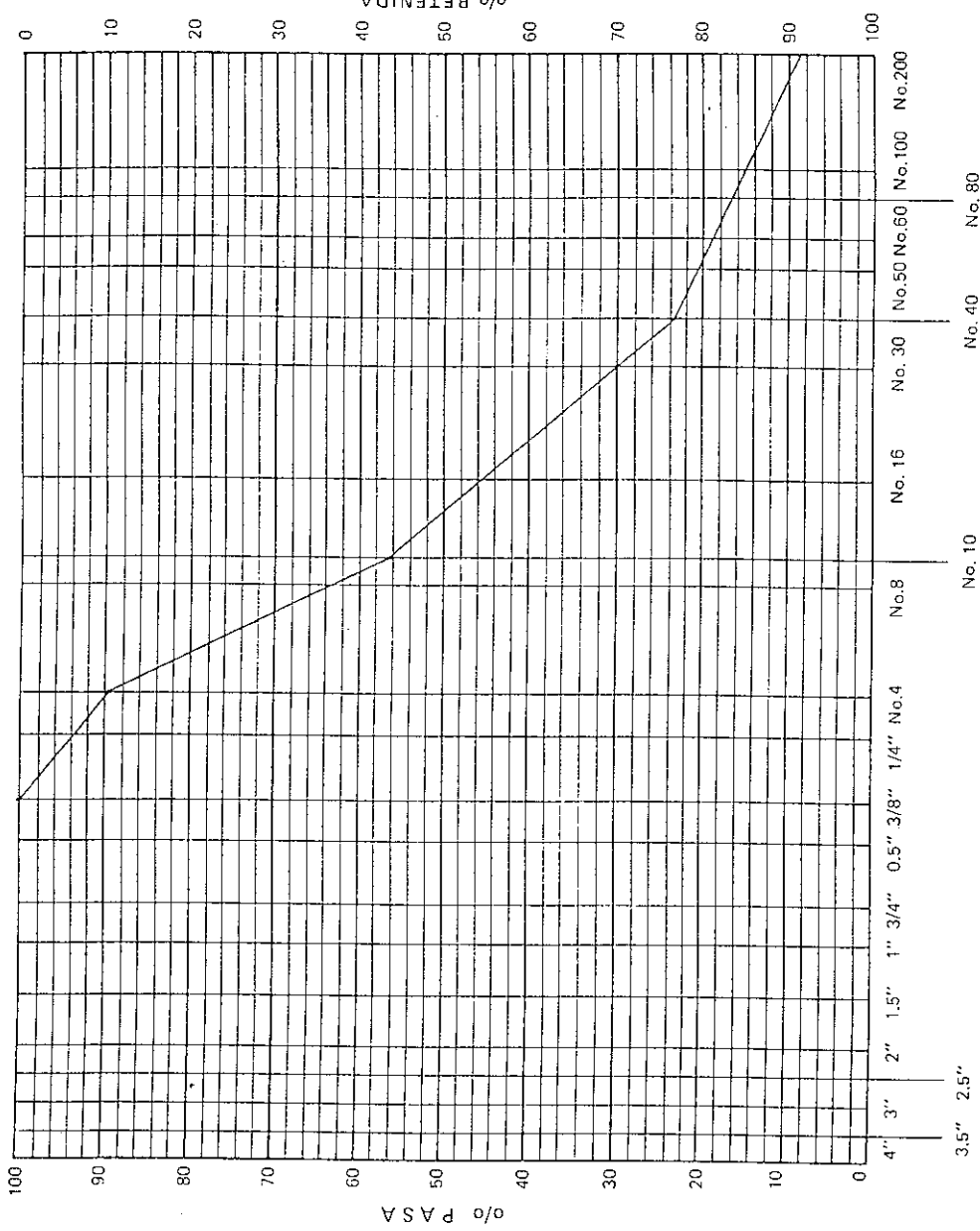
REVISO _____

MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES COLVO DE PIEDRA

GRAFICA No. 17

CURVA GRANULOMETRICA



ABERTURA TAMICES

Fecha _____
 Proyecto HCR
 Muestra No. _____
 Procedencia HOLLANDA - CEPESA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
		0/0 RET.	0/0 PASA
1 1/2"			
1"			
3/4"			
3/8"			
No. 4	196.6	50.6	10.5
No. 10	355.5	209.5	43.3
No. 40	515.4	369.4	76.4
No. 200	587.1	441.1	91.2

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. 679.6 P.B.S. _____

TARA 146.0 TARA _____

P.N.S. 483.6 P.N.S. _____

EFEKTUO _____

CALCULO _____

REVISO _____

MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES LOLVO DE PLOSA

A estas mezclas se les denominó 1-A, 1-B y 1-C, respectivamente, y los resultados se muestran a continuación:

MEZCLA 1-A:

MEZCLA POR VOLUMEN:

% VOLUMEN	AGREGADOS	ORIGEN
50	Piedrín de 1"	Cepesa
38	Polvo de piedra	Cepesa
12	Cemento	Cementos Progreso
<hr/> 100		

En estas pruebas se tomó como especificación la norma de A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials) # T 180-86.

Peso Unitario Seco (P.U.S.) de la muestra: 141.5 lbs/pie³

Porcentaje de humedad óptima (% H. OP.): 8.7%

1.12 = 12% de cemento por volumen.

Calculando la cantidad de sacos de cemento para un metro cúbico de HCR, tenemos:

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 / 1.12\% = 126.34 \text{ (Peso unitario sin cemento)}$$

$$141.5 - 126.34 = 15.16 \text{ lbs/pie}^3$$

$$15.16 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 535.3 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$535.3 / 94 \text{ lbs/saco} = 5.70 \text{ sacos}/\text{m}^3 \text{ (Por volumen)}$$

Operando la equivalencia del porcentaje de volumen con el porcentaje de peso, de la masada para probetas, se obtiene:

AGREGADOS	% VOLUMEN	PESO EN GRAMOS
Piedrín de 1"	50	3,890
Polvo de piedra	38	3,516
Cemento	12	896
		<hr/>
		8,302

AGREGADOS		% PESO
Piedrín de 1"	$3,890/8,302 =$	47
Polvo de piedra	$3,516/8,302 =$	42
Cemento	$896/8,302 =$	11

$$141.5 \text{ lbs/pe}^3 / 1.11\% = 127.5 \text{ (Peso unitario sin cemento)}$$

$$141.5 - 127.5 = 14.0 \text{ lbs/pe}^3$$

$$14.0 * 35.31 \text{ pe}^3/\text{m}^3 = 494.34 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$494.34 / 94 \text{ lbs/saco} = 5.26 \text{ sacos}/\text{m}^3 \text{ (Por peso)}$$

Calculando la cantidad de sacos de cemento por metro cúbico de mezcla y utilizando pesos de volúmenes y relaciones, obtenemos:

$3,890 \text{ gr. Piedrín 1" / } 896 \text{ gr. cemento} = 4.34 * 94 =$	407.96
$3,516 \text{ gr. P. Piedra / } 896 \text{ gr. cemento} = 3.92 * 94 =$	368.48
$896 \text{ gr. cemento / } 896 \text{ gr. cemento} = 1.00 * 94 =$	94.00
$410 \text{ gr. agua / } 896 \text{ gr. cemento} = 0.457 * 94 =$	43.01
	<hr/>
	913.45

$$913.45 \text{ lbs/saco} / 141.5 \text{ lbs/pie}^3 = 6.45 \text{ pie}^3/\text{saco}$$

$$35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 / 6.45 \text{ pie}^3/\text{saco} = 5.47 \text{ sacos}/\text{m}^3$$

Calculando la cantidad de agua necesaria por metro cúbico:

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 * 1.087\% \text{ H. OP.} = 153.8 \text{ lbs/pie}^3$$

$$153.8 - 141.5 = 12.3 \text{ lbs/pie}^3$$

$$12.3 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 434.3 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$434.3 / 8.34 \text{ lbs/galón} = 52.1 \text{ gal}/\text{m}^3$$

Relación agua / cemento: 0.457

MEZCLA 1-B:

MEZCLA POR VOLUMEN:

% VOLUMEN	AGREGADOS	ORIGEN
50	Piedrín de 1"	Cepesa
36	Polvo de piedra	Cepesa
14	Cemento	Cementos Progreso
<hr/>		
100		

En estas pruebas se tomó como especificación la norma de A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials) # T 180-86.

Peso Unitario Seco (P.U.S.) de la muestra: 141.5 lbs/pie³

Porcentaje de humedad óptima (% H. OP.): 8.7%

1.14 = 14% de cemento por volumen.

Calculando la cantidad de sacos de cemento para un metro cúbico de HCR:

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 / 1.14\% = 124.12 \text{ (Peso unitario sin cemento)}$$

$$141.5 - 124.12 = 17.38 \text{ lbs/pie}^3$$

$$17.38 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 613.7 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$613.7 / 94 \text{ lbs/saco} = 6.53 \text{ sacos}/\text{m}^3 \text{ (Por volumen)}$$

Al operar la equivalencia del porcentaje de volumen con el porcentaje de peso, de la mazada para probetas, se obtiene:

AGREGADOS	% VOLUMEN	PESO EN GRAMOS
Piedrín de 1"	50	3,890
Polvo de piedra	36	3,407
Cemento	14	1,020
		8,317

AGREGADOS		% PESO
Piedrín de 1"	$3,890/8,317 =$	47
Polvo de piedra	$3,407/8,317 =$	41
Cemento	$1,020/8,317 =$	12

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 / 1.12\% = 126.3 \text{ (Peso unitario sin cemento)}$$

$$141.5 - 126.3 = 15.2 \text{ lbs/pie}^3$$

$$15.2 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 536.71 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$536.71 / 94 \text{ lbs/saco} = 5.71 \text{ sacos}/\text{m}^3 \text{ (Por peso)}$$

Al calcular la cantidad de sacos de cemento por metro cúbico de mezcla y utilizando pesos de volúmenes y relaciones, se obtiene:

$$3,890 \text{ gr. Piedrín } 1''/1,020 \text{ gr. cemento} = 3.81 * 94 = 358.14$$

$$3,407 \text{ gr. P. Piedra } /1,020 \text{ gr. cemento} = 3.34 * 94 = 313.96$$

$$1,020 \text{ gr. cemento} / 1,020 \text{ gr. cemento} = 1.00 * 94 = 94.00$$

$$410 \text{ gr. agua} / 1,020 \text{ gr. cemento} = 0.402 * 94 = 37.60$$

$$803.70$$

$$803.70 \text{ lbs/saco} / 141.5 \text{ lbs/pie}^3 = 5.68 \text{ pie}^3/\text{saco}$$

$$35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 / 5.68 \text{ pie}^3/\text{saco} = 6.22 \text{ sacos}/\text{m}^3$$

Calculando la cantidad de agua necesaria por metro cúbico:

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 * 1.087\% \text{ H. OP.} = 153.8 \text{ lbs/pie}^3$$

$$153.8 - 141.5 = 12.3 \text{ lbs/pie}^3$$

$$12.3 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 434.3 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$434.3 / 8.34 \text{ lbs/galón} = 52.1 \text{ gal}/\text{m}^3$$

Relación agua / cemento: 0.402

MEZCLA 1-C:

MEZCLA POR VOLUMEN:

% VOLUMEN	AGREGADOS	ORIGEN
50	Piedrín de 1"	Cepesa
34	Polvo de piedra	Cepesa
16	Cemento	Cementos Progreso
<hr/> 100		

En estas pruebas se tomó como especificación la norma de A.A.S.H.T.O.
(American Association of State Highway and Transportation Officials) # T 180-86.

Peso Unitario Seco (P.U.S.) de la muestra: 141.5 lbs/pie³

Porcentaje de humedad óptima (% H. OP.): 8.7%

1.16 = 16% de cemento por volumen.

Calculando la cantidad de sacos de cemento para un metro cúbico de HCR:

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 / 1.16\% = 122.00 \text{ (Peso unitario sin cemento)}$$

$$141.5 - 122.00 = 19.50 \text{ lbs/pie}^3$$

$$19.50 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 688.5 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$688.5 / 94 \text{ lbs/saco} = 7.32 \text{ sacos}/\text{m}^3 \text{ (Por volumen)}$$

Al operar la equivalencia del porcentaje de volumen con el porcentaje de peso, de la mazada para probetas, se obtiene:

AGREGADOS	% VOLUMEN	PESO EN GRAMOS
Piedrín de 1"	50	3,725
Polvo de piedra	38	3,267
Cemento	12	1,085
		<hr/> 8,077

AGREGADOS		% PESO
Piedrín de 1"	$3,725/8,077 =$	46
Polvo de piedra	$3,267/8,077 =$	40
Cemento	$1,085/8,302 =$	13.4

$$141.5 \text{ lbs/pe}^3 / 1.134\% = 124.8 \text{ (Peso unitario sin cemento)}$$

$$141.5 - 124.8 = 16.7 \text{ lbs/pe}^3$$

$$16.7 * 35.31 \text{ pe}^3/\text{m}^3 = 589.67 \text{ lbs/m}^3$$

$$589.67 / 94 \text{ lbs/saco} = 6.27 \text{ sacos/m}^3 \text{ (Por peso)}$$

Calculando la cantidad de sacos de cemento por metro cúbico de mezcla y al utilizar pesos de volúmenes y relaciones:

3,725 gr. Piedrín 1"/1,085 gr. cemento = 3.43 * 94 =	322.42
3,267 gr. P. Piedra /1,085 gr. cemento = 3.01 * 94 =	282.94
1,085 gr. cemento /1,085 gr. cemento = 1.00 * 94 =	94.00
410 gr. agua /1,085 gr. cemento = 0.378*94 =	35.72
	<hr/>
	735.08

$$735.08 \text{ lbs/saco} / 141.5 \text{ lbs/pie}^3 = 5.19 \text{ pie}^3/\text{saco}$$

$$35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 / 5.19 \text{ pie}^3/\text{saco} = 6.80 \text{ sacos}/\text{m}^3$$

Al calcular la cantidad de agua necesaria por metro cúbico:

$$141.5 \text{ lbs/pie}^3 * 1.087\% \text{ H. OP.} = 153.8 \text{ lbs/pie}^3$$

$$153.8 - 141.5 = 12.3 \text{ lbs/pie}^3$$

$$12.3 * 35.31 \text{ pie}^3/\text{m}^3 = 434.3 \text{ lbs}/\text{m}^3$$

$$434.3 / 8.34 \text{ lbs/galón} = 52.1 \text{ gal}/\text{m}^3$$

$$\text{Relación agua / cemento: } 0.378$$

A estas mezclas también se le sacó su curva granulométrica y se hicieron cilindros o probetas de ensayo para probar Proctor, C.B.R. (California Bearing Ratio) y porcentajes de compactación. Los resultados para cada muestra se pueden apreciar en las Gráficas No. 18 a No. 26.

De cada tipo de mezcla (1-A, 1-B y 1-C) se hicieron 9 cilindros de ensayo. Todos estos sirvieron para probar la resistencia de las mezclas. 3 cilindros se rompieron a los 7 días de hechos, otros 3 a los 14 días y los últimos 3, a los 28 días.

A cada cilindro se le probó su resistencia a 12, 30 y 65 golpes. Los resultados se ilustran en las Gráficas No. 27, No. 28 y No. 29.

Para estudiar cambios en el comportamiento de las mezclas con diferentes materiales, se investigó un agregado grueso y un agregado fino o polvo de piedra, ambos de roca triturada, extraídos de un banco ubicado en la finca Lorenzana, kilómetro 17.5 carretera a El Salvador.

Uno de los piedrines pasó el 100% del tamiz de 1 1/2" y retuvo 1". Su granulometría se muestra en la Gráfica No 30. El otro, el 100% pasó el tamiz de 1" y retuvo 3/4". Su granulometría se observa en las Gráficas No. 31 y No. 32.

La curva granulométrica del polvo de piedra (pasa 100% 3/8") se muestra en la Gráfica No. 33.

GRAFICA No. 18

CURVA GRANULOMETRICA

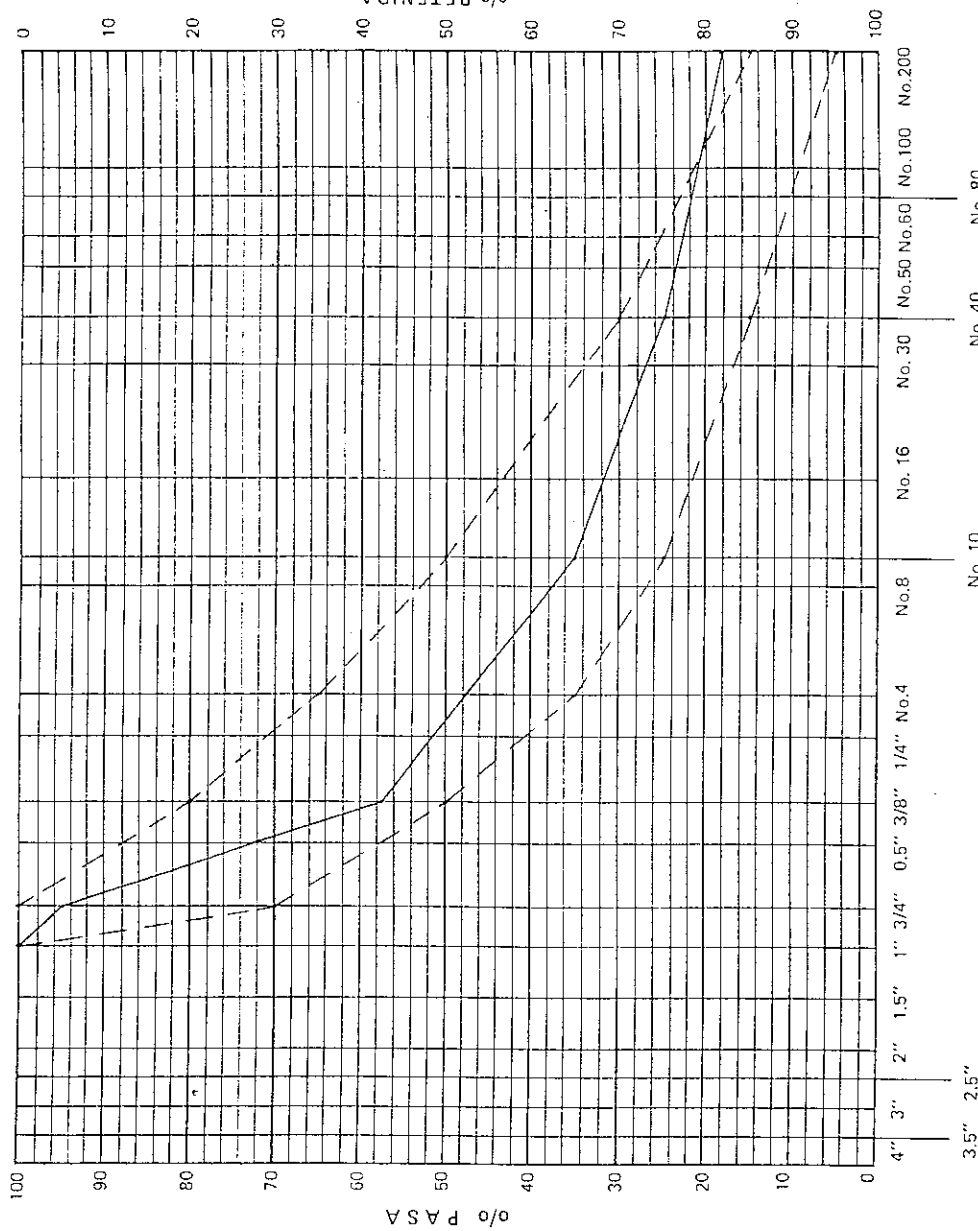
Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. 1-A
 Procedencia HORCALSA

METODO DE PRUEBAS					
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% RET.	% PASA	
				ESPECIF.	
				RACE TIPO	
				% (L.M.X)	
1"				100.0	100.0
3/4"	299.0	104.4	5.0	95.0	70-100
1/2"	710.0	575.4	21.3	72.7	
3/8"	1091.5	896.7	42.6	57.4	50-80
No. 4	1294.0	1099.4	52.2	47.8	35-65
No. 10	1562.5	1367.9	65.0	35.0	25-50
No. 20	1775.2	1580.6	75.1	24.9	15-30
No. 40	1916.2	1721.6	81.8	18.2	5-15
					SOLO CEMENTO

PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____
 P.B.S. _____ P.B.S. 2299.0
 TARA _____ TARA 194.6
 P.N.S. _____ P.N.S. 2104.4

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA Por Volúmenes

OBSERVACIONES MEZCLA DE:
50% PIEDRA 1" HORCALSA
38% POLVO DE PIEDRA HORCALSA
12% CEMENTO



ABERTURA TAMICES

No. LABORATORIO 1-A TRAMO: _____

GRAFICA No. 19

ESTACION: _____ PROYECTO: H.C.B.

PROCTOR Y CBR

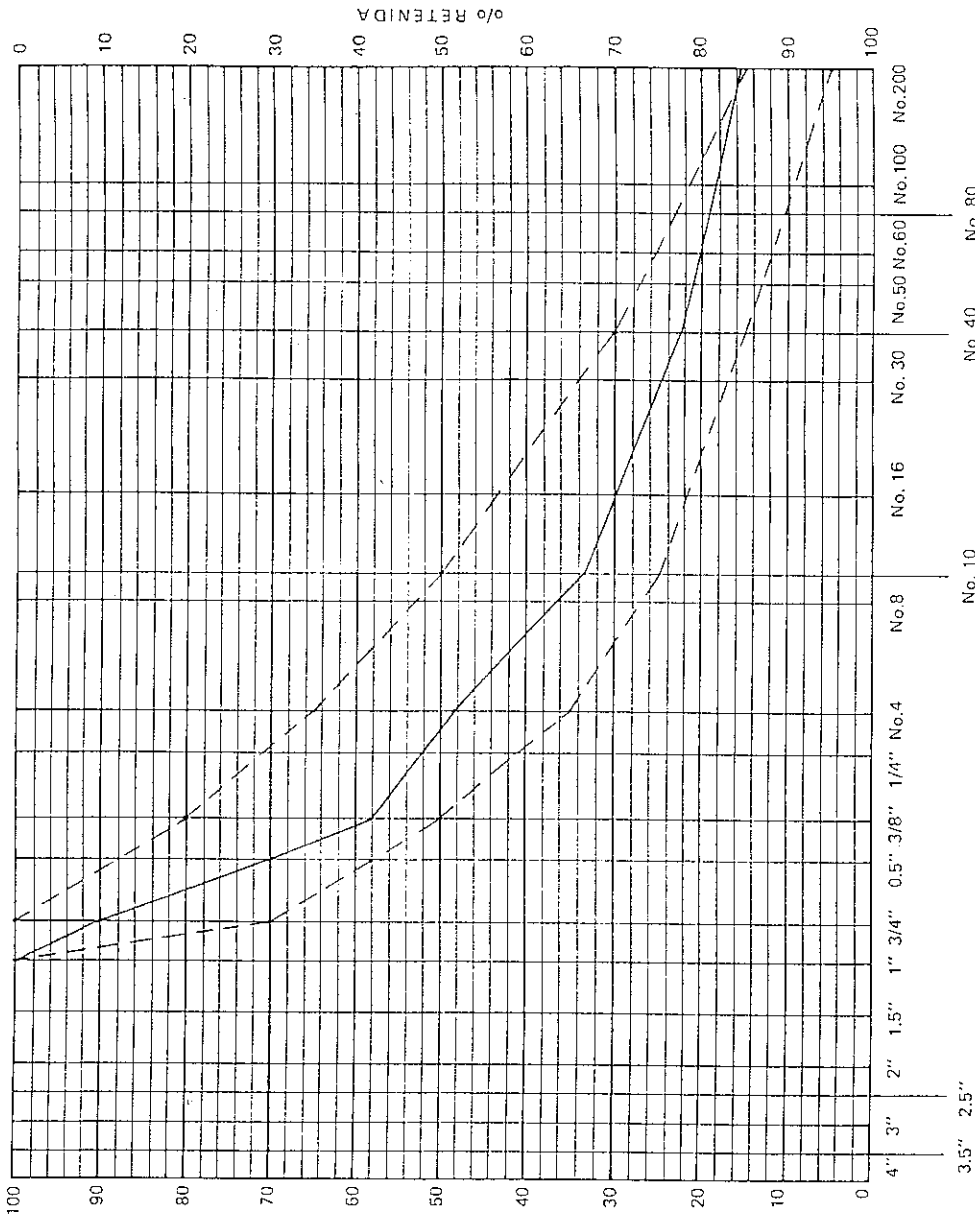
P. B.	Tara	P. N.	P. U. H.	Tarro	Tara	P. B. H.	P. U. S.	Dif.	P. N. S.	o/o H.	Prom.	P. U. S.	Cant. de Material - Gts.	Cant. Agua	cc.
Determinación o/o Humedad.															
Tarro	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Humedad Optima del Ensayo															
Tarro	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Cil. 1															
Cil.	Tara	Cbr. a 65 Golpes		P. N.	Capac.	o/o Compactación 18.6									
P. B.	Tara	Cbr. a 65 Golpes		P. N.	Capac.	P. U. S.									
26.63	15.25	11.38		13.33	159.6										
Fecha Inmet: _____															
Días de " 510															
Cil. 2															
Cil.	Tara	Cbr. a 70 Golpes		P. N.	Capac.	o/o Compactación 15.5									
P. B.	Tara	Cbr. a 70 Golpes		P. N.	Capac.	P. U. S.									
26.26	15.22	11.04		13.31	159.2										
Fecha Inmet: _____															
Días de " 510															
Cil. 12															
Cil.	Tara	Cbr. a 12 Golpes		P. N.	Capac.	o/o Compactación 12.3									
P. B.	Tara	Cbr. a 12 Golpes		P. N.	Capac.	P. U. S.									
26.35	15.64	10.71		13.25	150.5										
Fecha Inmet: _____															
Días de " 510															
Lectura de penetración Amilo No. (279)															
Golpe	0.025	0.050	0.075	0.100	0.200										
65	530	1,130	2,550	3,960	10,000										
30	500	1,400	2,520	3,500	8,500										
12	340	760	1,660	2,410	4,750										
FECHA DE ENTRADA MUESTRA: _____															
" " " SALIDA: _____															
OPERADOR: _____															

Forma M y T 21

GRAFICA No. 21

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. 1-3
 Procedencia HOOGALISA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% RET. PASA
1"			100.0
3/4"	417.7	223.1	10.0
1/2"	858.7	444.1	20.2
3/8"	1126.2	931.6	41.8
No. 4	1343.4	1148.8	51.6
No. 10	1674.5	1479.9	66.4
No. 40	1910.0	1725.4	77.5
No. 200	2072.1	1871.5	84.3
			CON CEMENTO
			INCLUIDO

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. _____ P.B.S. 2421.5

TARA _____ TARA 194.6

P.N.S. _____ P.N.S. 2260.9

EFFECTUO _____

CALCULO _____

REVISO _____

MUESTRA TOMADA Por Volúmenes

OBSERVACIONES MEZCLA DE:

50% PIEDRA 1" HORADADA

30% POLVO DE PIEDRA HORADADA

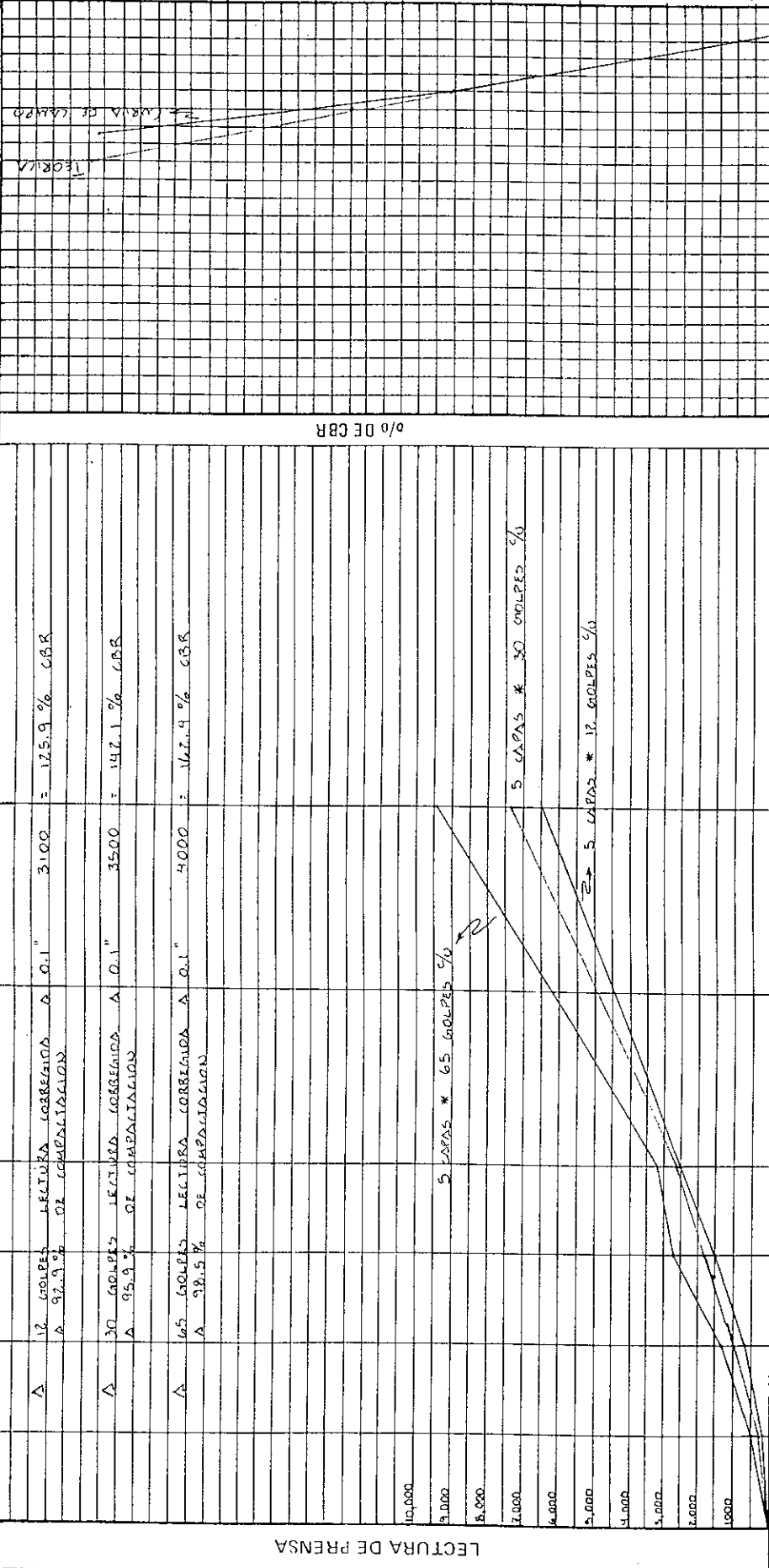
14 1/2% CEMENTO

ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 23

FORMA N.Y.T. 72

Proyecto H.C.R. Estación No. de Laboratorio 1-3 Fecha _____
 Tramo _____ Operador _____
 Observaciones: ARELLA POR VOLUMEN:
50% PIEDRA 1" HORCALSA
36% POLVO DE PIEDRA HORCALSA
14% CEMENTO
USOS:
ASHTO T-190
ASHTO T-193
ANILLO DE 10,000 LBS # A-117
 CBR = LECTURA * 0.0406



o/o Compaction = o/o CBR
 100.0 = 162.8
 97.0 = 148.0
 95.0 = 137.5

Impreso: 382227

GRAFICA No. 24

CURVA GRANULOMETRICA

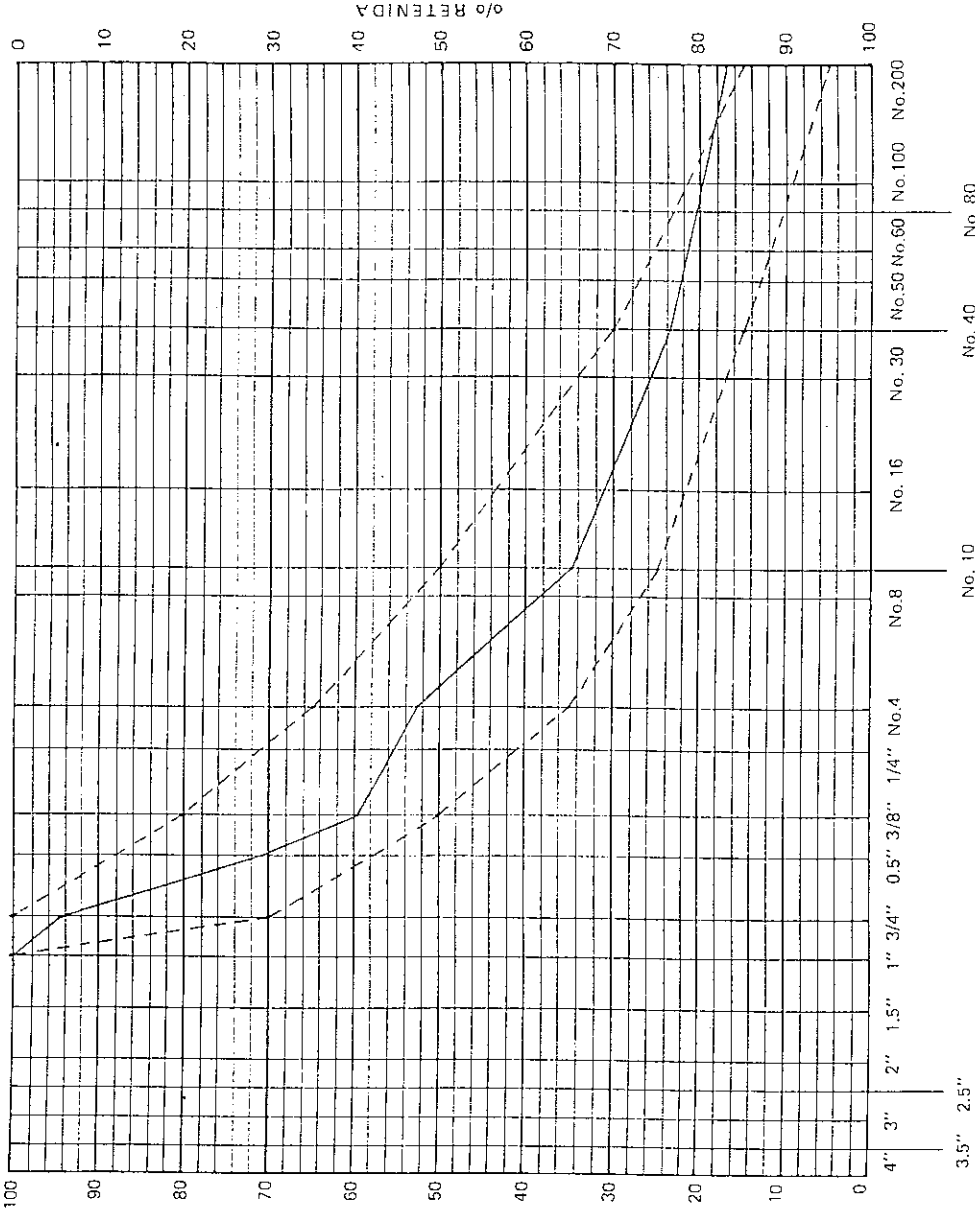
Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. 1-6
 Procedencia HORGALZA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"	277.6	79.3	100.0
3/4"	858.6	60.3	96.5
1/2"	1110.0	40.7	70.8
3/8"	1243.7	106.4	50.6
No. 4	1474.8	47.2	52.8
No. 10	1721.4	65.3	34.7
No. 20	1872.9	82.9	25.50
No. 40	2011.2	17.1	15.30
No. 60			5.15
No. 80			CON GEMERIO

PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____
 P.B.S. _____ P.B.S. 1456.0
 TARA _____ TARA 18.3
 P.N.S. _____ P.N.S. 2251.7

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA Por Volumen

OBSERVACIONES MEZCLA DE
50% FIEBRO 1" HORGALZA
31% POLVO DE FIEBRO HORGALZA
16% CEMENTO



ABERTURA TAMICES

Proyecto H.C.B.

No. de Laboratorio 1-C

Fecha _____

Estación _____ Tramo _____

Operador _____

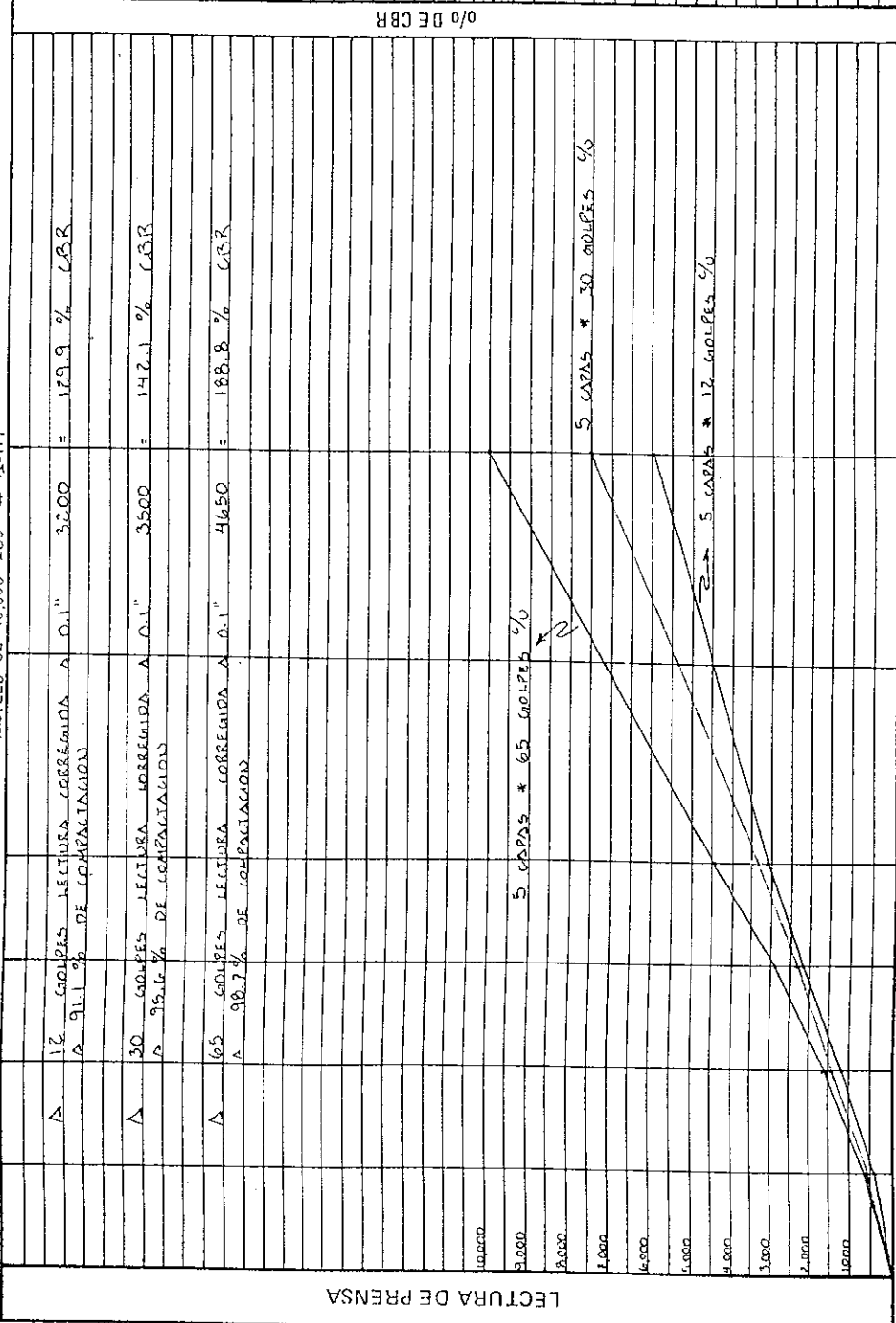
Observaciones
MEZCLA POR VOLUMEN:
50% PIEDRA HORNEADA
34% POLVO DE PIEDRA HORNEADA
16% CEMENTO

NORMA:
ASTM T-180
ASTM T-193
MOLDE DE 10,000 LBS # A-117

CSR = LECTURA * 0.0406

o/o Compactación = o/o CBR

100.0 = 188.9
97.0 = 149.7
95.0 = 140.0



LECTURA DE PUNTA

PENETRACION DEL PISTON

0.300

0.200

0.150

0.100

0.075

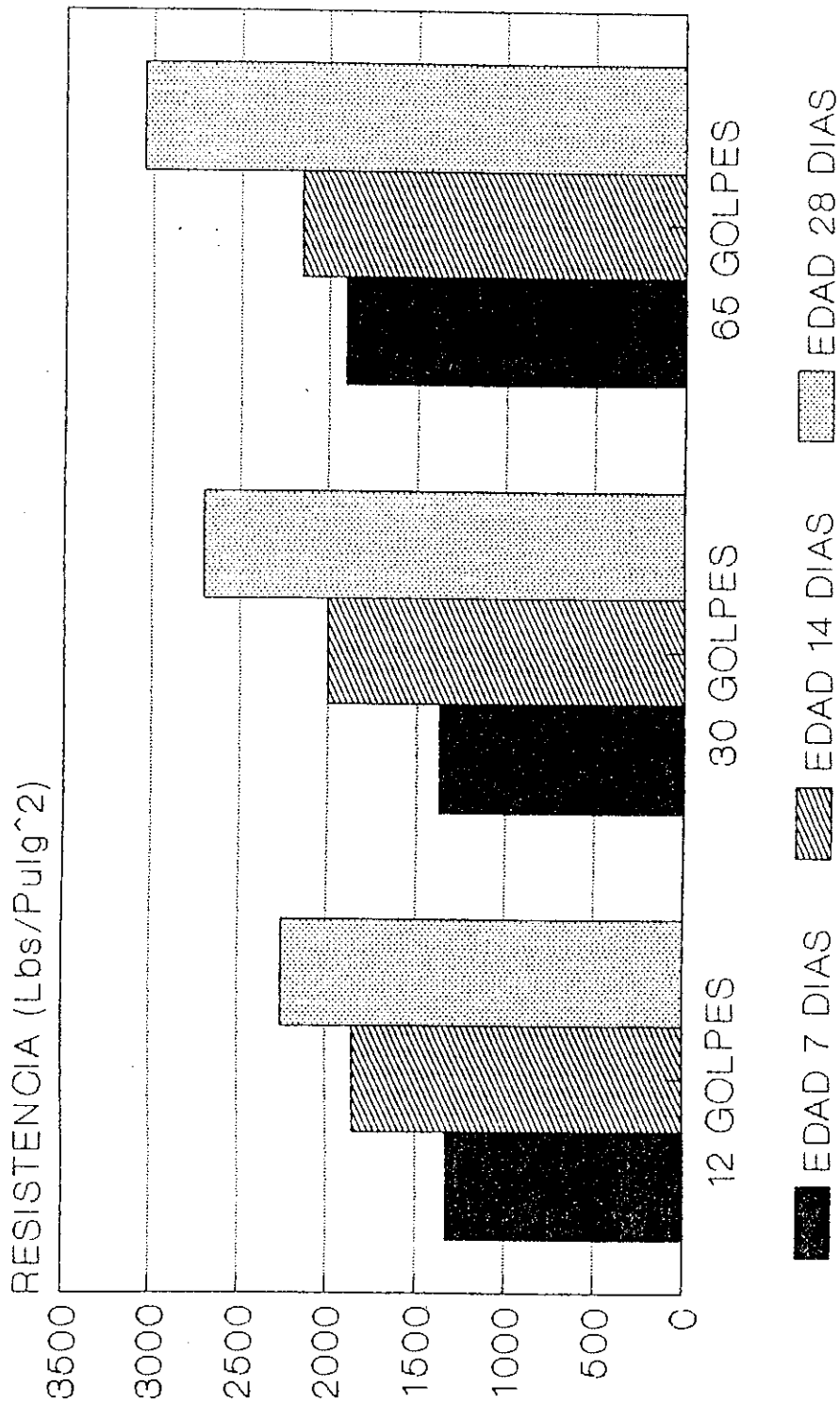
0.050

0

Impreso: 362227

GRAFICA No. 27

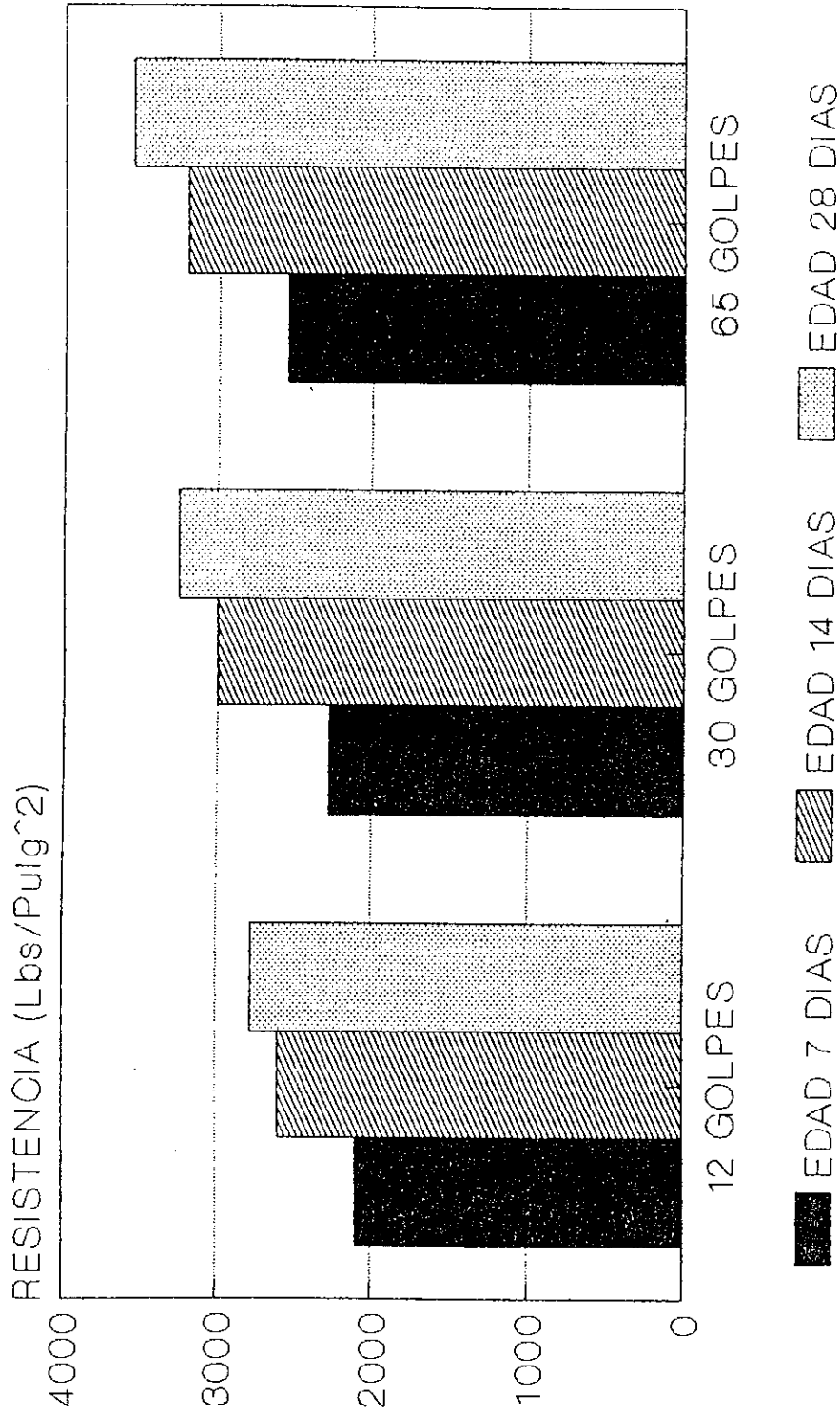
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA 1-A (12% DE CEMENTO)

GRAFICA No. 28

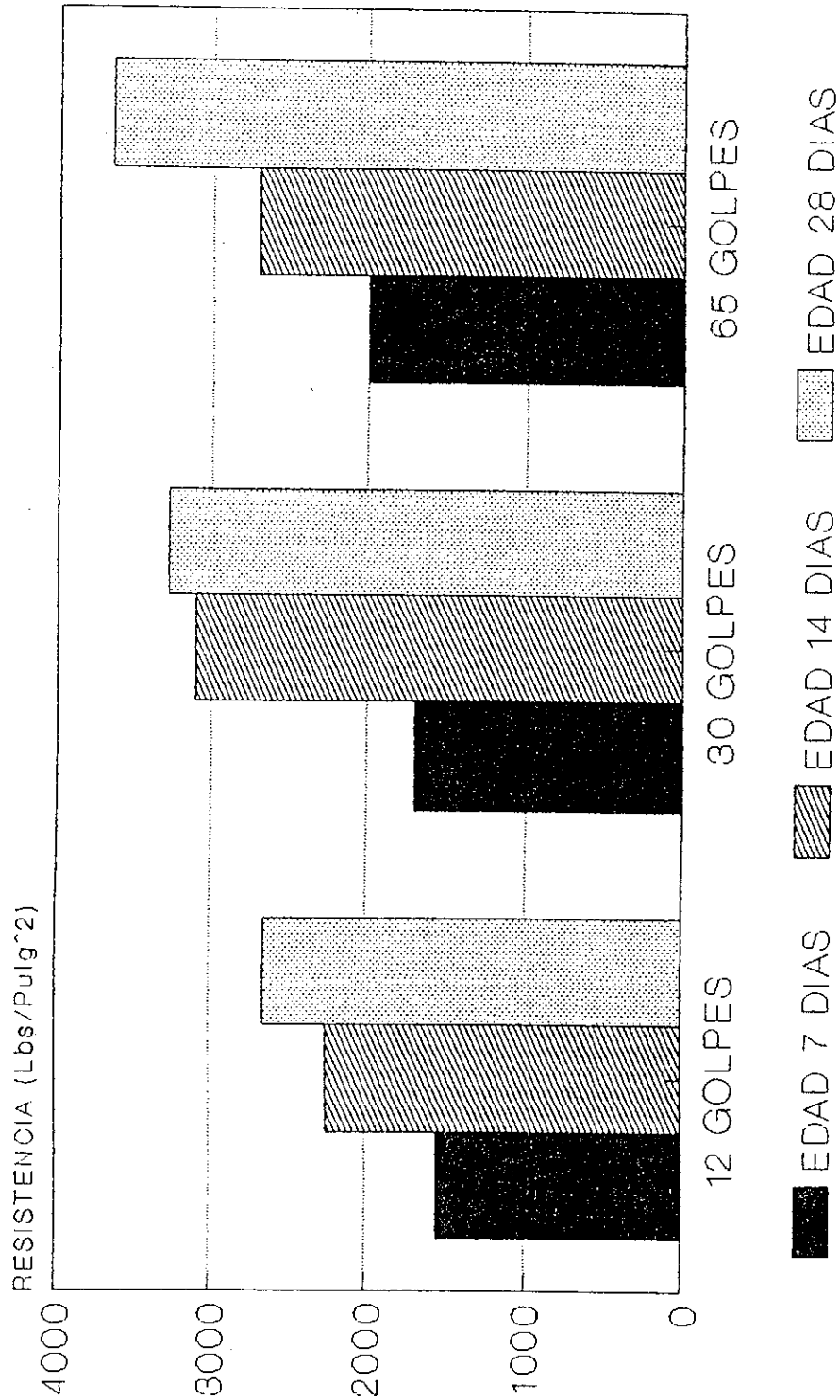
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA 1-B (14% DE CEMENTO)

GRAFICA No. 29

ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA 1-C (16% DE CEMENTO)

GRAFICA No. 30

CURVA GRANULOMETRICA

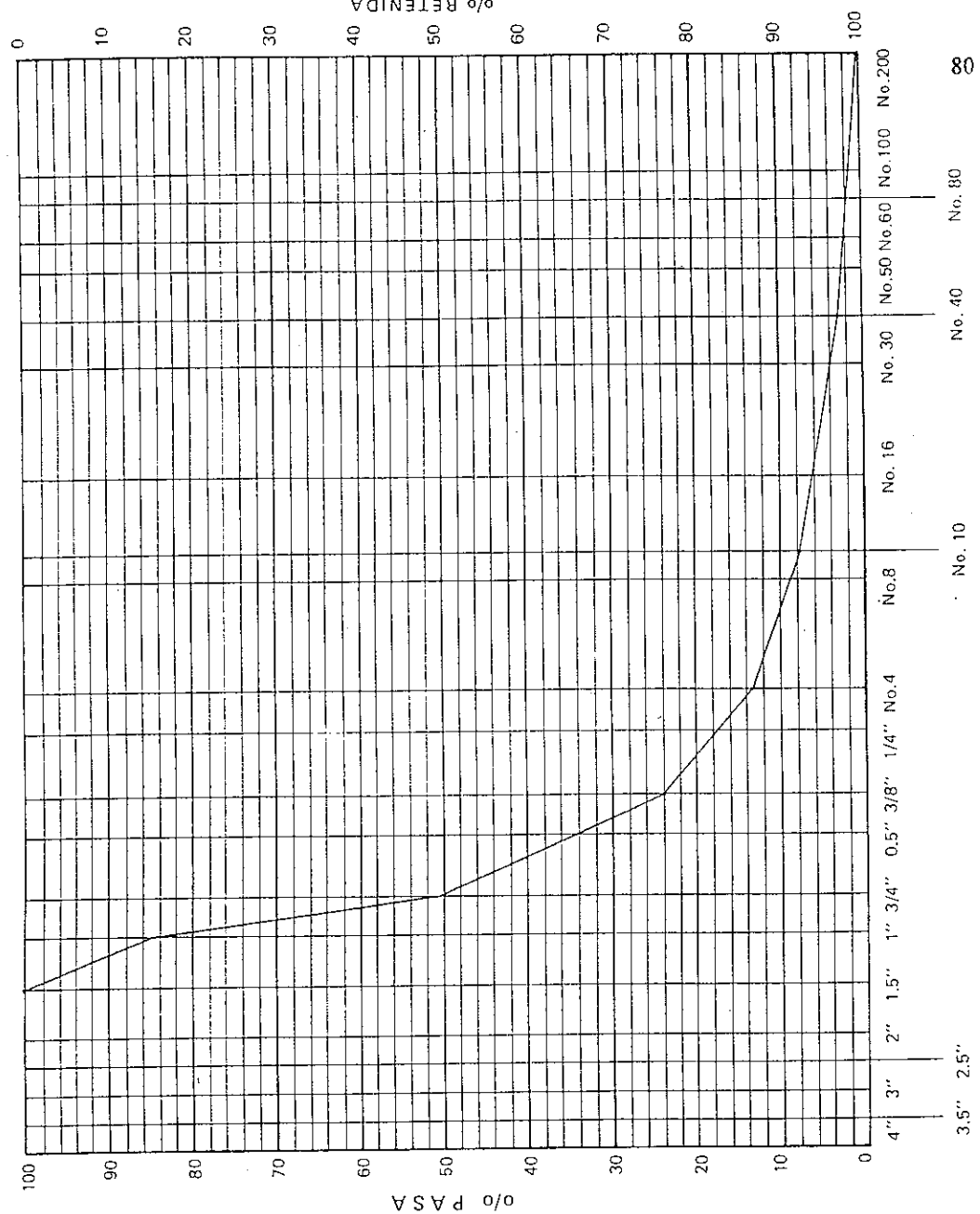
Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia BASO LOREZANÁ

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1 1/2"	486.9	291.6	100.0
1"	1137.0	941.7	84.7
3/4"	1642.5	1447.2	50.6
3/8"	1845.0	1649.7	24.1
Nº 4	1954.1	1750.8	13.4
Nº 10	2043.9	1848.6	7.8
Nº 40	2089.0	1893.7	3.1
Nº 200			0.7

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	_____	P.B.S.	<u>2107.1</u>
TARA	_____	TARA	<u>195.3</u>
P.N.S.	_____	P.N.S.	<u>1906.8</u>

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES PIEDRA DE 1 1/2"



ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 31

CURVA GRANULOMETRICA

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

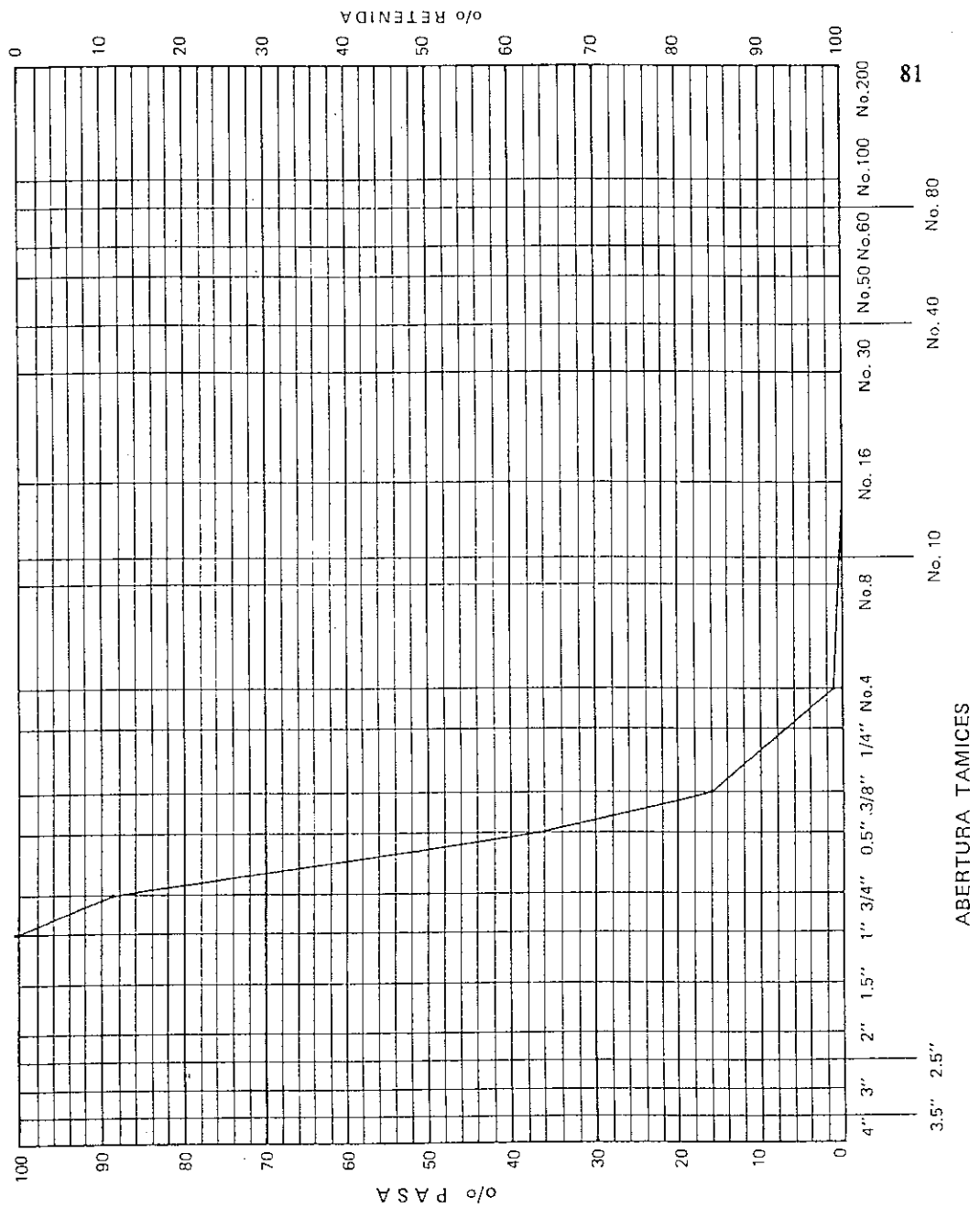
Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia BANCO LOREZANA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			
3/4"	201.1	11.3	88.7
1/2"	1125.6	63.3	56.7
3/8"	1495.0	81.7	19.9
No. 4	1756.4	98.6	1.2
No. 10	1773.0	99.7	0.3
No. 40	1774.0	99.8	0.2
No. 200	1776.0	99.9	0.1

PESO SIN LAVAR _____	PESO LAVADO _____
P.B.S. _____	P.B.S. _____
TARA _____	TARA _____
P.N.S. _____	P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES PIEDRA DE 1"

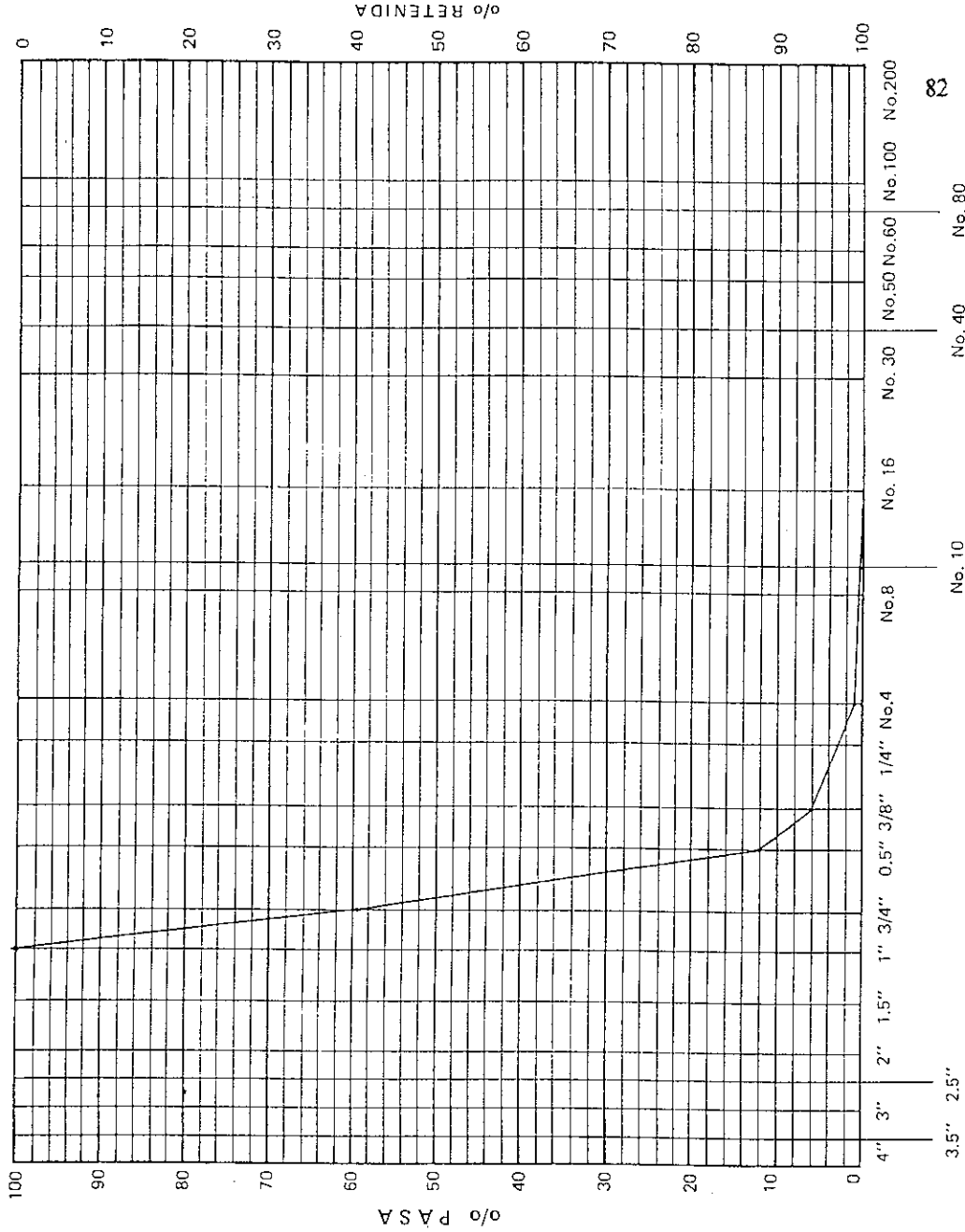


ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 32

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia BANJO LORCAZANA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			100.0
3/4"	605.0	40.8	85.100
1/2"	1454.0	88.0	70.90
3/8"	1530.0	93.9	60.85
No. 4	1609.0	98.8	42.65
No. 10	1617.2	99.3	29.17
No. 40	1619.9	99.5	14.27
No. 200	1623.0	99.7	9.19

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	_____	P.B.S.	_____
TARA	_____	TARA	_____
P.N.S.	_____	P.N.S.	_____

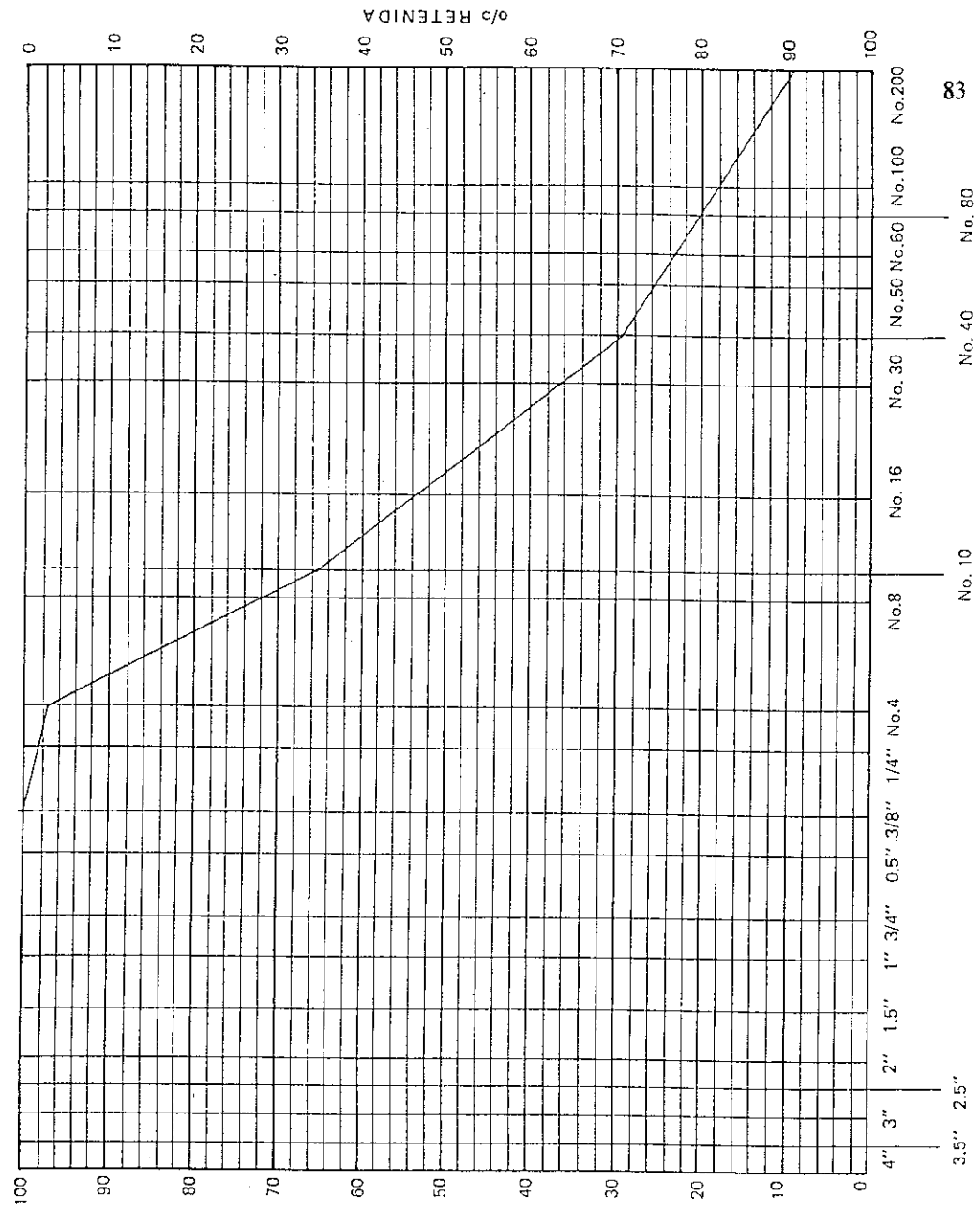
EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES VEDRIN DE 1"
LAS ESPECULACIONES SON PARA CURVA
IGUAL DE H.C.R. - ARGENTINA

ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 33

CURVA GRANULOMETRICA



Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. _____
 Procedencia TRITURADORA LOGANZANA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
3/8"			
No. 4	207.7	12.4	2.6
No. 10	358.3	163.0	34.4
No. 40	530.0	334.7	70.7
No. 200	623.2	427.9	90.4

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. _____ P.B.S. 668.6

TARA _____ TARA 195.3

P.N.S. _____ P.N.S. 473.3

EFFECTUO _____

CALCULO _____

REVISO _____

MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES COLUJO DE PIEDRA

Con los agregados de este banco (denominado banco Lorenzana en este trabajo de investigación), se hicieron las siguientes mezclas:

MEZCLA 2-A:

MEZCLA POR VOLUMEN:

% VOLUMEN	AGREGADOS	ORIGEN
50	Piedrín de 1"	Lorenzana
20	Polvo de piedra	Lorenzana
18	Polvo de piedra	Cepesa
12	Cemento	Cementos Progreso
<hr/> 100		

MEZCLA 2-B:

MEZCLA POR VOLUMEN:

% VOLUMEN	AGREGADOS	ORIGEN
50	Piedrín de 1"	Lorenzana
20	Polvo de piedra	Lorenzana
16	Polvo de piedra	Cepesa
14	Cemento	Cementos Progreso
<hr/> 100		

MEZCLA 2-C:

MEZCLA POR VOLUMEN:

% VOLUMEN	AGREGADOS	ORIGEN
50	Piedrín de 1"	Lorezana
20	Polvo de piedra	Lorezana
14	Polvo de piedra	Cepesa
16	Cemento	Cementos Progreso
<hr/> 100		

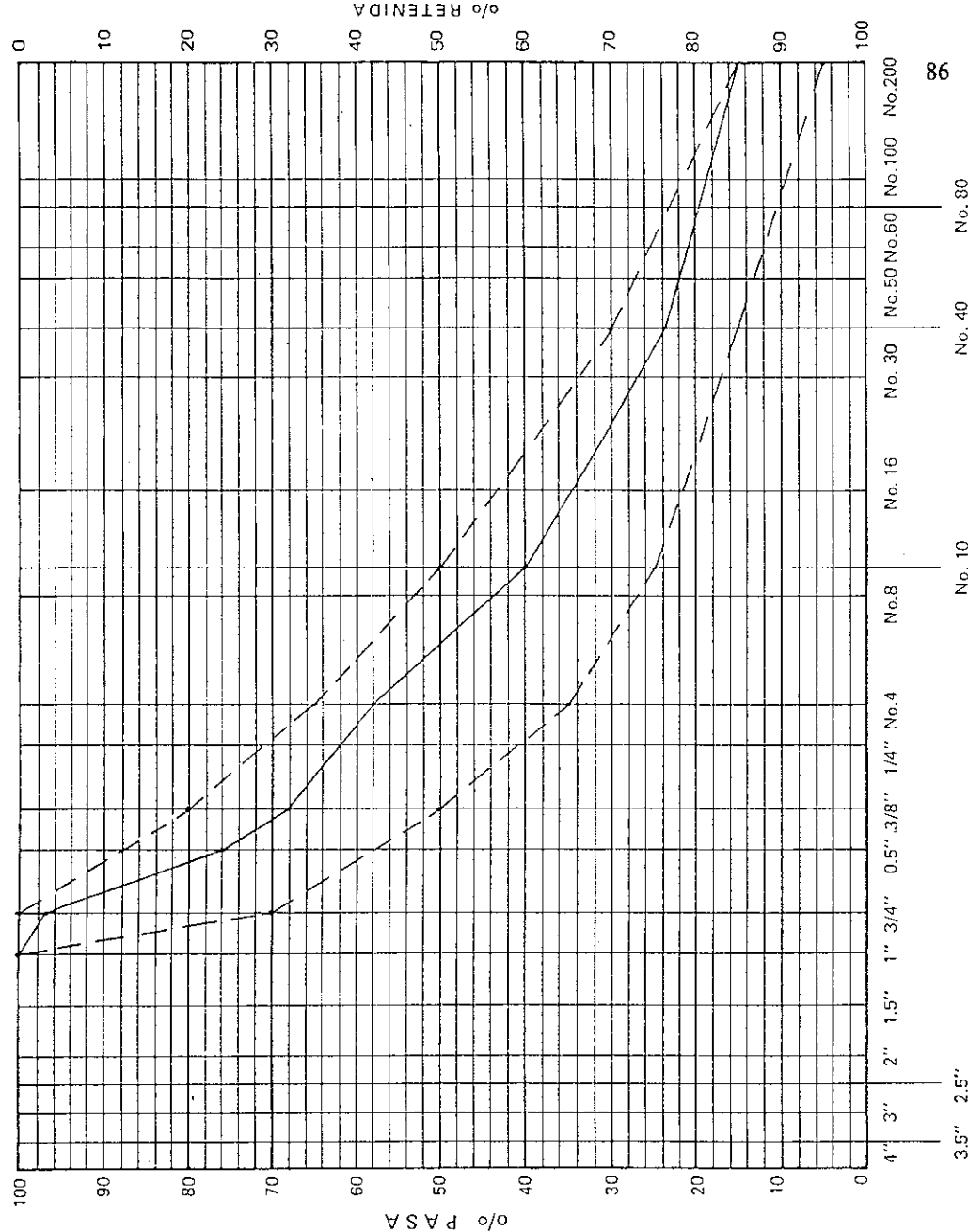
La granulometría de cada mezcla está ilustrada en las Gráficas No. 34, No. 37 y No. 40.

Los resultados de compactación, Proctor y C.B.R., también de cada mezcla, se muestran en las Gráficas No. 35, No. 36, No. 38, No. 39, No. 41 y No. 42.

A estas 3 mezclas también se le probó su resistencia por medio de cilindros de ensayo a ruptura de compresión, a los 7, 14 y 28 días. En cada edad se hizo el estudio con 12, 30 y 65 golpes. Los resultados se observan en las Gráficas No. 43, No. 44 y No. 45.

GRAFICA No. 34

CURVA GRANULOMETRICA



ABERTURA TAMICES

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. 2-A
 Procedencia _____

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% PASA
1"			100.0
3/4"	250.6	56.0	96.9
1/2"	632.8	438.2	75.9
3/8"	780.0	585.4	67.9
1/4"	962.1	727.5	57.9
No. 10	1292.1	1077.5	60.3
No. 40	1583.5	1388.9	74.3
No. 200	1744.3	1549.7	85.1
			CON CEMENTO
			INCLUIDO

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.		P.B.S.	2015.6
TARA		TARA	194.6
P.N.S.		P.N.S.	1821.0

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA Por Volumen

OBSERVACIONES MEZCLA DE 50% PIEDRA 1" TRI.
BOBENAJANA 20% POLVO DE PIEDRA IRITURADORA
BOBENAJANA 18% POLVO DE PIEDRA BOBENAJANA
12% CEMENTO

No. LABORATORIO 2-4

GRAFICA No. 35

TRAMO:

PROYECTO: H.C.R.

ESTACION:

PROCTOR Y CBR

P. B.	Tara	P. N.	P. U. H.	Tarro	Tara	P. B. H.	P. U. S.	Dif.	P. N. S.	o/o H.	Prom.	P. U. S.	Cant. de Material - Grs.	Cant. Agua	cc.
Determinación o/o Humedad.															
Tarro	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Humedad Optima del Ensayo															
Cil.	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Tarro	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Cbr. a 65 Golpes															
Cil.	9	Cbr. a 65 Golpes		P. N.		Capac.		o/o Compactación 98.3							
P. B.	Tara	Tara		P. N.		Capac.		P. U. S.							
26.50	15.40	11.10		13.32		135.9		o/o Sw.							
Fecha Immer: 5-13 Lect. Immer. 0.050 Salida															
Dias de " 5-13 Lect. Immer. 0.050 Salida															
Cil. 10 Cbr. a 30 Golpes															
P. B.	Tara	Tara		P. N.		Capac.		o/o Compactación 95.5							
26.10	15.22	10.88		13.21		132.1		P. U. S.							
Fecha Immer: 5-13 Lect. Immer. 0.050 Salida															
Dias de " 5-13 Lect. Immer. 0.050 Salida															
Cil. 12 Cbr. a 12 Golpes															
P. B.	Tara	Tara		P. N.		Capac.		o/o Compactación 92.0							
25.65	15.22	10.43		12.72		127.2		P. U. S.							
Fecha Immer: 5-13 Lect. Immer. 0.050 Salida															
Dias de " 5-13 Lect. Immer. 0.050 Salida															
Lectura de penetración Anillo No. (279)															
Golpe	0.025	0.050	0.075	0.100											
65	210	970	2,000	3,120	0.200										
50	250	950	1,780	2,650	7,700										
12	230	780	1,570	2,520	7,000										
FECHA DE ENTRADA MUESTRA: " " SALIDA															
OPERADOR:															

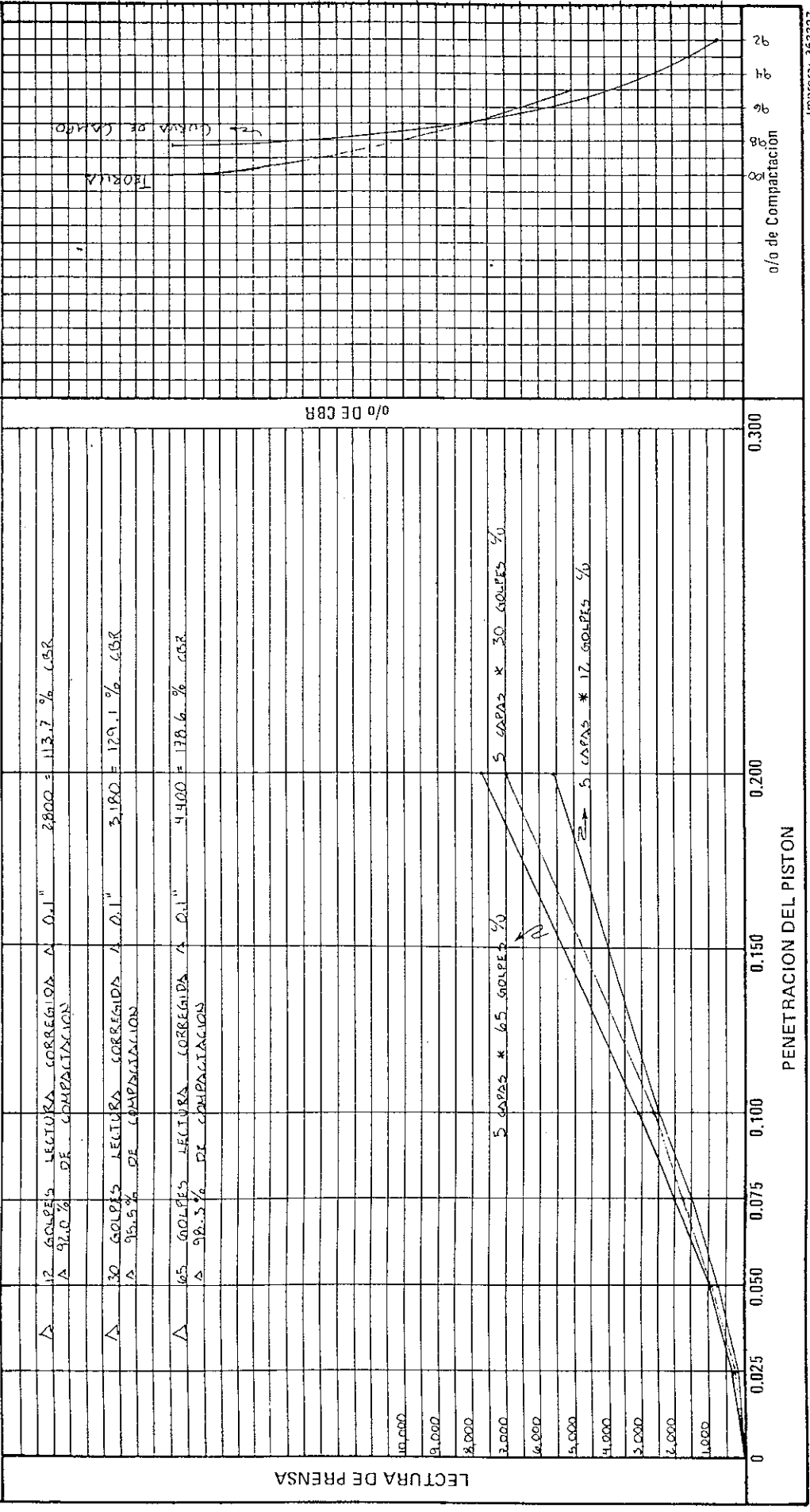
ESTUDIO:

CLASIFICACION VISUAL:

Tipo de Proctor CT-180
 No. de Cilindro
 Cant. de Material
 Vol. del Cilindro
 Agua Inicial Cant.
 Seguido con
 Operador:
 Fecha:
 Observaciones: MEZCLA POR VOL.
 50% PIEDRA 1° TRITU. MORENEADA
 20% POLVO PIEDRA TRITU. MORENEADA
 18% POLVO PIEDRA HORCALSA
 12% CEMENTO

Proyecto H.C.R. No. de Laboratorio 2-1 Fecha _____
 Estación _____ Tramo _____ Operator _____
 Observaciones MEZCLA POR VOLUMEN:
50% PIEDRA 1" TRATO, LOREZANA
20% POLVO DE PIEDRA TRATO, LOREZANA
18% POLVO DE PIEDRA HORCALSA
12% CEMENTO
FORMA:
MASHTO T-180
MASHTO T-193
AVILLO DE 10,000 LBS # A117
CSR = LECTURA * 0.04106

o/o Compactación = o/o CBR
 100.0 = 178.6
 97.0 = 143.7
 95.0 = 131.0



Impresos: 362227

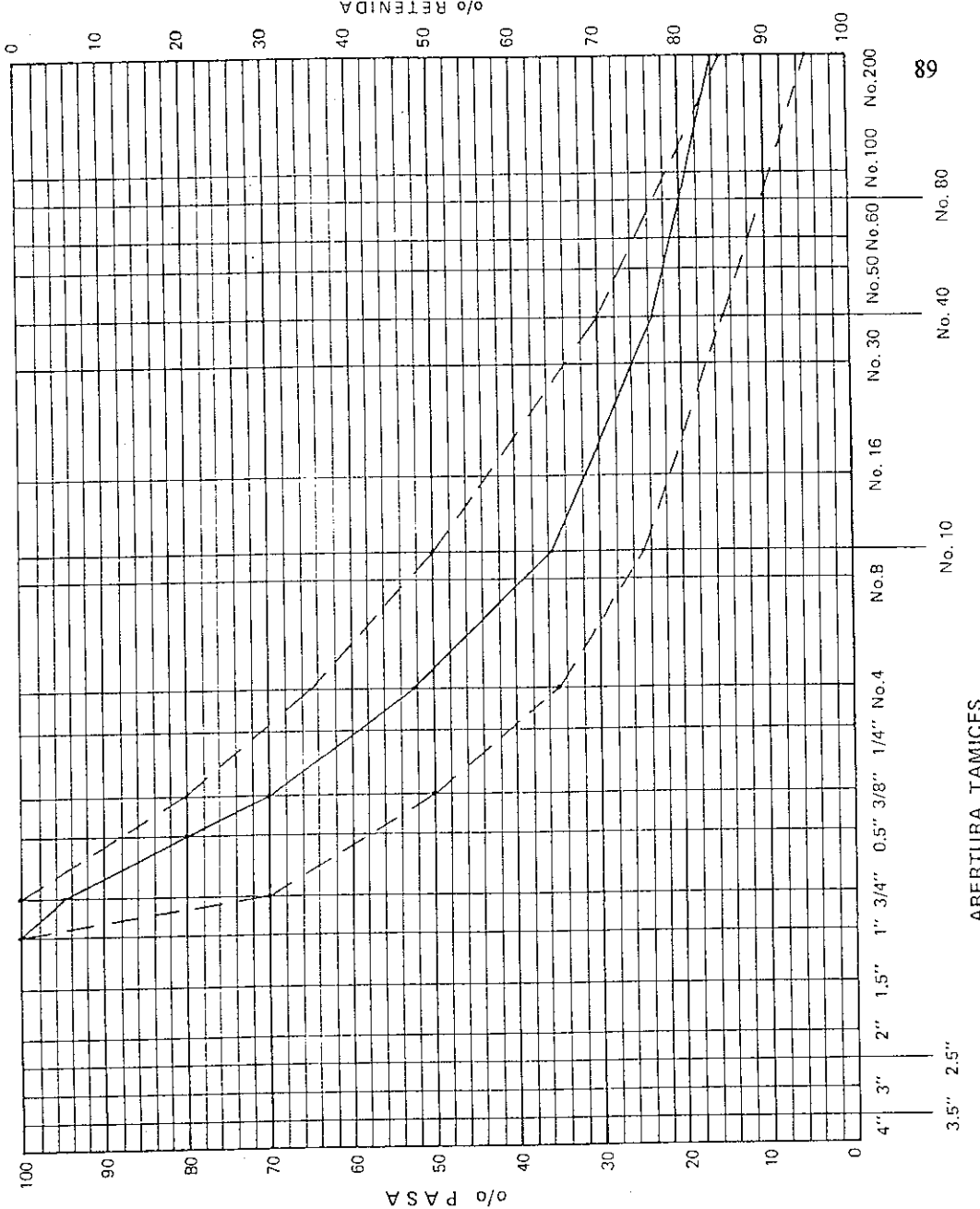
GRAFICA No. 37

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. Z-8
 Procedencia _____

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	0/0 RET.
1"			100.0
3/4"	291.4	96.8	5.0
1/2"	580.3	385.7	20.0
3/8"	774.2	579.6	30.1
Nº 4	1106.6	912.0	47.4
Nº 10	1434.0	1259.4	64.4
Nº 40	1664.1	1464.5	76.4
Nº 200	1810.6	1616.0	84.0
			CON CEMENTO

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	_____	P.B.S.	_____
TARA	_____	TARA	_____
P.N.S.	_____	P.N.S.	_____
EFFECTUO	_____		
CALCULO	_____		
REVISO	_____		
MUESTRA TOMADA	<u>Por Volumen</u>		
OBSERVACIONES <u>Mezcla de 50% Piedra Lila</u>			
<u>Lorena</u> : 20% <u>Polvo de Piedra Irregular</u>			
<u>Lorena</u> : 16% <u>Polvo de Piedra</u>			
<u>Lorena</u> : 14% <u>Cemento</u>			



No. LABORATORIO 2-13 **GRAFICA No. 38** TRAMO: _____

ESTACION: _____ PROYECTO: H.C.R.

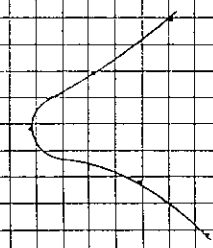
PROCTOR Y CBR

P. B.	Tara	P. N.	P. U. H.	Tarro	Tara	P. B. H.	P. U. S.	Dif.	P. N. S.	o/o H.	Prom.	P. U. S.	Cant. de Material - Grs.	Cant. Agua	cc.			
6445	4355	2690	137.9								4.8	151.6	Determinación o/o Humedad.					
6527	4355	2172	143.3								6.8	134.2	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.
6655	4355	2280	150.5								8.8	138.3	Humedad Optima del Ensayo					
6655	4355	2280	150.5								10.4	155.7	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.
6628	4355	2273	150.0								12.9	132.9	Cil.	q	Cbr. a 45 Golpes	P. N.	Capac.	P. U. S.
													P. B.	Tara	P. N.	Capac.	P. U. S.	
													26.49	15.40	11.09	15.32	135.8	
													Fecha Inmer:		Lect. Inmer. 0.050			o/o Sw.
													Días de "		Salida			
													Cil.	10	Cbr. a 30 Golpes	P. N.	Capac.	P. U. S.
													P. B.	Tara	P. N.	Capac.	P. U. S.	
													26.08	15.22	10.86	15.21	131.9	
													Fecha Inmer:		Lect. Inmer. 0.050			o/o Sw.
													Días de "		Salida			
													Cil.	11	Cbr. a 12 Golpes	P. N.	Capac.	P. U. S.
													P. B.	Tara	P. N.	Capac.	P. U. S.	
													25.54	15.22	10.32	15.21	125.9	
													Fecha Inmer:		Lect. Inmer. 0.050			o/o Sw.
													Días de "		Salida			
													Lectura de penetración Anillo No. (279)					
													Golpe	0.025	0.050	0.075	0.100	0.200
													65	630	1,680	2,900	3,700	9,500
													30	450	1,230	2,400	3,200	8,000
													12	400	1,050	1,880	2,700	6,400
													FECHA DE ENTRADA MUESTRA: _____					
													FECHA DE SALIDA: _____					
													DEFERADOR: _____					

ESTUDIO:

CLASIFICACION VISUAL:

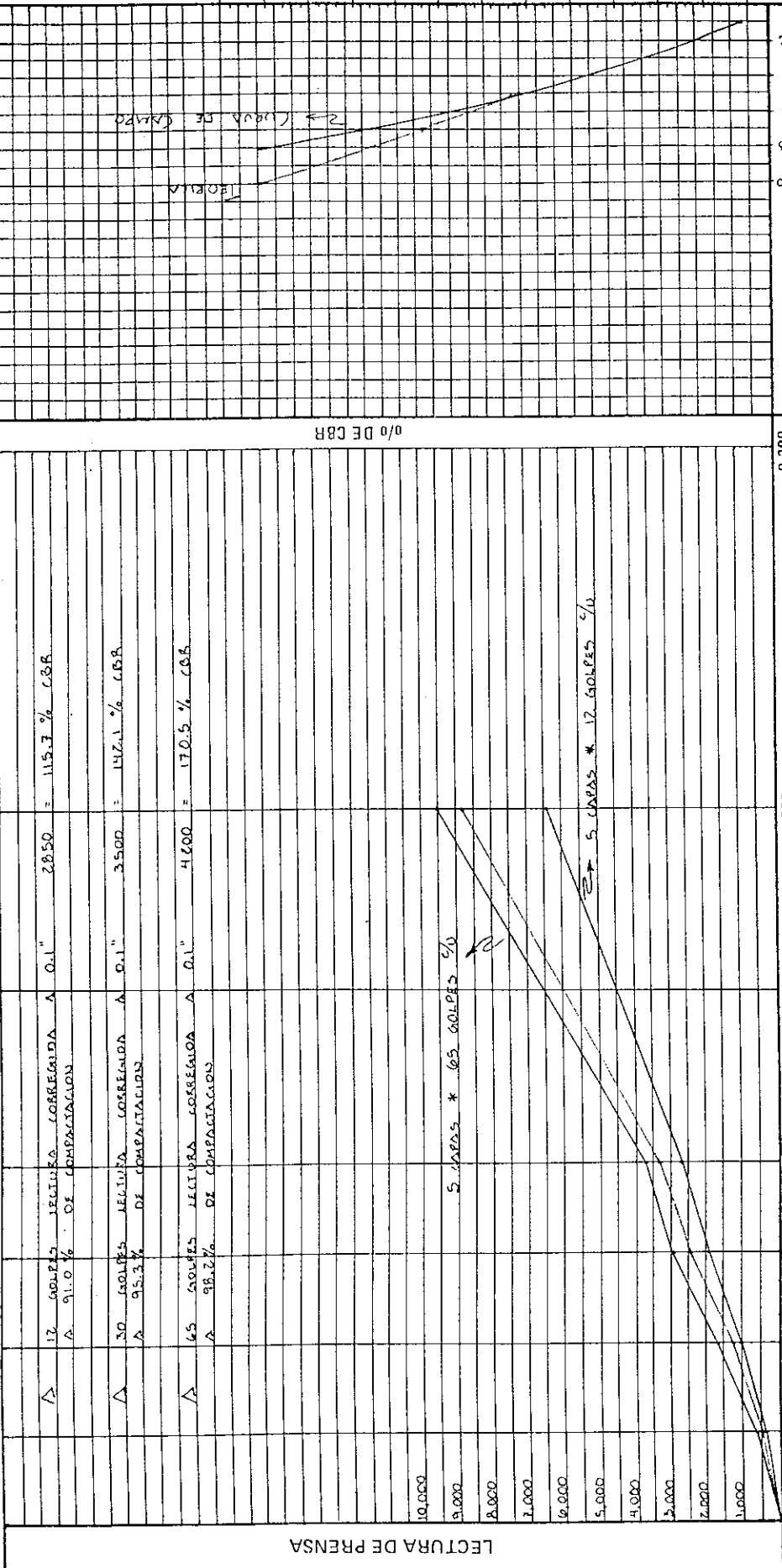
Tiro de Proctor GT-180
 No. de Cilindro _____
 Cant. de Material _____
 Vol. del Cilindro _____
 Agua Inicial Cant. _____
 Seguido con _____
 Operador: _____
 Fecha: _____
 Observaciones: MEZCLA POR VOL.
50% PIEDRA 1" TRITO LORENZANA
20% FOLVO PIEDRA TRITO LORENZANA
16% POLVO PIEDRA MORCALLEA
14% CEMENTO



GRAFICA NO. 39

Proyecto H.C.B. No. de Laboratorio 2-5 Fecha _____
 Estación _____ Tramo _____ Operador _____
 Observaciones MEZCLA POR VOLUMEN:
50% PIEDRA 1" TRITU LORENAUA NORMA: _____
20% POLVO DE PIEDRA HORCALSA ASHTO T-180 _____
14% CEMENTO ASHTO T-193 _____
ADILLO DE 10,000 LBS # 417

COR: LECTURA * 0.0406



PENETRACION DEL PISTON

o/o de Compactación

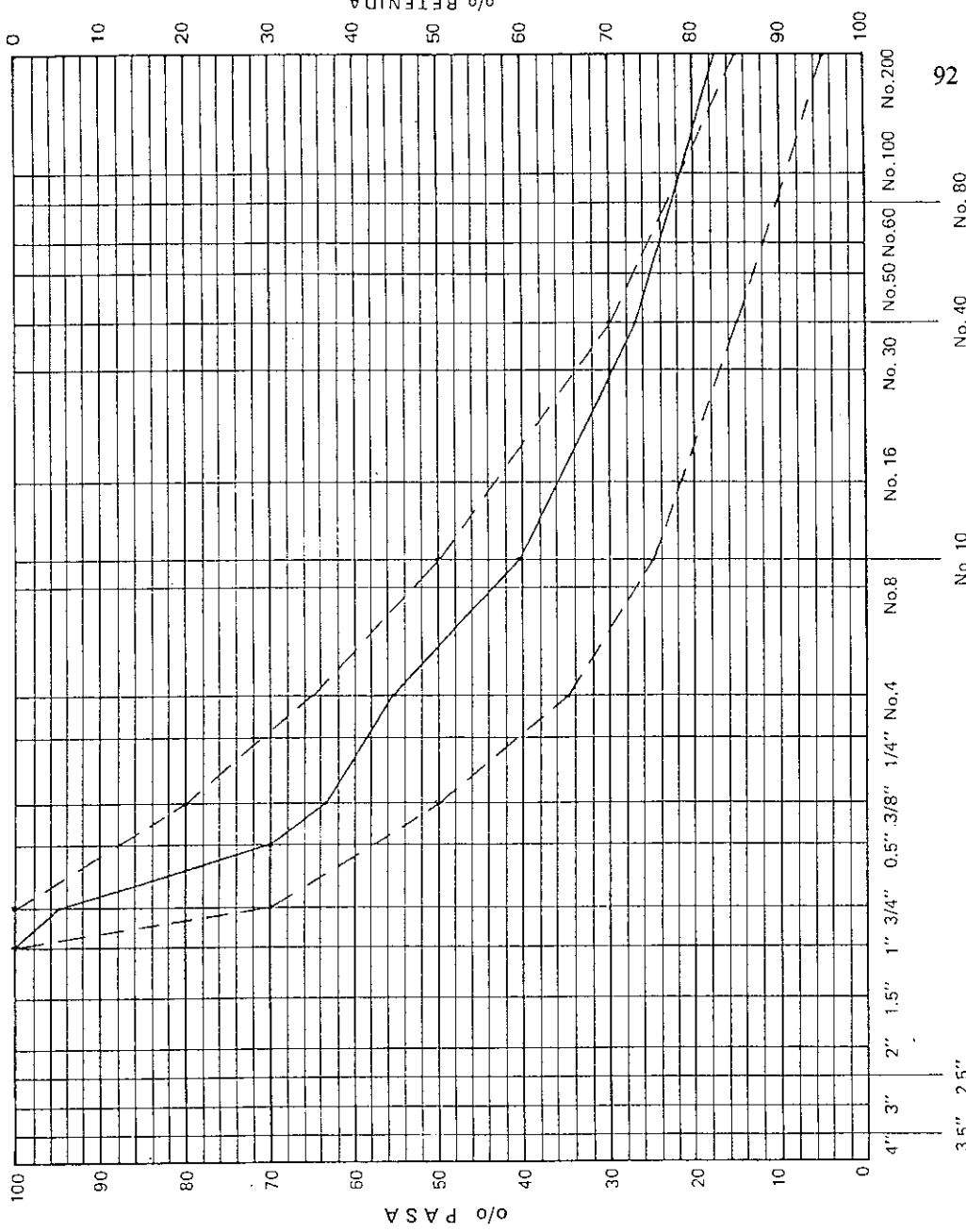
LECTURA DE PRESA

o/o DE CBR

Impresa: 362227

GRAFICA No. 40

CURVA GRANULOMETRICA



Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. 2-C
 Procedencia HORCALSA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
			BASE J. 20
			% (1" MAX)
1"			100.0
3/4"	286.5	91.9	94.8
1/2"	324.0	519.4	70.1
3/8"	847.0	647.4	63.5
No. 4	986.0	791.4	55.4
No. 10	1250.0	1055.4	40.5
No. 20	1491.4	1296.8	26.9
No. 40	1656.1	1461.5	17.6
			CON CEMENTO
			INCLUIDO

PESOSIN LAVAR _____ PESD LAVADO _____
 P.B.S. _____ P.B.S. 1967.2
 TARA _____ TARA 194.6
 P.N.S. _____ P.N.S. 1772.6

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA Por Volumen

OBSERVACIONES MEZCLA DE 50% FIERRO Y 50% ARENA
LOREZANA; 20% POLVO DE FIERRO TALLADORA
LOREZANA; 14% POLVO DE FIERRO
HORCALSA; 16% CEMENTO

ABERTURA TAMICES

No. LABORATORIO 2-C

GRAFICA No. 41

TRAMO:

PROYECTO: H.C.B.

PROCTOR Y CBR

ESTACION:

P. B.	Tara	P. N.	P. U. H.	Tarro	Tara	P. B. H.	P. U. S.	Dif.	P. N. S.	o/o H.	Prom.	P. U. S.	Cant. de Material - Grs.	Cant. Agua	cc.
Determinación o/o Humedad.															
Tarro	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Humedad Optima del Ensayo															
Cil.	Tara	P. B. H.	P. B. S.	Dif.	P. N.	o/o H.									
Cil.	9	Cbr. a 65 Golpes		o/o Compactación 98.4											
P. B.	Tara	15.40	11.12	13.32	Capac.										
26.50	15.40	11.12	13.32	13.6.1											
Fecha immer: Lect. immer. 0.050															
Dias de " 510 Salida o/o Sw.															
Cil. 10 Cbr. a 30 Golpes o/o Compactación 95.0															
P. B.	Tara	15.22	10.82	13.21	Capac.										
26.04	15.22	10.82	13.21	13.1.4											
Fecha immer: Lect. immer. 0.050															
Dias de " 510 Salida o/o Sw.															
Cil. 11 Cbr. a 12 Golpes o/o Compactación 91.3															
P. B.	Tara	15.22	10.35	13.27	Capac.										
25.57	15.22	10.35	13.27	12.6.2											
Fecha immer: Lect. immer. 0.050															
Dias de " 510 Salida o/o Sw.															
Lectura de penetración Anillo No. (279)															
Golpe		0.025	0.050	0.075	0.100										
65	590	1.570	2.750	3.960	8.650										
30	250	870	1.850	3.040	8.150										
12	160	730	1.670	2.600	5.550										
FECHA DE ENTRADA MUESTRA:															
" " SALIDA															
OPERADOR:															

ESTUDIO:

CLASIFICACION VISUAL:

Tiro de Proctor CT-180
 No. de Cilindro
 Cant. de Material
 Vol. del Cilindro
 Agua Inicial Cant.
 Seguido con
 Operador:
 Fecha:
 Observaciones: MEZCLA POR VOL:
 50% PIEDRAS 1" TRITU. LORENAJANA
 20% POLVO PIEDRA TRITU. LORENAJANA
 14% POLVO PIEDRA NORCALSA
 16% CEMENTO

Proyecto H.C.B. Estación No. de Laboratorio 2-C Fecha _____

Tramo _____ Operador _____

MEZCLA POR VOLUMEN:
 50% PIEDRA 1" TRITU. LORENTANA
 20% POLVO DE PIEDRA TRITU. LORENTANA
 14% POLVO DE PIEDRA HORCALONA
 16% CEMENTO

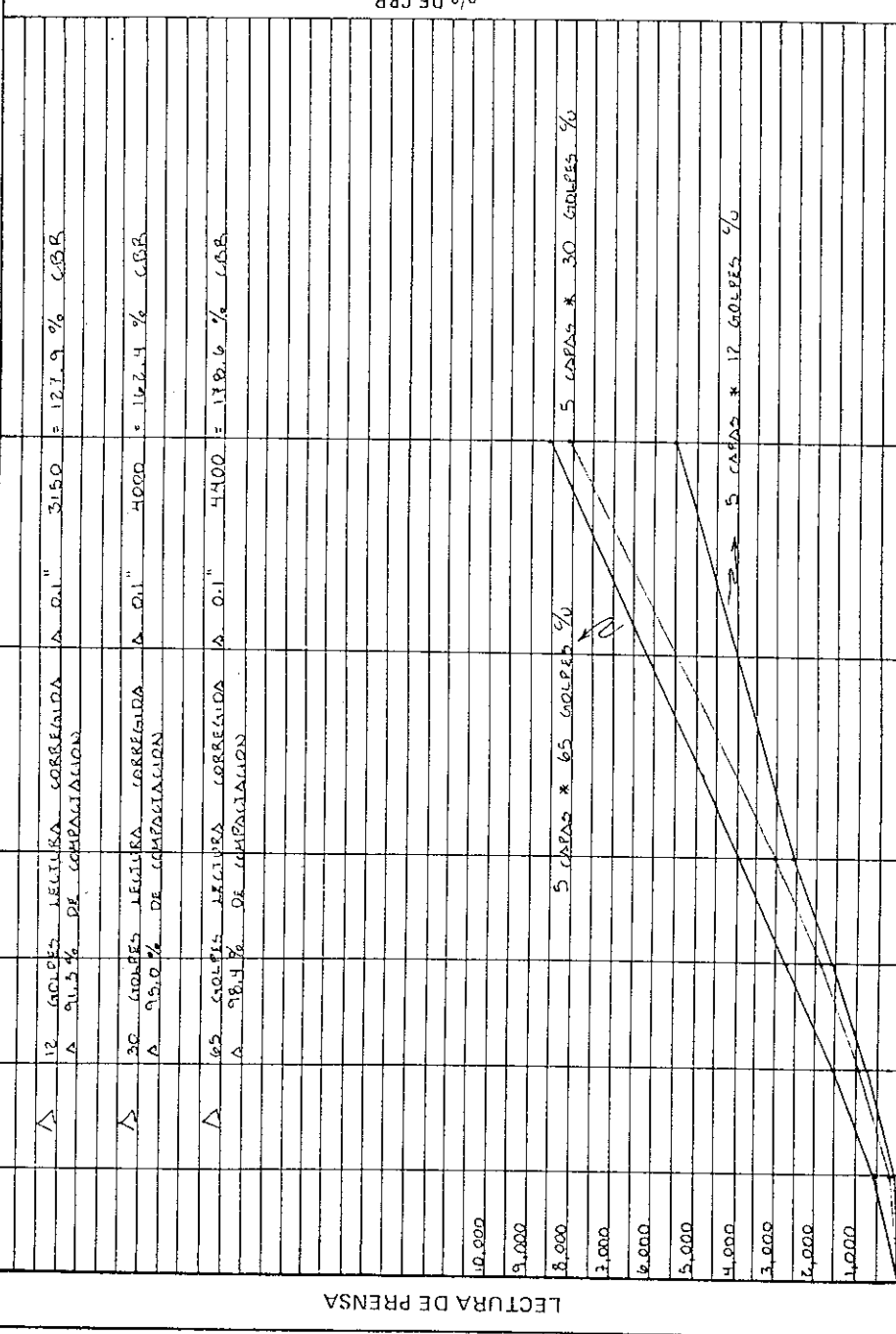
NORMA:
 AASHTO T-180
 AASHTO T-193
 ANILLO DE 10.000 LBS # A117

CBR = LECTURA * 0.0406

o/n Compactación = o/o CBR
 100.0 = 178.9
 97.0 = 171.2
 95.0 = 162.5

LECTURA DE PREENSA	o/o DE CBR	o/o de Compactación
10.000		
9.000		
8.000		
7.000		
6.000		
5.000		
4.000		
3.000		
2.000		
1.000		
0		

12 GOLPES LECTURA CORREGIDA A 0.1" = 3150 = 127.9 % CBR A 95.5% DE COMPACTACION		
30 GOLPES LECTURA CORREGIDA A 0.1" = 4000 = 142.4 % CBR A 95.0% DE COMPACTACION		
65 GOLPES LECTURA CORREGIDA A 0.1" = 4400 = 158.6 % CBR A 98.4% DE COMPACTACION		
5 CAPAS * 65 GOLPES %		
5 CAPAS * 30 GOLPES %		
5 CAPAS * 17 GOLPES %		

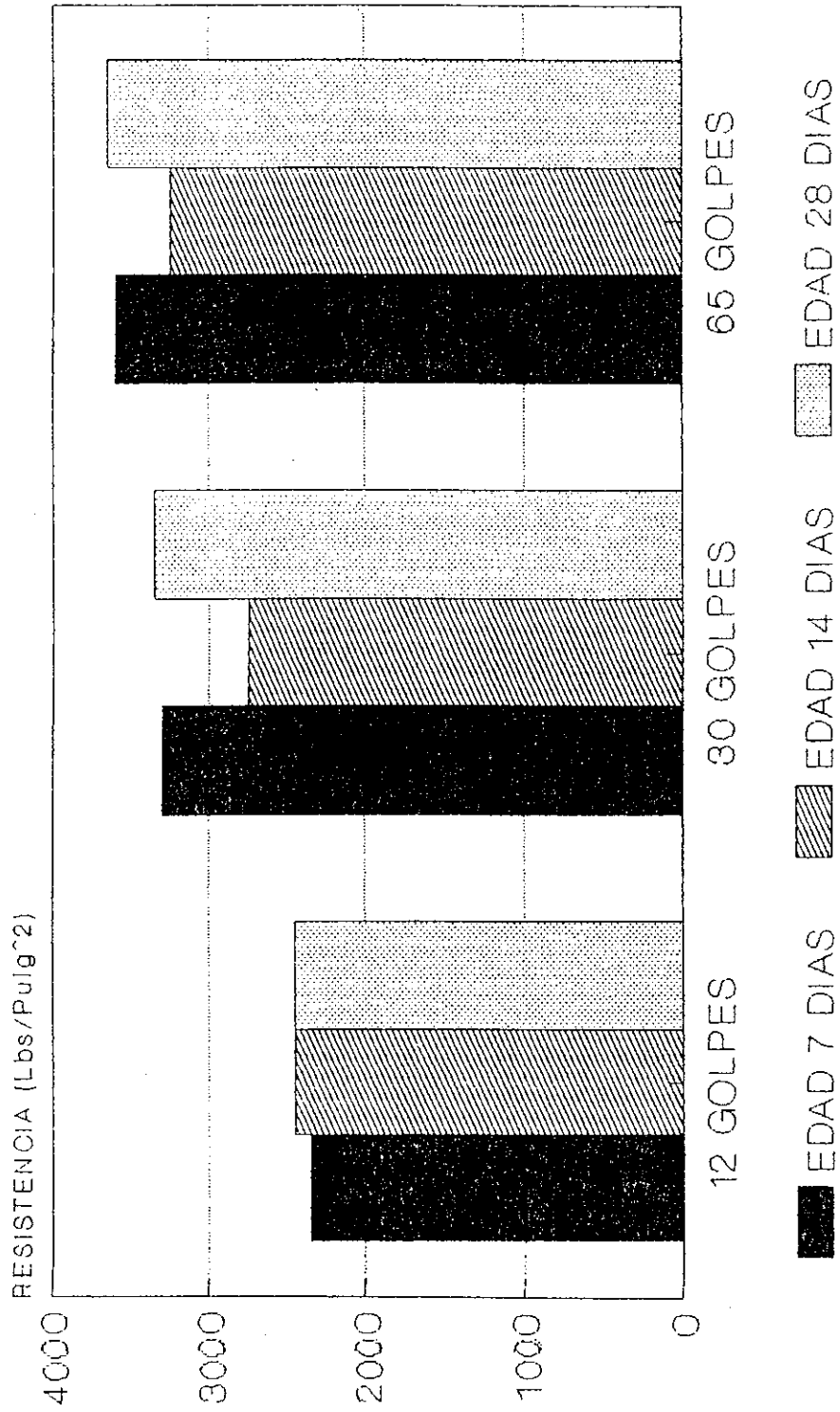


0 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150 0.200 0.300

PENETRACION DEL PISTON

GRAFICA No. 43

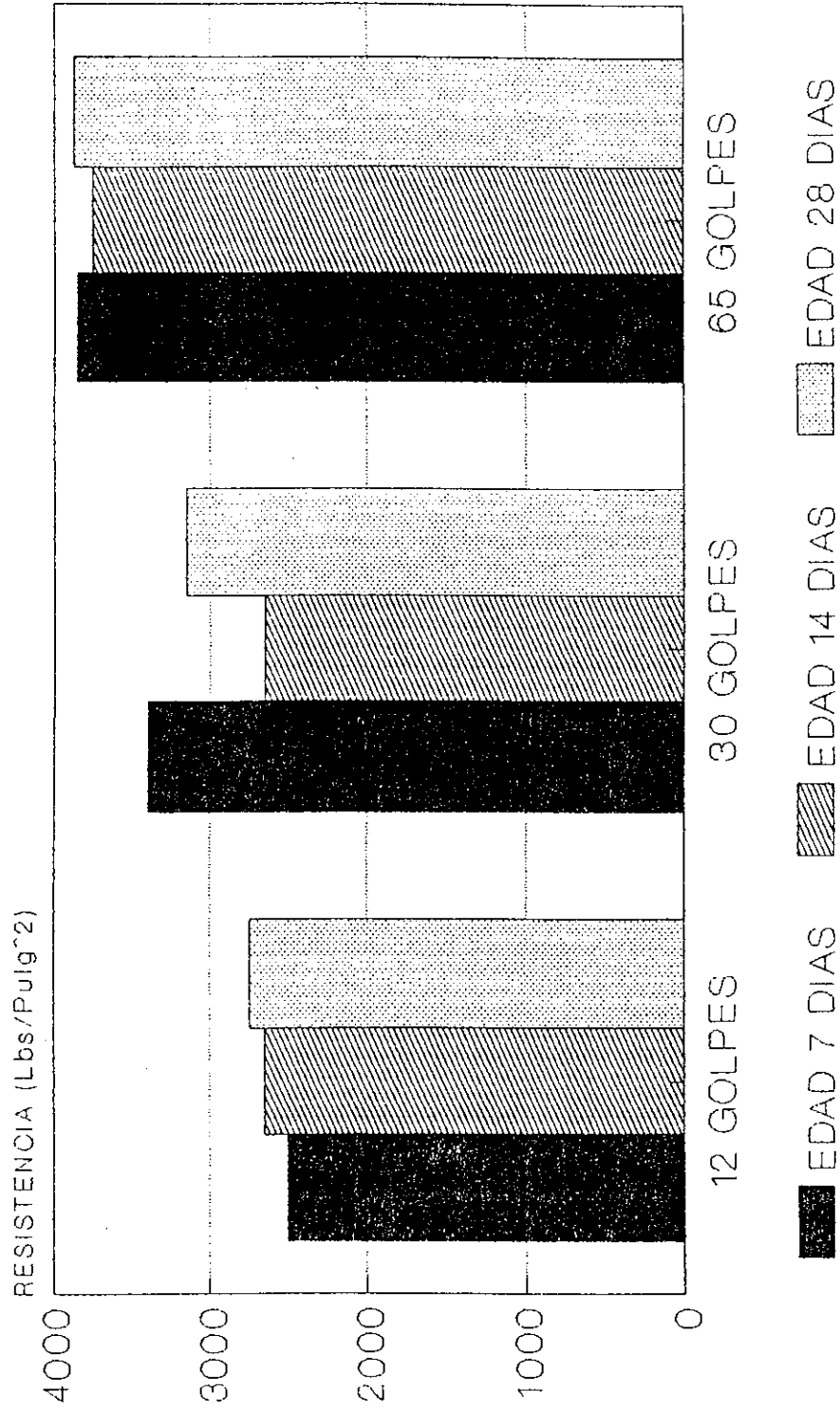
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA 2-A (12% DE CEMENTO)

GRAFICA No. 44

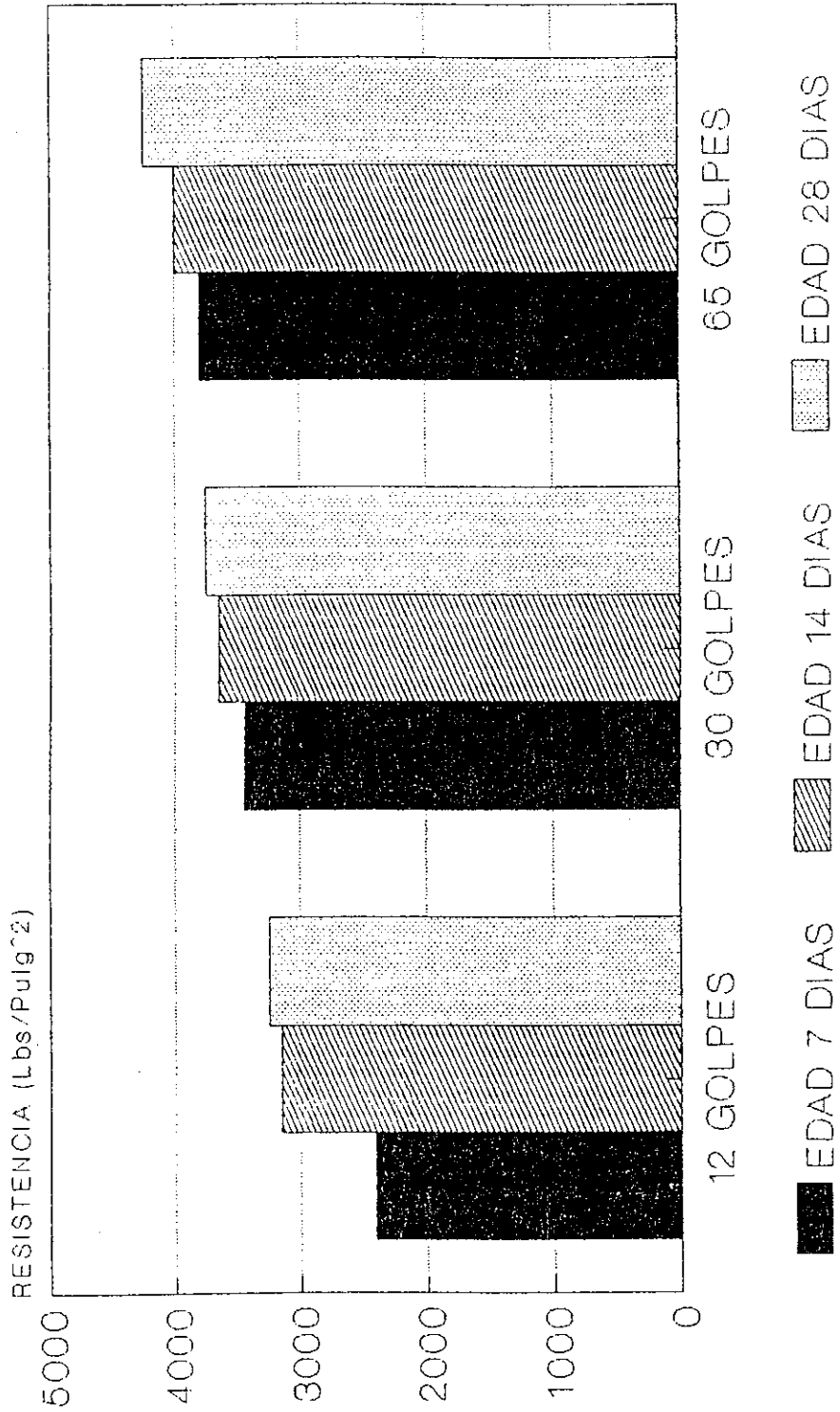
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA 2-B (14% DE CEMENTO)

GRAFICA No. 45

ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA 2-C (16% DE CEMENTO)

Una comparación gráfica de ambos tipos de mezcla:

- Mezcla 1: agregados procedentes únicamente de Cepesa,
- Mezcla 2: agregados procedentes del banco Lorenzana y de Cepesa,

se observa en la Gráfica No. 46.

Tal como lo muestra la Gráfica No. 46, hay una mayor resistencia obtenida con las mezclas que poseen agregados procedentes del banco Lorenzana, probablemente por el origen mineral de cada roca. Sin embargo, por razones de costo (acarreo), el proyecto se ejecutó con materiales de CEPESA.

Nuevamente se tomaron muestras de los agregados producidos en la trituradora nueva de CEPESA. Se obtuvieron nuevas curvas granulométricas del piedrín de producción normal de 1", de 3/8" y de polvo de piedra. Las curvas se pueden apreciar en las Gráficas No. 47, No. 48 y, No. 49 y No. 50, respectivamente.

Se hicieron seguidamente pruebas de mezclas, incluyendo ahora piedrín de 3/8".

La primera prueba se proporcionó así:

60% Piedrín de 1"

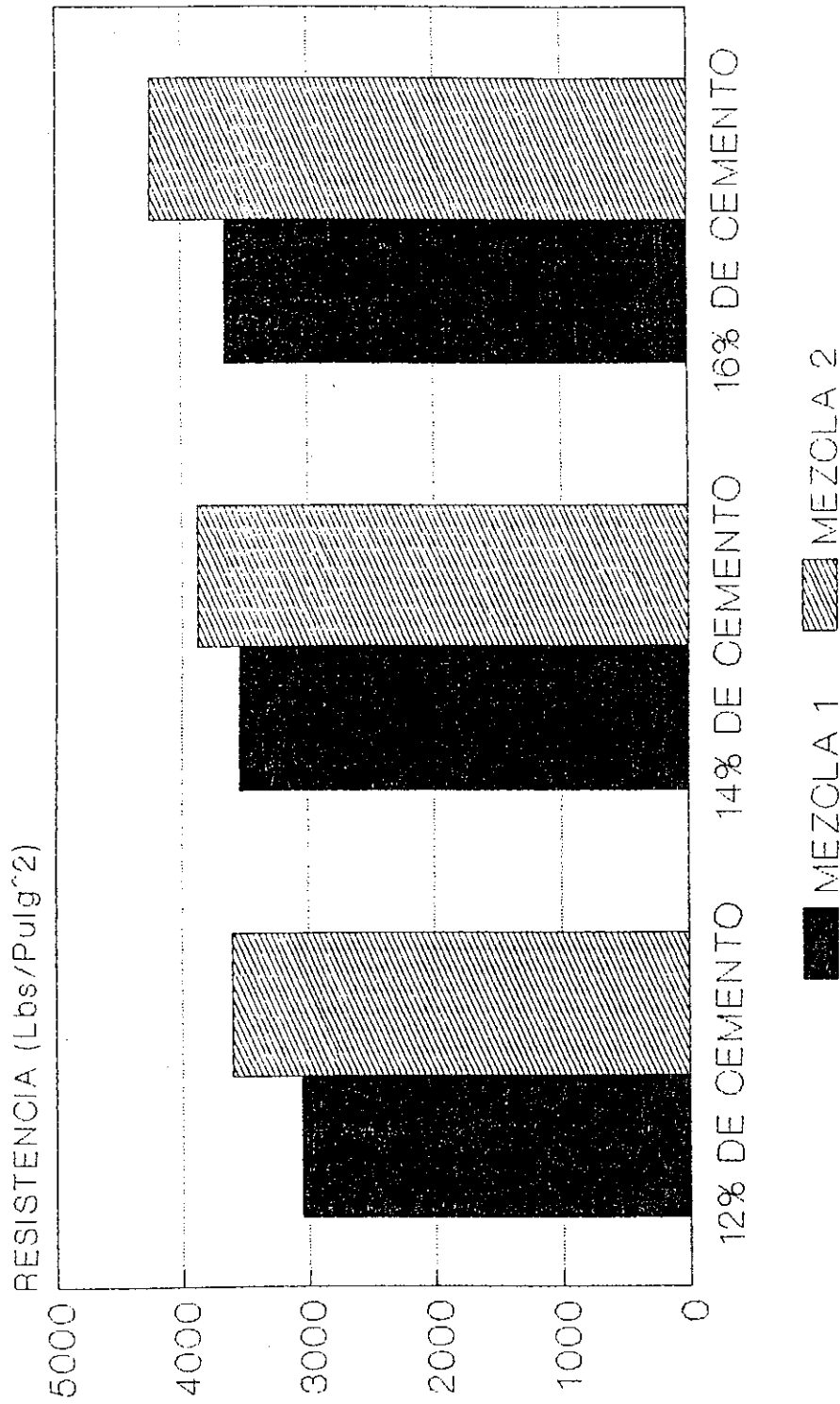
14% Piedrín de 3/8"

10% Polvo de piedra

16% Cemento

GRAFICA No. 46

COMPARACION DE RESISTENCIAS



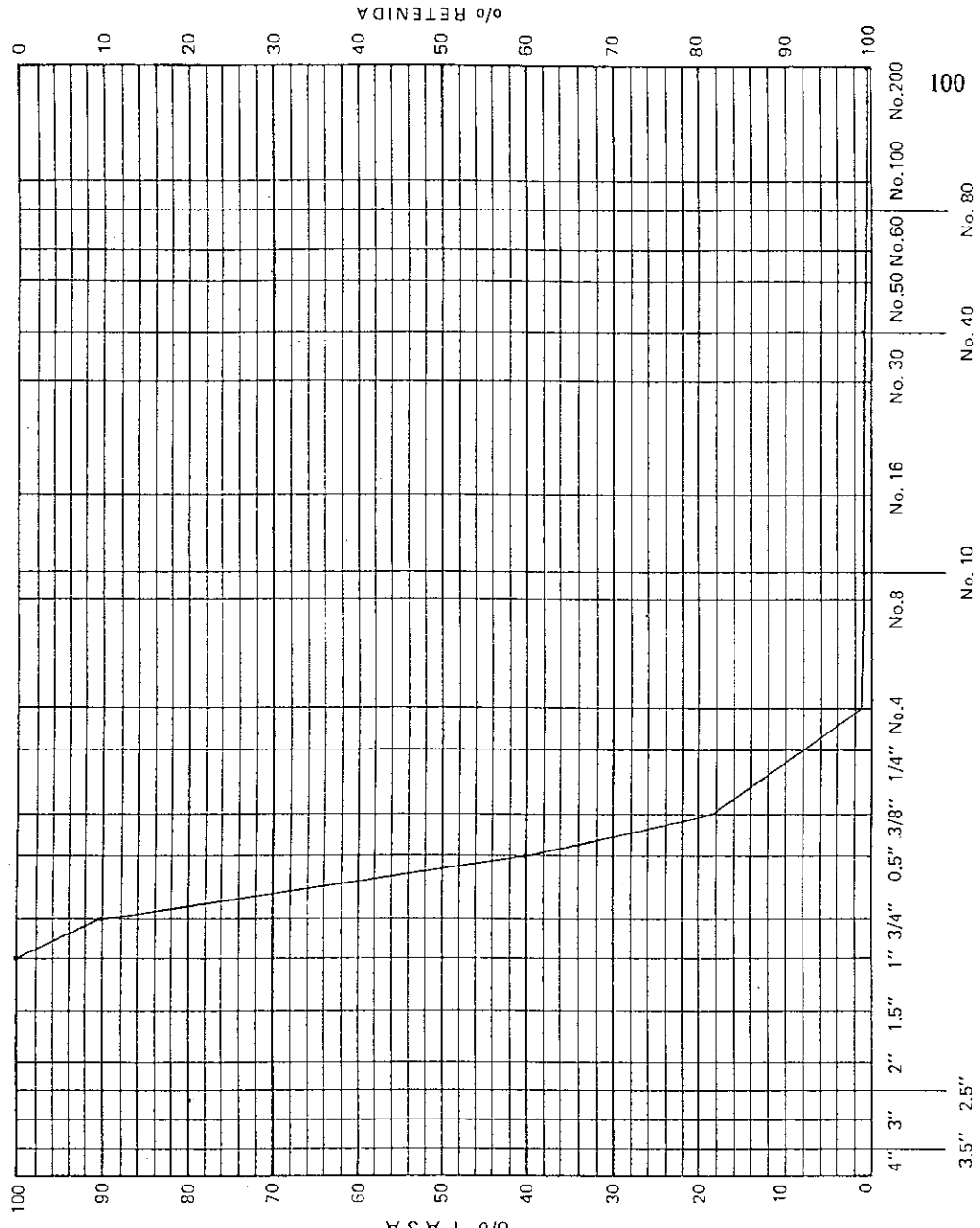
28 DIAS - 65 GOLPES

GRAFICA No. 47

CURVA GRANULOMETRICA

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. _____
 Procedencia HORCALSA - CEPESA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. N. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"		100.0	100.0
3/4"	300.5	9.6	85-100
1/2"	851.5	59.8	70-90
3/8"	1087.7	81.2	60-83
No. 4	1218.0	98.6	42-63
No. 10	1282.0	98.9	29-47
No. 20	1282.4	99.0	16-27
No. 40	1281.4	99.2	9-19

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. 1295.5 P.B.S. _____
 TARA 195.0 TARA _____
 P.N.S. 1098.3 P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES PROCELACION NORMAL
LAS ESPECIFICACIONES SON PARA CURVA
TOTAL DE H.C.B. - ARGENTINA

ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 48

CURVA GRANULOMETRICA

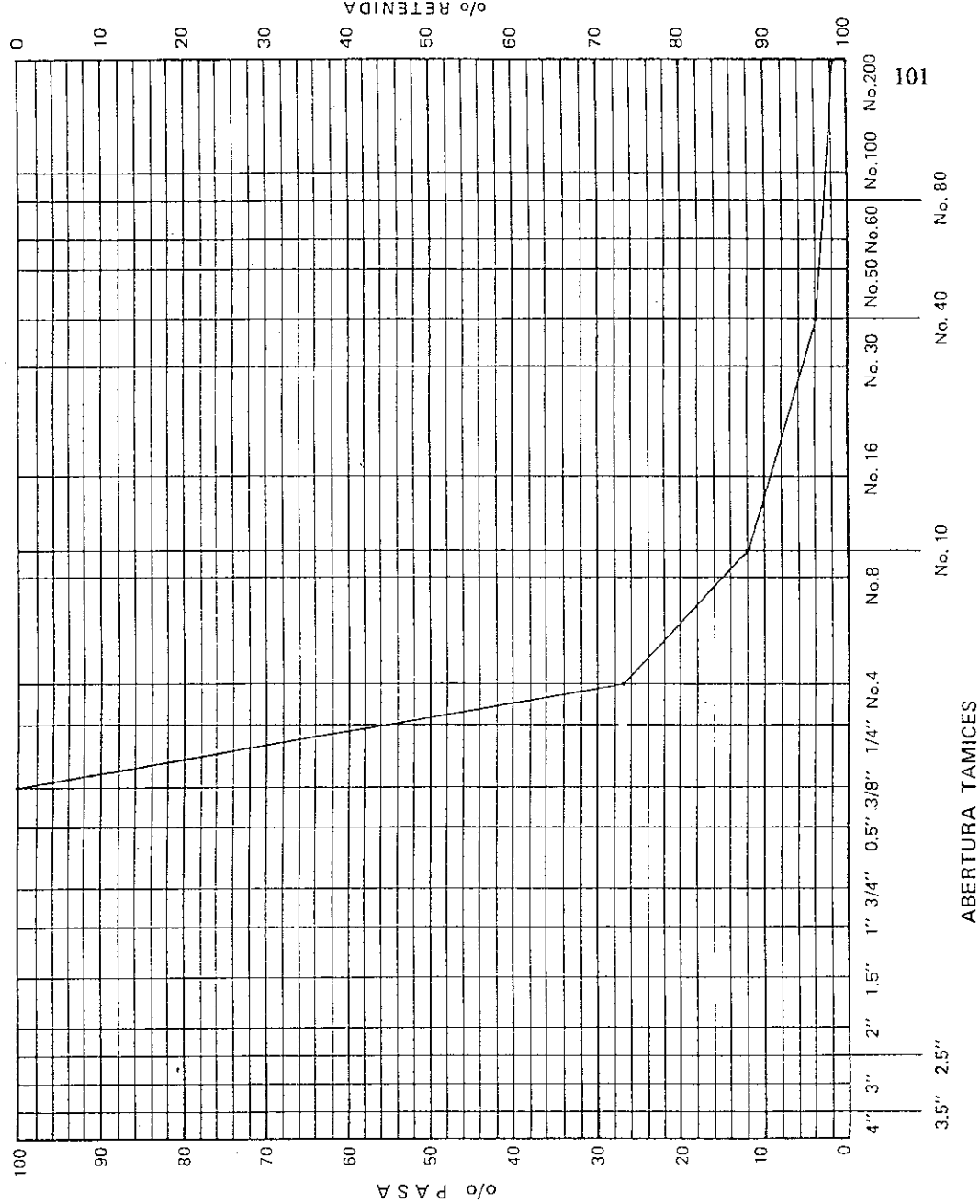
Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. _____
 Procedencia Hozalsza - Cepiza

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	0/0 RET. 0/0 PASA ESPECIF.
$\frac{3}{8}$ "			100.0
No. 4	526	333	22.7
No. 10	596	403	88.0
No. 40	633	440	96.1
No. 200	643	450	98.3
			1.7

PESO SIN LAVAR	PESO LAVADO
P.B.S. <u>651.0</u>	P.B.S. _____
TARA <u>193.0</u>	TARA _____
P.N.S. <u>458.0</u>	P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

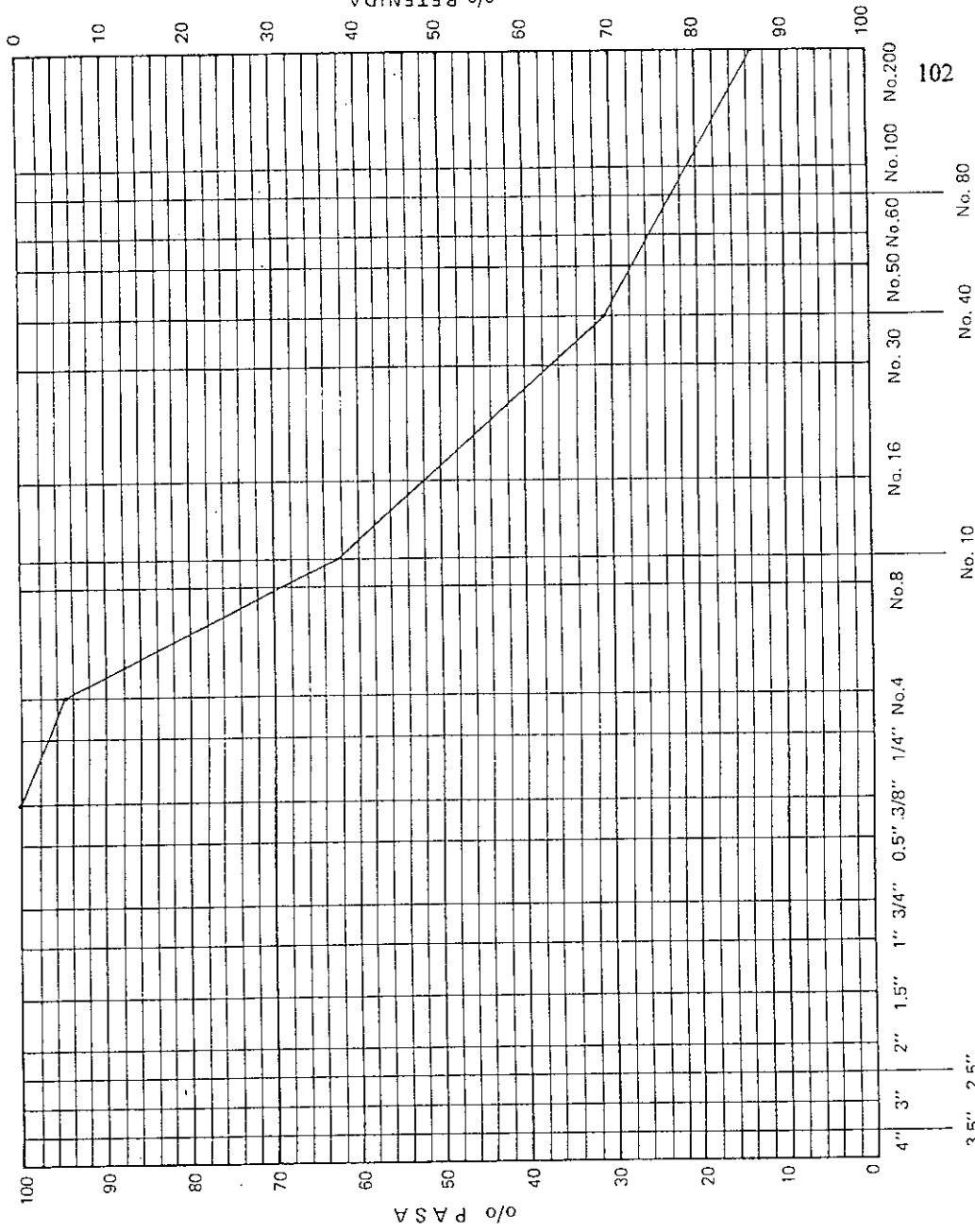
OBSERVACIONES $\frac{3}{8}$ " ESPECIAL
TRIBURADORA NUEVA



GRAFICA No. 49

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

CURVA GRANULOMETRICA



ABERTURA TAMICES

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia HOZCALZA - CEPESA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% RET. 10% PASA ESPECIF.
3/8"			100.0
No 4	218.8	22.5	4.7
No 10	376.4	180.1	37.3
No 40	529.4	333.3	69.0
No 200	613.6	417.3	86.4

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO
 P.B.S. _____ P.S.S. 679.3
 TARA _____ TARA 196.3
 P.N.S. _____ P.N.S. 483.0

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

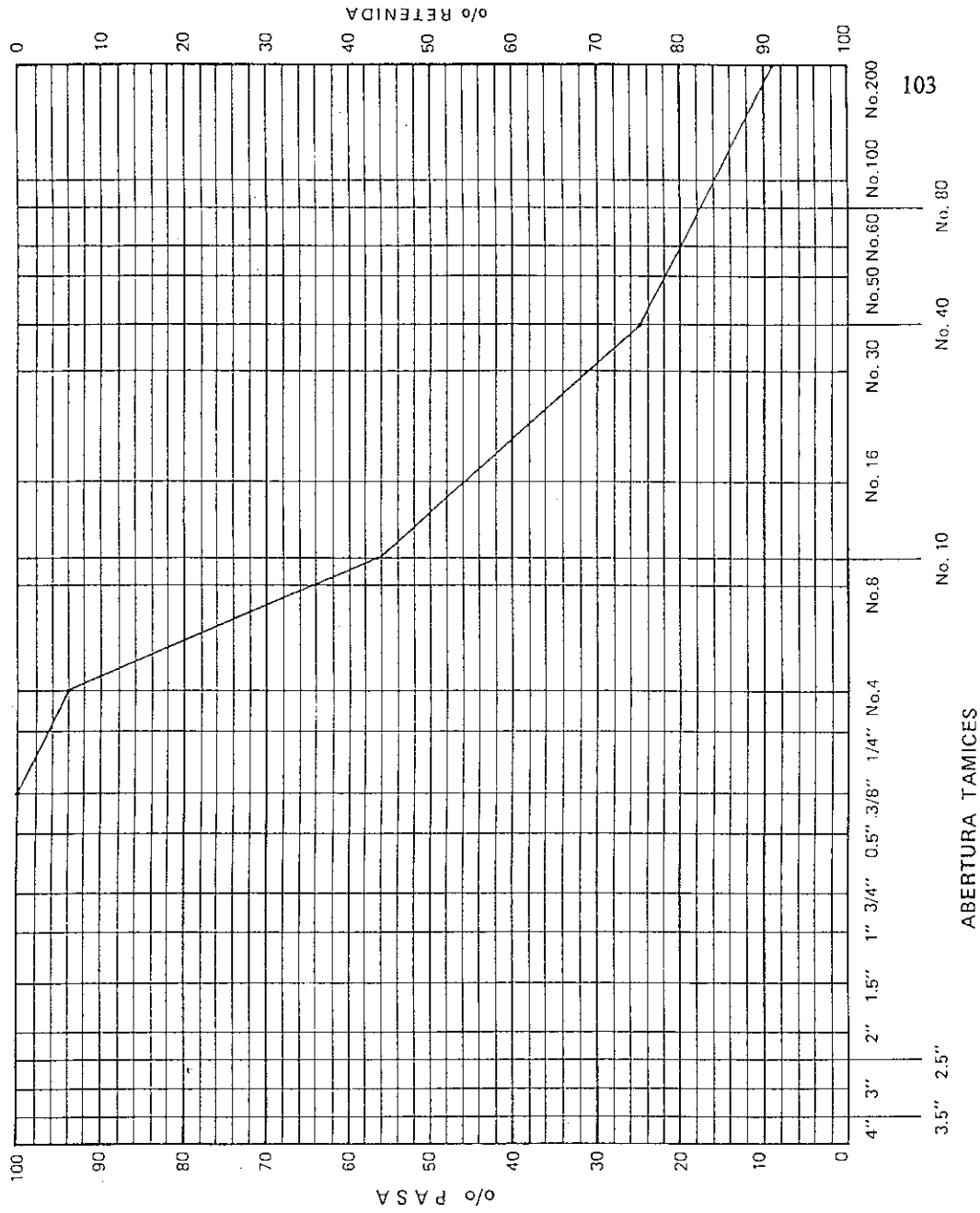
OBSERVACIONES Polvo de Piedra

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia HORIZONTAL - CEPESA

GRAFICA No. 50

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
3/8"			100.0
No. 4	228	35	94.1
No. 10	449	256	56.5
No. 40	654	411	25.1
No. 200	728	535	9.2

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. 782.0 P.B.S. _____
 TARA 193.0 TARA _____
 P.N.S. 589.0 P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES ROLLO DE PIEDRA
TRIBURADORA NUEVA

103
 No. 40 No. 80
 No. 10
 ABERTURA TAMICES

Su curva granulométrica se observa en la Gráfica No. 51.

La curva anterior presentaba mucho agregado comprendido entre 1/2" y 1/4".

Así, se hizo una nueva proporción:

30% Piedrín de 1"

49% Piedrín de 3/8"

5% Polvo de piedra

16% Cemento

La nueva curva granulométrica se observa en la Gráfica No. 52.

A la curva anterior se le hizo una modificación para lograr una granulometría mejor graduada:

36% Piedrín de 1"

24% Piedrín de 3/8"

26% Polvo de piedra

14% Cemento

Con el buen resultado de esta mezcla (Gráfica No. 53), hecha por peso y llamada MEZCLA 3-A, se decidió probar nuevamente resistencias donde se incluyan estas variaciones en el porcentaje de cemento:

Fecha _____

Proyecto H.C.B.

Muestra No. _____

Procedencia Hogalza - CEBESA

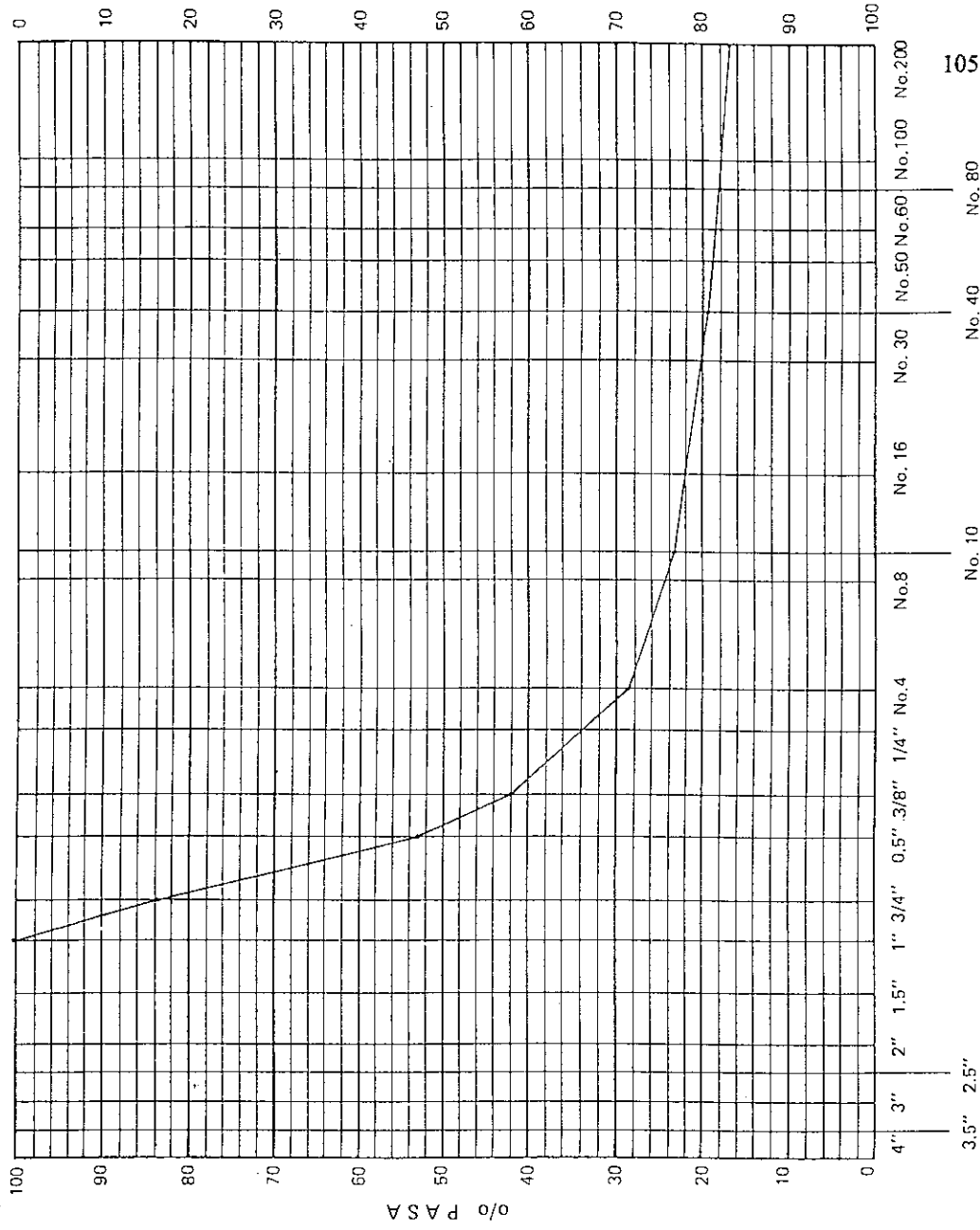
GRAFICA No. 51

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20

LABORATORIO

ANALISIS — MECANICO



TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% RET.	% PASA	ESPECIF. *
1"				100.0	100.0
3/4"	556	163	16.3	83.7	85-100
1/2"	663	470	47.0	53.0	70-90
3/8"	773	580	58.0	42.0	60-85
No. 4	905	712	71.2	28.8	47-63
No. 10	957	764	76.4	23.6	29-47
No. 40	999	806	80.6	19.4	16-27
No. 200	1024	831	83.1	16.9	9-19

PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____

P.B.S. 1193.0 P.B.S. _____

TARA 193.0 TARA _____

P.N.S. 1000.0 P.N.S. _____

EFFECTUO * CURVA TOTAL DE H.C.B. - ARGENTINA

CALCULO _____

REVISO _____

MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES MEZCLA DE:

60% PRODUCCION NORMAL ; 14% 3/8"

25% CEMENTO ; 10% POLVO DE PIEDRA

16% CEMENTO

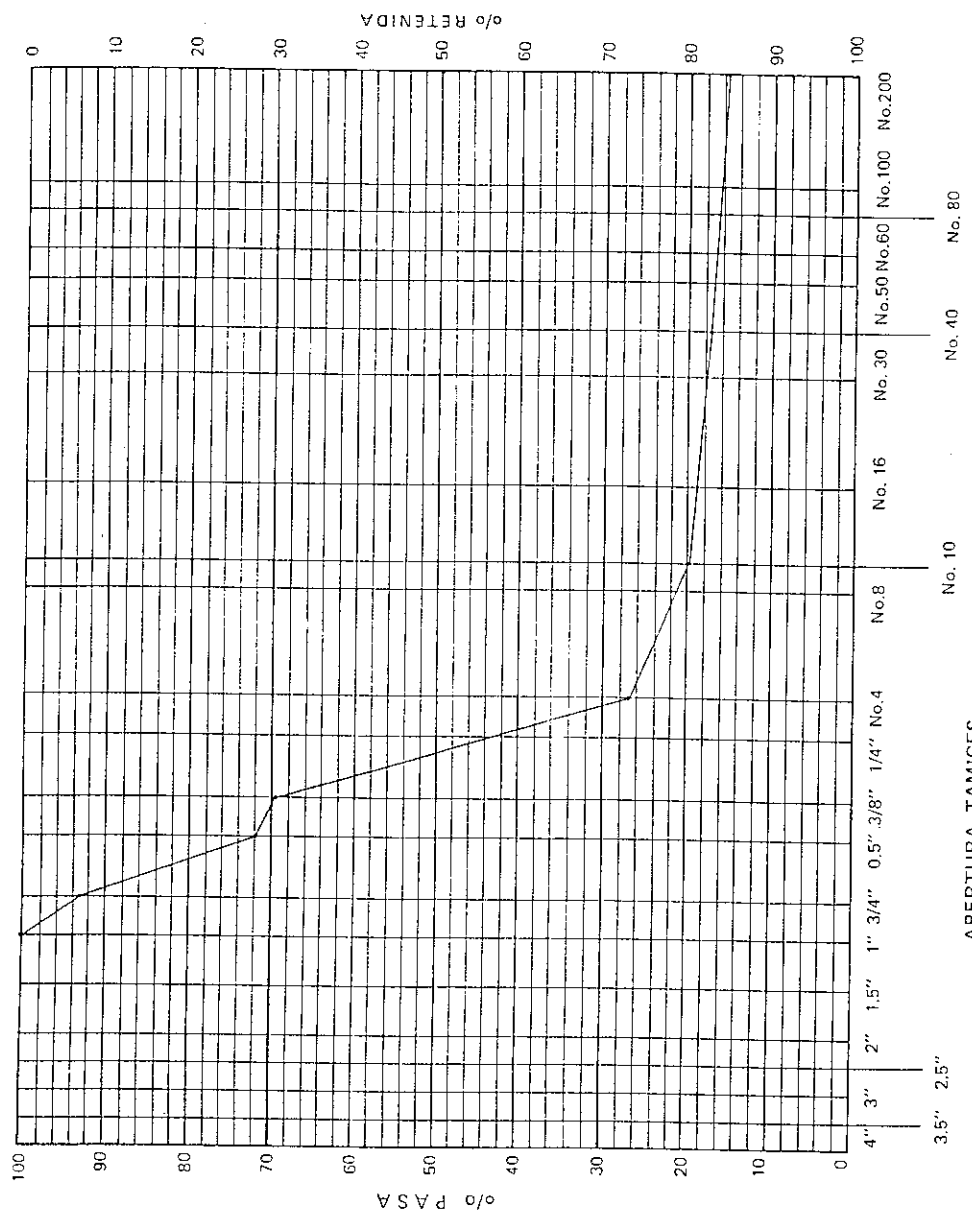
ABERTURA TAMICES

FORMA M Y T 20
LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 52

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. _____
 Procedencia HOSCALSA - CEPEZA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. N. R.	P. N. R.	% RET. O/O PASA ESPECIF. *
1"			100.0
3/4"	260	67	93.5
1/2"	475	282	71.0
3/8"	498	305	69.5
No. 4	922	729	67.0
No. 8	995	802	67.0
No. 16	1019	826	67.0
No. 30	1037	844	67.0
No. 50			16.27
No. 60			16.27
No. 100			16.27
No. 200			16.27

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO

P.B.S. 1193.0 P.B.S. _____

TARA 193.0 TARA _____

P.N.S. 1000.0 P.N.S. _____

EFFECTUO * LA CURVA TOTAL DE H.C.B. - ARGENTINA

CALCULO _____

REVISO _____

MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES MEZCLA DE

30% PRODUCCION NORMAL ; 49% ; 3/8"

ESPECIAL ; 5% POLVO DE FIEBRA ;

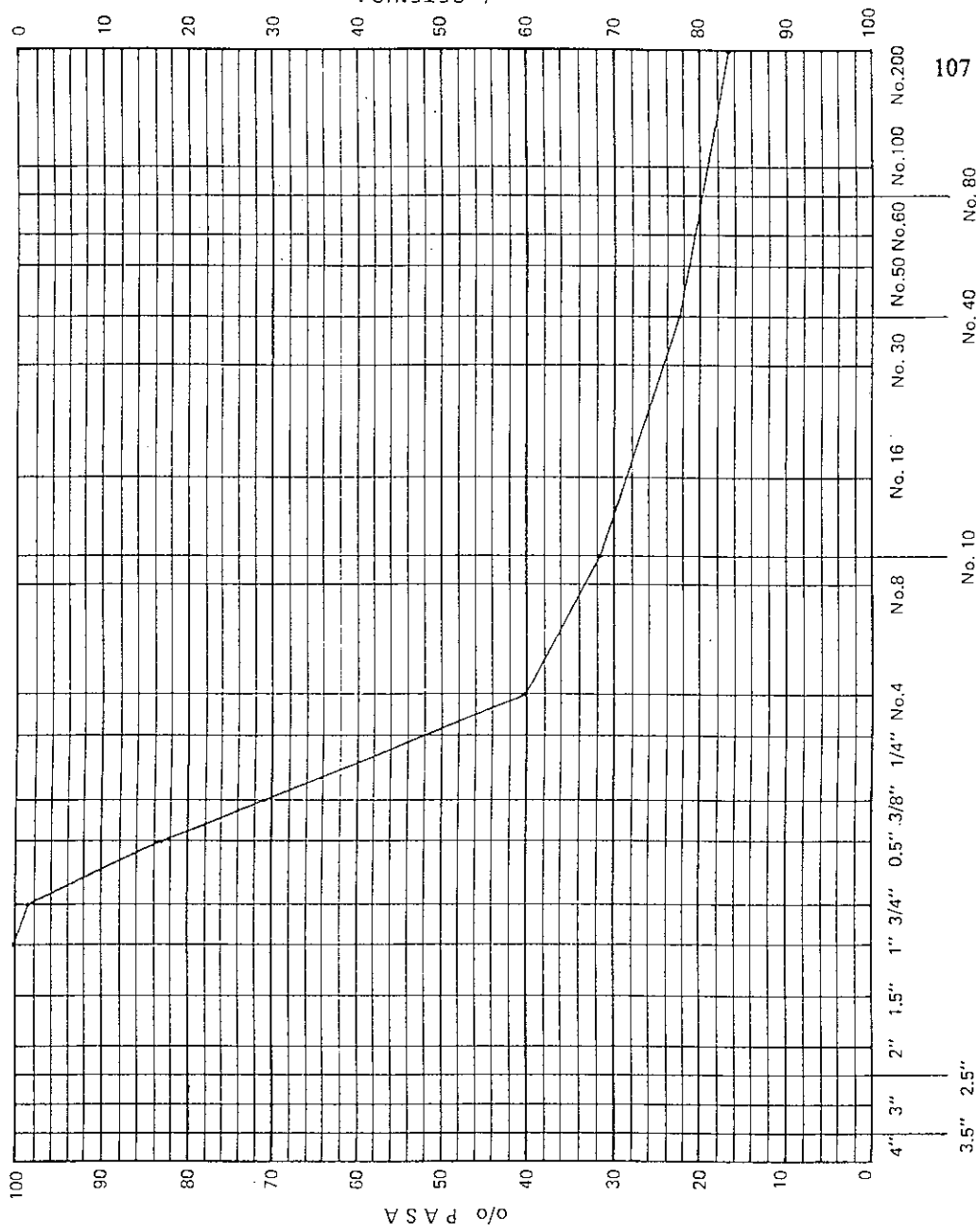
16% CEMENTO

Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. _____
 Procedencia HORCALSA - CEPEDA

GRAFICA No. 53

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% RET. 0/100 PASA
1"			100.0
3/4"	100	13	98.9
1/2"	287	200	85.3
3/8"	455	348	76.9
No. 4	800	715	89.4
No. 10	901	814	90.3
No. 40	1015	926	91.8
No. 75	1085	995	91.7

PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____
 P.B.S. 1281.0 P.B.S. _____
 TARA 87.0 TARA _____
 P.N.S. 1194.0 P.N.S. _____
 EFECTUO * LAS ESPECIFICACIONES SON PARA CURVA TOTAL DE H.C.B. - ARGENTINA.
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA Por Peso
 OBSERVACIONES MEZCLA DE:
36% PRODUCCION NORMAL ; 24% 3/8"
ESPECIAL ; 26% POLVO DE PIEDRA ;
14% CEMENTO

ABERTURA TAMICES

MEZCLA 3-B:

MEZCLA POR PESO:

- 36% Piedrín de 1"
- 24% Piedrín de 3/8"
- 24% Polvo de piedra
- 16% Cemento

MEZCLA 3-C:

MEZCLA POR PESO:

- 40% Piedrín de 1"
- 20% Piedrín de 3/8"
- 22% Polvo de piedra
- 18% Cemento

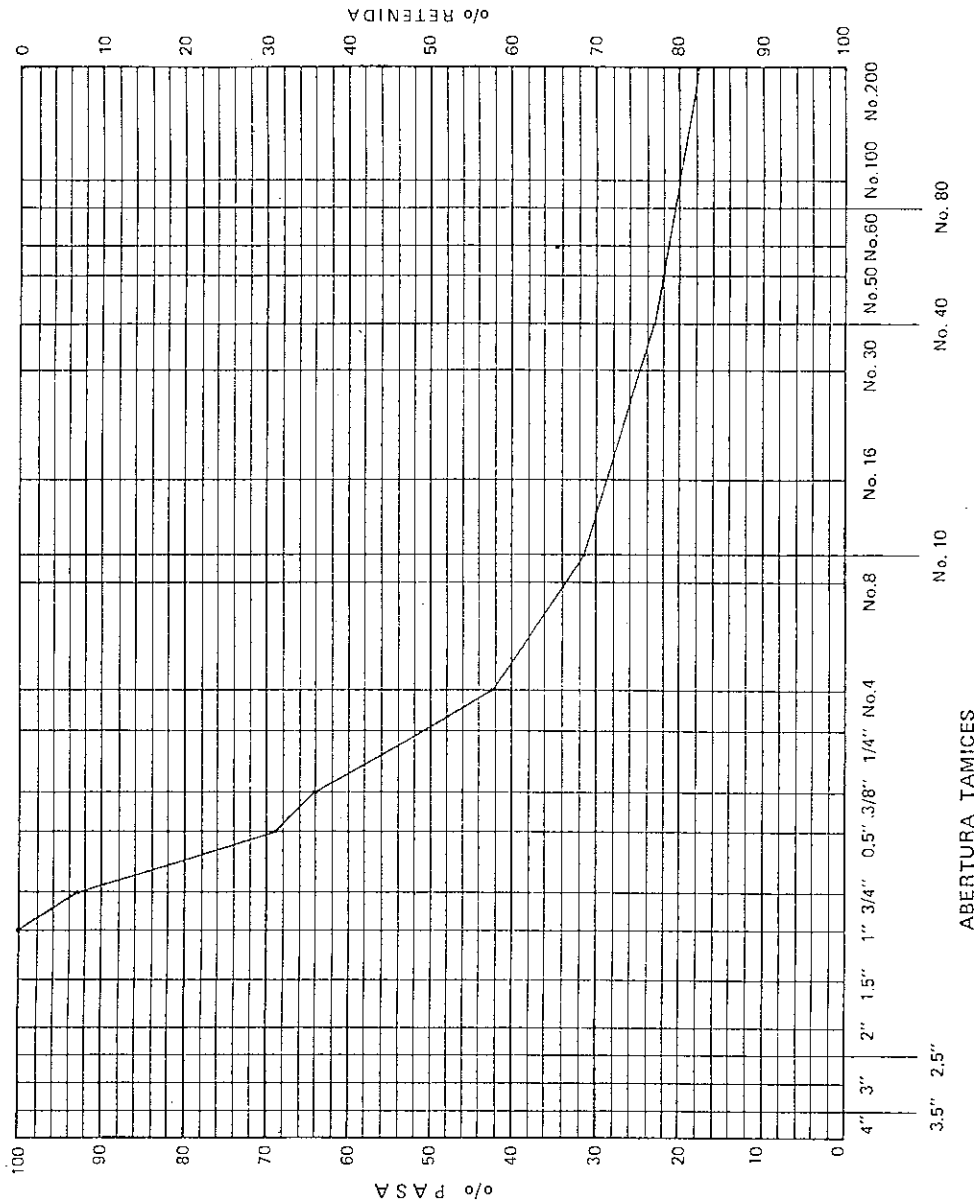
Las granulometrías de estas mezclas se aprecian en las Gráficas No. 54 y No. 55.

Una comparación de las resistencias alcanzadas por las mezclas se muestra en la Gráfica No. 56. Estos ensayos se hicieron a los 7 días de hechos, compactados en 5 capas con 65 golpes cada capa.

Para efectos de estudio se comprobó la resistencia de estas mismas mezclas compactadas a 3 capas con 50 golpes cada una. Los resultados están en la Gráfica No. 57. La comparación de los resultados obtenidos con los dos métodos se observa en la Gráfica No. 58.

GRAFICA No. 54

CURVA GRANULOMETRICA



Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia HORRALSA - CEPESA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% RET. 0/0 PASA ESPECIF. *
1"			100.0
3/4"	224	71	97.9
1/2"	504	311	68.9
3/8"	553	360	64.0
No. 4	769	516	57.4
No. 10	877	684	42.4
No. 40	960	767	31.6
No. 200	1016	823	17.7
PESO SIN LAVAR PESO LAVADO			
P.B.S.	1193.0	P.B.S.	
TARA	193.0	TARA	
P.N.S.	1000.0	P.N.S.	
EFFECTUO * <u>LAS ESPECIFICACIONES SON PARA CURVA TOTAL DE H.C.R. - ARGENTINA</u>			
CALCULO _____			
REVISO _____			
MUESTRA TOMADA <u>IDA PEDA</u>			
OBSERVACIONES <u>MEZCLA DE</u>			
<u>36% PRODUCCION NORMAL 24% 3/8"</u>			
<u>ESPECIAL 24% FONDO DE PIEDRA</u>			
<u>16% CEMENTO</u>			

FORMA M Y T 20

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 55
CURVA GRANULOMETRICA

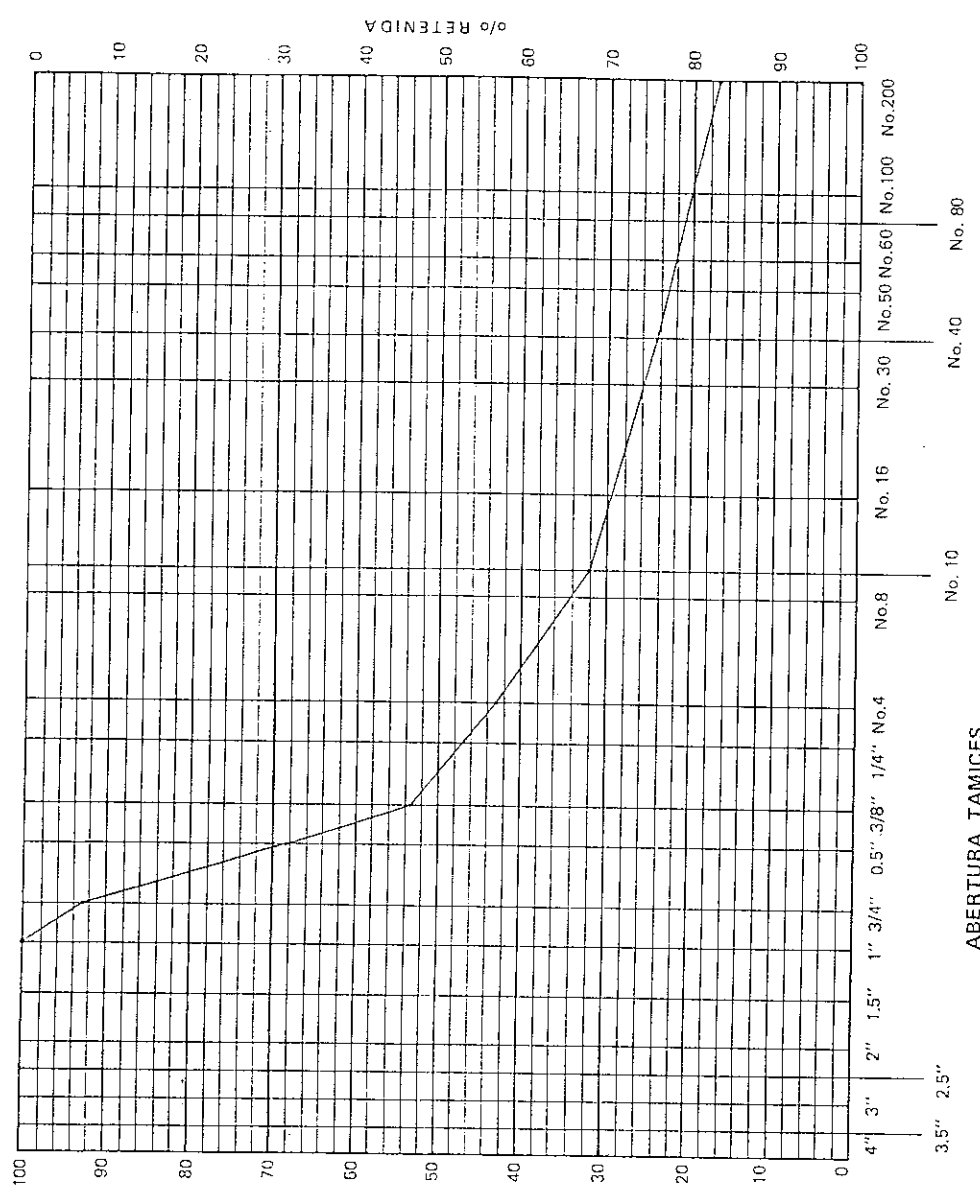
Fecha _____
Proyecto H.C.B.
Muestra No. _____
Procedencia HOSPITALSA - CEPESA

METODO DE PRUEBAS				
TAMIZ	P. P. R.	P. N. R.	% RET.	% PASA
1"				100.0
3/4"	265	72	7.2	92.8
1/2"	508	315	31.5	68.5
3/8"	660	467	46.7	53.3
Nº 4	762	569	56.9	43.1
Nº 10	872	679	67.9	32.1
Nº 40	950	757	75.7	24.3
Nº 200	1020	827	82.7	17.3

PESO SIN LAVAR PESO LAVADO
P.B.S. 1193.0 P.B.S. _____
TARA 193.0 TARA _____
P.N.S. 1000.0 P.N.S. _____

EFFECTUO * LOS ESPECIFICACIONES SON PARA
LA CURVA TOTAL DE H.C.B. - ARGENTINA
CALCULO _____
REVISO _____
MUESTRA TOMADA Por peso

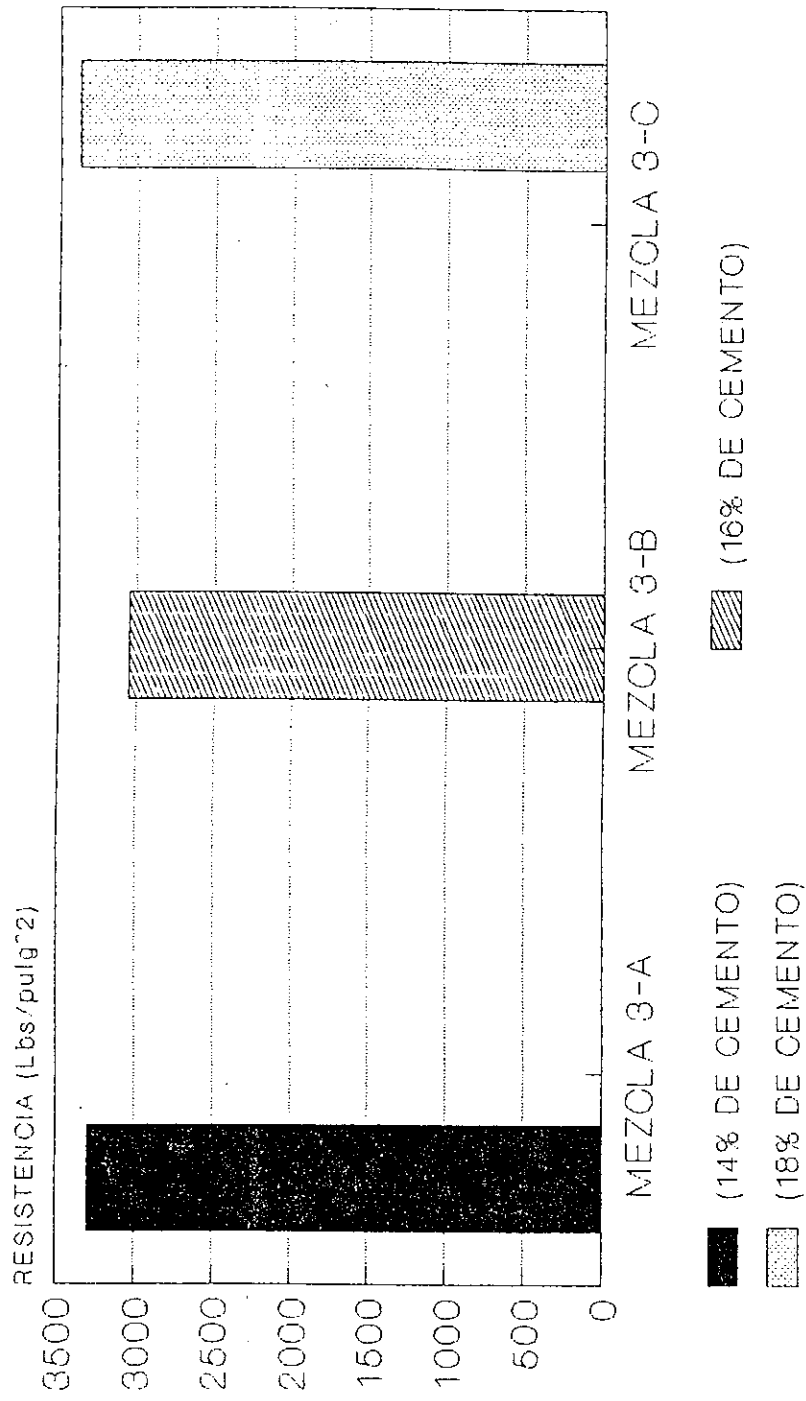
OBSERVACIONES MEJORA DEL
40% PRODUCTO NORMAL ; 20% 3/8"
ELEGUAL ; 20% POLVO DE PIEDRA ;
10% CEMENTO



ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 56

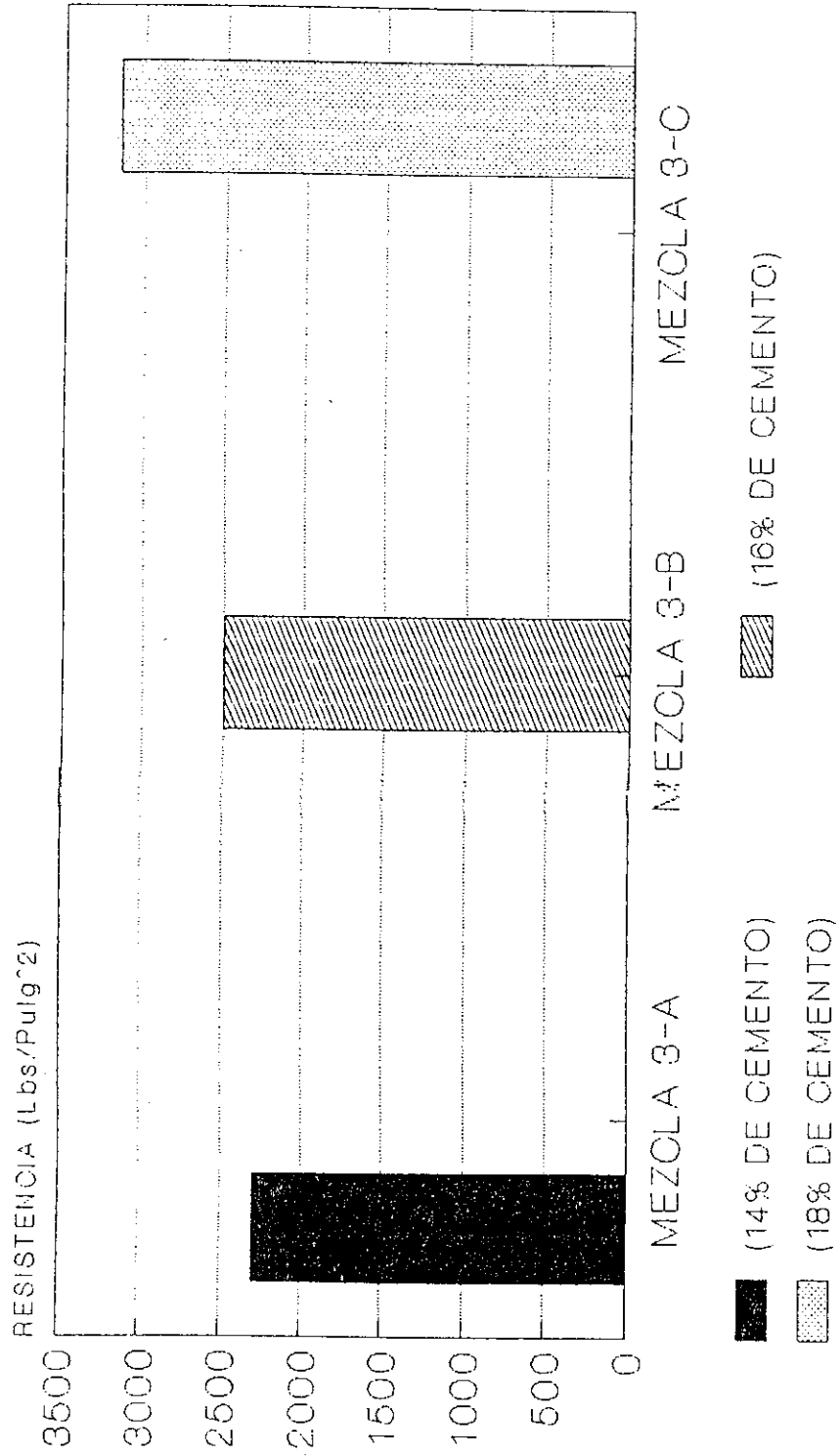
ENSAYO DE RESISTENCIA



EDAD 7 DIAS-65 GOLPES

GRAFICA No. 57

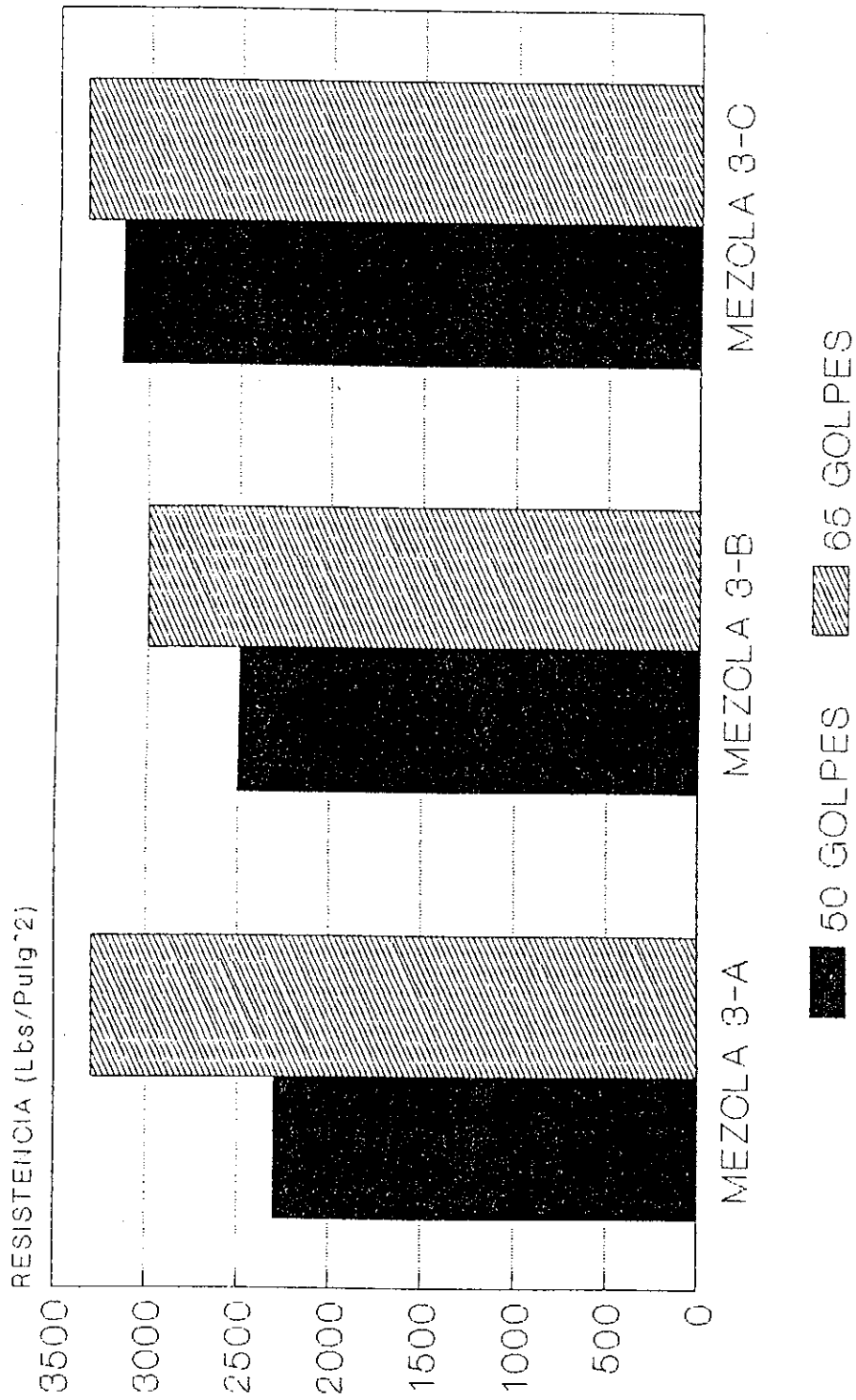
ENSAYO DE RESISTENCIA



EDAD 7 DIAS-50 GOLPES

GRAFICA No. 58

COMPARACION DE RESISTENCIAS



EDAD 7 DIAS

B. Diseños finales de mezclas para el proyecto

Con los resultados obtenidos en el estudio preliminar, se procedió a encontrar un rango adecuado final para la granulometría de las mezclas de H.C.R. a usarse.

Se aprovechó ahora la información de otros países pioneros en el H.C.R., como Argentina, Australia, Canadá, E.E.U.U., España y Suecia, y se comparó con ellas para asegurar las mezclas finales del proyecto. De estas granulometrías se tienen las gráficas individuales, así como una combinación de las gráficas de los 6 países (Gráficas No. 59 a No. 66). Adicionalmente, se tomó como referencia la granulometría que se utiliza para la base estabilizada con cemento tipo "C" (agregado máximo de 1"), que aparece en el libro de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos (edición mayo, 1975) de la República de Guatemala (Gráfica No. 67).

Para la realización del proyecto de la calle de acceso a las oficinas y silos de despacho de la Planta "La Pedrera", situada en la zona 6 de la Ciudad de Guatemala, se utilizaron 3 diferentes mezclas y granulometrías de H.C.R.:

FORMA M Y T 20

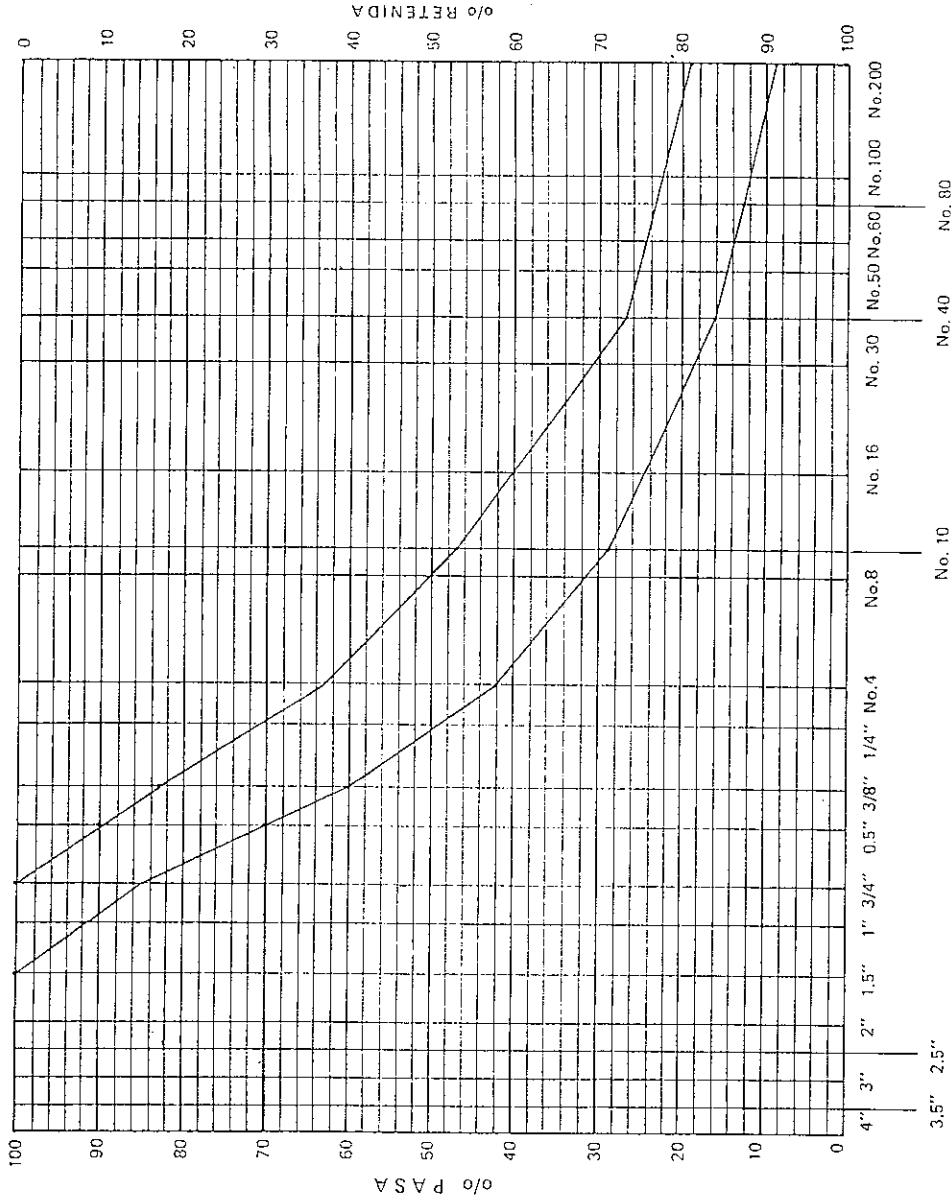
LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 59

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia ARGENTINA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1 1/2"			100.0
1"			92-100
3/4"			85-100
1/2"			70-90
5/8"			60-83
No. 4			47-63
No. 10			29-47
No. 40			16-27
No. 200			9-19



PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____
 P.9 S. _____ P.B.S. _____
 TARA _____ TARA _____
 P.N.S. _____ P.N.S. _____

EFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES _____

ABERTURA TAMICES

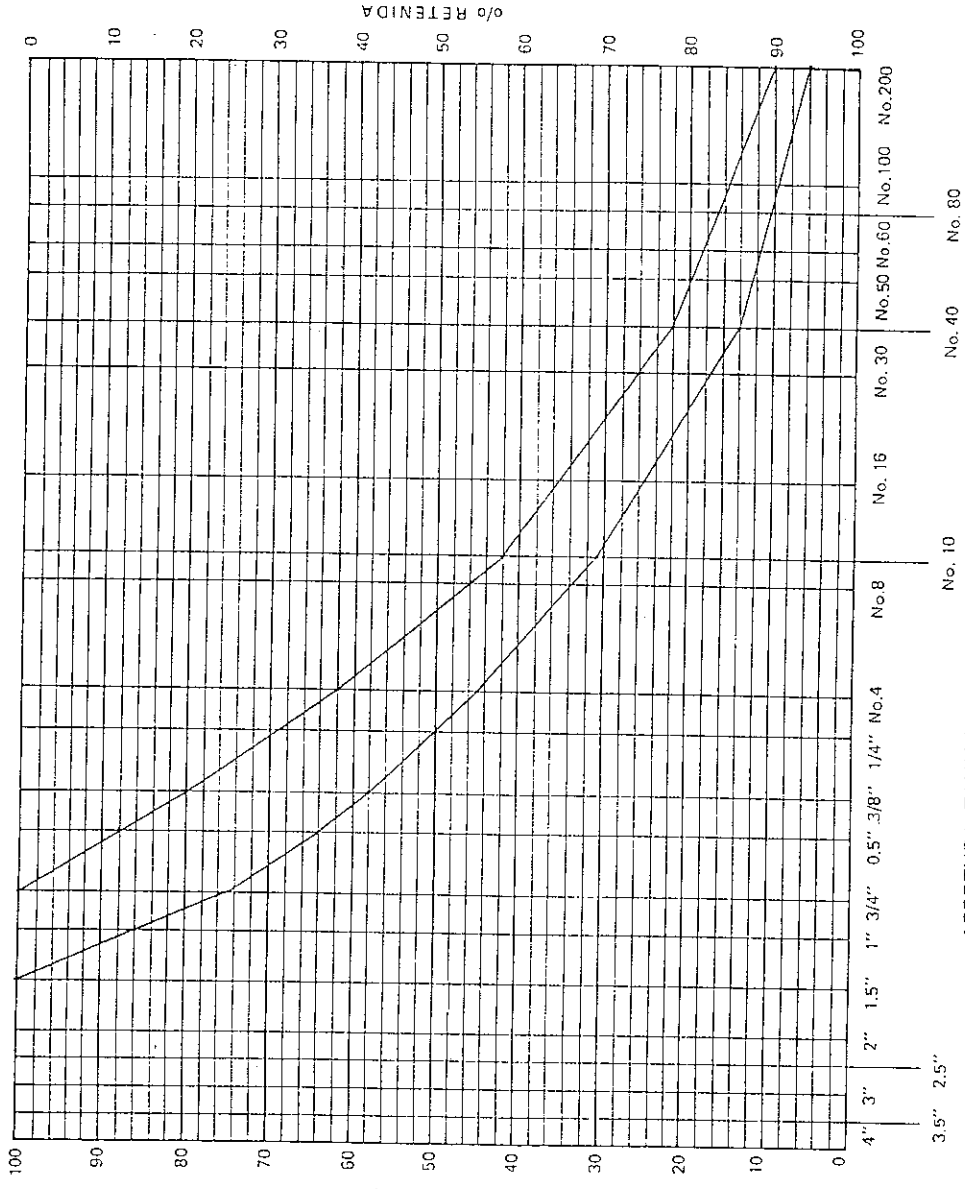
No. 10 No. 40 No. 80

No. 8 No. 16 No. 30 No. 40 No. 50 No. 60 No. 100 No. 200

FORMA M Y T 20

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 60
CURVA GRANULOMETRICA



Fecha _____
Proyecto H.C.R.
Muestra No. _____
Procedencia AGUILA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	o/o RET. o/o PASA
1 1/2"			100.0
1"			84-100
3/4"			75-100
1/2"			64-88
3/8"			50-80
No. 4			45-62
No. 10			31-42
No. 40			14-22
No. 200			6-10

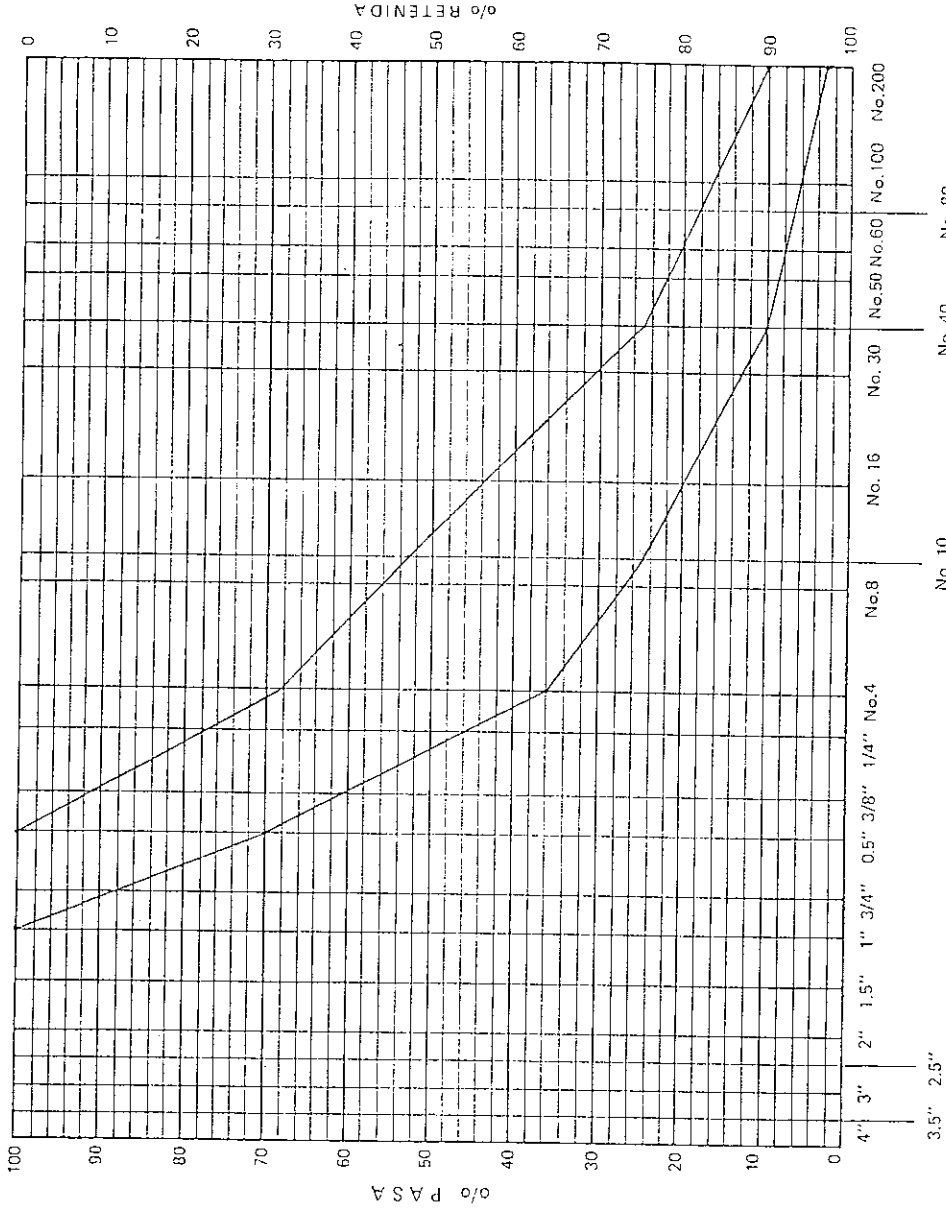
PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	_____	P.B.S.	_____
TARA	_____	TARA	_____
P.N.S.	_____	P.N.S.	_____
EFFECTUO	_____		
CALCULO	_____		
REVISO	_____		
MUESTRA TOMADA	_____		
OBSERVACIONES	_____		

ABERTURA TAMICES

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia CANADA

GRAFICA No. 61
CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			100.0
3/4"			88-100
1/2"			70-100
3/8"			61-91
No. 4			34-68
No. 10			25-55
No. 40			10-25
No. 100			5-10

PESO SIN LAVAR	PESO LAVADO
P.B.S. _____	P.B.S. _____
TARA _____	TARA _____
P.N.S. _____	P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

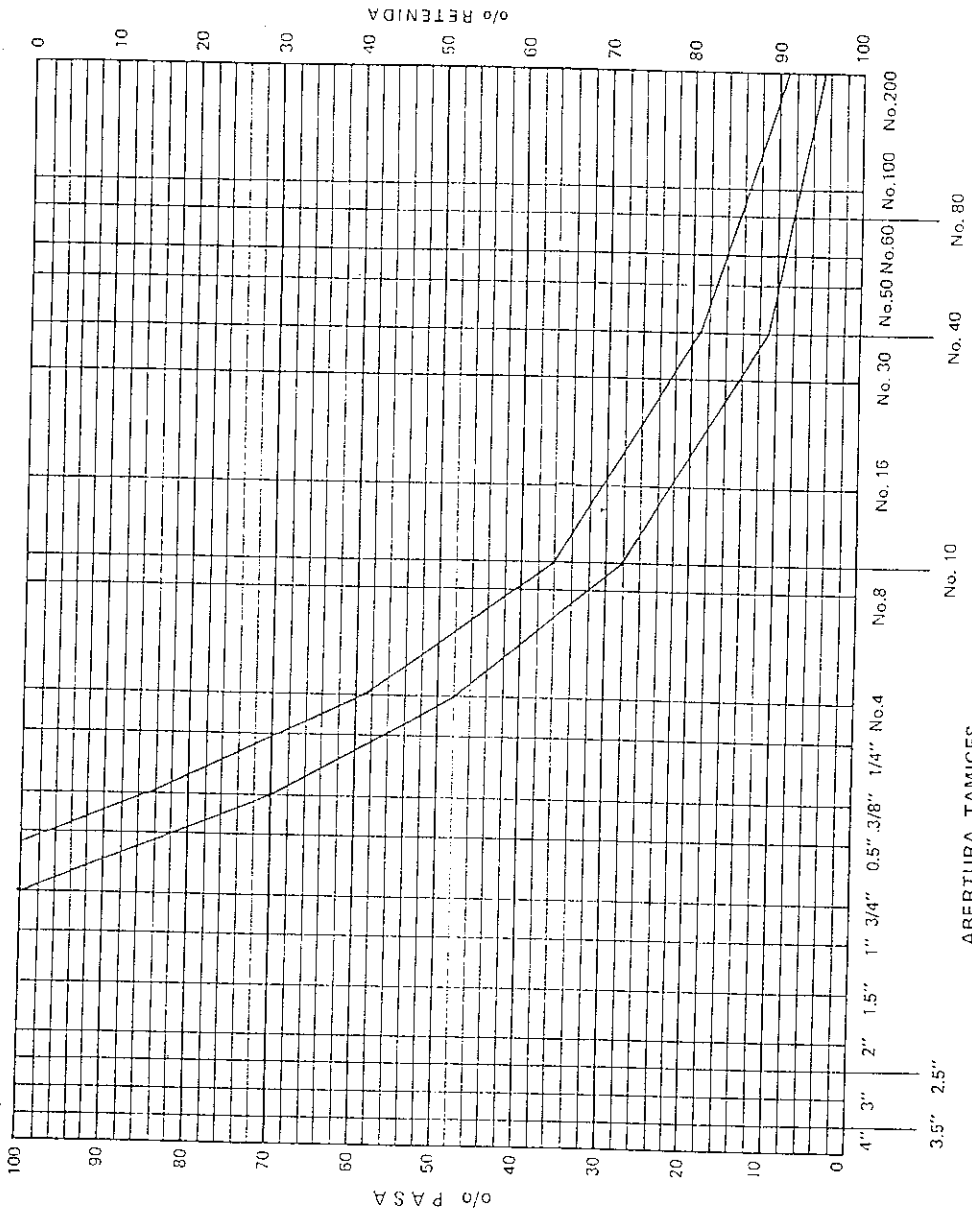
OBSERVACIONES _____

ABERTURA TAMICES

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 62
CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto HCB
 Muestra No. _____
 Procedencia Estados Unidos (Orizaba)



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	0/0 RET. 0/0 PASA ESPECIF.
3/4"			100.0
1/2"			82.97
3/8"			70.85
No. 4			48.59
No. 10			28.36
No. 40			11.19
No. 200			5.9

PESO SIN LAVAR	PESO LAVADO
P.B.S. _____	P.B.S. _____
TARA _____	TARA _____
P.N.S. _____	P.N.S. _____

EFFECTUO _____
CALCULO _____
REVISO _____
MUESTRA TOMADA _____
OBSERVACIONES _____

ABERTURA TAMICES

FORMA M Y T 20

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 64

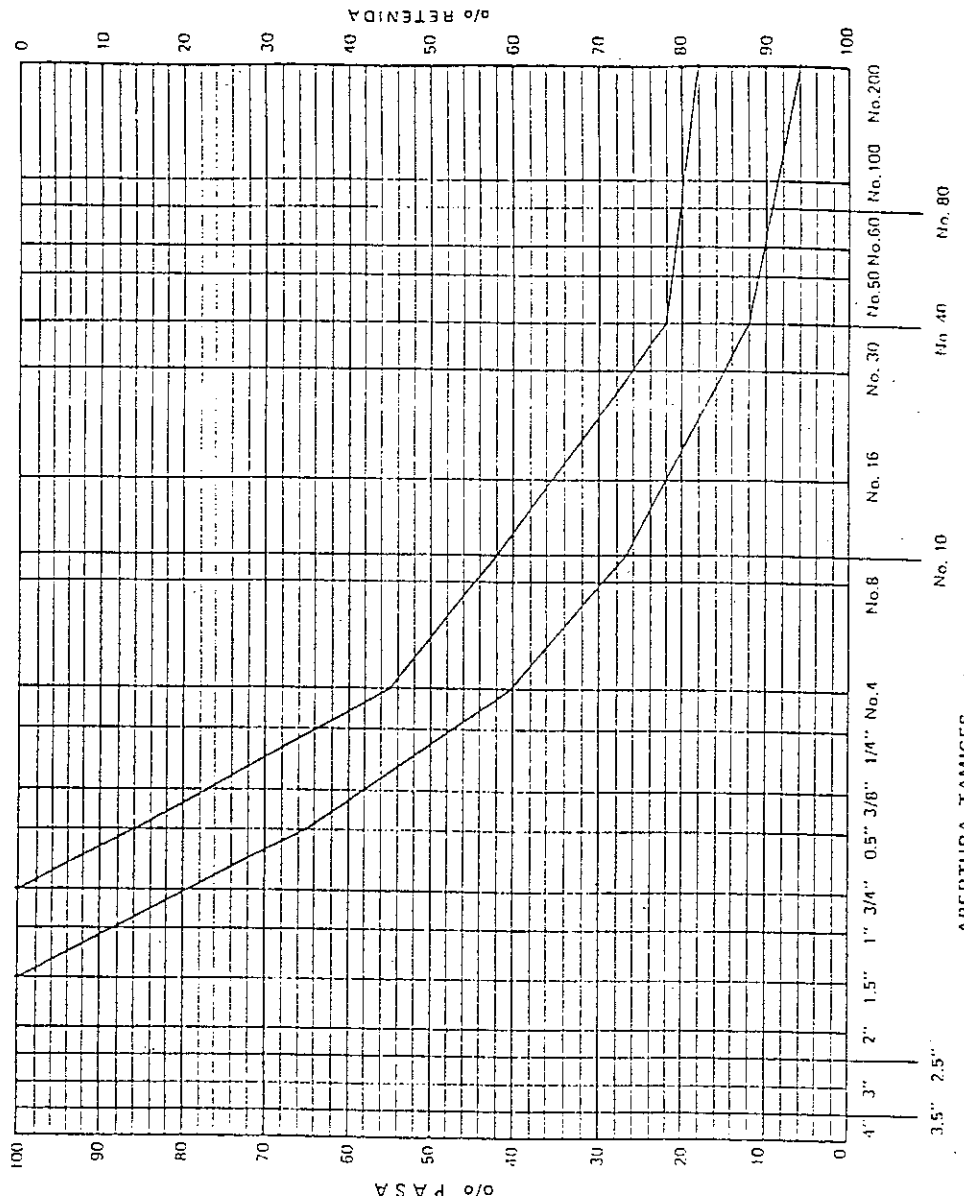
CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia SUECIA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. R. R.	P. H. R.	0/A PASA
1 1/2"			100.0
1"			86.100
3/4"			80.100
1/2"			65.86
3/8"			54.77
No. 4			40.55
No. 10			27.52
No. 20			18.72
No. 40			6.18

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.		P.B.S.	
TARA		TARA	
P.H.S.		P.H.S.	

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____
 OBSERVACIONES _____



ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 67

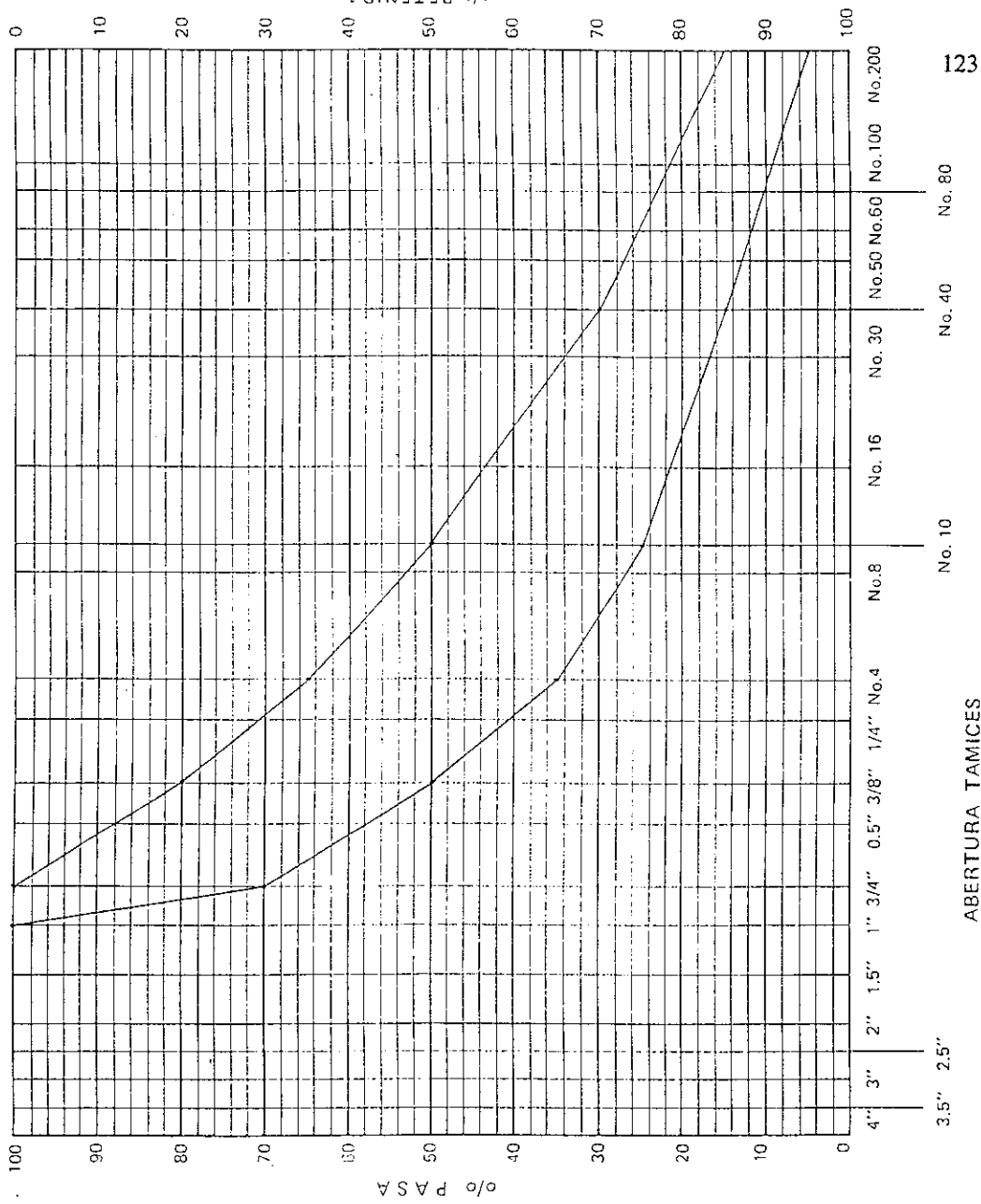
CURVA GRANULOMETRICA

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. _____
 Procedencia BASE ESTABILIZADA COS.
 CEMENTO TIPO "C" (1" MAX)

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. R. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			100.0
3/4"			70-100
3/8"			50-80
No. 4			35-65
No. 10			25-50
No. 50			15-30
No. 100			5-15

PESO SIN LAVAR	PESO LAVADO
P.B.S. _____	P.B.S. _____
TARA _____	TARA _____
P.N.S. _____	P.N.S. _____
EFFECTUO _____	
CALCULO _____	
REVISO _____	
MUESTRA TOMADA _____	
OBSERVACIONES _____	



- Mezcla No. 1:

PORCENTAJE	AGREGADOS	ORIGEN
19	Piedrín de 1"	Trituradora nueva CEPESA
36	Piedrín de 3/8"	Trituradora nueva CEPESA
31	Polvo de Piedra	Trituradora nueva CEPESA
14	Cemento	Cementos Progreso

La granulometría de esta mezcla se observa en las Gráficas No. 68 y No. 69. Su comparación conforme a la franja combinada de los 6 países, está en la gráfica No. 70.

- Mezcla No. 2:

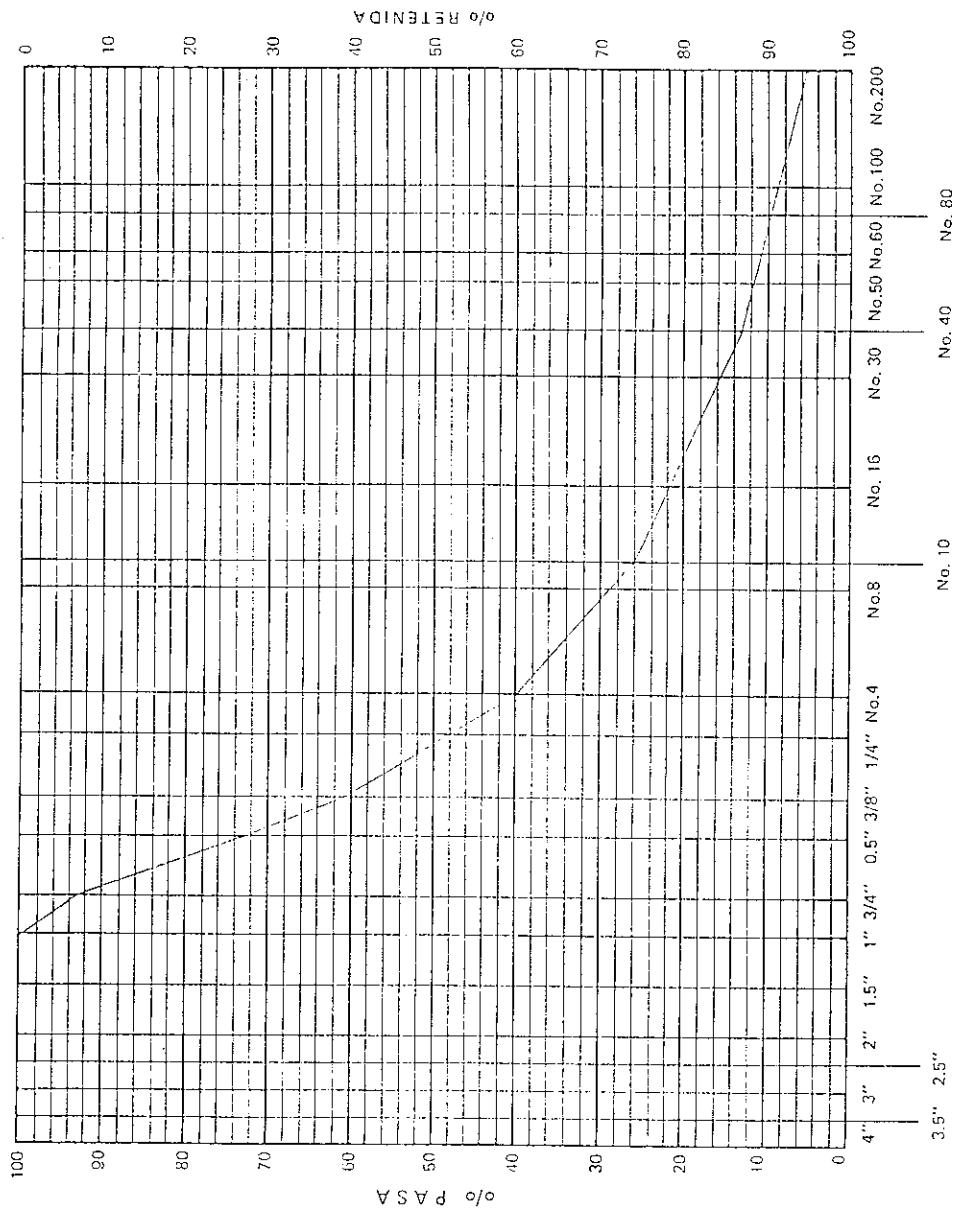
Con el propósito de conseguir una superficie más cerrada y bajar costos en la construcción, en esta mezcla se incrementaron los agregados finos en la granulometría y se redujo el contenido de cemento.

PORCENTAJE	AGREGADOS	ORIGEN
35	Piedrín de 3/8"	Trituradora antigua CEPESA
17.5	Piedrín de 3/8"	Trituradora nueva CEPESA
35	Polvo de piedra	Trituradora Nueva CEPESA
12.5	Cemento	Cementos Progreso

Fecha 8 DE ABRIL 1941
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. PIEZOLA No. 1
 Procedencia HORCALSA - CEREZA.

GRAFICA No. 68
CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	0/0 RET. 10/0 PASA ESPECIF.
1"			100.0
3/4"	252.0	58.8	6.4
1/2"	312.0	218.8	26.8
3/8"	530.0	336.8	39.4
No. 4	709.5	515.3	60.1
No. 10	825.7	432.0	75.9
No. 50	955.8	748.6	86.8
No. 200	1000.0	806.8	94.3

PESO SIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____
 P.B.S. _____ P.B.S. 1,048.6
 TARA _____ TARA 175.7
 P.N.S. _____ P.N.S. 855.4

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

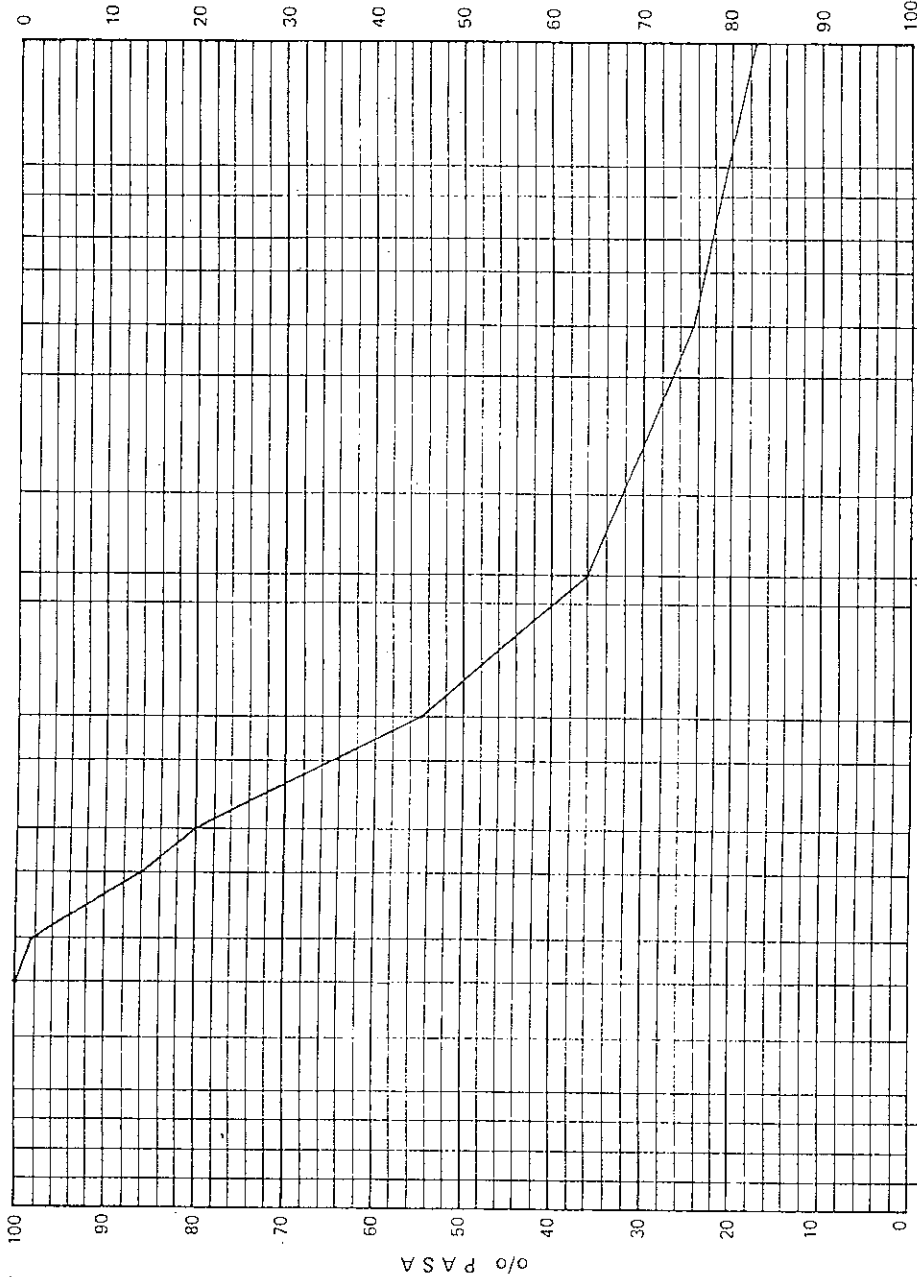
OBSERVACIONES HECILLA DE 19% FIEDRA 1"
3/4" FIEDRA 3/8" TRILIZADORA NUEVA
3/8" FIEDRA DE FIEDRA

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. MEZCLA No. 1
 Procedencia HORNOLOZO - CEPESA

GRAFICA No. 69

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



ABERTURA TAMICES

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. P. R.	P. N. R.	% RET. 0/0 PASA ESPECIF.
1"			100.0
3/4"	230.0	36.8	1.6
1/2"	510.8	37.6	14.0
3/8"	646.0	42.8	19.9
No. 4	1019.5	102.3	45.2
No. 10	1644.4	1451.2	65.9
No. 40	1902.6	1709.4	75.5
No. 200	2069.4	1876.2	82.6

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.		P.B.S.	
TARA		TARA	
P.N.S.		P.N.S.	

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

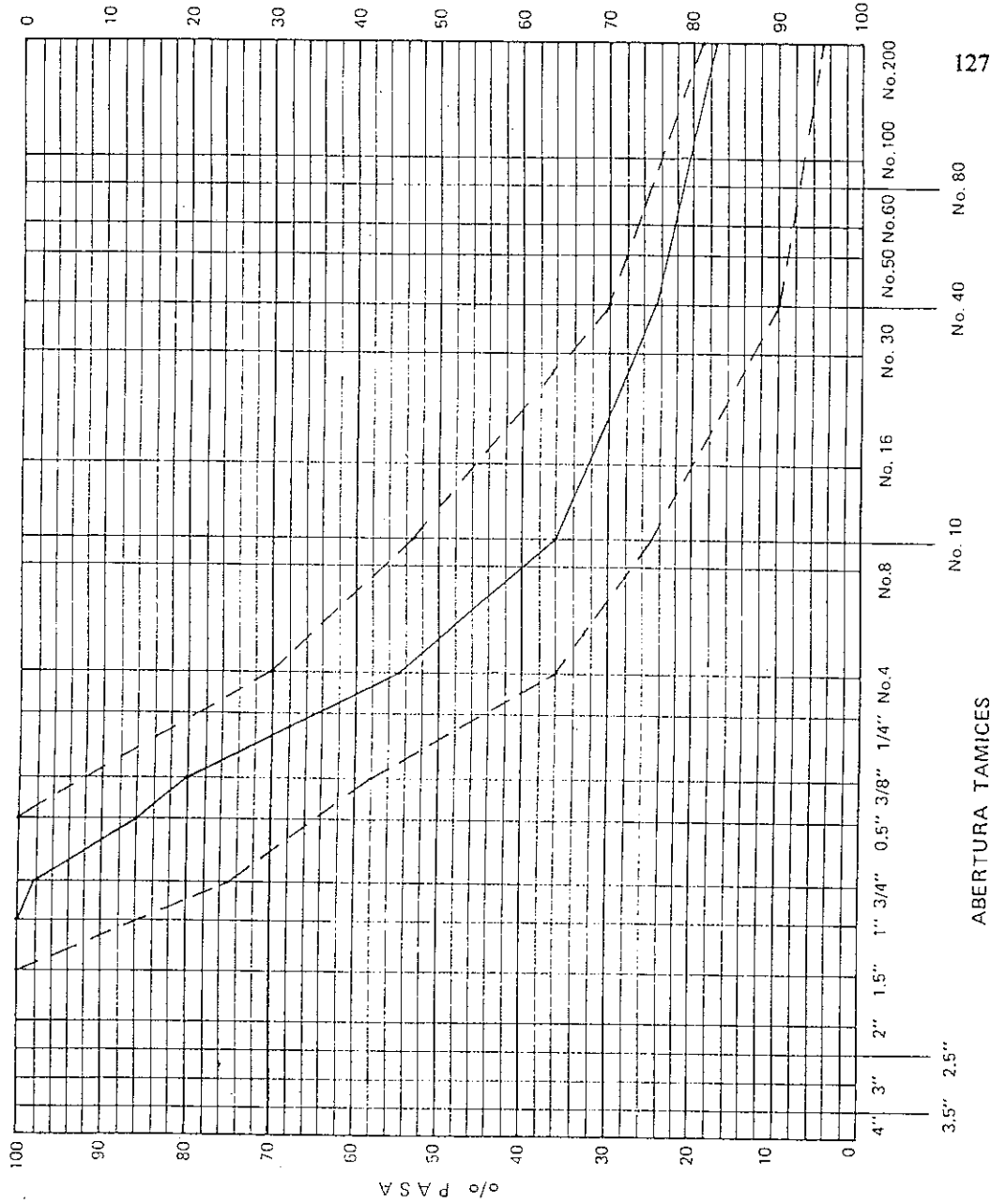
OBSERVACIONES MEZCLA DE: 19% FIEDRIN 1"
34% FIEDRIN 3/8" TALLADORA NOVA
31% POLVO DE FIEDRA
14% CEMENTO

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. MEZCLA No. 1
 Procedencia HORCALSA - CEREZA

GRAFICA No. 70

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



127

ABERTURA TAMICES

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. U. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1"			100.0
3/4"	230.0	36.8	98.4
1/2"	510.8	37.6	86.0
3/8"	646.0	43.8	80.1
No. 4	1219.5	102.5	54.8
No. 10	1644.4	145.2	36.1
No. 40	1902.6	170.4	24.7
No. 200	2069.4	187.2	17.4

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.		P.B.S.	
TARA		TARA	
P.N.S.		P.N.S.	

EFFECTUD	
CALCULO	
REVISO	
MUESTRA TOMADA	

OBSERVACIONES	MEZCLA DE: 19% FIERRO 1"
	36% PIEDRA 3/8" TRIT. NUEVA
	31% POLVO DE PIEDRA
	14% CEMENTO

La granulometría de la mezcla No. 2 se muestra en las Gráficas No. 71 y No. 72, y su comparación con la franja combinada en la grafica 73.

- Mezcla No. 3:

Esta mezcla es una pequeña modificación de la segunda. Con el propósito de mejorar aún más la textura del H.C.R., se incrementaron los agregados finos de la mezcla al 40%

PORCENTAJE	AGREGADOS	ORIGEN
30	Piedrín de 3/8"	Trituradora antigua CEPESA
17.5	Piedrín de 3/8"	Trituradora nueva CEPESA
40	Polvo de piedra	Trituradora nueva CEPESA
12.5	Cemento	Cementos Progreso

Las curvas granulométricas de esta mezcla, así como su comparación con la franja combinada, se aprecian en las Gráficas No. 74, No. 75 y No. 76.

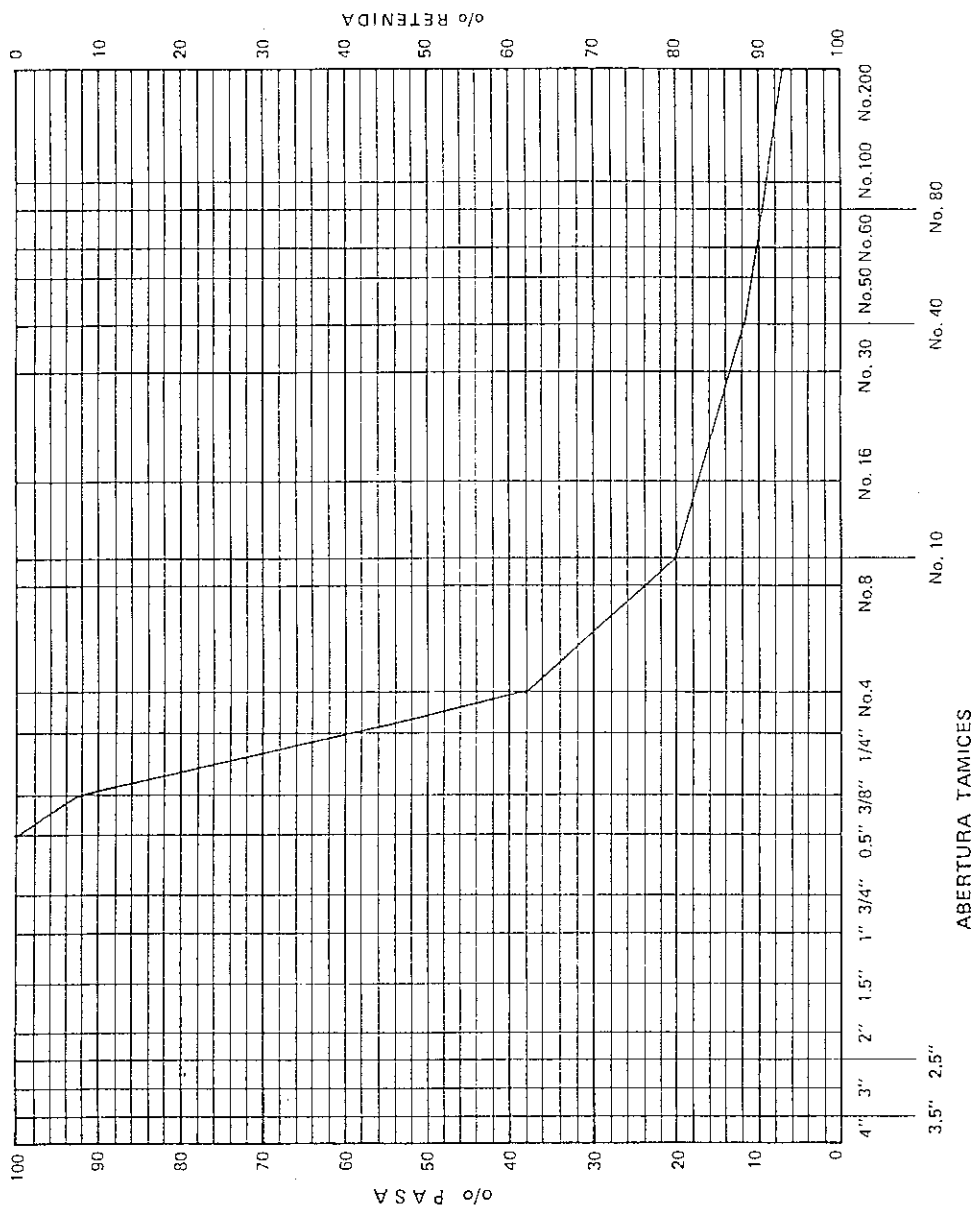
FORMA M Y T 20

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 72

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. Mezcla No. 2
 Procedencia HOSCALSA - CEPEDA



METODO DE PRUEBAS		
TAMIZ	P. B. P.	P. N. R.
1/2"		100.0
3/8"	0.67	7.5
No. 4	2.47	2.05
No. 10	3.07	2.45
No. 40	3.35	2.75
No. 100	3.50	3.08
		32.8
		1.3

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	3.74	P.B.S.	
TARA	0.42	TARA	
P.N.S.	3.32	P.N.S.	

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA DE LAJA DE PRODUCCION _____
 CON CEMENTO _____

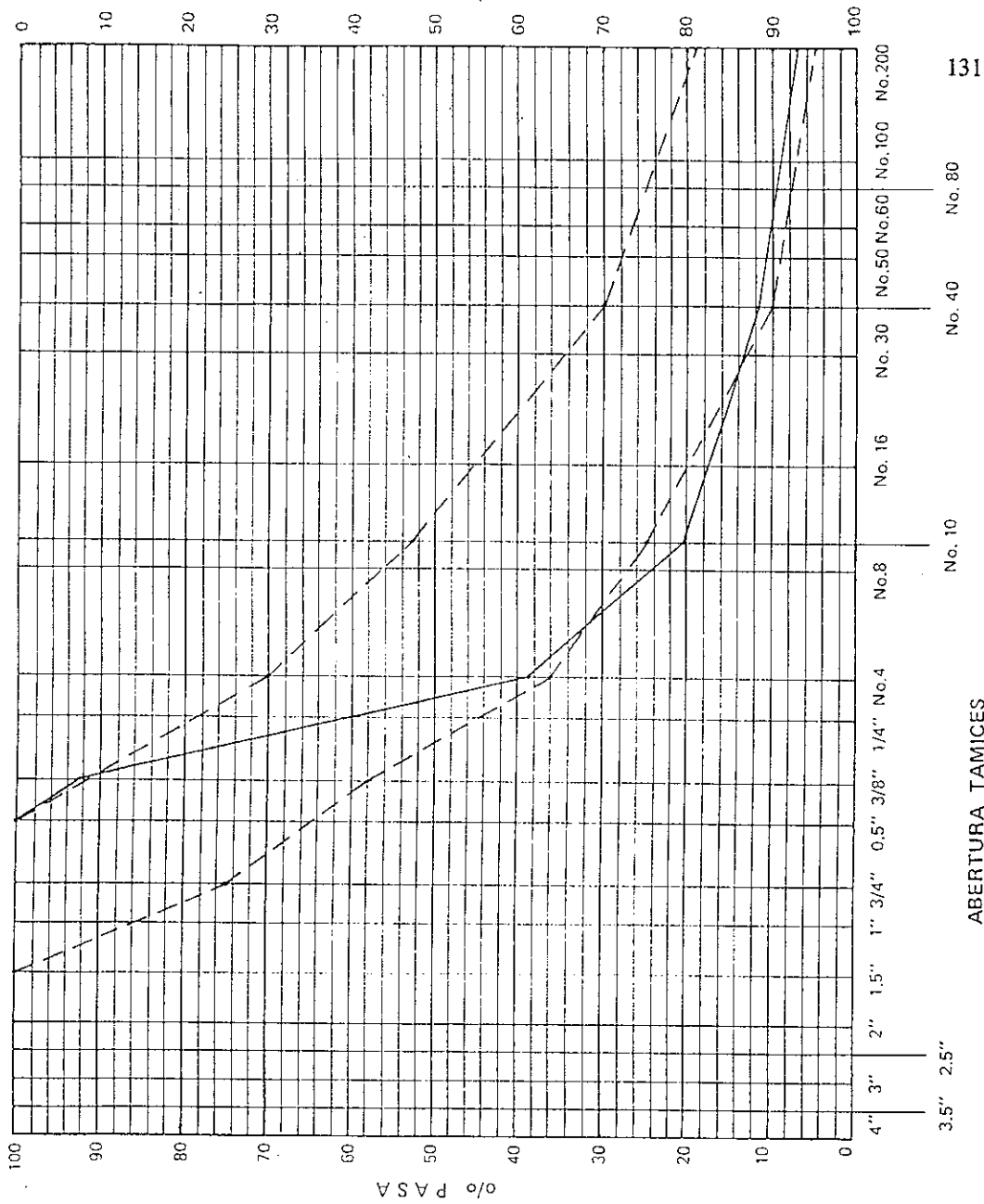
OBSERVACIONES Mezcla de 35% 3/8"
especial 17.5% 3/8" corriente
35% polvo de piedra
12.5% cemento

Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. MEZCLA No. 2
 Procedencia HOZOLSA - CEPESA

GRAFICA No. 73

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS — MECANICO



METODO DE PRUEBAS					
TAMIZ	P. R. R.	P. N. R.	% RET.	% PASA	ESPECIF.
1/2"				100.0	65-100
3/8"	0.67	0.35	7.5	92.5	58-97
No. 4	2.47	2.05	61.7	38.3	36-70
No. 10	3.07	2.65	79.8	20.2	25-53
No. 40	3.35	2.93	88.2	11.8	10-30
No. 200	3.50	3.08	97.8	2.2	5-19

PESOSIN LAVAR _____ PESO LAVADO _____
 P.B.S. _____ P.B.S. _____
 TARA _____ TARA _____
 P.N.S. _____ P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES: MEZCLA DE: 35% 3/8"
ESPECIAL: 17.5% 3/8" CORRIANTE
35% POLVO DE PIEDRA
12.5% CEMENTO

ABERTURA TAMICES

No. 10 No. 16 No. 30 No. 50 No. 60 No. 100 No. 200

No. 40 No. 80

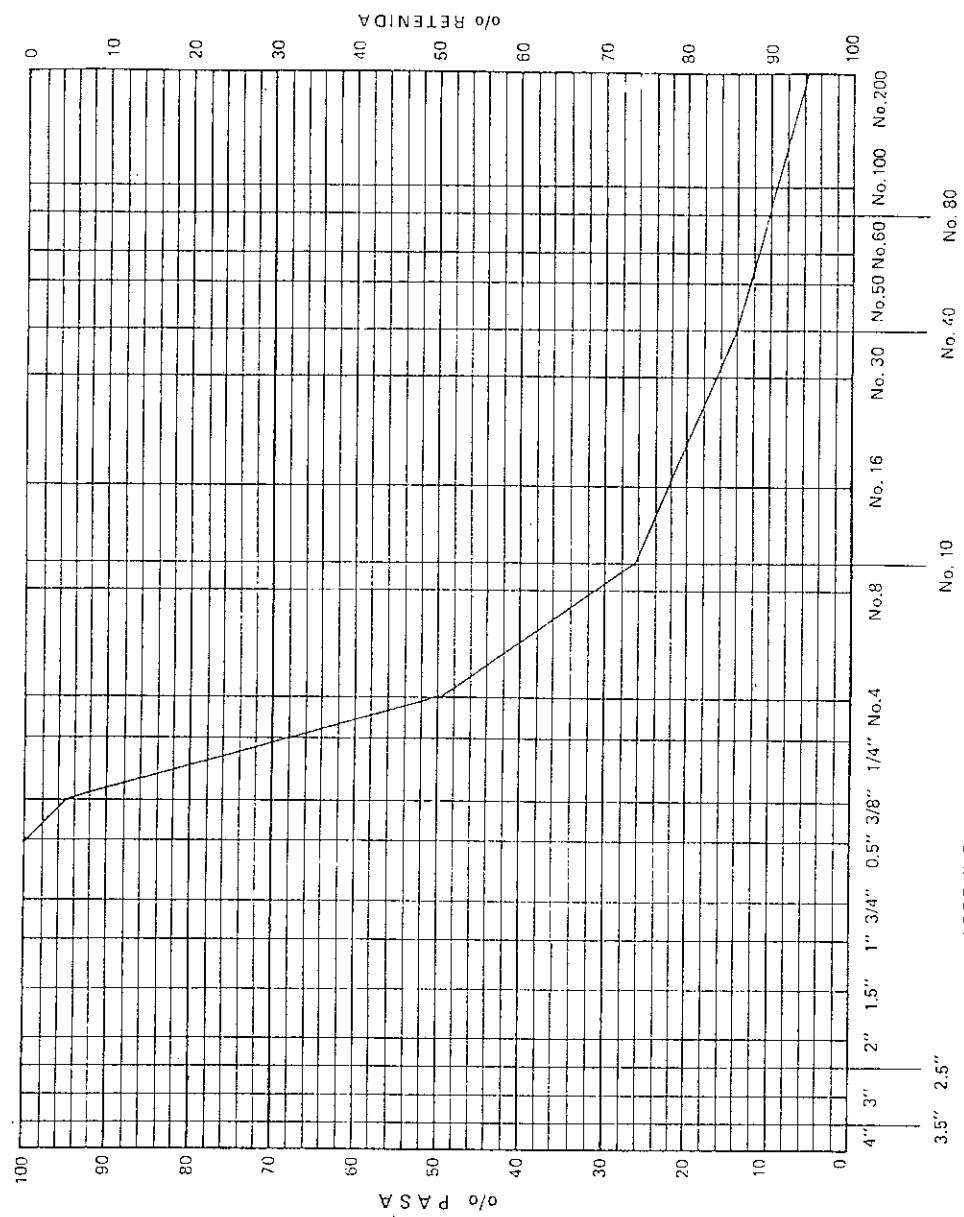
FORMA M y T 20

LABORATORIO
ANALISIS — MECANICO

GRAFICA No. 74

CURVA GRANULOMETRICA

Fecha _____
 Proyecto H.C.B.
 Muestra No. MEZCLA No. 3
 Procedencia HORCALSA - CERRA



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	ESPECIF.
1/4"			
3/8"	234.1	40.9	4.7
No. 4	632.8	430.6	50.3
No. 10	835.7	646.5	73.5
No. 40	944.5	751.5	86.0
No. 100	1017.3	824.0	94.3
			5.7

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	1067.1	P.B.S.	1067.1
TARA	193.2	TARA	193.2
P.N.S.	873.9	P.N.S.	873.9

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA por peso

OBSERVACIONES MEZCLA DE 30% 5/8"
ESPECIAL 17.5% 3/4" CORRIENTE
40% POLVO DE PIEDRA

ABERTURA TAMICES

GRAFICA No. 75

CURVA GRANULOMETRICA

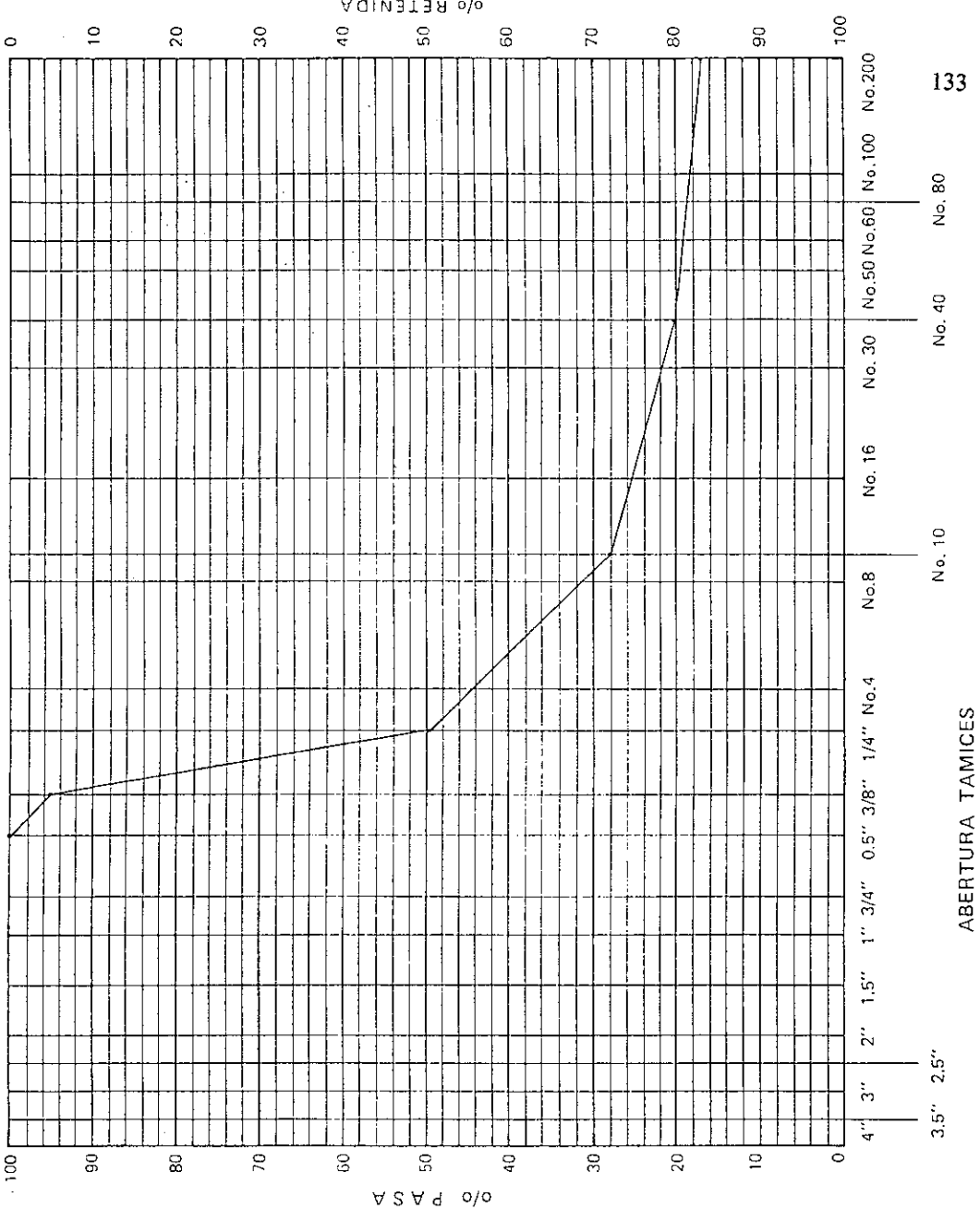
Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. MEZCLA No. 3
 Procedencia HORGALZA - CERESA

METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	o/o RET. en PASA ESPECIF.
1/2"			100.0
3/8"	1,320.0	12,44.0	4.7
No. 4	1,520.5	1,334.9	50.5
No. 10	2,106.4	1,910.8	72.0
No. 40	2,308.1	2,112.5	79.6
No. 200	2,333.0	2,137.4	82.8

PESO SIN LAVAR		PESO LAVADO	
P.B.S.	_____	P.B.S.	_____
TARA	_____	TARA	_____
P.N.S.	_____	P.N.S.	_____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

DBSERVACIONES. MEZCLA DE: 30% 3/8"
ESPECIAL: 17.5% 3/8" CORRIENTE
40% POLVO DE PIEDRA
12.5% CEMENTO

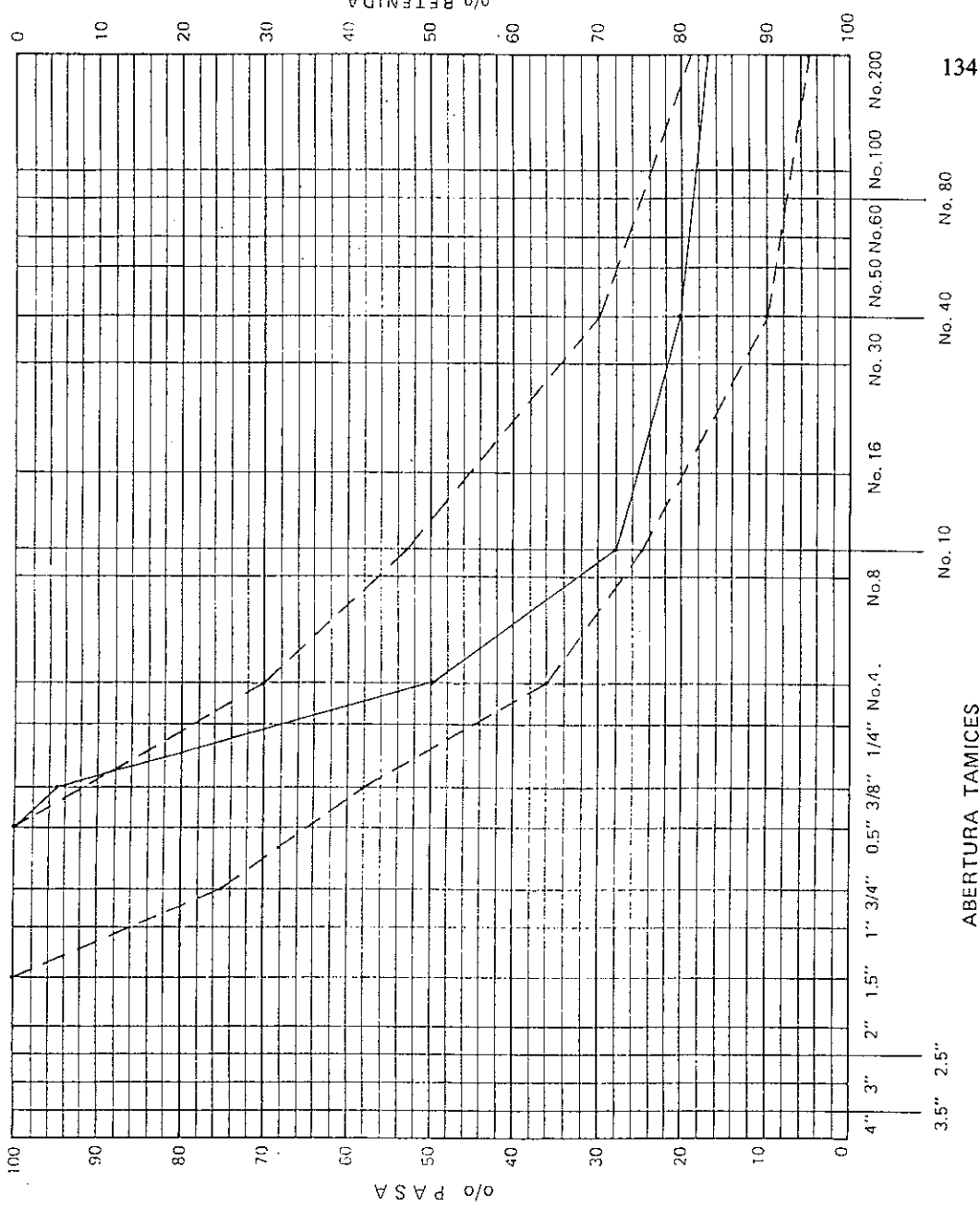


Fecha _____
 Proyecto H.C.R.
 Muestra No. MEZCLA No. 3
 Procedencia LABORATORIO - CEPESA

GRAFICA No. 76

CURVA GRANULOMETRICA

FORMA M Y T 20
 LABORATORIO
 ANALISIS - MECANICO



METODO DE PRUEBAS			
TAMIZ	P. B. R.	P. N. R.	% PASA ESPECIF.
1/2"			100.0
3/8"	1320.0	1244.0	95.3
No. 4	1530.5	1331.9	89.7
No. 10	2106.4	1910.8	88.0
No. 50	2508.1	2112.5	80.4
No. 200	2393.0	2197.4	87.7

PESO SIN LAVAR	PESO LAVADO
P.B.S. _____	P.B.S. _____
TARA _____	TARA _____
P.N.S. _____	P.N.S. _____

EFFECTUO _____
 CALCULO _____
 REVISO _____
 MUESTRA TOMADA _____

OBSERVACIONES MEZCLA DE 30% 3/8"
ESPELUSAL : 17.5% 3/8" CORRUENTE
40% POLVO DE PIEDRA
17.5% CEMENTO

C. Construcción del proyecto con H.C.R.

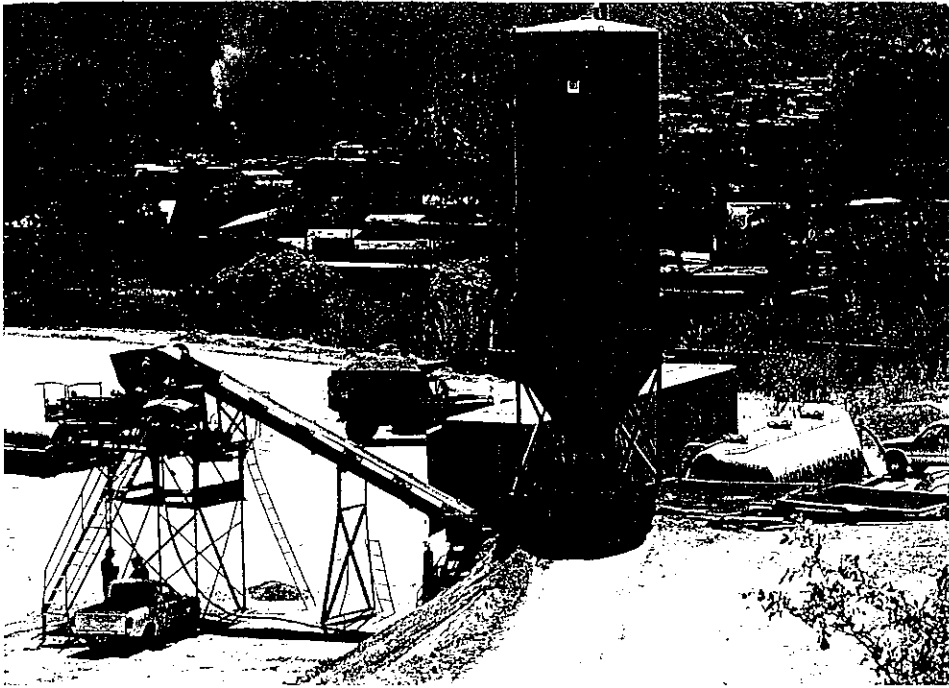
1. Maquinaria utilizada en el proyecto.

La planta mezcladora que se usó es una planta marca Barber Greene, modelo 824, con capacidad de 120 metros cúbicos por hora (Fotografías No. 11 y No 12).

Esta planta consta de:

- Dos tolvas para agregados con dosificador cada una. Una de las tolvas es doble, o sea que tiene capacidad para recibir 2 materiales con dosificadores individuales.
- Una banda transportadora de materiales descargados por las tolvas.
- Un silo de cemento con capacidad para 1500 sacos de cemento, equipado también con un molino dosificador que descarga el cemento sobre los agregados transportados en la banda.
- Una caja mezcladora de materiales tipo "pug-mill", donde la banda descarga los agregados con el cemento.
- Una bomba de agua con contador, instalada con su salida al "pug-mill".
- Una pequeña tolva para descarga de mezcla.
- Una planta eléctrica de diesel, que genera la corriente utilizada por los diversos motores eléctricos instalados para el funcionamiento de la planta.

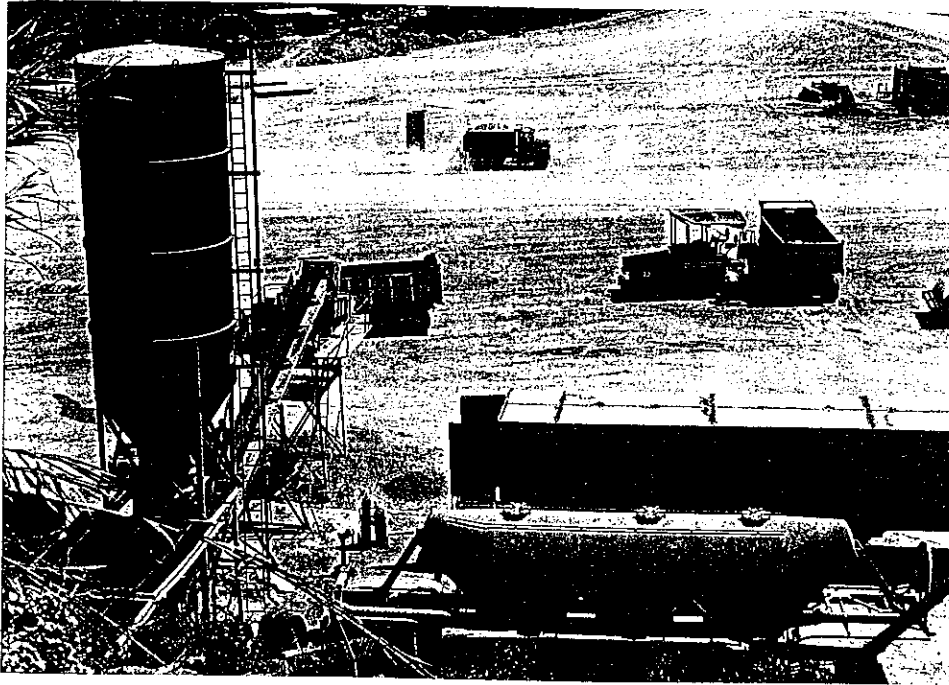
FOTOGRAFIA No. 11



PLANTA MEZCLADORA

BARBER GREENE 824

FOTOGRAFIA No. 12



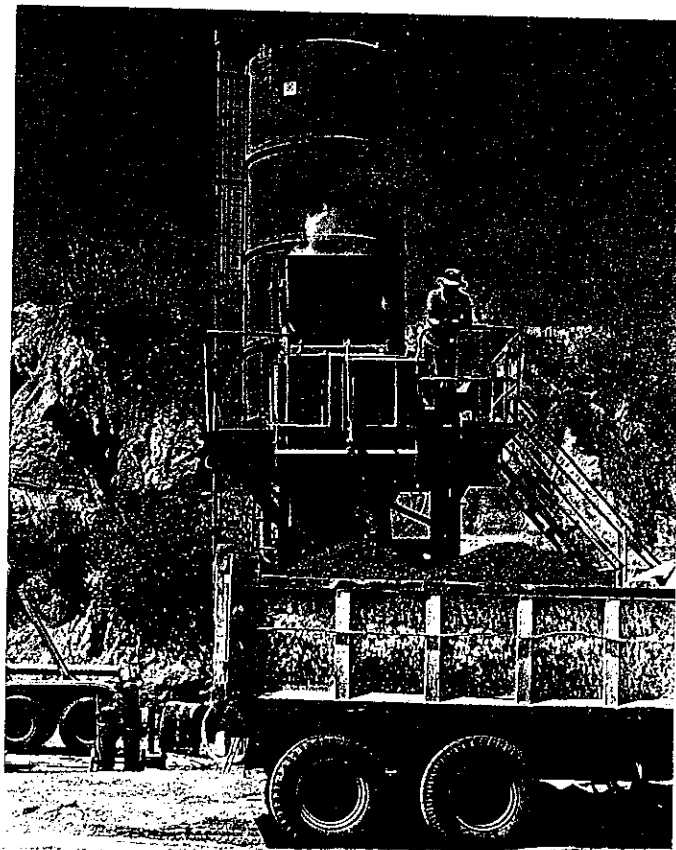
PLANTA MEZCLADORA

BARBER GREENE 824

Para la colocación del H.C.R. se empleó el siguiente equipo:

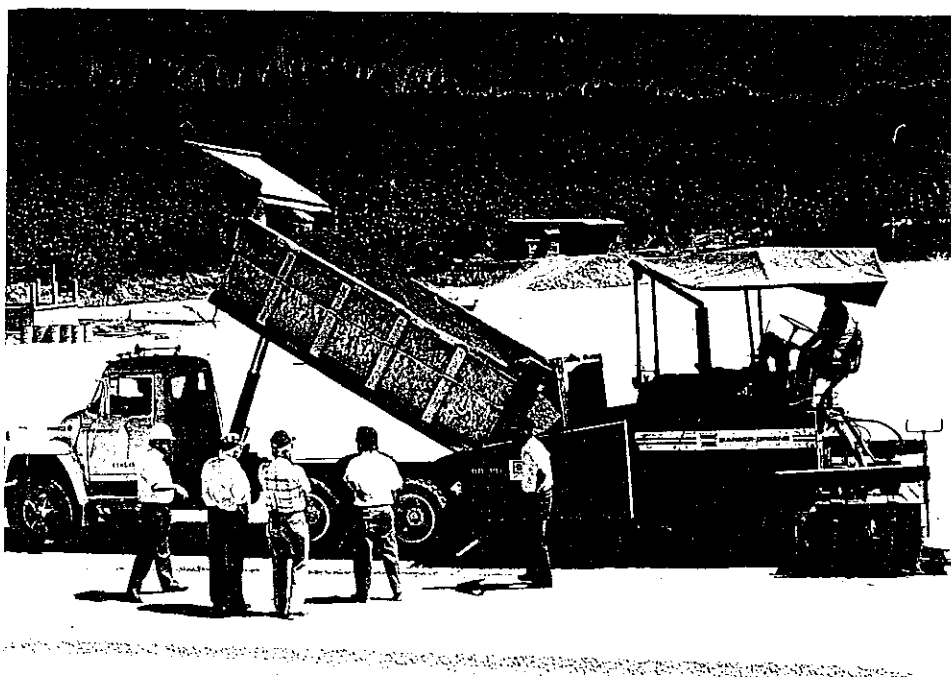
- Un cargador frontal de ruedas, que es indispensable para alimentar la planta.
- Camiones de volteo de 10 metros cúbicos de capacidad, que recogen la mezcla en planta y la acarrean al tramo (Fotografía No. 13)
- Una pavimentadora marca Barber Greene, modelo SB-131, equipada con una pequeña plancha vibratoria (Fotografía No. 14).
- Una pavimentadora marca Caterpillar, modelo AP-1200, equipada con una plancha vibratoria mediana.
- Una compactadora vibratoria marca Hyster, modelo C615-B, configurada con un tambor metálico y una rueda lisa central. El peso de esta máquina es de 7.5 toneladas (Fotografías No. 15 y No. 16).
- Una compactadora neumática marca Hyster, modelo C550-A, de 20 toneladas de peso, y equipada con 4 llantas delanteras y 5 traseras.

FOTOGRAFIA No. 13



CAMION DE VOLTEO
EN LLENADO

FOTOGRAFIA No. 14



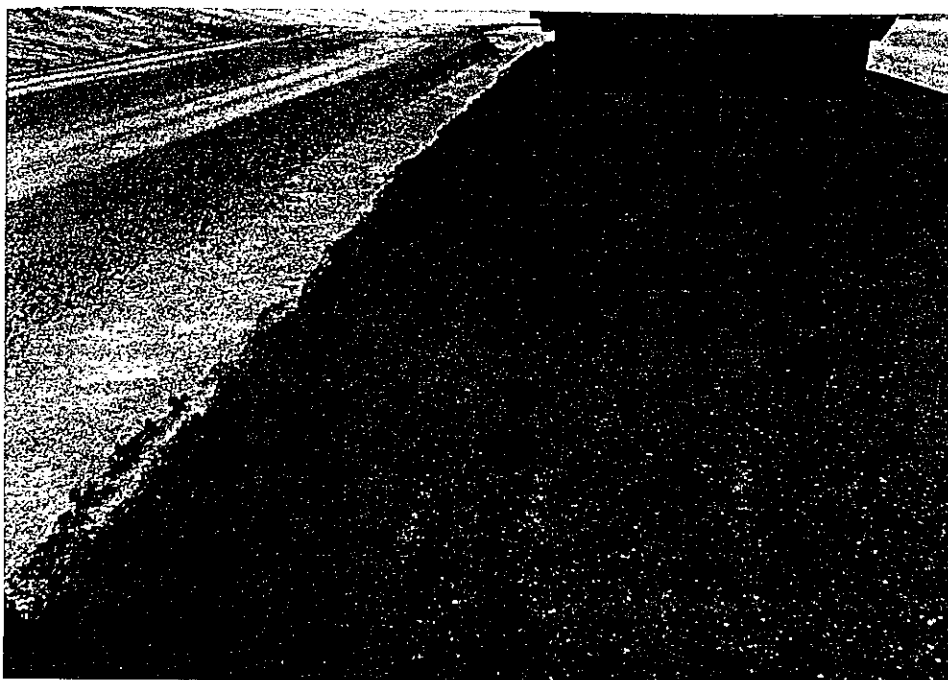
PAVIMENTADORA BARBER GREENE SB-131

FOTOGRAFIA No. 15



COMPACTADORA HYSTER C615-B

FOTOGRAFIA No. 16



COMPACTADORA HYSTER C615-B

2. Construcción del proyecto.

El tramo de acceso a la planta "La Pedrera", en donde se colocó el H.C.R., se muestra en el mapa No. 1.

La mezcla No. 1 se colocó de la siguiente forma:

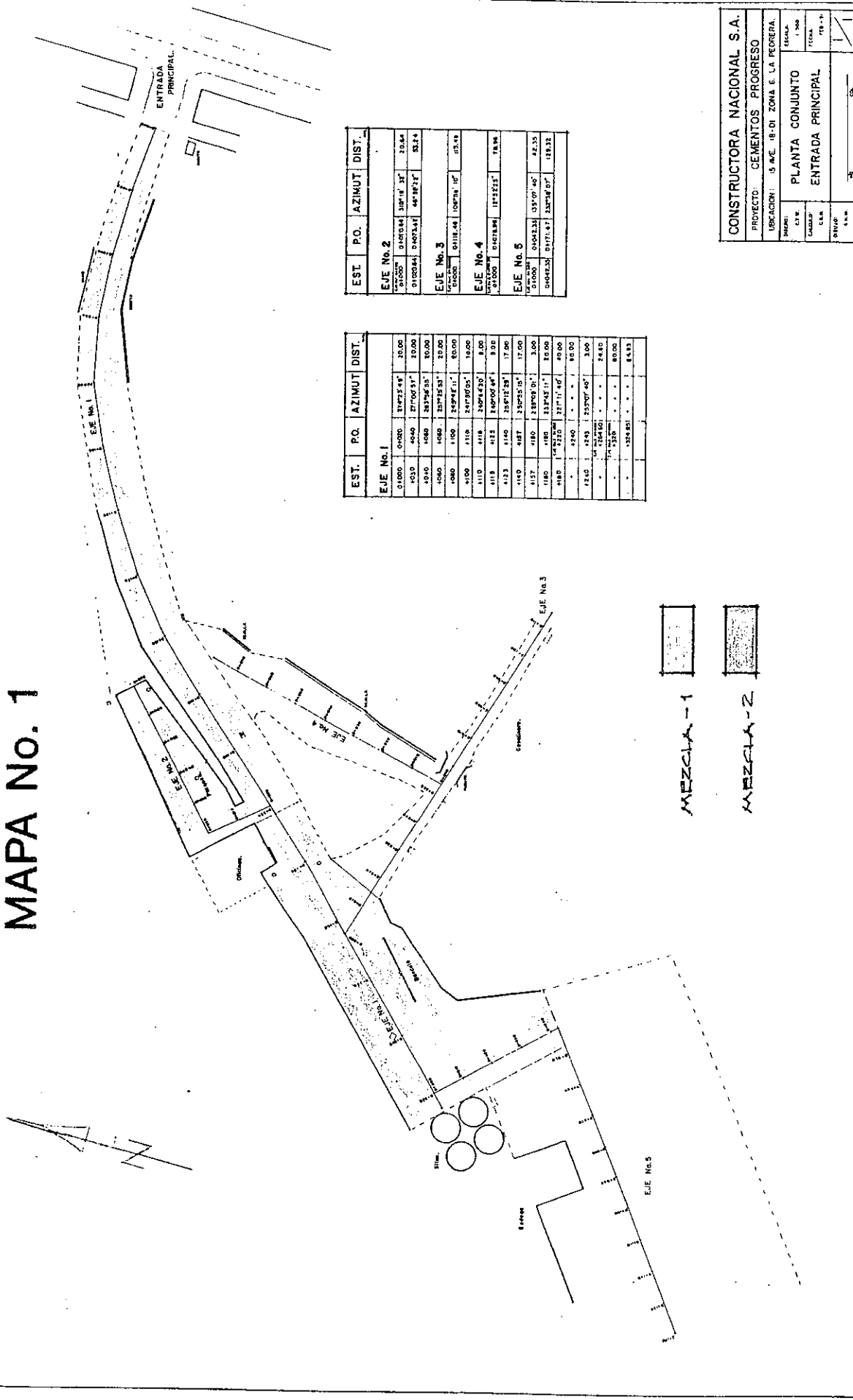
- En el tramo de estaciones 0+000.00 - 0+225.00 del Eje No. 1 L. I. (acceso a oficinas centrales y silos de descarga), con una capa de espesor de 8" (365.19 metros cúbicos).
- En el tramo de estaciones 0+000.00 - 0+225.00 del Eje No. 1 L. D. (acceso a oficinas centrales y silos de descarga), con un espesor de 6" (240.30 metros cúbicos).
- En el tramo de estaciones 0+006.60 - 0+071.13 del Eje No. 2 S. C. (parqueo oficinas centrales) con un espesor de 8" (164.35 metros cúbicos).

La mezcla No. 2 se colocó así:

- En el tramo de estaciones 0+225.00 - 0+326.50 del Eje No. 1 S. C. (acceso a silos de descarga) con un espesor de 6" (384.69 metros cúbicos).
- En el tramo de estaciones 0+015.00 - 0+042.50 del Eje No. 5 S. C. (acceso a silos de descarga) con un espesor de 6" (90.90 metros cúbicos).

La mezcla No. 3 se colocó en el acceso Norte al "Estadio C. F. Novella" (no ilustrado en el mapa), con un espesor de 6" ó 224.91 metros cúbicos.

MAPA No. 1



EST.	P.O.	AZIMUT	DIST.
EJE No. 1			
0+000	0+000	234°23'48"	20.00
0+010	0+040	27°00'51"	30.00
0+010	0+060	283°26'35"	30.00
0+060	0+080	237°25'37"	20.00
0+080	0+100	249°48'17"	20.00
0+100	0+110	247°30'05"	10.00
0+110	0+118	240°44'30"	8.00
0+118	0+123	240°00'40"	5.00
0+123	0+140	248°12'28"	17.00
0+140	0+187	235°25'18"	47.00
0+187	0+180	238°08'01"	3.00
0+180	0+180	237°45'11"	20.00
0+180	0+220	227°11'40"	40.00
0+220	0+240	227°11'40"	20.00
0+240	0+240	225°07'40"	3.00
0+240	0+240	225°07'40"	24.10
0+240	0+240	225°07'40"	80.00
0+240	0+240	225°07'40"	84.83

EST.	P.O.	AZIMUT	DIST.
EJE No. 2			
0+000	0+000	336°4'31"	10.44
0+000	0+020	347°21'21"	32.74
EJE No. 3			
0+000	0+118.46	106°29'10"	115.49
EJE No. 4			
0+000	0+000	112°12'12"	18.34
EJE No. 5			
0+000	0+041.34	135°07'40"	42.35
0+041.34	0+171.47	225°07'40"	129.32

CONSTRUCTORA NACIONAL S.A.

PROYECTO: CEMENTOS PROGRESO

UBICACION: 5 AVE. 18-D1 ZONA 6 LA PEÑERA.

MEMO: C.T.R. ESCALA: 1:500

CALIDAD: PLANTA CONJUNTO

ESCALA: ENTRADA PRINCIPAL

FECHA: 1987

PROYECTO: 18-D1

La colocación de todo el H.C.R. se llevó a cabo siguiendo los métodos convencionales mencionados anteriormente en este trabajo.

La capa de H.C.R. se colocó encima de las bases existentes en todos los espacios. En el tramo 0+000.00 - 0+100.00 del Eje No. 1 S. C., la base era de tipo granular. En el tramo 0+100.00 - 0+326.50 del Eje No. 1 S. C., había una base tipo suelo-cal. El mismo material se encontró en el tramo de estaciones 0+015.00 - 0+042.50 del Eje No. 5 S. C. A lo largo de estos espacios existían también baches de concreto.

En el acceso Norte del "Estadio C. F. Novella" la base existente era granza de cal.

D. Resultados del proyecto

1. Ensayos de resistencia.

Debido a que en los estudios con el Proctor CT-180 hubo problemas con los testigos o probetas que tendían a segregarse, los ensayos de resistencia siguientes se efectuaron con mazo Marshall (mismo peso y altura del Proctor) con 65 y 60 golpes por lado. Estos nuevos moldes son de $1/30$ de pie cúbico (más pequeños que los primeros de $1/13.3333$ pie³) conservan la misma dinámica y relación de esbeltez, y el golpe queda confinado en un área de contacto más pequeña. Además, estos nuevos testigos son emparafinados para el proceso de curado.

Esta modificación se hizo por facilidad y como experimentación. Los resultados de los ensayos de resistencia para las diferentes mezclas se muestran a continuación:

MEZCLA No. 1:

19% Piedrín de 1". Trituradora nueva CEPESA.

36% Piedrín de 3/8". Trituradora nueva CEPESA

31% Polvo de Piedra. Trituradora nueva CEPESA.

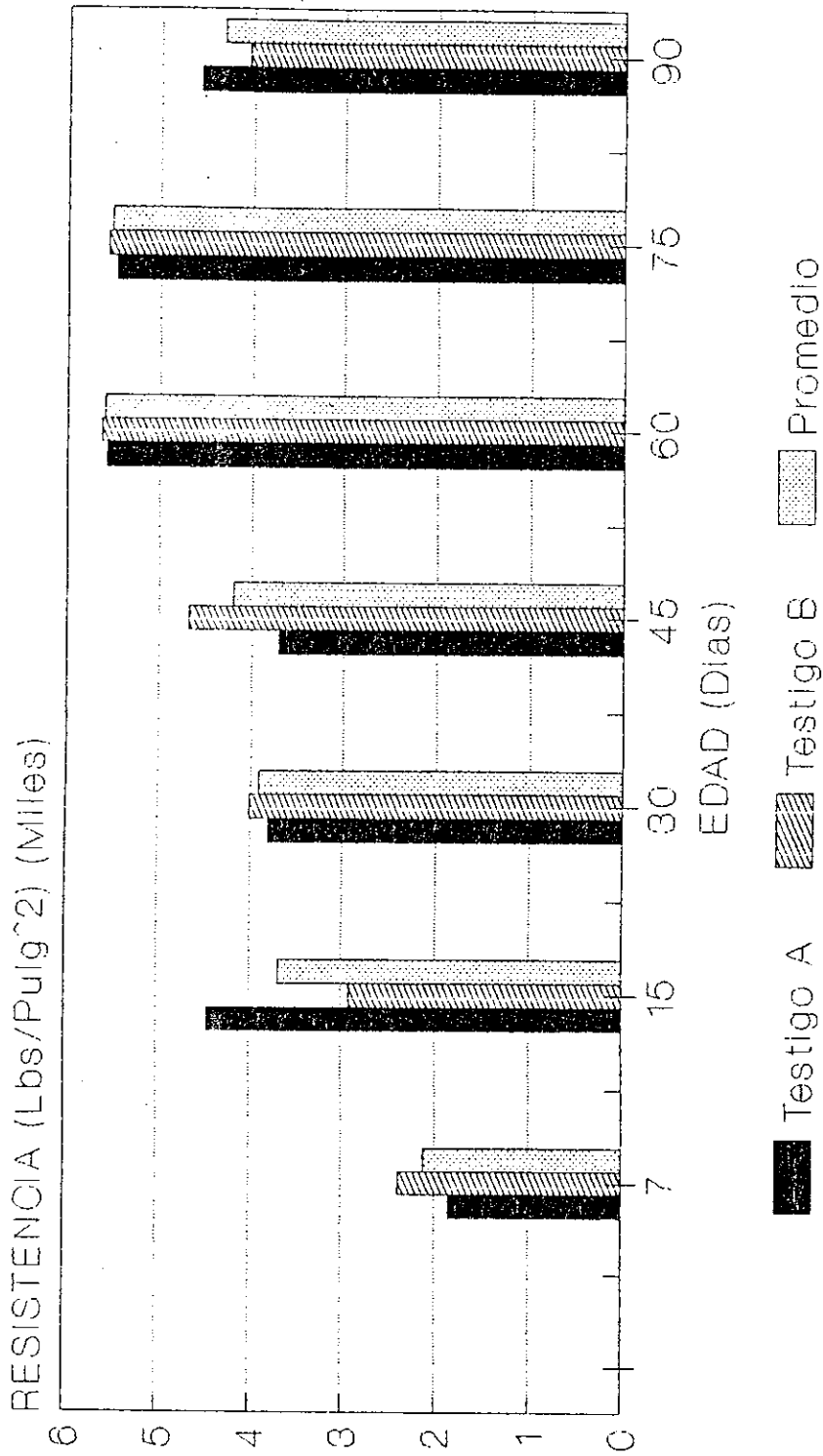
14% Cemento

Cantidad de cemento utilizada por metro cúbico: 7.2 sacos

CILINDRO NUMERO	EDAD DIAS	AREA PULG ²	LECTURA PRENSA	RESISTENCIA LBS/PULG ²	PROMEDIO LBS/PUL ²
A-I	7	12.57	23,200	1,846	
A-II	7	12.57	30,000	2,388	2,117
A-III	15	12.57	56,000	4,455	
A-IV	15	12.50	36,500	2,920	3,688
A-V	30	12.44	47,500	3,818	
A-VI	30	12.44	50,000	4,019	3,919
A-VII	45	12.50	46,500	3,720	
A-VIII	45	12.44	58,200	4,678	4,199
A-IX	60	12.57	70,000	5,568	
A-X	60	12.44	70,000	5,627	5,598
A-XI	75	12.50	68,500	5,480	
A-XII	75	12.44	69,250	5,566	5,523
A-XIII	90	12.57	57,500	4,574	
A-XIV	90	12.44	50,500	4,059	4,317

GRAFICA No. 77

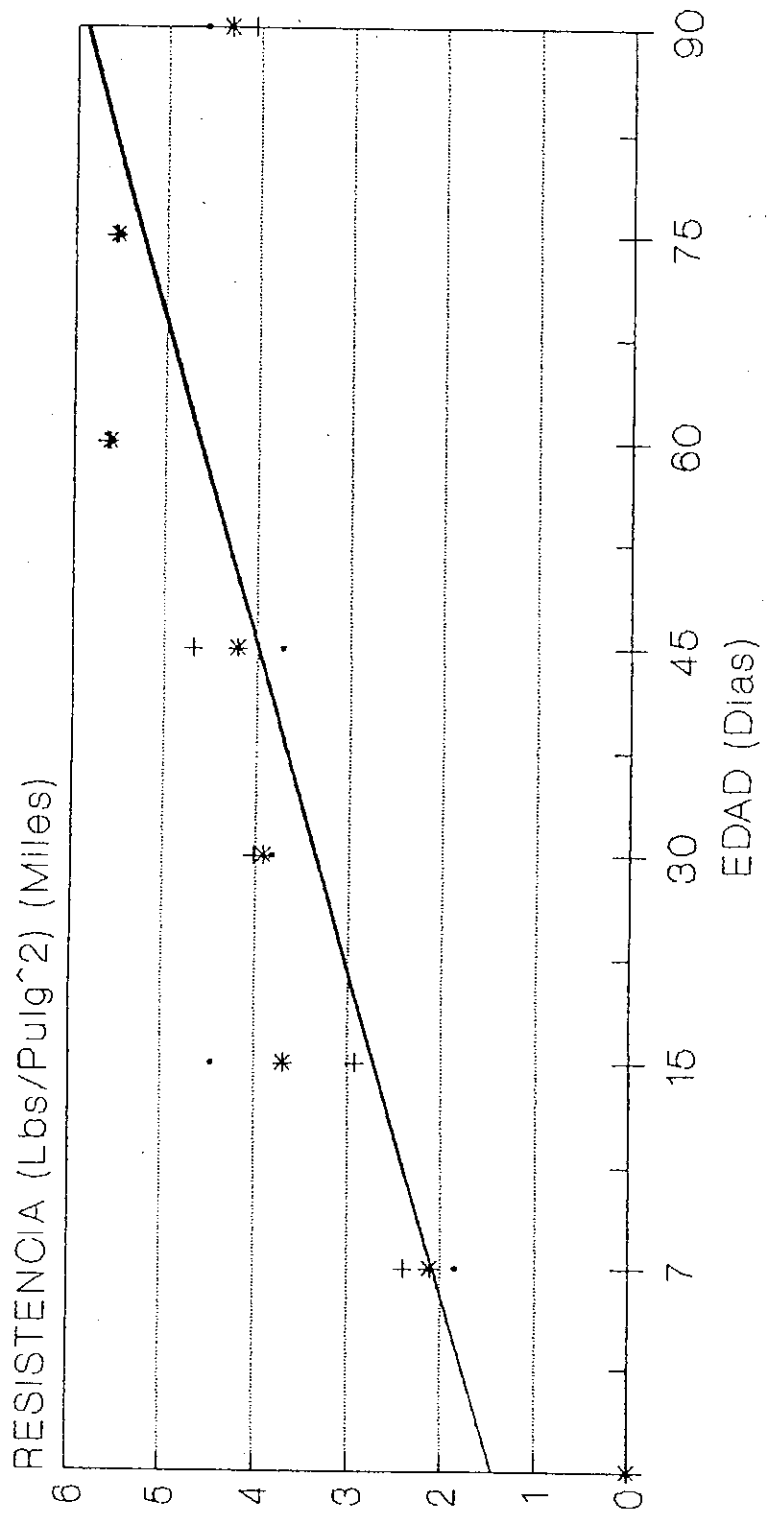
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA No. 1

GRAFICA No. 78

ENSAYO DE RESISTENCIA

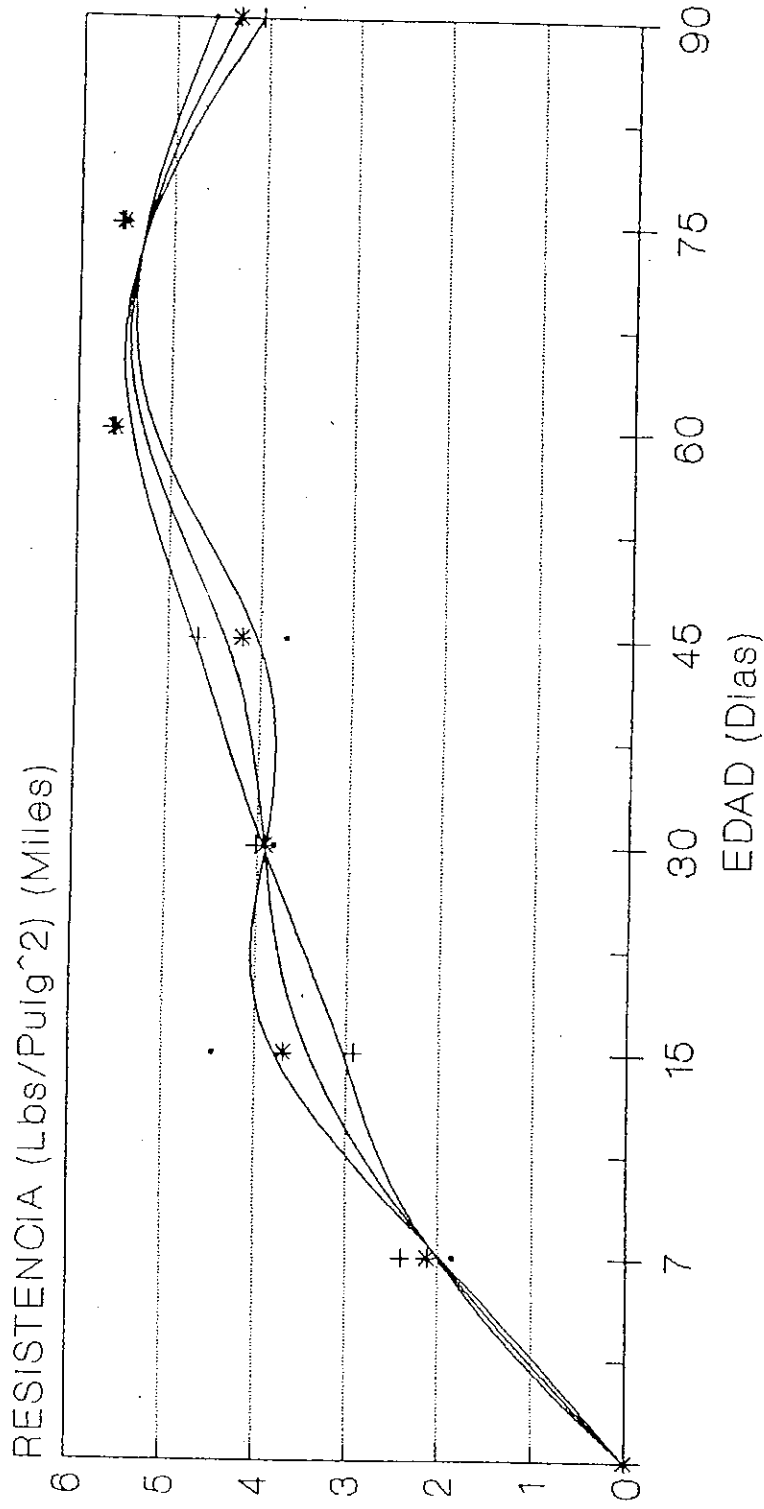


—+— Testigo A —*— Testigo B —*— Promedio

MEZCLA No. 1 (TENDENCIA)

GRAFICA No. 79

ENSAYO DE RESISTENCIA



—+— Testigo A —*— Testigo B —.— Promedio

MEZCLA No. 1 (CURVAS)

MEZCLA No. 2:

35% Piedrín de 3/8". Trituradora antigua CEPESA.

17.5% Piedrín de 3/8". Trituradora nueva CEPESA.

35% Polvo de Piedra. Trituradora nueva CEPESA

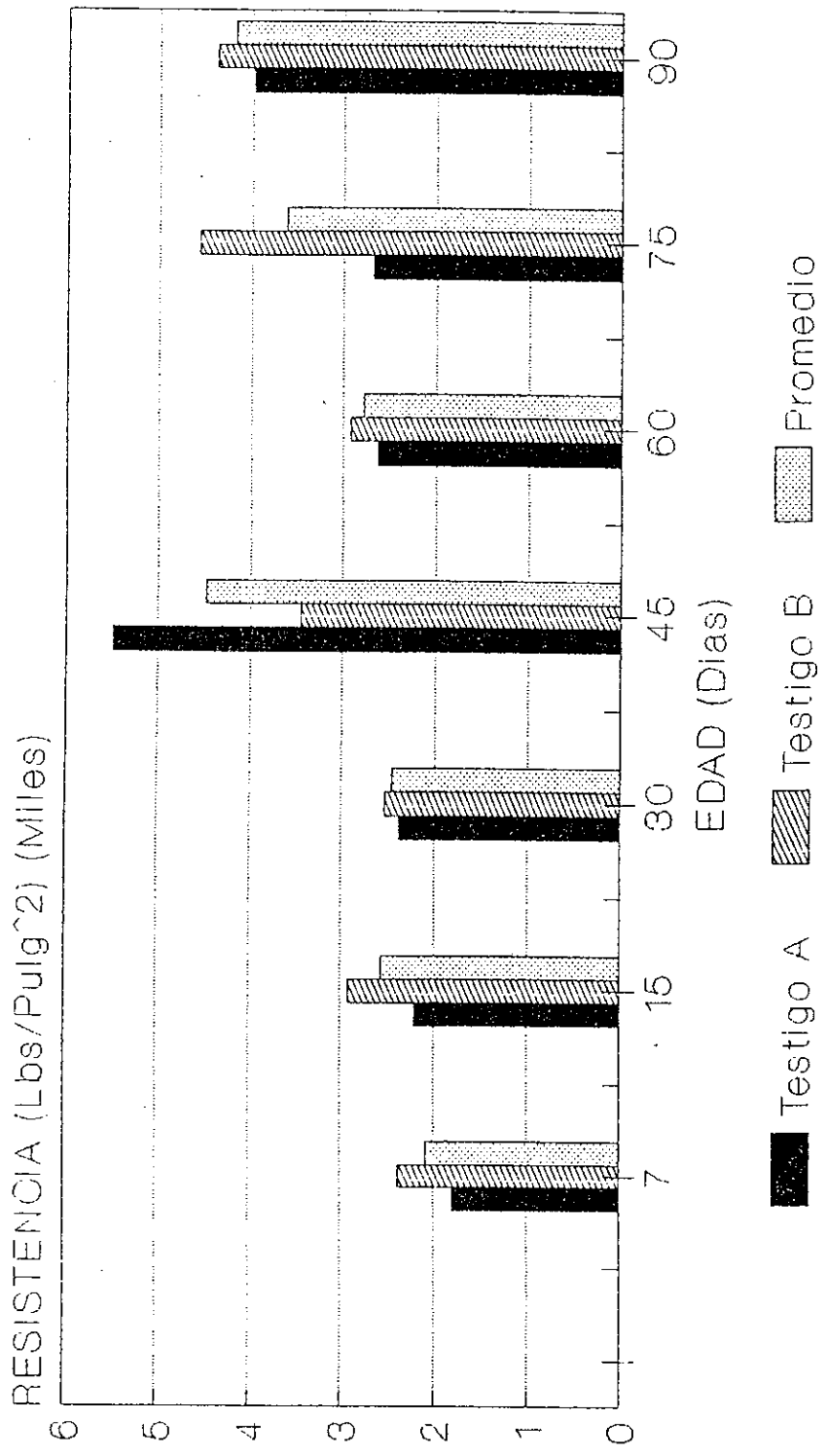
12.5% Cemento

Cantidad de cemento utilizada por metro cúbico: 6.46 sacos

CILINDRO NUMERO	EDAD DIAS	AREA PULG ²	LECTURA PRENSA	RESISTENCIA LBS/PULG ²	PROMEDIO LBS/PULG ²
B-1	7	12.57	22,500	1,790	
B-2	7	12.63	30,000	2,375	2,083
B-3	15	12.44	27,500	2,211	
B-4	15	12.50	36,500	2,920	2,566
B-5	30	12.44	29,500	2,371	
B-6	30	12.44	31,500	2,532	2,452
B-7	45	12.38	68,000	5,493	
B-8	45	12.44	43,000	3,456	4,475
B-9	60	12.38	32,500	2,625	
B-10	60	12.50	36,500	2,920	2,773
B-11	75	12.50	33,500	2,680	
B-12	75	12.50	57,000	4,560	3,620
B-13	90	12.44	49,500	3,979	
B-14	90	12.44	54,500	4,381	4,180

GRAFICA No. 80

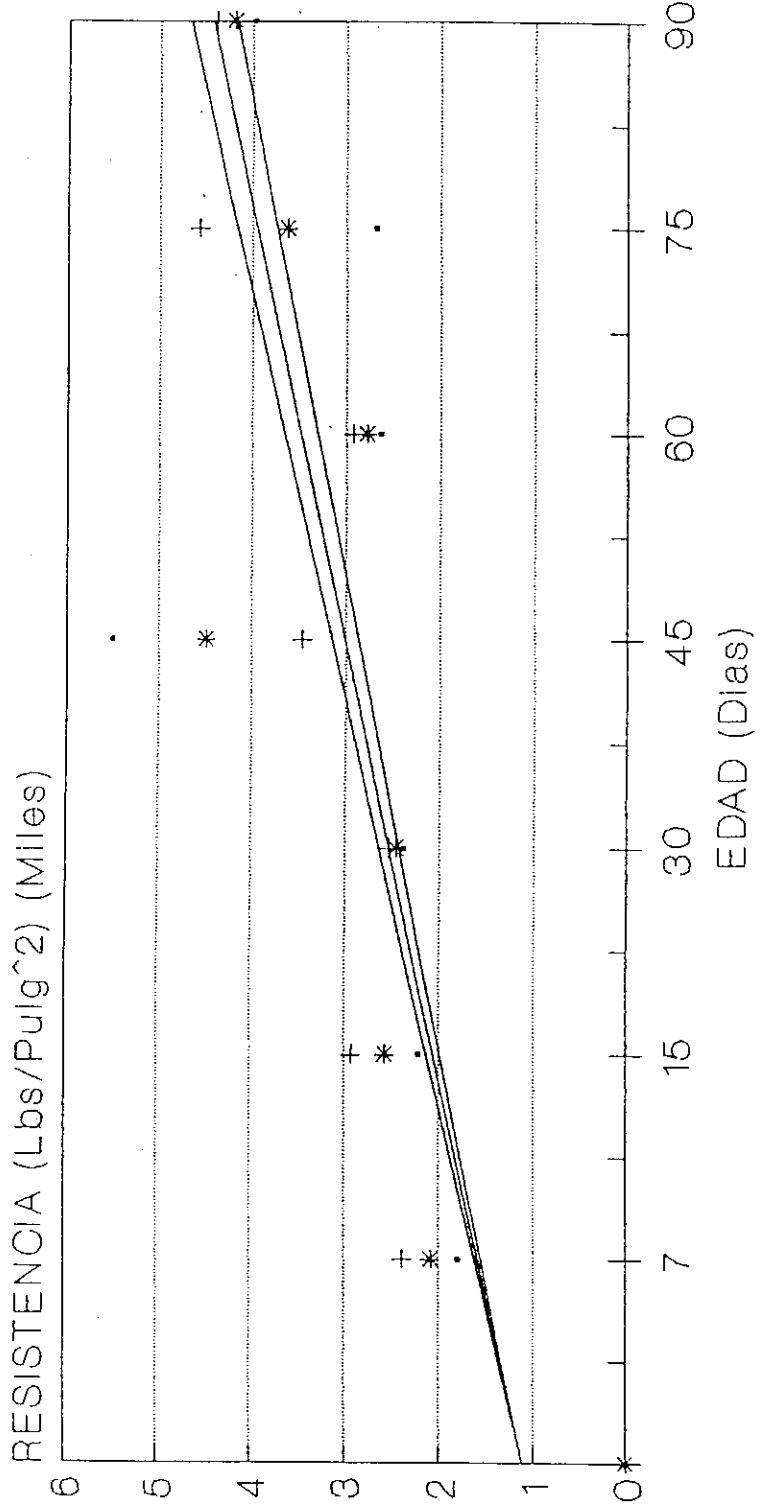
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA No: 2

GRAFICA No. 81

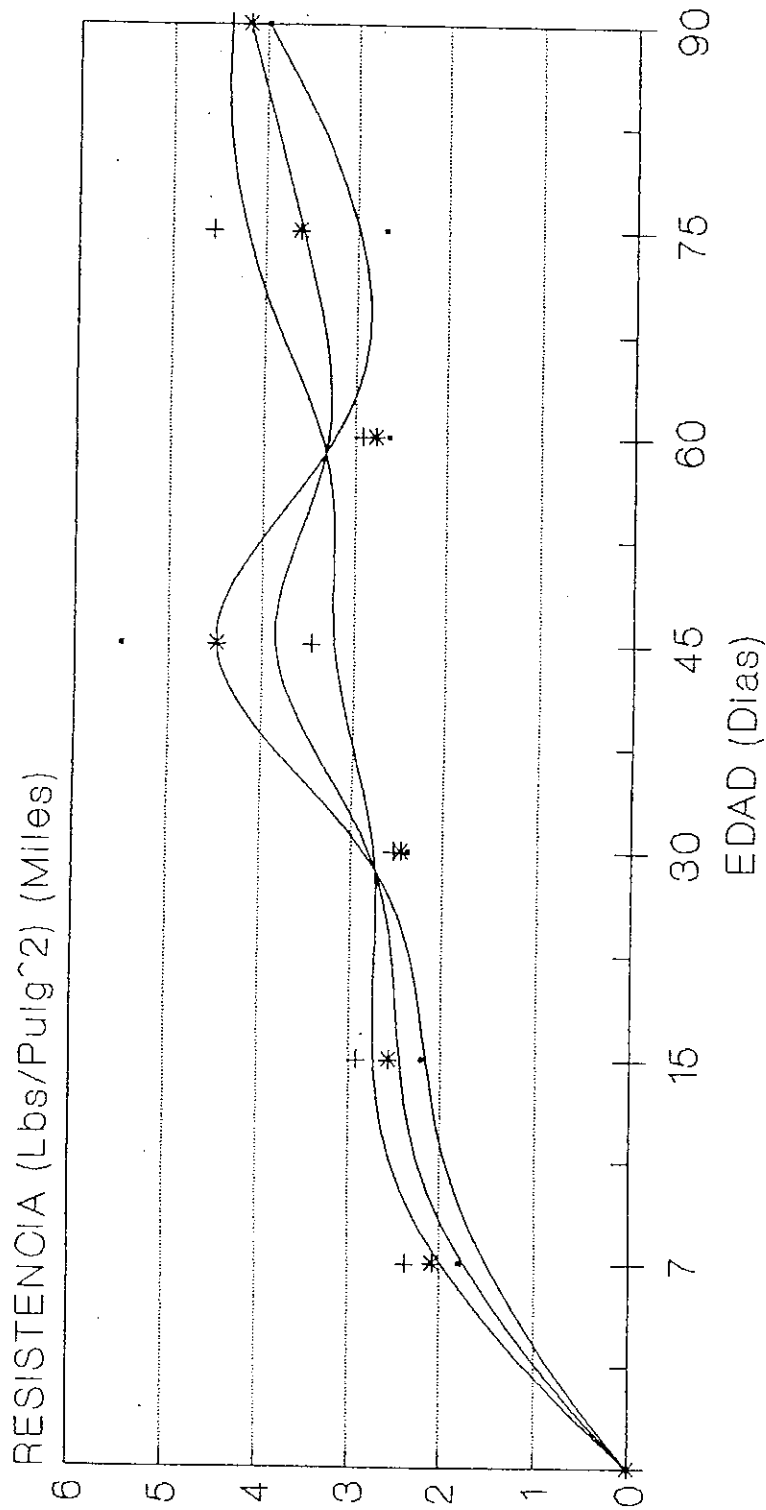
ENSAYO DE RESISTENCIA



MEZCLA No. 2 (TENDENCIA)

GRAFICA No. 82

ENSAYO DE RESISTENCIA



--- Testigo A -+- Testigo B *- Promedio

MEZOLA No. 2 (CURVAS)

MEZCLA No. 3:

30% Piedrín de 3/8". Trituradora antigua CEPESA.

17.5% Piedrín de 3/8". Trituradora nueva CEPESA.

40% Polvo de Piedra. Trituradora nueva CEPESA.

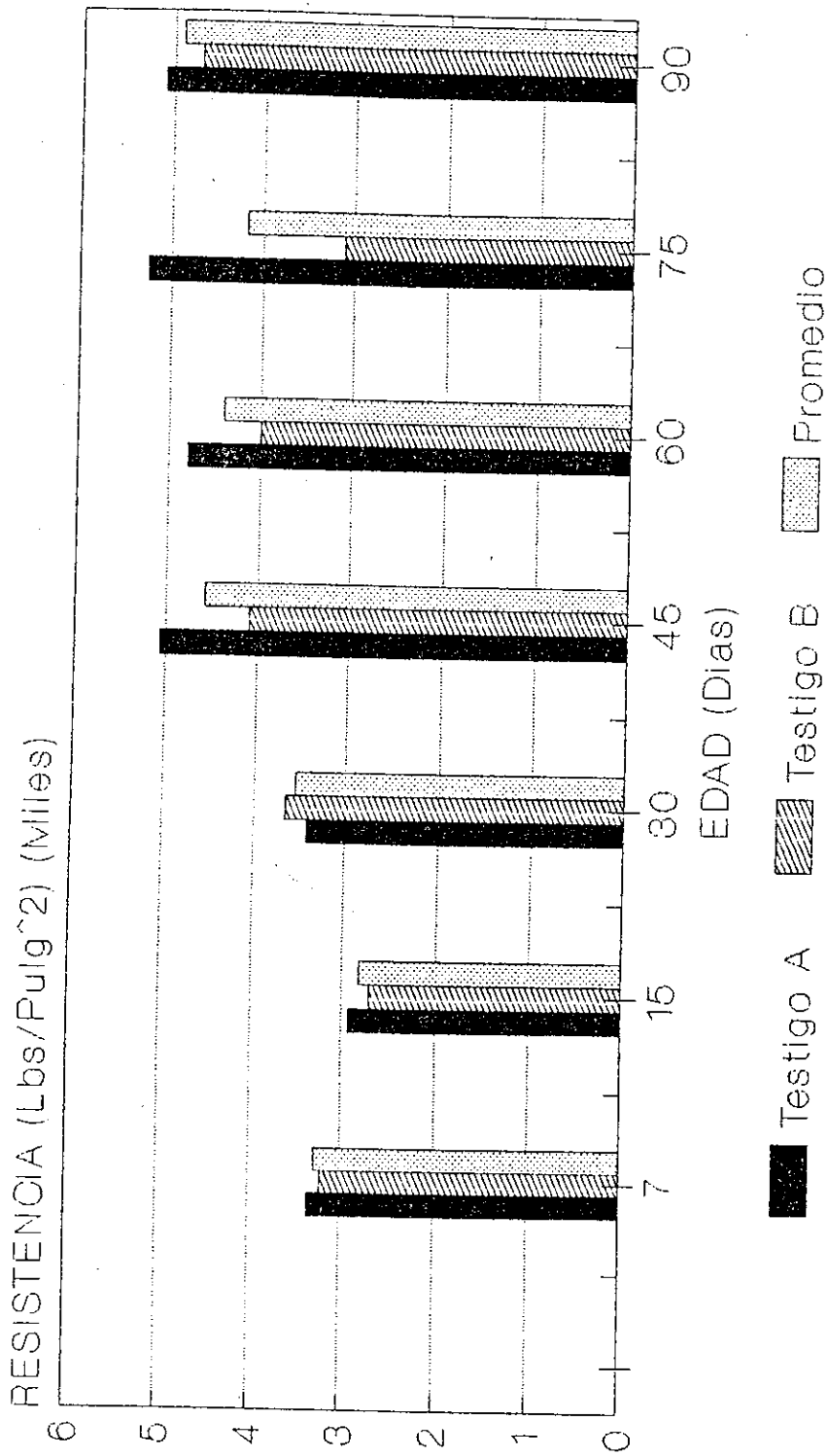
12.5% Cemento

Cantidad de cemento utilizada por metro cúbico: 6.4 sacos

CILINDRO NUMERO	EDAD DIAS	AREA PULG ²	LECTURA PRENSA	RESISTENCIA LBS/PULG ²	PROMEDIO LBS/PUL ²
C-I	7	12.50	42,000	3,360	
C-II	7	12.44	40,000	3,215	3,228
C-III	15	12.44	36,500	2,934	
C-IV	15	12.38	33,500	2,706	2,820
C-V	30	12.38	42,500	3,432	
C-VI	30	12.57	46,000	3,659	3,546
C-VII	45	12.44	63,000	5,064	
C-VIII	45	12.44	51,000	4,100	4,582
C-IX	60	12.50	60,000	4,800	
C-X	60	12.50	50,000	4,000	4,400
C-XI	75	12.38	65,000	5,250	
C-XII	75	12.38	38,500	3,110	4,180
C-XIII	90	12.38	63,200	5,105	
C-XIV	90	12.44	58,500	4,702	4,904

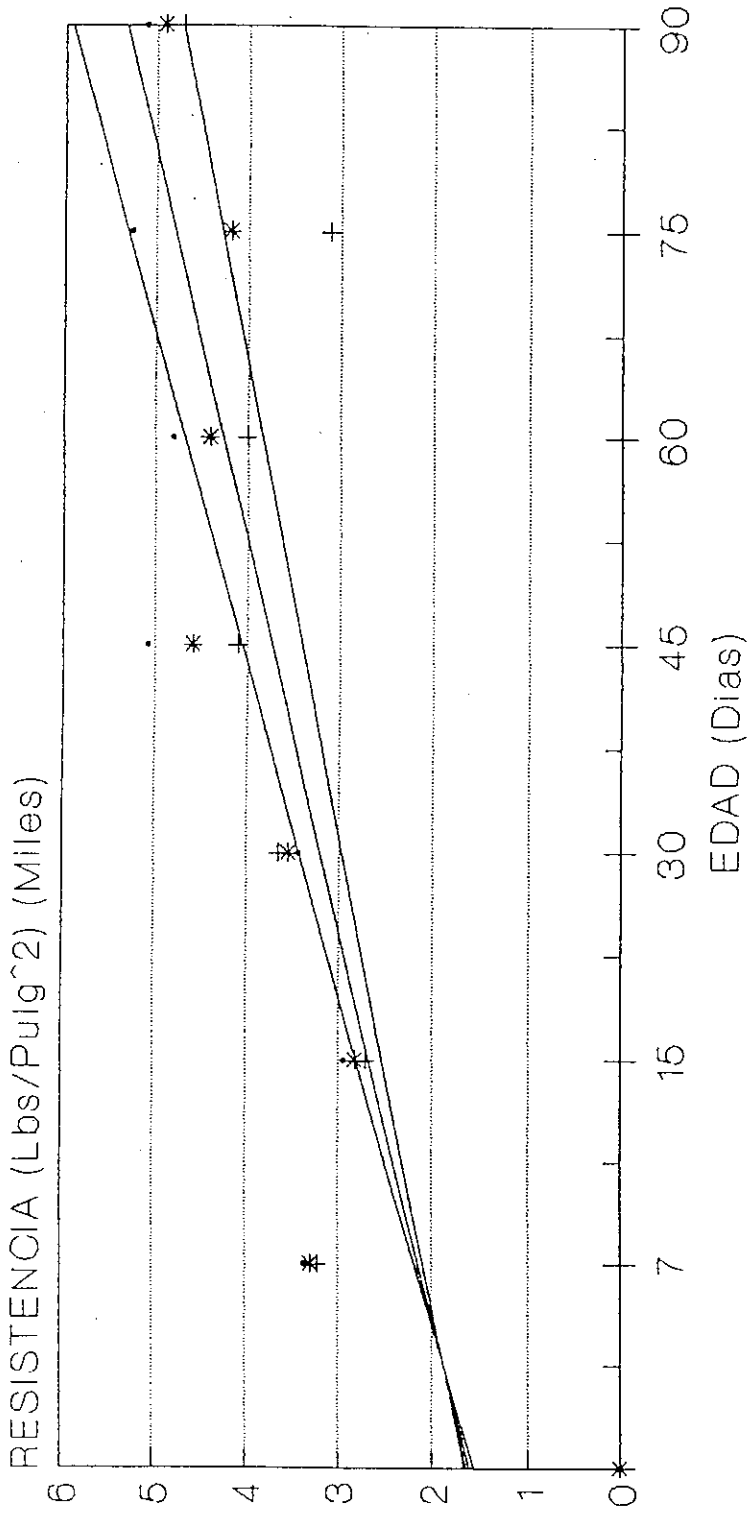
GRAFICA No. 83

ENSAYO DE RESISTENCIA



GRAFICA No. 84

ENSAYO DE RESISTENCIA

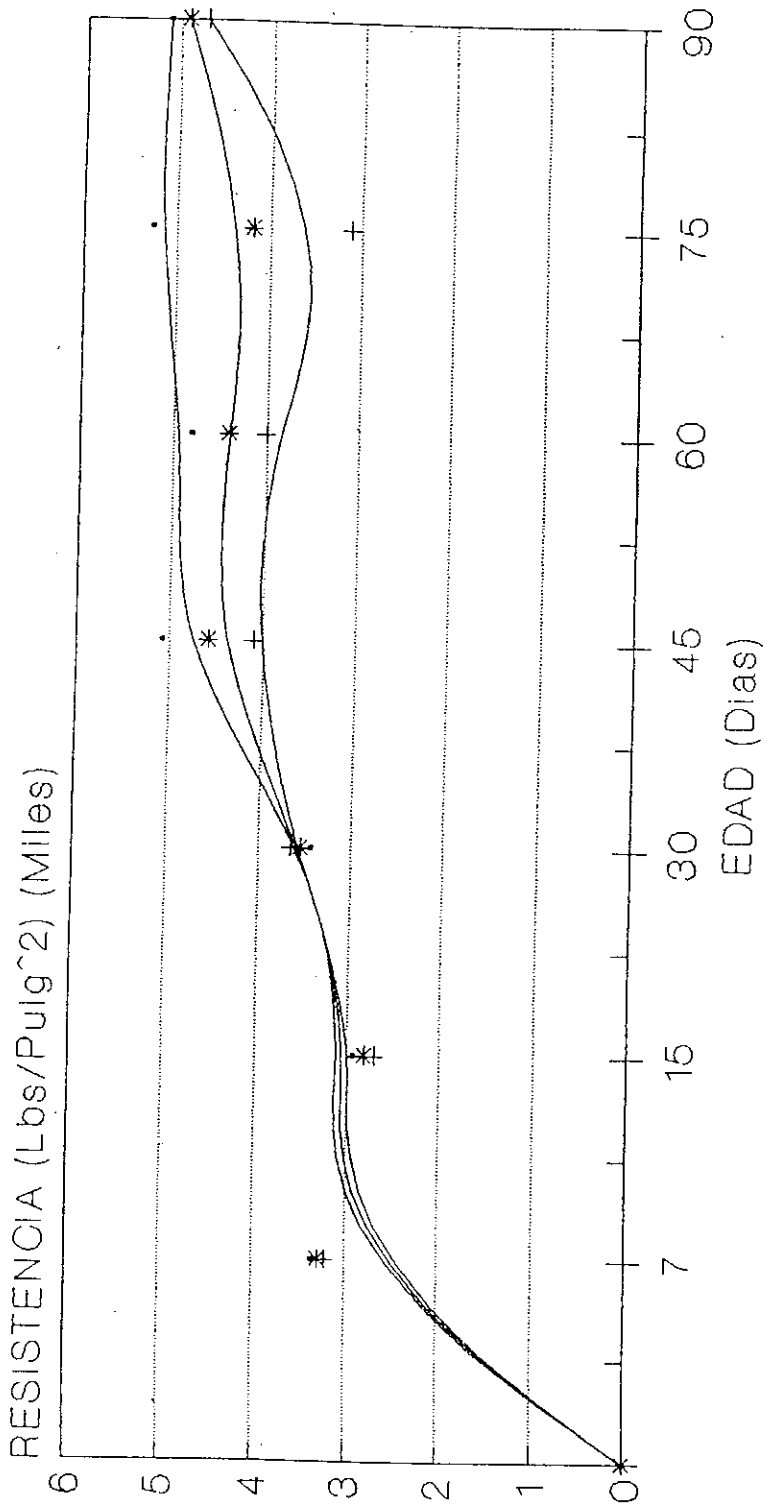


—+— Testigo A —*— Testigo B —*— Promedio

MEZCLA No. 3 (TENDENCIA)

GRAFICA No. 85

ENSAYO DE RESISTENCIA



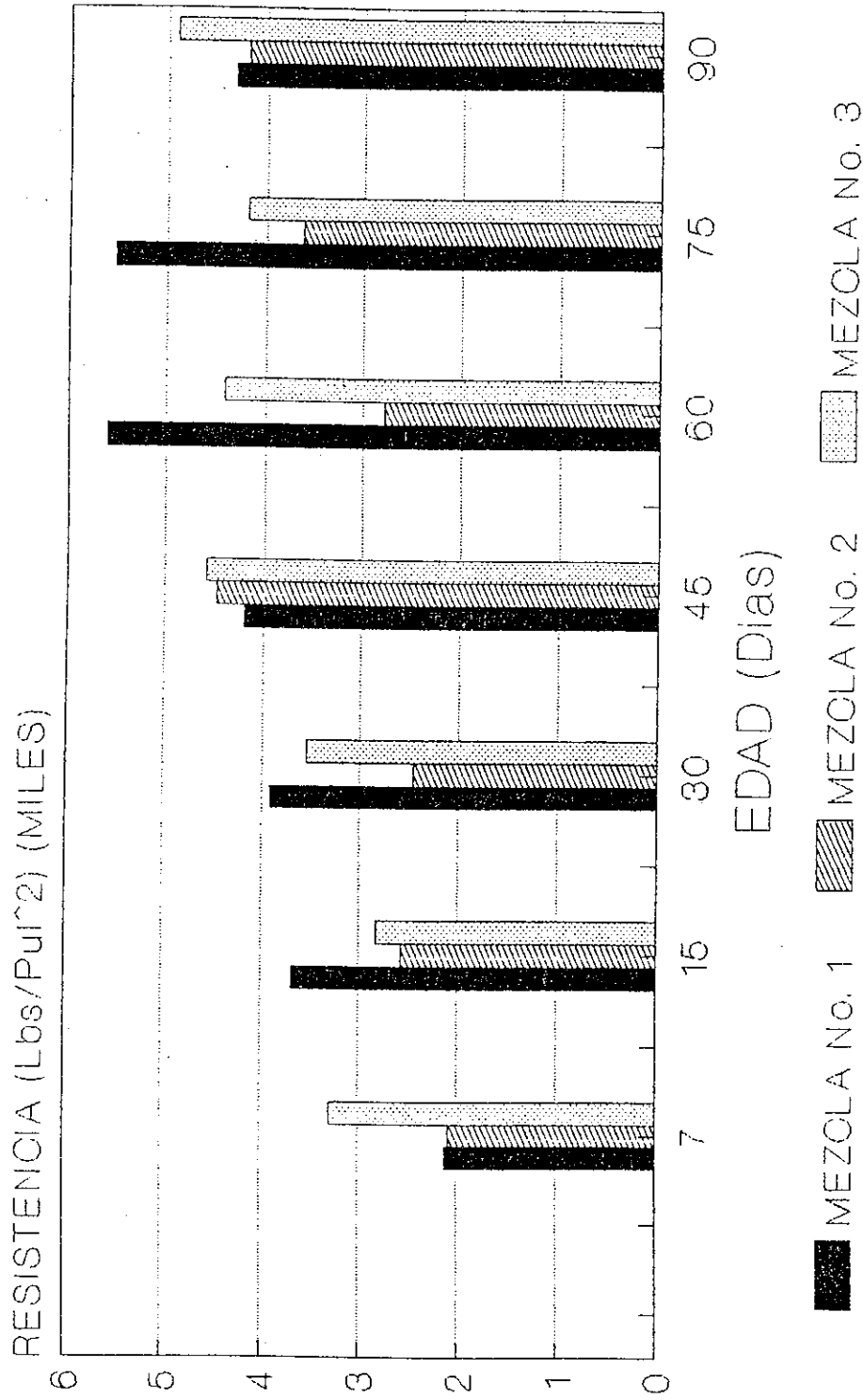
—•— Testigo A —+— Testigo B —*— Promedio

MEZCLA No. 3 (CURVAS)

Una comparación ilustrativa de las resistencias obtenidas con las 3 mezclas se observa en Gráfica No. 86.

GRAFICA No. 86

COMPARACION DE RESISTENCIAS



2. Reporte de las densidades de compactación en los tramos construidos con H.C.R.

Las densidades de compactación obtenidas con las diferentes mezclas en todos los tramos, utilizando la prueba del método estándar AASHTO T 191-86, se observan en las Tablas No. 1 a No. 7.

TABLA No. 1

162

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campo, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rasante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terroplén <input type="checkbox"/>	Relleno <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hombros <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: HCR Supervisora No. _____

Fecha de la Prueba		13-03-91					
E S T A C I O N		PARQUEO	OFICINAS				
Distancia de la LC							
Profundidad Perf.		4"					
Peso Picnómetro (1)		10.80					
Peso Picnómetro (2)		9.93					
Peso del embudo		0.87					
Peso Picnómetro (2)		9.93					
Peso Picnómetro (3)		7.25					
Peso de Arena Total		2.68					
Peso del embudo		0.87					
Peso de Arena dentro		1.81					
Densidad de lo Arena		77.40					
Volumen del Material		0.02338					
Tarra No.							
P.B.H.		3.60					
P.B.S.							
Diferencia							
Tara		0.18					
P.N.S.		3.42					
% Humedad de Campo		11.10					
P.U.S. de Compo		151.60					
P.U.S. de Lab.		158.30					
% Hum. Opt. de Lab.		11.80					
% de Compactación		95.20					
Espesor de Capa		8"					
Chequeo No.							

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No 1

Efectuó: _____

 Calculó: _____

 Revisó: _____

TABLA No. 2

163

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campo, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rosante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terraplén <input type="checkbox"/>	Relleno <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hembras <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: H.C.B. Supervisora No. _____

Fecha de la Prueba		02-04-91					
ESTACION		ACCESO PLANTA CARRIL LADO IZQUIERDO					
Distancia de la LC							
Profundidad Perf.		4"					
Peso Picnómetro (1)		11.29					
Peso Picnómetro (2)		10.50					
Peso del embudo		0.79					
Peso Picnómetro (2)		10.50					
Peso Picnómetro (3)		8.56					
Peso de Arena Total		1.94					
Peso del embudo		0.79					
Peso de Arena dentro		1.15					
Densidad de la Arena		77.40					
Volumen del Material		0.01458					
Tarro No.							
P.B.H.		2.41					
P.B.S.							
Diferencia							
Tara		0.18					
P.N.S.		2.23					
% Humedad de Campo		11.10					
P.U.S. de Campo		138.00					
P.U.S. de Lab.		138.30					
% Hum. Opt. de Lab.		11.80					
% de Compactación		99.50					
Espesor de Copa		8"					
Chequeo No.							

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No. 1

Efectuó: _____

 Calculó: _____

 Revisó: _____

TABLA No. 3

164

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campo, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rasante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terroplén <input type="checkbox"/>	Relleno <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hombros <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: HCB Supervisor No. _____

Fecha de la Prueba		02-04-91					
E S T A C I O N		ACCESO	PLANTA	CARRIL	LADO	DERECHO	
Distancia de la LC							
Profundidad Perf.		4"					
Peso Picnómetro (1)		11.10					
Peso Picnómetro (2)		10.20					
Peso del embudo		0.90					
Peso Picnómetro (2)		10.20					
Peso Picnómetro (3)		8.10					
Peso de Arena Total		2.10					
Peso del embudo		0.90					
Peso de Arena dentro		1.20					
Densidad de la Arena		77.40					
Volumen del Material		0.01550					
Tarro No.							
P.B.H.		2.50					
P.B.S.							
Diferencia							
Tara		0.18					
P.N.S.		2.32					
% Humedad de Campo		11.10					
P.U.S. de Campo		134.70					
P.U.S. de Lab.		138.30					
% Hum. Opt. de Lab.		11.80					
% de Compactación		97.40					
Espesor de Capa		6"					
Chequeo No.							

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No 1

Efectuó: _____

 Calculó: _____

 Revisó: _____

TABLA No. 4

165

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campo, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rasante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terraplén <input type="checkbox"/>	Relleno <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hambros <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: HCB Supervisora No. _____

Fecha de la Prueba	21-04-91		
ESTACION	ACCESO PLANTA CARBIL	LADO IZQUIERDO	
Distancia de la LC			
Profundidad Perf.	4"		
Peso Picnómetro (1)	11.16		
Pesa Picnómetro (2)	10.36		
Peso del embudo	0.80		
Peso Picnómetro (2)	10.36		
Peso Picnómetro (3)	8.06		
Peso de Arena Total	2.30		
Peso del embudo	0.80		
Peso de Arena dentro	1.50		
Densidad de la Arena	77.40		
Volumen del Material	0.01938		
Tarro No.			
P.B.H.	3.17		
P.B.S.			
Diferencia			
Tara	0.18		
P.N.S.	2.99		
% Humedad de Campo	11.10		
P.U.S. de Campo	138.00		
P.U.S. de Lab.	138.30		
% Hum. Opt. de Lab.	11.80		
% de Compactación	100.40		
Espesor de Capa	6"		
Chequeo No.			

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No. 2

Efectuó: _____

Calculó: _____

Revisó: _____

TABLA No. 5

166

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campa, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rasante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terraplén <input type="checkbox"/>	Rellena <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hombros <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: HCB Supervisora No. _____

Fecha de la Prueba		21-04-91					
ESTACION		ACCESO	PLANTA	CARRIL	LADO DERECHO		
Distancia de la LC							
Profundidad Perf.		4"					
Peso Picnómetro (1)		11.00					
Peso Picnómetro (2)		10.08					
Pesa del embudo		0.92					
Peso Picnómetro (2)		10.08					
Peso Picnómetro (3)		8.00					
Peso de Arena Total		2.08					
Pesa del embudo		0.92					
Peso de Arena dentro		1.16					
Densidad de la Arena		77.40					
Volumen del Material		0.01499					
Torra No.							
P.B.H.		2.45					
P.B.S.							
Diferencia							
Tora		0.18					
P.N.S.		2.27					
% Humedad de Campo		11.10					
P.U.S. de Campo		136.30					
P.U.S. de Lab.		138.30					
% Hum. Opt. de Lab.		11.80					
% de Compactación		98.60					
Espesor de Capa		6"					
Chequeo No.							

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No. 2

Efectuó: _____

 Coluló: _____

 Revisó: _____

TABLA No. 6

167

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campo, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rasante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terraplén <input type="checkbox"/>	Relleno <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hombros <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: HCB Supervisara No. _____

Fecha de la Prueba	18-05-91		
ESTACION	SUBIDA A BASCULA LADO ORIENTE		
Distancia de la LC			
Profundidad Perf.	4"		
Peso Picnómetro (1)	12.06		
Peso Picnómetro (2)	11.26		
Peso del embudo	0.80		
Peso Picnómetro (2)	11.26		
Peso Picnómetro (3)	8.86		
Peso de Arena Total	2.40		
Peso del embudo	0.80		
Peso de Arena dentro	1.60		
Densidad de la Arena	77.40		
Volumen del Material	0.02067		
Tarro No.			
P.B.H.	3.28		
P.B.S.			
Diferencia			
Tara	0.18		
P.N.S.	3.10		
% Humedad de Campo	12.10		
P.U.S. de Campo	133.80		
P.U.S. de Lab.	138.30		
% Hum. Opt. de Lab.	11.80		
% de Compactación	96.70		
Espesar de Capa	6"		
Chequeo No.			

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No. 2

Efectuó: _____

 Calculá: _____

 Revisó: _____

TABLA No. 7

168

LABORATORIO DE CAMPO

Determinación de Densidad y Humedad de Campo, Usando Arena, A.A.S.H.O. T-147-54

Sub Rasante <input type="checkbox"/>	Sub Base <input type="checkbox"/>	Base <input type="checkbox"/>	Terraplén <input type="checkbox"/>	Relleno <input type="checkbox"/>	Cuna <input type="checkbox"/>	Acceso <input type="checkbox"/>	Hombros <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Fecha: _____ Proyecto: HCB Supervisora No. _____

Fecha de la Prueba	22-05-91		
ESTACION	ENTRADA ESTADIO LAOZ NORTE		
Distancia de la LC			
Profundidad Perf.	4"		
Peso Picnómetro (1)	11.92		
Peso Picnómetro (2)	11.11		
Peso del embudo	0.81		
Peso Picnómetro (2)	11.11		
Peso Picnómetro (3)	8.48		
Peso de Arena Total	2.63		
Peso del embudo	0.81		
Peso de Arena dentro	1.82		
Densidad de la Arena	77.40		
Volumen del Material	0.02351		
Tarro No.			
P.B.H.	3.69		
P.B.S.			
Diferencia			
Tara	0.18		
P.N.S.	3.51		
% Humedad de Campo	11.10		
P.U.S. de Campo	134.40		
P.U.S. de Lab.	138.30		
% Hum. Opt. de Lab.	11.80		
% de Compacción	97.20		
Espesor de Capa	6"		
Chequeo No.			

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA No. 3

Efectuó: _____

 Calculó: _____

 Revisó: _____

2. Lectura de deflexiones (Viga Benkelman).

Los resultados de las deflecciones obtenidas con la Viga Benkelman, utilizando la especificación MS-17 del Instituto de Asfalto con la tolerancia máxima de 0.08 pulgadas para bases estabilizadas con cemento, se muestran en las Tablas No. 8 y No. 9.

E. Reporte de observaciones de los tramos construidos con H.C.R.

1. Tramo 0+000 - 0+225.

En este tramo, construido con la mezcla No.1, se observa:

- Baches pequeños debido a problemas en las uniones con H.C.R. de diferentes edades.
- No aparecen, hasta esta fecha (marzo 1992), grietas de contracción.
- Muestra áreas con textura abierta pero firme. El H.C.R., sin embargo, no presenta algún desprendimiento de agregados (Fotografía No. 17).
- En una sección de este tramo, después de terminar la compactación con el rodo liso, se hizo un riego adicional de agua seguido inmediatamente por una nueva pasada con el rodo. Esta sección muestra una apariencia similar al acabado del concreto hidráulico, es decir textura lisa de buena apariencia (Fotografía No. 18).
- Aparecen secciones con ondulaciones en donde se colocaron espesores de H.C.R. de 9" . Definitivamente, la pavimentadora utilizada (Barber Greene SB-141) no tiene la capacidad para estos espesores.
- El tramo no presenta deflexiones.

FOTOGRAFIA No. 17



TEXTURA ABIERTA SIN
DESPRENDIMIENTO DE MATERIALES

FOTOGRAFIA No. 18



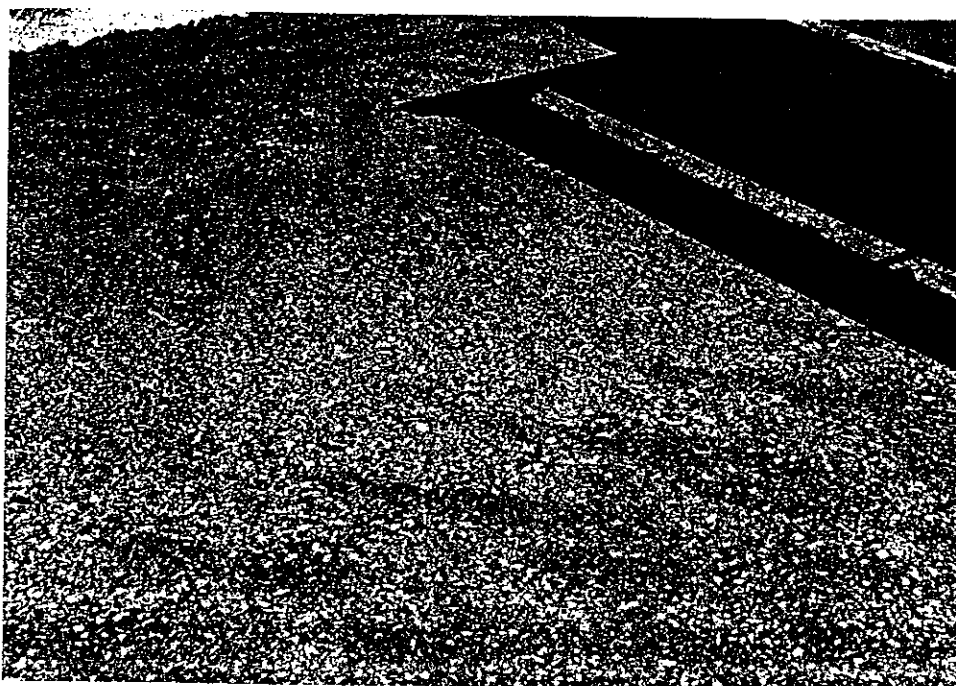
TEXTURA DE BUENA APARIENCIA

3. Tramo 0+225 - 0+326.

Construido con la mezcla No. 2. Se observa:

- El tramo comprendido entre las estaciones 0+200 a 0+300 lado derecho, presenta mucha segregación debido a que la compactación fue deficiente al haber fallado el rodo vibratorio.
- Los tramos que se sometieron a circulación del tránsito al corto tiempo de su construcción (24 horas, sin tratamiento bituminoso), presentan segregaciones, y algunas partes ya muestran deformaciones debido a la pérdida de agregados. Las secciones de estos tramos que por su ubicación tuvieron poca circulación de tránsito, tienen una muy buena apariencia y no muestran segregaciones, ni deformaciones (Fotografía No. 19).
- Como un ejemplo de lo anterior, podemos citar que el área de giro hacia la báscula está completamente dañada. Esta sección fue sometida al tránsito 24 horas después de su construcción, y el giro de los camiones, principalmente los de doble eje, en un radio tan pequeño, provocaron este daño en la estructura del H.C.R. Al reparar esta área, habrá que evitar el giro de los camiones durante cierto tiempo (3 días como mínimo) después de su reconstrucción.
- Las áreas donde se tendió el H.C.R. con motoniveladora, tienen una apariencia muy rústica y segregada.
- Definitivamente, para la utilización del H.C.R. en carreteras o áreas de

FOTOGRAFIA No. 19



**TRAMO CON BUENA APARIENCIA
SIN SEGREGACION, NI DEFORMACION**

circulación de vehículos, es indispensable la colocación del mismo con máquinas pavimentadoras.

- El área comprendida entre las estaciones 0+230 - 0+270 lado izquierdo, muestra segregaciones y algunas deformaciones por la pérdida de agregados.
- El polvo de piedra utilizado para el H.C.R. de este tramo mostraba presencia de arcilla.
- Hasta el momento, no aparecen grietas de contracción.

3. Acceso Norte Estadio C.F. Novella.

Mezcla No. 3. Se observa:

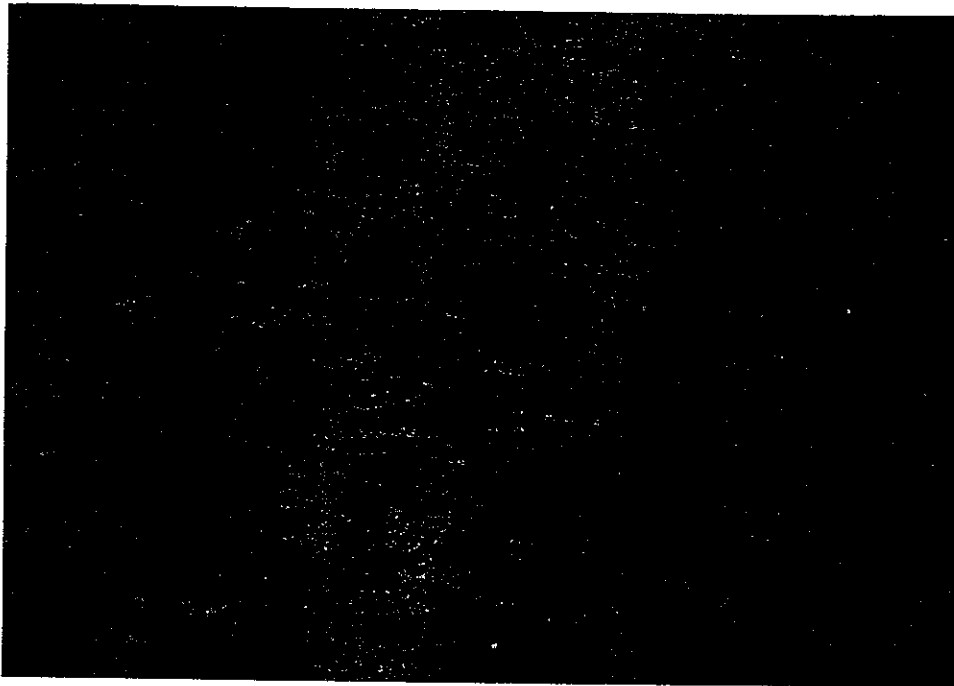
- La textura es muy buena y sólo muestra unas pequeñas segregaciones debido a la fuerte pendiente donde ha corrido agua de lluvia (Fotografía No. 20).
- Este tramo prácticamente no tuvo tránsito durante su curado.
- No aparecen grietas de contracción.

4. Parqueo de oficinas principales.

Mezcla No. 1. En esta área se observa:

- Mucha segregación en las partes que se tendieron con motoniveladora.
- Segregación y deformaciones en áreas donde se compactó con dificultad (área opuesta de entrada a las oficinas) (Fotografía No. 21).

FOTOGRAFIA No. 20



TEXTURA CON POCA SEGREGACION

FOTOGRAFIA No. 21



AREA CON COLOCACION
Y COMPACTACION LIMITADAS

- El polvo de piedra utilizado para el H.C.R. de esta área mostraba mucha arcilla.
- Aparecen 3 grietas de contracción visibles en medio del parqueo, separadas cada 2 metros.

VI. CONCLUSIONES

De las 3 mezclas que se emplearon para la construcción del acceso a la planta, se puede hacer el siguiente resumen:

Mezcla No. 1:

Se obtuvo la mejor resistencia debido a los agregados de mayor tamaño (1") y a una cantidad mayor de cemento (14%). La textura en un principio tuvo una apariencia abierta pero firme. Con el paso del tránsito se observa después un acabado bastante cerrado y de buena calidad.

Mezcla No. 2:

Tiene la menor resistencia de las 3 mezclas. Su granulometría es bastante cerrada (mayor cantidad de agregados finos). Presenta una mejor apariencia al principio, pero tiende al desprendimiento de los agregados si se le somete al tránsito al poco tiempo de haberse colocado (24 horas o menos).

Mezcla No. 3:

Tiene mejor resistencia que la mezcla No. 2 con una apariencia bastante cerrada. Presenta las mismas dificultades de la mezcla No. 2 si se le somete pronto al paso de tránsito.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que la mezcla No. 1 es la mejor alternativa de las 3 pruebas. Esta sería una buena opción para la construcción con Hormigón Compactado con Rodo (H.C.R.). Se observa también aquí, la conveniencia que representa la utilización de agregados de la misma planta trituradora.

La composición y variación de agregados es importante en todos los concretos, pero es particularmente delicado en el hormigón compactado con rodo, pues estos parámetros pueden tener una gran influencia sobre las propiedades del mismo.

En general, se puede decir que el H.C.R. como pavimento para trabajo pesado ha tenido un magnífico comienzo, no sólo a nivel mundial, sino que por el resultado de la experiencia en Guatemala. Se han encontrado algunos problemas pero el producto terminado se espera que mejore paulatinamente.

De la prosperidad que encuentre como pavimento el hormigón compactado con rodo en el futuro, dependerá su rendimiento y economía cuando sean comparados con otros diseños.

VII. RECOMENDACIONES

De la construcción con H.C.R. al acceso a la planta "La Pedrera" en zona 6, se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Las juntas transversales y longitudinales con concretos de diferente edad son, constructivamente, la parte más crítica. En estas aparecieron la mayoría de desprendimientos que se observan en los tramos, y es muy importante mantener un especial cuidado para la construcción de juntas en el H.C.R. Debe procurarse hacer los tramos adyacentes con una diferencia mínima de tiempo, es decir, completar el ancho total de la pista durante la misma jornada cuando las condiciones así lo permitan.

- Se debe tener precaución con el tiempo que transcurre desde que se colocó la mezcla, hasta que se compacta. Este lapso debe ser lo menor posible, preferiblemente no debe exceder de 60 minutos.

- La operación de compactación es de suma importancia. Es aconsejable hacer un tramo de prueba para establecer las pasadas necesarias de rodo, y así obtener una densidad de compactación óptima.

- El equipo de compactación a utilizarse debe ser capaz de trabajar en las orillas o extremos para evitar franjas con menor compactación. Esto puede suceder normalmente en áreas de maniobrabilidad restringida (parqueos), por lo que se recomienda el uso de rodo liso en tandem para dichas áreas.

- El equipo de colocación del H.C.R. toma también un papel importante en su construcción. Se recomienda el uso de pavimentadoras con una o dos planchas vibratorias para lograr así un máximo de compactación antes de pasar el rodo vibratorio. De lo anterior, el uso de motoniveladora no es recomendable para la colocación de H.C.R.

- Para el curado del H.C.R. se empleó el tradicional riego de agua durante 7 días. No se experimentó con un riego bituminoso que se puede aplicar inmediatamente después de compactar. El tipo de curado que se empleó permite observar el efecto del tránsito sobre la superficie del H.C.R. y el desgaste a que lo somete.

- Para la construcción del H.C.R. con el equipo que se cuenta en Guatemala, no es conveniente usar espesores mayores de 6" (15 cms.). La colocación de una sección con espesor de 8" (20 cms.), dio como resultado que la pavimentadora no lograra compactar inicialmente la capa a un solo nivel, y como consecuencia, el rodo liso produjo ondulaciones que fueron bien notorias al principio, pero que en la actualidad,

indudablemente por el efecto de desgaste, han desaparecido con notoriedad.

Los agregados finos que contengan cantidades excesivas de arcilla no son recomendados, pues por su alta demanda de agua, provocan encogimiento, grietas y poca resistencia en el H.C.R.

El H.C.R. debe ser colocado sin refuerzo de acero y sin juntas de contracción. Las observaciones hechas en proyectos diversos donde se han usado juntas para controlar la formación de grietas por encogimiento, han mostrado que esto es un gasto y un esfuerzo innecesario. En efecto, la junta construida se ha visto que sólo provoca otra grieta a más o menos un pie de la junta. Algunos casos más severos se han visto en experiencias donde se ha intentado hacer 2 juntas con ángulo recto (a escuadra). Es una importante recomendación no hacer juntas para prevenir agrietamientos.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Abrams, J. y J. Jacksha. "An airport apron and a country road". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 18-24.
1987
- Aircraft parking apron paved with roller compacted concrete.
1987 Concrete in transportation. EE.UU. 2 pp.
- Andersson, R. "Swedish experiences with RCC". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 6-12.
1987
- Cantero, L.; J. Galiizzi y A. Gimenez. "Construcción del acceso a Planta Paraná de Cemento San Martín S.A. con pavimento de hormigón compactado con rodillo de uso vial, HCRV". Instituto del Cemento Portland Argentino (Argentina); (1): 40-44.
1987
- Carrascon, S. y A. Josa. "Aplicación en España del hormigón compactado con rodillo en vías de baja intensidad de tráfico". Instituto del Cemento Español, Sección Hormigón (España): 1-14.
1987
- Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, República de Guatemala. Impresos industriales. 708 pp.
1975
- Gruver, M. "RCC on the road". Mid-West Contractor (EE.UU.); 2: 1-2.
1987
- Hansen, K. "A pavement for today and tomorrow". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 3-5.
1987
- Hutchinson, R.; D. Pittman y S. Ragan. "Heavy-duty pavements". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 37-42.
1987
- Keifer, O. "Paving with roller compacted concrete". Concrete Construction (EE.UU.); 5: 1-6.
1987
- Larson, J. "Concrete kaleidoscope". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 50-55.
1987

- Logie, C. y J. Oliverson. "Burlington Northern Railroad intermodal hub facility". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 25-29.
- Murphy, H. "Highway construction in Queensland". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 30-36.
- Palmer, W. "One tough pavement". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 13-17.
- Piggott, R. "Ten years of heavy-duty pavement in western Canada". A.C.I. roller compacted concrete pavement compilation (EE.UU.); 8: 37-42.
- Pliego de especificaciones técnicas para tramo experimental de hormigón compactado con rodillo H.C.R.). Instituto del Cemento Portland Argentino. Argentina. 9 pp.
- Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. The American Association of State Highway and Transportation Officials. 14a. ed. AASHTO, Washington, D.C. 2494 pp.
- RCC Paving. Rocky Mountain Construction. EE.UU. 2 pp
- 1986