

U. N. A. M.

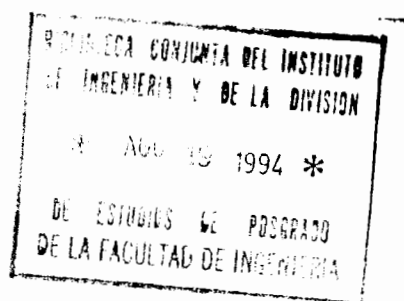
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

(DEPFI)

TRABAJO DE INVESTIGACION I

ESTUDIOS EXPERIMENTALES SOBRE
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS EN MEXICO

ALUMNO: ORTEGA PADILLA JUAN



MEXICO D.F. 1990-2

INDICE

	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. GENERALIDADES	6
3. PRODUCCION, PUESTA EN OBRA Y CONTROL DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS (CCR), A NIVEL INTERNACIONAL	11
4. ESTUDIOS DEL PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS EN MEXICO	39
5. CONCLUSIONES GENERALES	65
BIBLIOGRAFIA	67

1. INTRODUCCION

- Rollins¹ hizo un interesante trabajo sobre el diseño de pavimentos de CCR, tanto en sus aplicaciones de tipo industrial, ya sea en pavimentos de maniobras o plataformas de estacionamiento de aeropuertos, como en caminos. Señala la formación natural de fisuras en el CCR con espaciamientos de 12 a 18 metros, lo que evita el cortar la superficie del concreto para formar las juntas de contracción.

Hace énfasis en la necesidad de una compactación adecuada mediante equipo pesado y capas suficientemente delgadas de CCR (de 15 a 25 centímetros). Indica que las características del CCR son esencialmente las mismas que las del concreto normal.

En la fig. 1.1 presenta las máximas densidades que pueden obtenerse con diferentes pesos de maquinaria y un contenido óptimo de humedad.

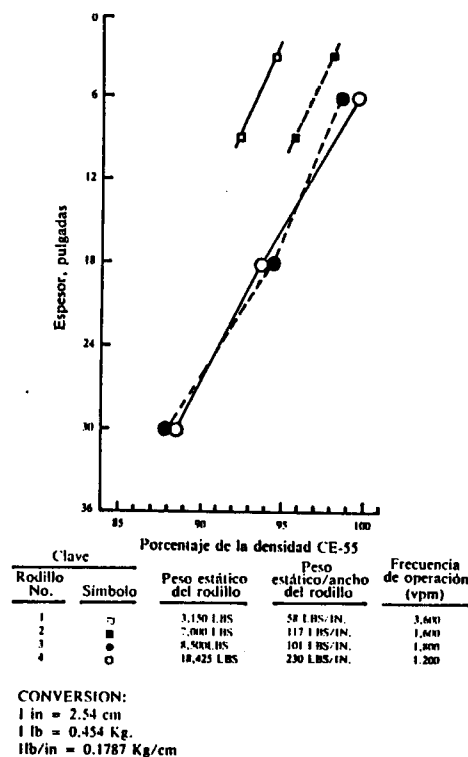


FIG. 1.1 VARIACION DE LA DENSIDAD MAXIMA DE CALIZAS TRITURADAS COMPACTADAS CON HUMEDAD OPTIMA (ROLLINS)

- Ragán² hizo un estudio detallado sobre proporcionamiento de mezclas de CCR para pavimentos. Señala tamaño máximo de agregados de 3/4 y 1.5 pulgadas y evaluación de las mezclas mediante pruebas de consistencia efectuadas con el procedimiento ACI 207.5R o mediante métodos de compactación de suelos. Pero recomienda en todos los casos la construcción de un tramo de prueba para afinar las mezclas propuestas por el laboratorio.

- Winthrow³ presentó un interesante artículo referente a los parámetros de compactación del CCR, cuya base de diseño es la prueba Proctor modificada y cuyo control de calidad en el campo es la determinación de la relación humedad-densidad.

En la tabla 1 muestra parámetros típicos para el CCR que se usa en presas y el CCR que se usa en pavimentos.

TABLA 1. COMPARACION ENTRE CCR PARA PRESAS Y PARA PAVIMENTOS (WITHROW)

	CCR en presas	CCR en pavimentos
Tamaño máximo del agregado	2 "	3 / 4 "
% que pasa malla # 4	35	56
Relación agua / puzolana	.35	.39

- Schweizer y Raba⁴ presentaron un interesante trabajo sobre pavimentos de CCR usando agregados con características marginales.

Lo más interesante es la comparación que muestran en la tabla 2 entre los costos de pavimentos equivalentes: de asfalto, concreto convencional, suelo-cemento y CCR, resultando este último el más económico y señalando la ventaja de que el pavimento se puede usar inmediatamente después de terminada la compactación.

TABLA 2. COSTOS DURANTE LA VIDA UTIL DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACION (SCHWEISER Y RAGA)

ALTERNATIVA	COSTO BASICO UNITARIO (DLS. US / M ²)		
	Costo inicial	Costo anual de mantenimiento estimado	Costo estimado a lo largo de la vida útil (1)
Concreto asfáltico, mezcla caliente, 30 cm. de espesor.	\$ 17.92	\$ 1.97	\$ 40.53
Concreto hidráulico convencional, 25 cm. de espesor.	\$ 29.86	\$ 0.15	\$ 31.57
Concreto compactado con rodillos, 30 cm. de espesor.	\$ 19.11	\$ 0.19	\$ 21.31
Suelo - cemento 30 cm. de espesor.	\$ 9.56	\$ 2.09 (2)	\$ 33.53
(1).- Suponiendo vida útil de 20 años, intereses del 6 % anual e inflación del 5 % anual.			
(2).- Sustitución de toda la capa a los cinco años, más bacheo.			

- Pittman⁵, Keifer⁶ y Hess⁷, los tres pertenecientes al Cuerpo de Ingenieros Del Ejercito de E.U.A., presentaron trabajos relacionados con aplicaciones del CCR en pavimentos para trabajo pesado, haciendo énfasis en el control de calidad de las mezclas, la granulometría de los agregados, el control de la compactación en el campo y el comportamiento observado de los pavimentos resultantes. En los 3 casos se señalo que existen evidencias de excelente comportamiento de pavimentos de CCR en los Estados Unidos durante los últimos tres años y en Canadá durante más de 10 años, considerando un ahorro de cuando menos el 35% del costo en comparación con pavimentos con concreto convencional. Señalan también la fácil adaptabilidad de los operarios de pavimentación que con una experiencia en pavimentos asfálticos rápidamente adquirieron la capacidad para colocar y controlar el CCR.

En todos los casos señalaron también la necesidad de efectuar un tramo de prueba y evaluar densidades, resistencias y acabados en comparación con la mezcla diseñada en laboratorio. Asimismo, correlacionaron resistencias obtenidas de vigas y cilindros elaborados con concreto fresco con aquéllas determinadas con un densímetro nuclear y las obtenidas mediante corazones y vigas cortadas del concreto endurecido.

Una de las más importantes ventajas señaladas es el uso inmediato del pavimento al terminar su colocación y vibrado.

- Delva⁸ realizó una interesante guía para el diseño y la construcción de pavimentos, así como los procedimientos de control en el campo y en el laboratorio.

- Brett⁹ y Jofre, Fernández Josa y Molina¹⁰ hicieron una buena descripción de los pavimentos de CCR desarrollados en Australia desde los años treintas y en España desde 1970. En ambos casos dan lineamientos para la granulometría, la mezcla, el diseño y la construcción de los pavimentos, así como características de comportamiento, tales como el acabado de la superficie, resistencia al deslizamiento, fisuración y capacidad de carga.

OBJETIVO:

Estudiar la dosificación del CCR para obtener una resistencia máxima a compresión y observar su comportamiento utilizando diferentes variables como tiempo de vibrado, relación agua/cemento, relación grava/arena, contenido de cemento, y pesos sobrepuestos. Y se comentará algo de la producción, puesta en obra y control del Concreto Compactado con Rodillos (CCR).

2. GENERALIDADES

DEFINICION:

El Concreto Compactado con Rodillos (CCR), se elabora con agregado grueso, arena, cemento, agua y aditivos (si es necesario). La principal diferencia con el concreto convencional es que el CCR tiene una consistencia seca con cero revenimiento, y una apariencia similar a la de una base estabilizada con cemento. Esta última tiene menos cemento que el CCR y requiere de una protección contra la abrasión del tráfico, mientras que el CCR tiene que ser lo suficientemente rico en cemento para proporcionar una resistencia igual o mayor que la del concreto normal. El CCR puede o no requerir de una superficie extra de protección, esto es; no se puede necesitar en áreas de estacionamiento para maquinaria pesada, áreas de almacenamiento (Piggott, 1985), y en zonas de estacionamiento para aeronaves en aeropuertos (Abrams, 1986) donde la velocidad de los vehiculos es baja. Sin embargo, cuando se utiliza para autopistas y si el tipo de agregado es calizo o cualquier otro material que tiende a pulimentarse a traves del tiempo conviene colocar una capa delgada de asfalto para que haya buena fricción entre la losa de concreto y la ruedas del vehículo.

BREVE DESARROLLO HISTORICO

Las palabras "Concreto Compactado con Rodillos" pueden encontrarse en la literatura asociadas con una mezcla de concreto pobre para base en un camino construido en el verano de 1952 en Crawley, Inglaterra. En este proyecto, el contratista erigió una planta central mezcladora con una capacidad promedio de 250 yardas cúbicas, y un máximo de 390. Se pensó entonces que solamente con ese nivel de producción la compactación con rodillos sería confiable. El concreto tenía una relación agregado-cemento de 15:1 y una relación agua-cemento de 0.70 (Milne, 1957). Antes, a mediados de los 30's y en los 40's, las bases estabilizadas con cemento se usaron abajo de pavimentos asfálticos, y como sub-bases

de pavimentos de concreto en muchas partes del mundo.

El concreto compactado con rodillos se originó tal vez en el otoño de 1923, en el camino de Sheridan, en Chicago, E.U., donde se construyó una losa de concreto de siete u ocho pulgadas de espesor, construida con una técnica conocida como Pavimento de Concreto Comprimido "Armorplated", (American Vibrolithic Corporation, 1928). Este histórico método de construcción se anunciaba de la siguiente manera:

"EL PAVIMENTO DE CONCRETO COMPRIMIDO ARMORPLATE SE CONSTRUYE BAJO UN PROCESO EFICIENTE MEJORADO QUE SE DERIVA DEL METODO VIBROLITICO DE COMPRIMIR EL AIRE Y EL EXCESO DE AGUA DE UN CONCRETO PLASTICO UTILIZANDO LA COMBINACION DE FUERZAS DE VIBRACION Y PRESION APLICADAS SIMULTANEAMENTE, LO CUAL DEJA UNA LOSA CON LA RELACION AGUA CEMENTO MAS BAJA POSIBLE, Y PRODUCE UN PAVIMENTO DE RESISTENCIA Y DENSIDAD MAXIMAS".

La elevada densidad y resistencia se lograba incrustando una cantidad específica de grandes pedazos de roca triturada, por medio de una plataforma de madera con hule sobre la cual circulaban unos rodillos vibratorios. Posteriormente se daba un acabado a la superficie con cucharas de mango largo distribuyendo uniformemente la delgada capa de mortero que se forma en la superficie debido al proceso de consolidación. La densidad de este concreto se demostraba haciendo retroceder un camión de 10 toneladas (inglesas) sobre el concreto fresco comprimido. Lo anterior, que puede ser considerado como un gran adelanto en la tecnología de pavimentos quedó de repente olvidado en el tiempo. Reportes al terminar los años 50's y en los 60's indican que el uso de concretos pobres y bases estabilizadas antes populares, empezaron a declinar, tal vez debido a dos razones:

- 1.- El desarrollo de la pavimentadora deslizante para concreto.
- 2.- El uso extensivo de materiales asfálticos para la construcción de caminos.

En los años 70's empieza una nueva era en la utilización

del concreto compactado con rodillos. La crisis energética elevó los precios del petróleo, y consecuentemente la atención se volvió hacia los materiales granulares enriquecidos con cemento. Fue así como el concreto compactado con rodillos se utilizó en forma masiva en presas, entre ellas la presa Tarbela en Paquistán, Shimajigawa en Japón, Willow Creek en Estados Unidos, más tarde la presa Tucuri en Brasil (1982), y otras.

Con la creciente popularidad del CCR, se empezaron a construir muchas secciones de prueba para pavimentos, en un esfuerzo por encontrar nuevas aplicaciones. Sin duda alguna uno de los pioneros en esta área lo fue el cuerpo de la armada de los Estados Unidos. Como consecuencia se encontró que los pavimentos de CCR podían competir con los pavimentos de concreto convencional. El Pavimento de Concreto Compactado con Rodillos resulto rápido de construir, y con ahorros potenciales hasta de un cuarto a un tercio del costo de un pavimento de concreto convencional (Pittman y White, 1985).

Antes de los 90's se decía que la pavimentación con CCR se podía construir con el mismo equipo que se usa en la pavimentación asfáltica. Ahora se dice que se puede utilizar equipo tradicional para hacer CCR en calles de bajo nivel de tránsito con un reducido grupo de personas. Pero cuando se trata de construir autopistas carreteras se debe construir con el equipo adecuado.

EL CCR EN MEXICO

En 1988 se hablaba en México de que era necesario implementar nuevas técnicas de diseño y construcción que permitieran lograr mejores pavimentos. Ahora, 1990 se está logrando introducir la técnica de Concreto Compactado con Rodillos, en el cual se han visto sus ventajas en lo económico y duráble. Actualmente se está tratando de construir con CCR la calzada Ignacio Zaragoza, en la que es una de las más conflictivas áreas viales del D.F.

Lo primero que se hizo en México fue por el Instituto Mexican del Cemento y del Concreto (IMCYC), en donde expusieron a la Dirección Técnica de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y S.C. una alternativa para construir un tramo de pavimento de CCR de 30 metros en el km 23.30 de la autopista México-Cuernavaca, ésta fue aceptada y el primer tramo fue construido el 13 de julio de 1988.¹¹

La importancia de éste proyecto radica en que el CCR ofrece ventajas económicas sobre otras alternativas de pavimentación, ya que el mantenimiento anual es un porcentaje bajo de la inversión inicial⁴, posee gran durabilidad, y es rápido de colocar utilizando el equipo de pavimentación tradicional, entre otras.

A partir de la información que se ha obtenido por la publicación de varios países como Australia, Canada, E.U. y España, entre otros, y por la investigación en México por parte de IMCYC sobre este tipo de pavimento, se ha tratado de implementar esta tecnología en México por diversas empresas privadas y por el gobierno tratando de desarrollar el CCR por cuenta propia para uso común. Por ejemplo, en el estado de Morelos, en el tianguis de el pueblo de Temixco construyeron un camino de bajo volumen de vehículos de 30,000 m² con equipo convencional.

Actualmente se esta viendo la posibilidad de construir otro tramo de prueba de CCR en Monterrey, N.L. por parte del IMCYC. Y hacer la repavimentación con esta tecnología en la avenida de Ignacio Zaragoza, en el D.F.

El problema fundamental del CCR es que como es una tecnología recientemente "nueva" aquí en México se tiene que hacer investigación teórica y experimental para poder tener conocimiento de su uso y comportamiento. Por lo tanto no se tienen Normas de Construcción de CCR aquí en México y en muchos otros países a excepción del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares Hormigon Compactado del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España. España, Noviembre de 1987. Y el ACI 325-E

STATE-OF-THE-ART- REPORT ON ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS
(Draft # 3 March 9, 1990) en E.U.

3. PRODUCCION, PUESTA EN OBRA Y CONTROL DEL CCR

Los estudios que se realizan en la construcción de una autopista o una carretera nueva, son muy amplios e interdisciplinarios, basta con mencionar algunos estudios donde se requiere especial atención: selección de materiales, proporcionamiento de mezclas, ensayos de laboratorio, diseño de espesores, selección de equipo, procedimientos constructivos, control de calidad y conservación. Considerando también los estudios previos de ingeniería de tránsito, planeación, trazado y entorno ecológico.

En esta parte del trabajo se presentan los equipos de construcción que son empleados en la producción, puesta en obra y control del CCR.

En el periodo de 1970 a 1984, la construcción se efectuaba con equipos tradicionales, utilizando plantas estabilizadoras, extendedoras y rodillos compactadores independientes. En el segundo periodo de 1985 a 1990, estos equipos son integrados, es decir, el equipo que extiende el material es capaz de proporcionar simultáneamente compactaciones muy cercanas a las de proyecto; las nuevas generaciones de plantas de concreto hidráulico, tienen un alto grado de automatización con programas integrados, que dan al constructor la posibilidad de optimizar sus recursos. No hay que pasar por alto que las innovaciones en un equipo determinado o específico llevan tiempo en su desarrollo y es imposible que de un año a otro salgan al mercado comercial. Todos estos cambios que van surgiendo tienen un objetivo común, la construcción de más y mejores caminos.

PRODUCCION DEL CCR

Materiales empleados

Los materiales que se utilizan en la producción de un concreto deben cumplir las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las normas locales, con el objeto de obtener un

producto de calidad. En general, los agregados que se emplean deben ser de la localidad y en caso contrario, serán transportados de la región económicamente factible más cercana.

Es preferible que las gravas y arenas sean producto de la explotación de canteras, pues al ser utilizadas en la estructura del pavimento, ofrecerán un mayor valor relativo de soporte. Por otro lado, los cantos rodados provenientes de fuentes fluviales, son partículas redondeadas con superficies lisas, que no permiten que haya una interacción entre cara y cara del agregado, lo cual produce un coeficiente de rozamiento interno bajo. Se descartan los agregados lajeados, pues ante los efectos de la energía de compactación su granulometría se modifica. Así como, el uso de los llamados agregados marginales debe ser cuidadoso, pues estos no llegan a cumplir en algunos casos la calidad especificada.¹²

Se verifica el desgaste de los agregados gruesos, es decir la resistencia mecánica del esqueleto mineral, así como el pulimento que presentarán dichas partículas al paso de los vehículos. También se pondrá atención al agregado fino, de tal manera que este no vaya contaminado de materia orgánica y/o finos plásticos. Algunos aspectos importantes que hay que considerar en la selección de los bancos de material, son los volúmenes de explotación, la granulometría del material y las posibles contaminaciones, pues esto puede afectar el ritmo de construcción.

Los cementos que se utilizarán en las mezclas de concreto compactable con rodillos tendrán bajo calor de hidratación, mínima retracción y elevada resistencia a largo plazo. El agua de mezclado será limpia y libre de impurezas. Por último, se menciona que las reacciones químicas intrínsecas que pueden llegar a presentarse en las mezclas con efectos deletéreos, deben evitarse, para no acortar la vida útil de las estructuras.¹³

EQUIPO DE MEZCLADO

El equipo para elaborar la mezcla de CCR debe cumplir diseños y características específicas, pues el producto final será una mezcla homogénea, donde todos los ingredientes, grava, arena, cemento, agua y aditivos, si es que se necesita, han sido incorporados de acuerdo a la dosificación especificada. El mezclado se proporciona generalmente por dos ejes longitudinales horizontales que giran en forma intermitente o continua; cada eje tiene acoplado en toda su longitud una serie de paletas o aspas, con cierto ángulo de inclinación que proporcionan al material un mezclado energético. La forma y disposición de las paletas son diseñadas precisamente para obtener mezclas homogéneas y altos rendimientos, la vida útil de estas piezas intercambiables es del orden de 115,000 m³.

El equipo se seleccionará de acuerdo al tipo de obra que se vaya a construir, ya sean autopistas, carreteras o calles urbanas, al tiempo y volumen de concreto que se vaya a producir, y a la distancia de acarreo. Pues en el mercado existe una serie de plantas con diferentes rendimientos, que pueden seleccionarse de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Es importante mencionar que la producción de mezclas de CCR en camiones mezcladores no es muy recomendable, pues se han observado las siguientes desventajas:

- 1.- El material fino tiende a adherirse en las paredes internas del "trompo" debido a los bajos contenidos de humedad, estos tendrán que eliminarse posteriormente por lavado, lo que significa sobrediseñar la mezcla y como consecuencia un sobre costo.
- 2.- Parte del agregado fino y el cemento se aglomeran por la acción de amasado, dando como resultado una mezcla muy diferente a la proyectada.
- 3.- El tiempo para vaciar el concreto puede ser del orden de los 40 minutos, aun dando una pendiente a la rampa donde esta apoyada la unidad lo que implica pérdidas de humedad en el material y la obtención de densidades bajas.

4.- Habra que considerar un sobrecosto en el transporte, pues el camión mezclador no puede vaciar directamente a las extendedoras (Finisher), lo que implica, tener que vaciar previamente la mezcla a camiones volteo.

5.- En el caso de que las unidades mezcladoras no puedan elevar el "trompo" mediante un dispositivo hidráulico, se tendrán que construir en algunos casos, rampas sobre el terreno natural con una pendiente ligera para acelerar el descenso de la mezcla.

Por las experiencias señaladas anteriormente, los equipos móviles para producir CCR aplicado a carreteras, se han dividido en dos secciones: plantas intermitentes y plantas continuas.

Plantas Intermitentes

EL mezclador NIKKO, fig. 3.1, consiste en que el arreglo de las paletas dan a la mezcla un flujo en espiral, formando un patrón de mezclado en 8, fig. 3.2. La hipótesis que se sustenta es: al recubrir toda la superficie de los agregados gruesos y finos con el cemento, se tendrá un concreto de más calidad y mayor resistencia!⁴

Las mezcladoras pueden producir concretos de cero revenimiento a mezclas con alto revenimiento, controlando el agua en el propio mezclador. Hay que mencionar que los rendimientos de una mezcla seca se reducen en un 25% comparados con las mezclas plasticas. En la fig. 3.3, se muestra un modelo cuya producción es de 180 m³/hr de CCR.

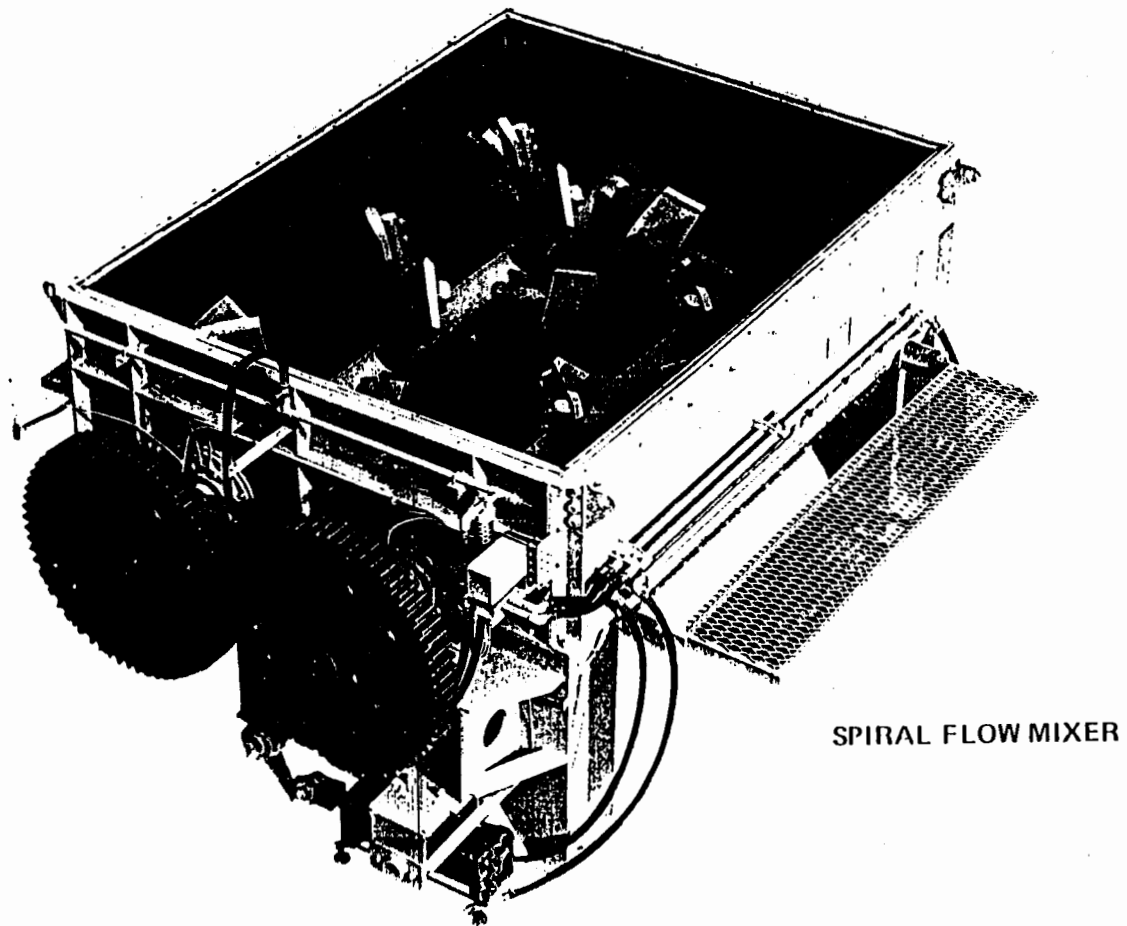


Fig. 3.1, Mesclador de flujo espiral

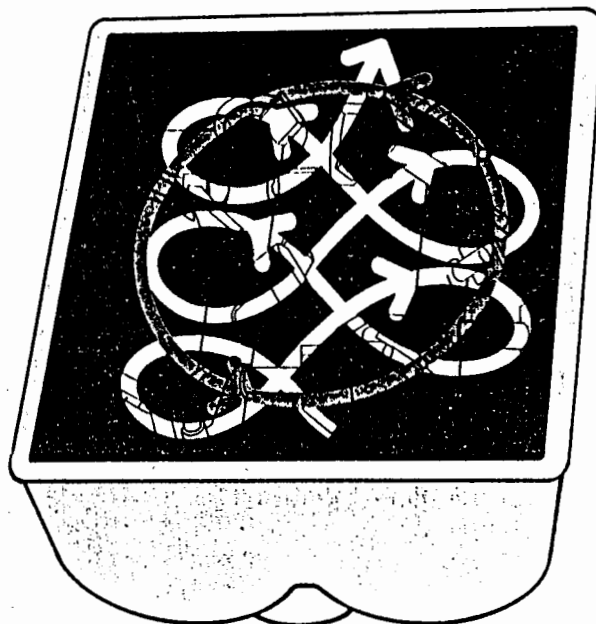


Fig. 3.2, Patron de mezclado en 8

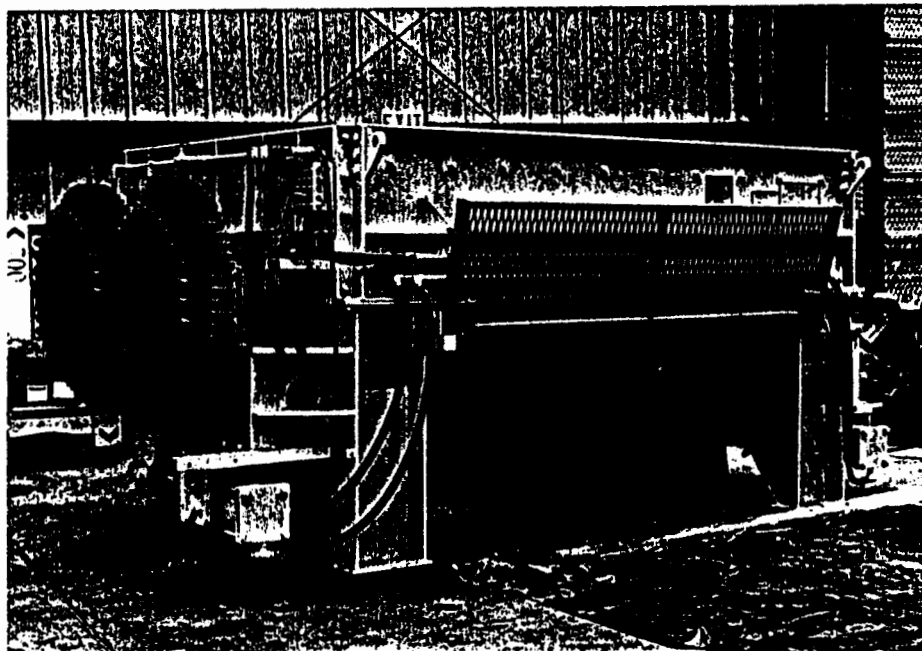


Fig. 3.3, Mezclador BMG. modelo 5F 3750 HD, producción 3 m³/min, ciclo: carga/mezcla/descarga

Se tienen datos de operación actuales que muestran que el empleo de estos mezcladores proporciona un ahorro de 2.5 a 4 U.S. Dls/m³ comparado con mezcladores convencionales. Estos ahorros están basados en:

1. Menor mantenimiento de los camiones y reducido tiempo en los ciclos de recorrido.
2. Menor contenido de cemento portland
3. Eliminación de camiones con mezcla rechazada.

El mezclador BHS/ROSS con producciones de 130 a 285 m³/hr, dependiendo del tipo de planta y diseño de mezcla. La rotación de los ejes gemelos, se puede apreciar en la fig. 3.4. La homogeneidad de la mezcla depende del tiempo de mezclado, para tiempos del orden de 1 minuto, fig. 3.5. Estos estudios pueden llegar a ser móviles cuando se montan en un transportador. Se pueden equipar en una planta portatil de mezclado cuando se requieren proyectos especiales, figuras 3.6 y 3.7. Estas plantas se acompañan también de silos móviles con capacidades de 11 Ton, fig. 3.8, que incluyen sistemas de aireación y valvulas de seguridad¹⁵.

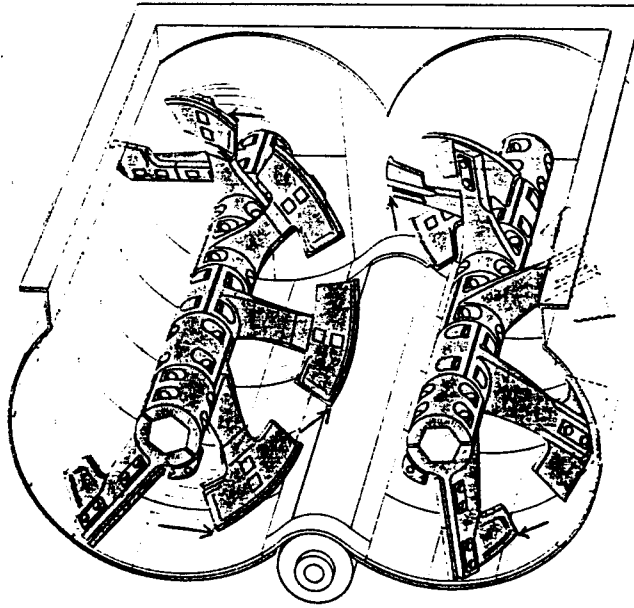


Fig. 3.4, Rotación de los ejes horizontales

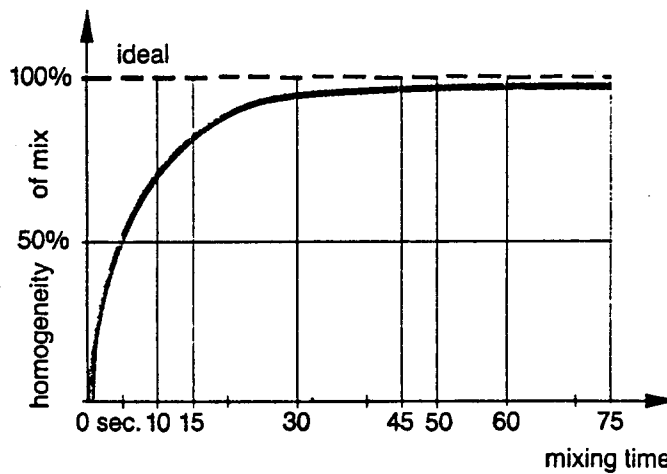


Fig. 3.5, Tiempo de mezclado vs. homogeneidad de mezcla



Fig. 3.6, Mezclador en posición de transporte



Fig. 3.7, Mezclador en posición de operación



Fig. 3.8, Silo móvil de 11 Ton

Plantas Continuas

Equipos ARAN es una muy progresiva e inovativa compañía especializada en el diseño y la manufactura de plantas de alta capacidad de mezclado continuas y móviles. Así como de equipos auxiliares, tales como silos móviles, sistemas alimentadores y tolvas de almacenamiento. La empresa ha demostrado su experiencia y capacidad para construir plantas de mezclado para varios proyectos.

Estos equipos pueden mezclar, suelo-cemento, bases tratadas, concreto compactado con rodillos, concreto convencional con bajo revenimiento con producciones de 275 a 9900 Ton/hr¹⁶.

El sistema de mezclado continuo es uno de los más nuevos y más eficaces métodos para obtener ahorros en la movilización, operación, mantenimiento y en el costo de materiales.

Los ahorros en la movilización son realizados a través del sistema integral y compacto de todas las partes en una sola unidad de transporte, es decir, los compartimientos de los agregados, en silos de cemento, el tanque de almacenamiento de agua, el mezclador de eje doble y una banda transportadora están integrados en una plataforma remolcable, fig. 3.9.

Todas las plantas están propulsadas por sus propios motores diesel, la plataforma cuenta con un eje triple con frenos en todas las llantas y una suspensión adecuada, además de la iluminación propia de giros y altos. La planta puede ser instalada, calibrada y puesta en operación en menos de 1 día. no se requieren gruas, cimentaciones, fuentes de energía o instalaciones de aire auxiliares, figuras 3.10 y 3.11.

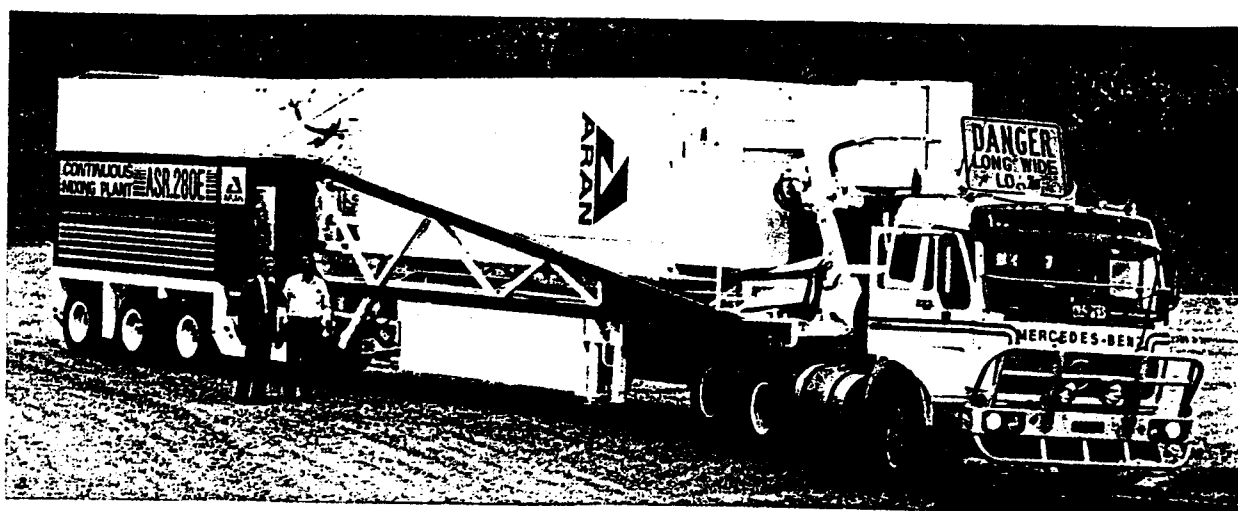


Fig. 3.9, Equipo ARAN ASR.280E, 450 a 650 Ton/hr

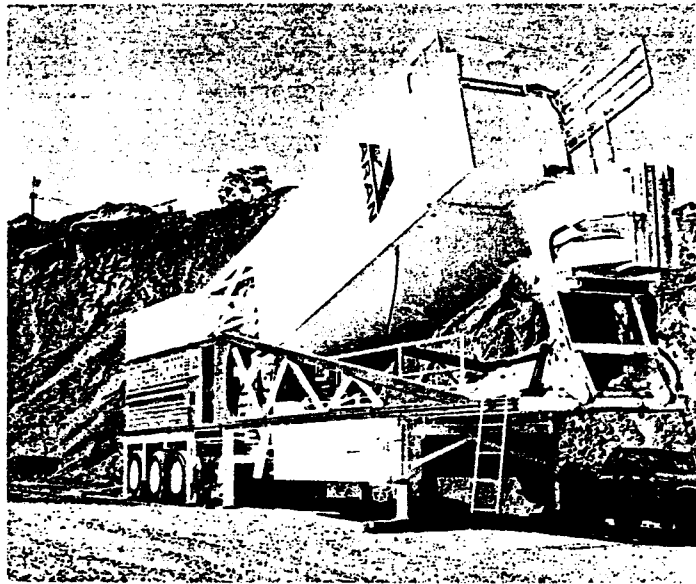


Fig. 3.10, Erección de la planta

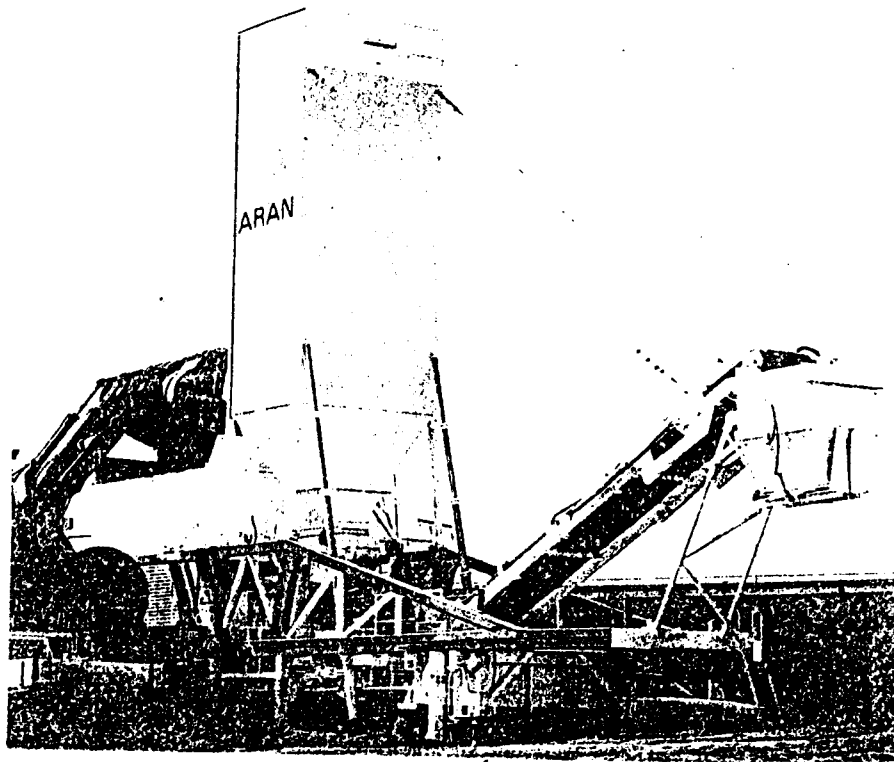


Fig. 3.11, Planta de mezclado en operación

El mezclador continuo consiste en dosificar los agregados, grava y arena, así como el cemento directamente al mezclador de paletas, en esta etapa se incorpora el agua de mezclado. La acción enérgica de los ejes gemelos del mezclador impulsan la mezcla al extremo opuesto donde el concreto es recibido por una banda transportadora que lo eleva finalmente a una tolva receptora.

Las plantas de mezclado cuentan con un sistema para dosificar el cemento o ceniza volante, el cual posee un alto grado de seguridad y consistencia.

Los costos de operación son aproximadamente de 0.04 U.S. Dls/Ton, estos se han obtenido de la practica y están basados en una vida útil de 10,000 hr, más de 10 años, en los cuales, la máquina se ha pagado en los primeros 5 años. No se incluye, la mano de obra, imprevistos, seguros, intereses y utilidades. El costo de operación unicamente contempla:

1. Combustible, lubricantes, aceites hidráulicos, filtros y paletas intercambiables.
2. Mano de obra de reparación de motores y bombas hidráulicas, mantenimiento del mezclador, bandas, tolvas, etc.
3. Costo del equipo.

Otro mezclador continuo es el fabricado por DAVIS PUGMILL, INC., fig. 3.12. La producción de estas plantas varía de 50 a 750 Ton/hr. según las necesidades. Para esta planta los agregados deben estar al pie de la obra, pues la alimentación es constante, es común tener un cargador frontal montado sobre neumáticos, para abastecer las tolvas de los agregados, fig. 3.13¹⁷. Para dar una máxima rigidez estructural y un mejor alineamiento, se han utilizado dos ejes tubulares gemelos independientes de sección cuadrada con un eje redondo soldado en los extremos, fig. 3.14. Cada eje cuenta con 18 paletas, 36 en total, las que también están soldadas al eje tubular. La parte final de la paleta es

intercambiable, están moldeadas con 2.5 cm de espesor de acero aleado con cromo al 27%. El agua se dosifica mediante un sistema de riego con flujo ajustable, lo que permite proporcionar una humedad uniforme a los materiales mientras pasan, fig. 3.15.

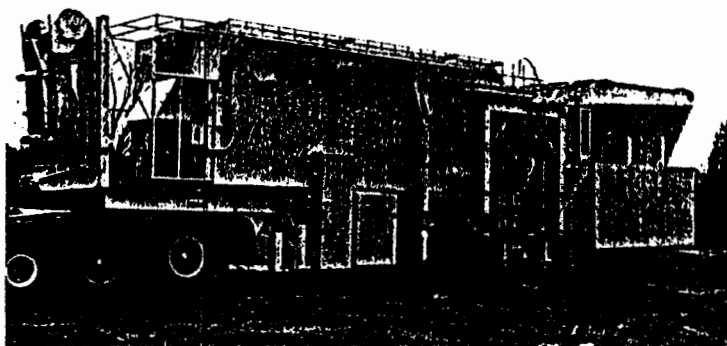


Fig. 3.12, Planta de mezclado móvil, DAVIS PUGMIL, INC.

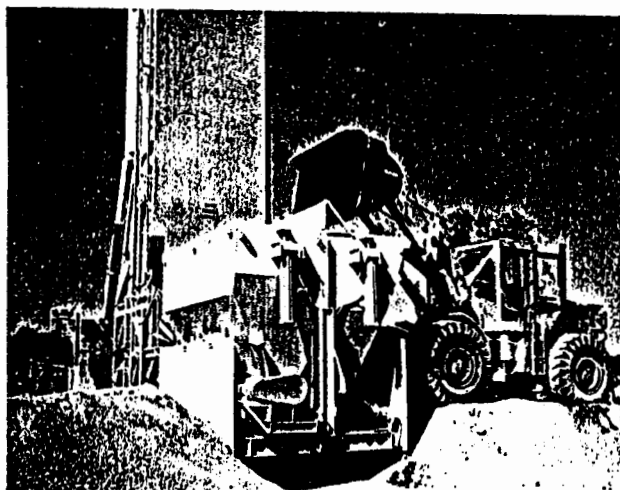


Fig. 3.13, Planta puesta en operación

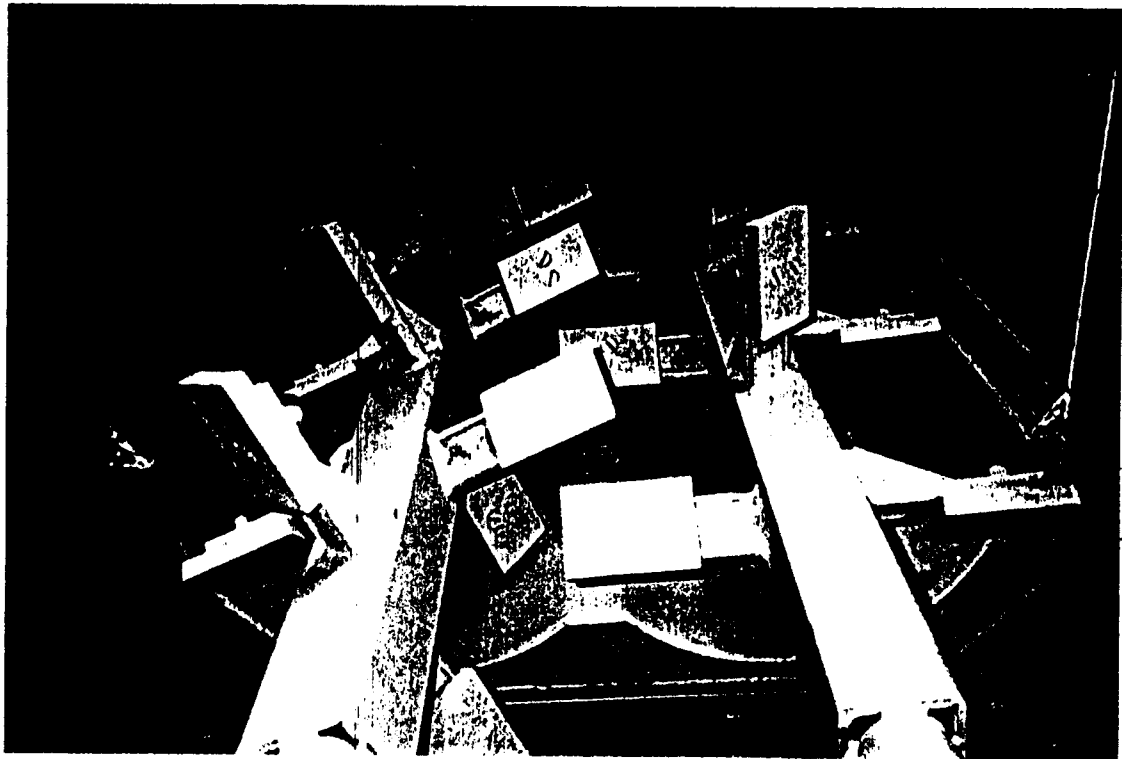


Fig. 3.14, Ejes tubulares gemelos independientes de sección cuadrada

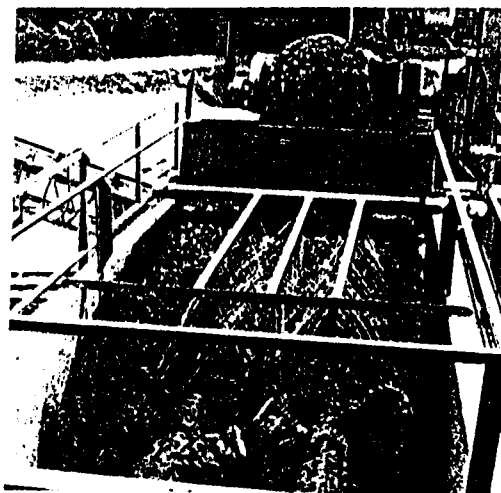


Fig. 3.15, Dosificación del agua

BARBER-GREEN, ha fabricado también plantas estabilizadoras móviles como la KS-60 con una producción de 550 Ton/hr, esta planta está constituida por dos cuerpos móviles independientes, fig. 3.16. El mezclador, fig. 3.17 cuenta con una tolva superior, un eje transversal para dosificar el agua, dos ejes gemelos con paletas para el mezclado y una tolva receptora de la mezcla, lo cual permite una operación continua, sin tener que parar la planta. La compuerta se abre a todo lo ancho de la tolva para evitar la segregación de la mezcla al caer en la caja de los camiones de volteo¹⁸.

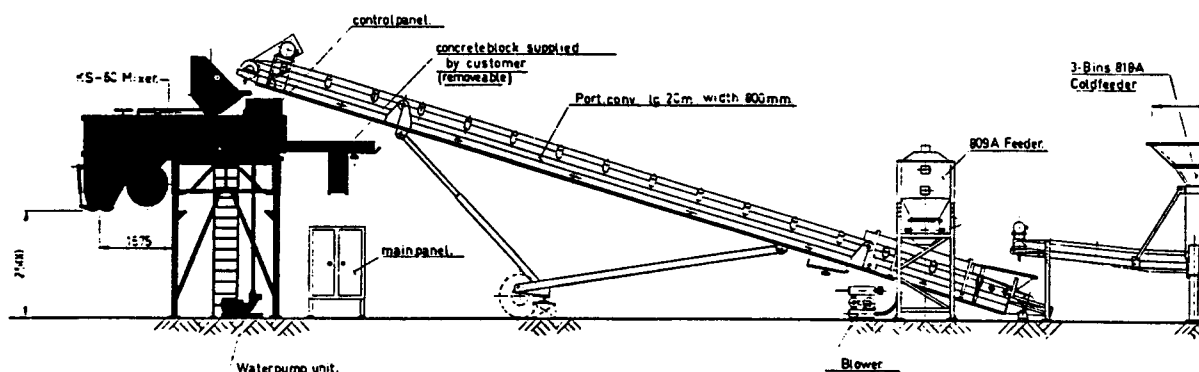


Fig. 3.16, Planta estabilizadora móvil, KS-60

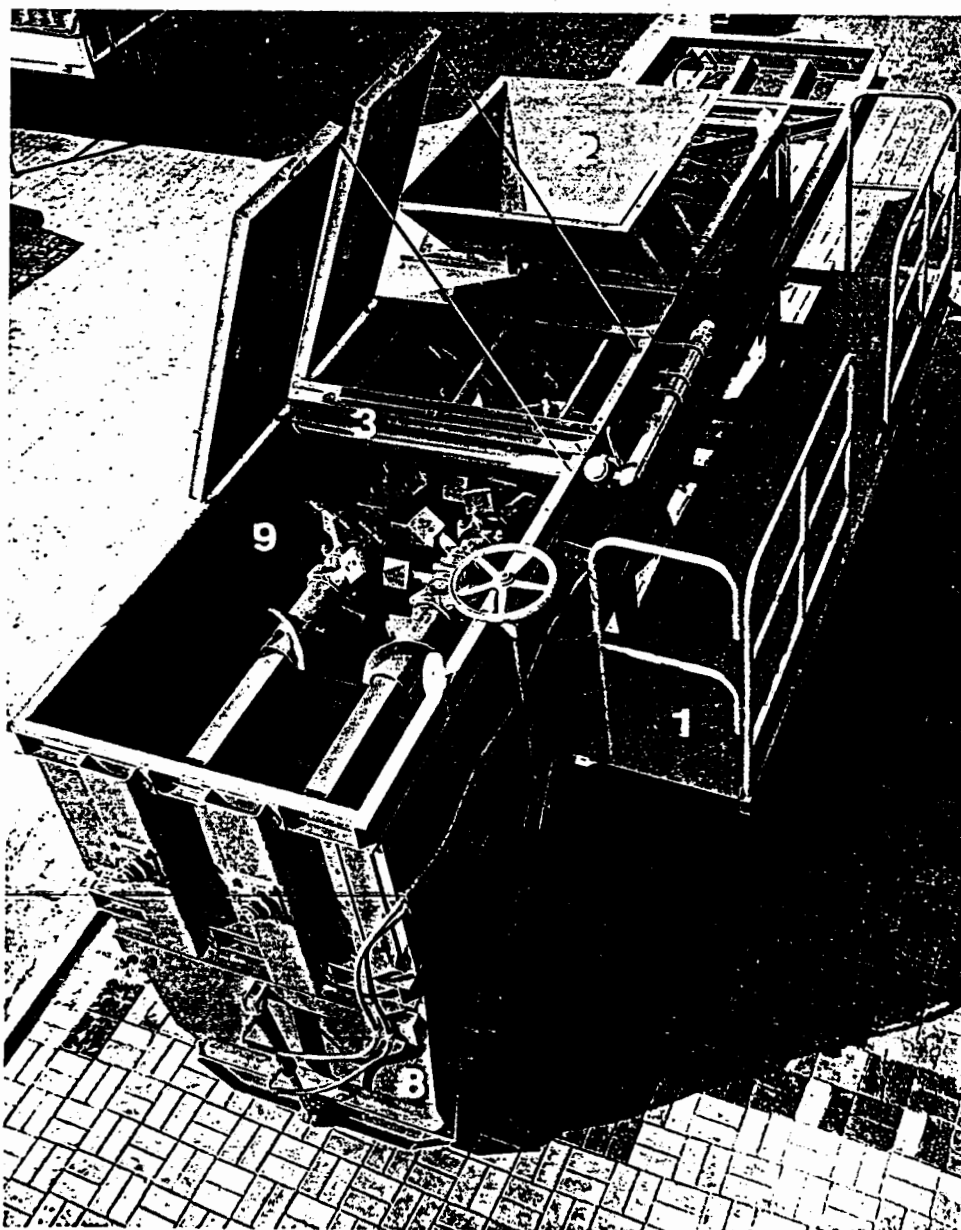
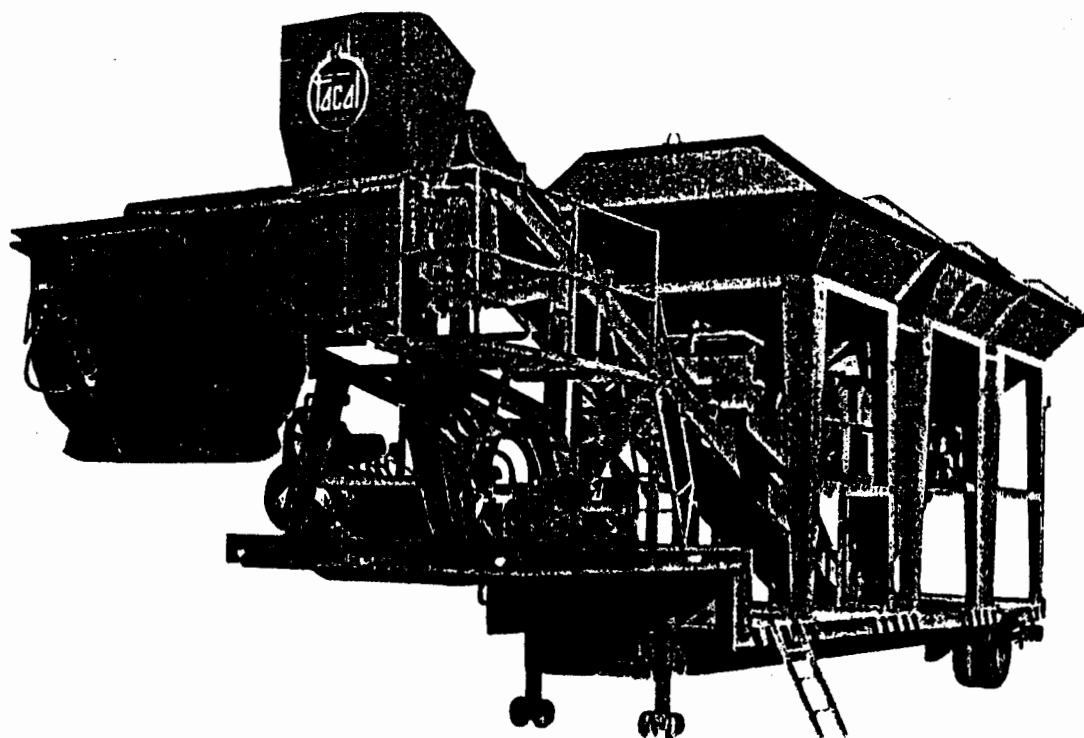


Fig. 3.17, Mezcladora KS-60, 1. Plataforma operación, 2. Tolva superior, 3. Sistema de dosificación del agua, 8. Tolva receptora, 9. Ejes gemelos de mezclado

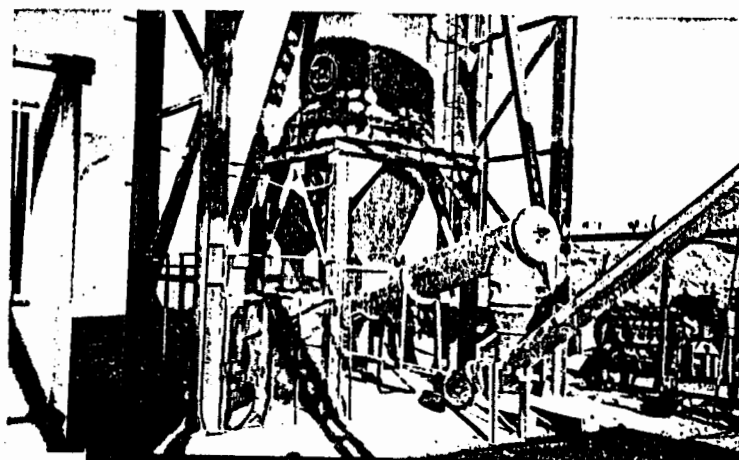
Por último, TACAL, S.A., fabrica una planta móvil de grava-cemento con capacidades que varían de 100 a 550 Ton/hr¹⁹, fig. 3.18, el sistema de dosificación de cemento puede ser por alguno de los siguientes sistemas:

1. Por pérdida de pes, fig. 3.19
2. Por pesaje continuo sobre báscula en cinta, fig. 3.20



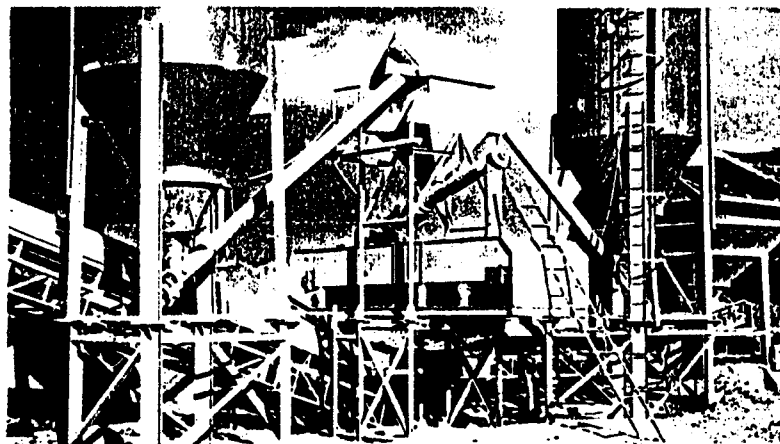
**PLANTA MOVIL MATRICULABLE DE 160 l/h DE GRAVA
CEMENTO Y AGLOMERADO EN FRIO.**

Fig. 3.18



**SISTEMA DE DOSIFICACION DE
CEMENTO POR PERDIDA DE PESO.**

Fig. 3.19.



SISTEMA DE DOSIFICACION DE
CEMENTO POR PESAJE EN CONTINUO
SOBRE BASCULA EN CINTA.

Fig. 3.20.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Plantas Intermitentes

Ventajas

- Diseños sencillos
- Mezclas uniformes
- Altas producciones, 285 m³/hr
- Bajo mantenimiento
- Bajo consumo de energía

Desventajas

- Adaptación en dos o tres sistemas de transporte
- Tiempo de mezclado en ciclo

Plantas Continuas

Ventajas

- Altas producciones, 900 Ton/hr
- Bajos costos de operación
- Mezclas homogéneas
- Puesta en operación en 1 día
- Mezclado de diversos materiales

Desventajas

- Control de calidad mayor
- Costo de adquisición
- Almacen de materiales
- Balanzas de pesaje continuo

COSTOS

Un mezclador de paletas con una producción de 180 m³/hr tiene un costo que puede oscilar en 150,000 U.S. Dls puesto en las E.U., lo interesante de este equipo, es que puede ser adaptado a una planta central de las que existen en el mercado nacional.

Una planta continua móvil con una producción de 400 Ton/hr tiene un costo aproximado de 440,000 U.S. Dls puesto en los E.U.

COLOCACION DEL CCR

Transporte de la mezcla a la obra

El transporte de la mezcla se realiza en camiones de volteo con capacidad de 6-7 m³. La carga se inicia desde la tolva receptora de la planta de mezclado, procurando que la caída de la mezcla no sea muy alta para evitar el problema de la segregación. Es práctica común cubrir la parte superior de la mezcla con lonas o plásticos para evitar una desecación de la mezcla cuando se tienen temperaturas altas, en caso de lluvia se recomienda parar las actividades. Los recorridos serán cortos con radios de 10 km o de 15 minutos. También se pueden utilizar camiones de 15 m³ de capacidad, en caso de contar con ellos. Estos últimos son muy convenientes al disponer de una planta continua de mezclado. Hay que observar que el número de camiones que se vayan a utilizar será función directa de los ciclos de producción y colocación de

la mezcla.

EXTENDIDO Y COMPACTACION DEL CONCRETO

Equipo tradicional

El extendido del concreto compactado con rodillos con las pavimentadoras asfálticas equipadas únicamente con reglas vibratorias, no ha dado resultados muy alentadores. Algunos contratistas han observado un desgaste adicional en la pavimentadora debido al tamaño del agregado y/o cantidad colocada. Sin embargo, con la adaptación de una barra compactadora, las pavimentadoras asfálticas, han probado dar un buen control al lograr una precompactación inicial de la capa. Los constructores se han sorprendido por la facilidad, trabajabilidad y limpieza del extendido de la mezcla.

El mayor problema que puede presentar la pavimentadora asfáltica al colocar el CCR, puede ser el tamaño de la tolva, pues el espesor de la capa de esta mezcla es mayor que la del concreto asfáltico. Otra limitante es que el sinfin de distribución, tiende a llevar el agregado grueso a los extremos, produciéndose por lo tanto, una segregación de la mezcla en los bordes extremos. Esto se puede minimizar si el contratista disminuye el ancho de pavimentación.

Se han utilizado dispositivos de control superficial automáticos o manuales, para mantener un nivel satisfactorio de la superficie. No es recomendable utilizar motoconformadoras para extendido de la mezcla, pues se presenta segregación y el mezclado no es homogéneo.

Si se colocan dos capas de mezcla, es importante que éstas se hagan durante el mismo día. No hay que tomar precauciones especiales para la unión de estas dos capas, excepto, prevenir que la capa de base se seque antes de colocar la segunda capa. Se requiere un ligero riego de agua para mantener la base húmeda. En

general se recomienda, colocar espesores en una sola capa, pues se tienen algunos problemas en el agrietamiento de un sistema multicapa, y el patrón de agrietamiento no siempre es el mismo en la capa inferior que en la superior.

La compactación se efectúa con rodillos vibratorios los que deben cumplir las siguientes características: ser autopropulsados con rodillo doble de preferencia, el peso del rodillo debe ser como mínimo de 26.8 kg/cm, el rodillo deberá tener una frecuencia de vibración de por lo menos 1,500 ciclos/min la que se puede lograr con ejes excéntricos, pesos revolventes, o algún otro medio, la amplitud debe ser de 0.35 a 1 mm a la frecuencia de operación con velocidades de compactación de 2.5 km/hr.

La práctica recomienda iniciar la compactación dentro de los 10 minutos posteriores al extendido de la mezcla y completarse antes de 45 min, desde luego habra algunas variaciones de acuerdo a las temperaturas que prevalezcan en la obra.

La compactación inicial, consiste en dar como mínimo 4 pasadas completas en la fase vibratoria. Las pasadas en la fase estática serán obviamente antes de iniciar la fase vibratoria y su objetivo será armar la mezcla, es decir que las partículas tengan un acomodo inicial antes de someterlas a la energía de compactación vibratoria. Se darán más pasadas en la fase vibratoria en caso de que el material no haya alcanzado la densidad de proyecto. Se entenderá una pasada completa, la ida y vuelta del compactador en un tramo determinado.

Algunos rodillos que pueden encontrarse en el mercado son, por ejemplo; DYNAPAC CA-25, CA-25D, CC421 Y LEBRERO 418-MX, 125-TH, VTA-100.

En los lugares de difícil acceso, se utilizan rodillos vibratorios o compactadores manuales para alcanzar la compactación de proyecto. se recomienda no sobrecompactar una capa, pues en lugar de ser benéfico, se produce una ruptura de la etapa inicial

de fraguado del concreto.

Equipo Integral

Se han diseñado pavimentadoras, como la ABG, fig. 3.21, que son capaces de alcanzar el 93-96% de la compactación de proyecto, en capas con espesores de 15 a 30 cm, esto ha sido posible gracias a la introducción de los sistemas denominados DUOTAMP Y VARIO DUOTAMP. Con estos sistemas, se ha logrado un buen control de las pendientes longitudinales y transversales del pavimento. La regla puede ser ajustada para pendientes positivas y negativas, logrando un drenaje superficial adecuado y por supuesto una colocación más eficiente. El sistema DUOTAMP alta densidad, consiste en una doble unidad compactadora combinada con la eficiente acción de una regla vibratoria, fig. 3.22, ambos se pueden regular de manera infinita, todos independientes entre si, por lo que los efectos de la compactación pueden ser adaptados a diferentes tipos de mezclas y espesores de pavimento.²⁰

El primer compactador se puede regular con una amplitud de 0-12 mm y el segundo con 3-9 mm, y por la vibración amplia de la velocidad del compactador y frecuencia de vibración. Ultimamente, se ha recomendado que la amplitud sea ajustable entre 0.4 y 1 mm, y que durante la construcción de una sección de prueba, debe ser variada para determinar la amplitud óptima para la mezcla que se esté utilizando.



Fig. 3.21, Pavimentadora de CCR

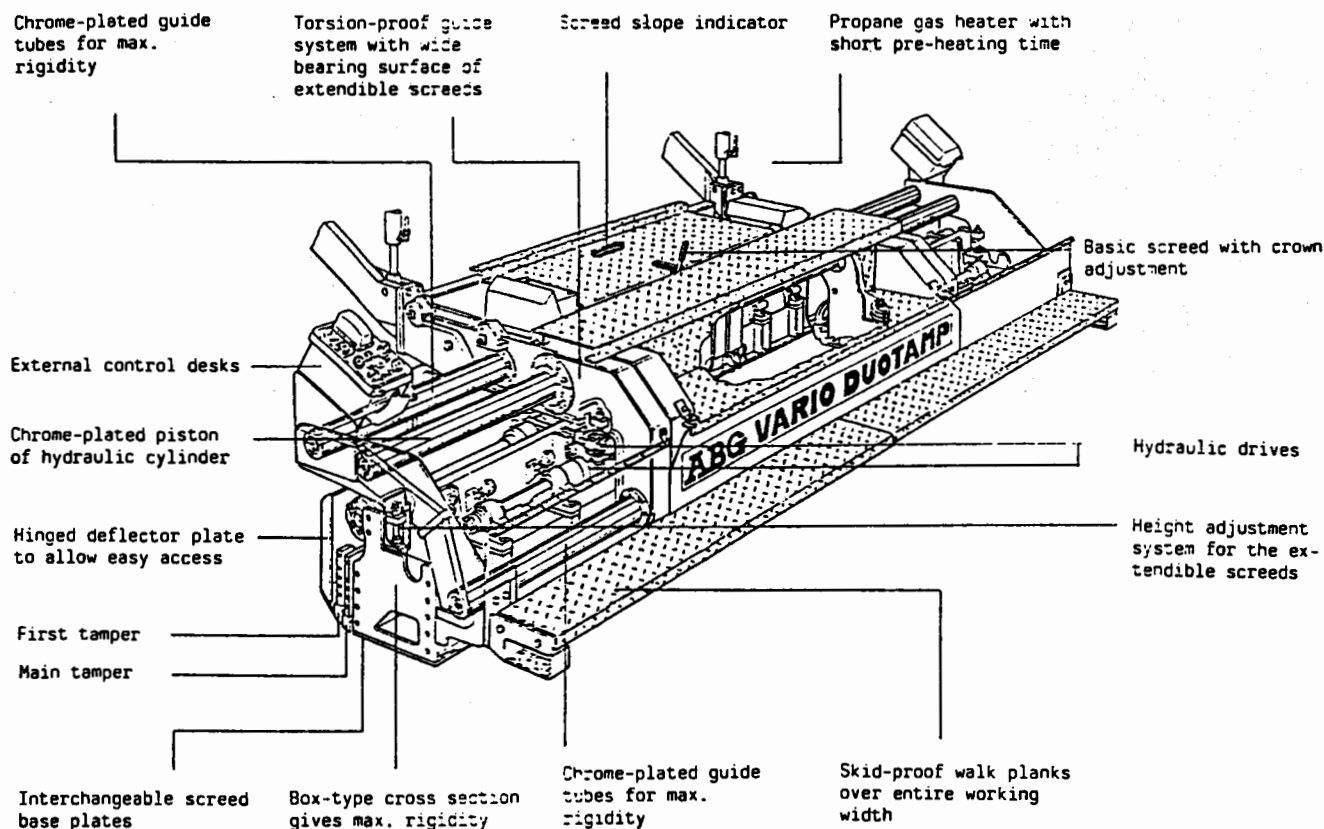


Fig. 3.22, Sistema Duotamp

La velocidad de las pavimentadoras oscila de 0-2.7-8-18 a 54 m/min. El ancho de la pavimentadora puede ser hasta 12 m con un espesor de extendido hasta 30 cm. La tolva receptora tiene una capacidad de 15 Ton de concreto. Además, el equipo cuenta con un sistema de nivelación electrónico, fig. 3.23²¹, y cada lado de la pavimentadora está equipada con dos cimbras metálicas (zapatas), las cuales dan forma al borde del carril con un ángulo recto²². Algunas especificaciones permiten hasta un ángulo de 15° con respecto a la vertical.

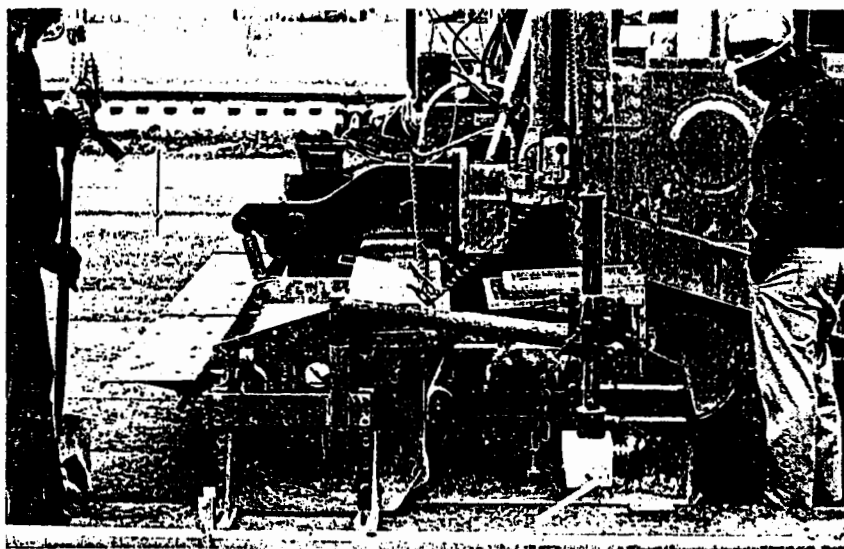


Fig. 3.23, Sistema de nivelación electrónico

El sistema VARIO-DUOTAMP, consiste en duplicar las funciones del sistema DUOTAMP, fig. 3.24.

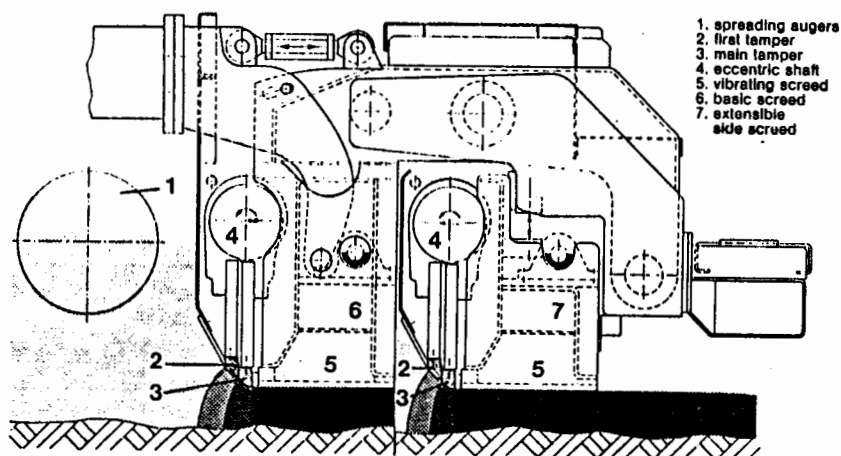


Fig. 3.24, Sistema vario-duotamp

En la fig. 3.25, se presenta un diagrama del sistema de propulsión, dirección y alimentación del equipo extendido.

Diagrammatic Drawing Propel-, Steering- and Feeder System

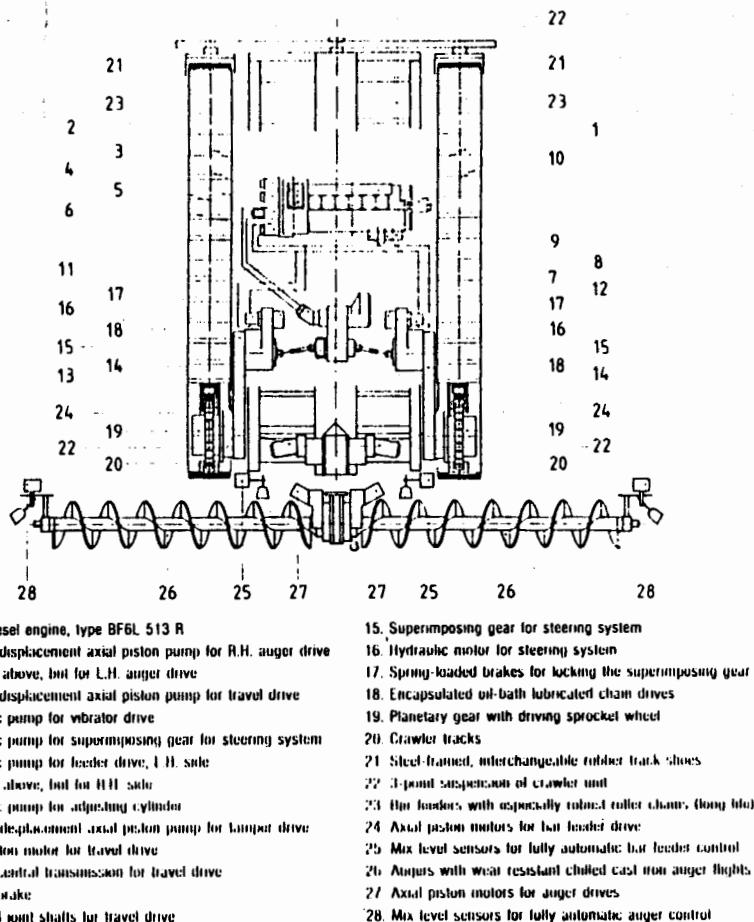


Fig. 3.25, Sistema de producción, dirección y alimentación

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Equipo Tradicional

Ventajas

- Empleo de equipo local
- Posible adaptación de una barra de precompactación

Desventajas

- Regularidad superficial baja
- Capacidades pequeñas
- Desgaste mayor del equipo

Equipo Integral

Ventajas

- Regularidad superficial aceptable
- Empleo del equipo en bases y capas de concreto compactable
- Rendimientos altos
- Mezclas homogéneas
- Control de pendientes bueno

Desventajas

- Costo elevado
- Se requiere equipo ligero para terminar la compactación
- Velocidad baja

CONTROL DE CALIDAD

Materiales

Algunos ensayos previos que se efectúan a los agregados son los siguientes: análisis petrográficos, granulometrías, desgaste de los ángeles, coeficiente de forma o coeficiente volumétrico (índice de lajas o agujas), pesos volumétricos, reactividad potencial con los alcalis del cemento, intemperismo acelerado con soluciones concentradas de sulfato de sodio o magnesio, ciclos de congelación-deshielo, absorción, densidad, porcentaje de partículas sílice, límites de Atterberg, equivalente de arena, materia orgánica.

Los cementos portland que se vayan a utilizar se sujetarán a las normas correspondientes, estos incluyen ensayos físicos, químicos y mecánicos, tales como: finura, consistencia, tiempo de fraguado inicial y final, expansión en autoclave, óxidos componentes, compuestos potenciales y resistencia a compresión. Las cenizas también se analizarán.

El agua de mezclado, también se estudiará para conocer su P.H., cloruros, sulfatos, etc., en algunos casos se estudiarán las propiedades de los aditivos que se vayan a emplear.

El siguiente paso es obtener una dosificación óptima de estos ingredientes, con el propósito de obtener una mezcla homogénea y consistente. Algunos ensayos que se pueden ejecutar en estado físico y endurecido son: peso volumétrico seco máximo utilizando una mesa vibratoria, contenido de humedad, contenido de aire, resistencia a compresión simple, tensión indirecta, flexotracción (M.R.), módulo de elasticidad y módulo de poisson.

4. ESTUDIOS DEL PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR EN MEXICO

Como ya se han tenido experiencias del CCR en México¹¹ y otros países (E.U., Canada, España, etc.), se conocen los rangos en donde pueden andar los proporcionamientos de la mezcla de concreto. El enfoque de esta parte del trabajo se basa en la experimentación.

MATERIALES



CEMENTO

Para la construcción del CCR, se puede utilizar cualquier tipo de cemento Pórtland de fabricación nacional; pero con una importante recomendación, son preferibles aquellos que producen bajo calor de hidratación y alta resistencia a largo plazo que contrarresten los fenómenos de fatiga, características propias de los cementos puzolánicos.

Con las anteriores propiedades, se asegura un "tiempo de trabajo" mayor para el CCR, entendiéndose éste, como el tiempo que transcurre desde el mezclado hasta el comienzo del fraguado, lo que dá un margen suficiente para la puesta en obra y la compactación.

El contenido de cemento en la mezcla de CCR varía entre el 10% y el 14% del peso seco total de los componentes, aproximadamente entre 250 y 350 kg/m³.

AGUA

La calidad de agua exigida para la fabricación de CCR es análoga a la requerida para el concreto convencional, es decir sin materia orgánica, ni sólidos en suspensión y libre de cualquier tipo de desechos industriales que disminuyan la resistencia de la mezcla endurecida; pero actualmente se realizan estudios de hacer el concreto convencional, aquí en México, con agua tratada, por el gran consumo de agua potable para este producto.

La cantidad de agua óptima para el CCR oscila entre el 4% y el 7% (porcentajes referidos a pesos secos). El contenido se fija para la fabricación en planta, teniendo en cuenta los factores climatológicos y todos los que influyen en el transporte hasta la obra: principalmente la distancia entre el sitio de fabricación y el de colocación.

El CCR es muy sensible a las variaciones en la cantidad de agua, su exceso o falta disminuyen la calidad del material. La falta de agua puede provocar segregación y dificultades para efectuar la compactación, su exceso produce inestabilidad que origina una compactación defectuosa que da una apariencia esponjosa, fenómeno que se conoce como "alcolchonamiento o rebote".

ADITIVOS

El CCR por su estado seco, pierde su manejabilidad a medida que el proceso de fraguado avanza; el agua libre pierde rápidamente su condición de lubricante y la unión ligante-material granular, rigidizando la mezcla. Es por esto que para el CCR el concepto de tiempo de trabajo, dicho anteriormente, es muy importante.

Para lograr un tiempo de trabajo adecuado para obtener altos rendimientos de producción se hace necesaria la utilización de un retardador de fraguado que se dosifica en función de la climatología, tiempo de transporte y la terminación óptima del pavimento de CCR.

Adicionalmente, se puede agregar un plastificante con el fin de conseguir un incremento en la manejabilidad del material lo que incide en la obtención de mejores resistencias al lograrse la densidad de diseño con un menor contenido de agua.

En la actualidad se tiene conocimiento de un aditivo que cumple simultaneamente con las funciones ya descrita, fabricando

especialmente para CCR en Francia²³.

AGREGADOS

Teniendo en cuenta los rangos de los otros materiales para la mezcla de CCR, solamente falta determinar los límites del agregado grueso y fino (grava y arena respectivamente).

Aquí en el valle de México se cuenta con bancos de grava y arena de material tipo calizo, basalto y andesítico. Por tanto, se trabajará con estos tipos de agregados para encontrar una relación de grava arena adecuada para obtener un peso volumétrico máximo de mezcla.

Primeramente, tanto para la grava como para la arena, se le obtuvo su granulometría quedando dentro de los límites fijado por las normas para concreto convencional, con tamaño máximo de agregado 3/4". Posteriormente se obtuvieron pesos volumétricos integrados para caliza, andesita y basalto, con diferentes relaciones grava-arena como se observan en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3, respectivamente.

En caliza (fig. 4.1) se observa que sus pesos volumétricos máximos andan entre la relación grava-arena igual a 1.2 y 1.9, para andesita (fig. 4.2) entre 0.8 y 1.23, y para basalto (fig. 4.3) entre 1.15 y 1.35 aproximadamente. Generalizando, no se puede hablar de pesos volumétricos máximos puntuales porque aunque sea del mismo tipo de material (calizo, andesita y/o basalto), tienen diferente densidad, ya sea porque son de diferente banco de explotación o de diferente región.

Estos rangos dan una idea de por donde andan los límites, y apartir de esta información se propuso un plan de trabajo con varias variables y dejandolas a la vez constantes.

A continuación se presentán los resultados obtenidos en una forma que contiene; objetivo, notas, resultados y

DENSIDADES EN GR/CM³
(Miles)

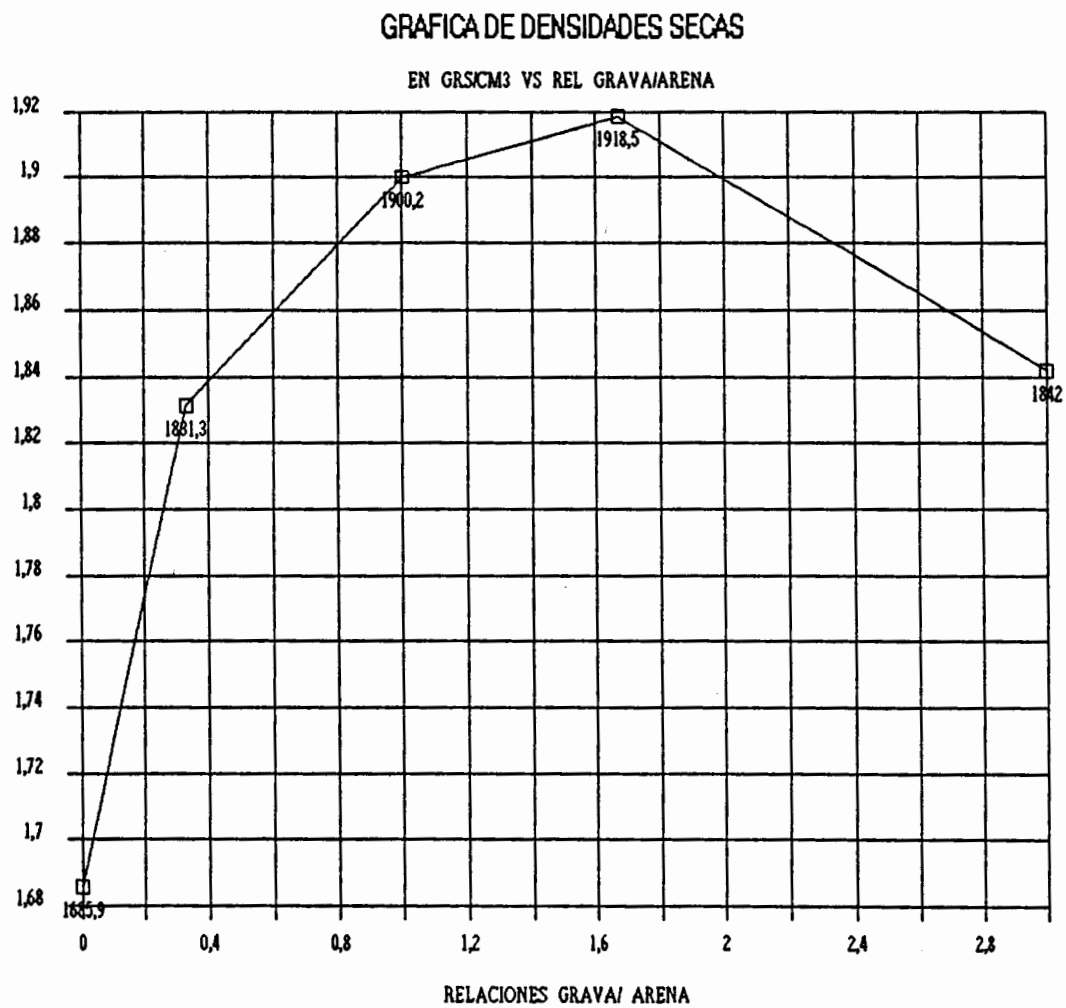


Fig. 4.1 Pesos Volumétricos para diferentes relaciones G/A, Caliza.

GRAFICA DE DENSIDADES SECAS

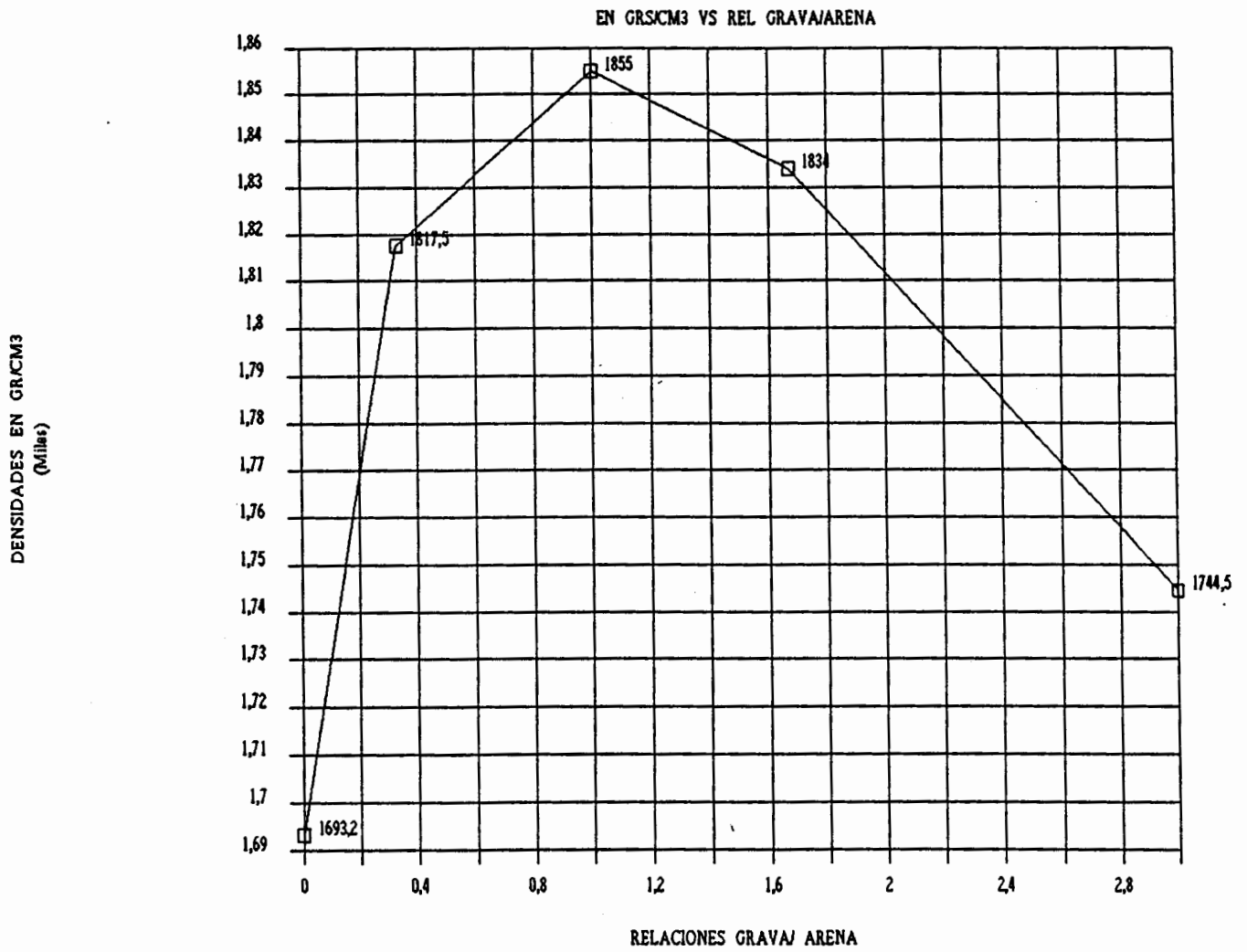


Fig. 4.2 Pesos volumétricos para diferentes relaciones G/A, Andesita

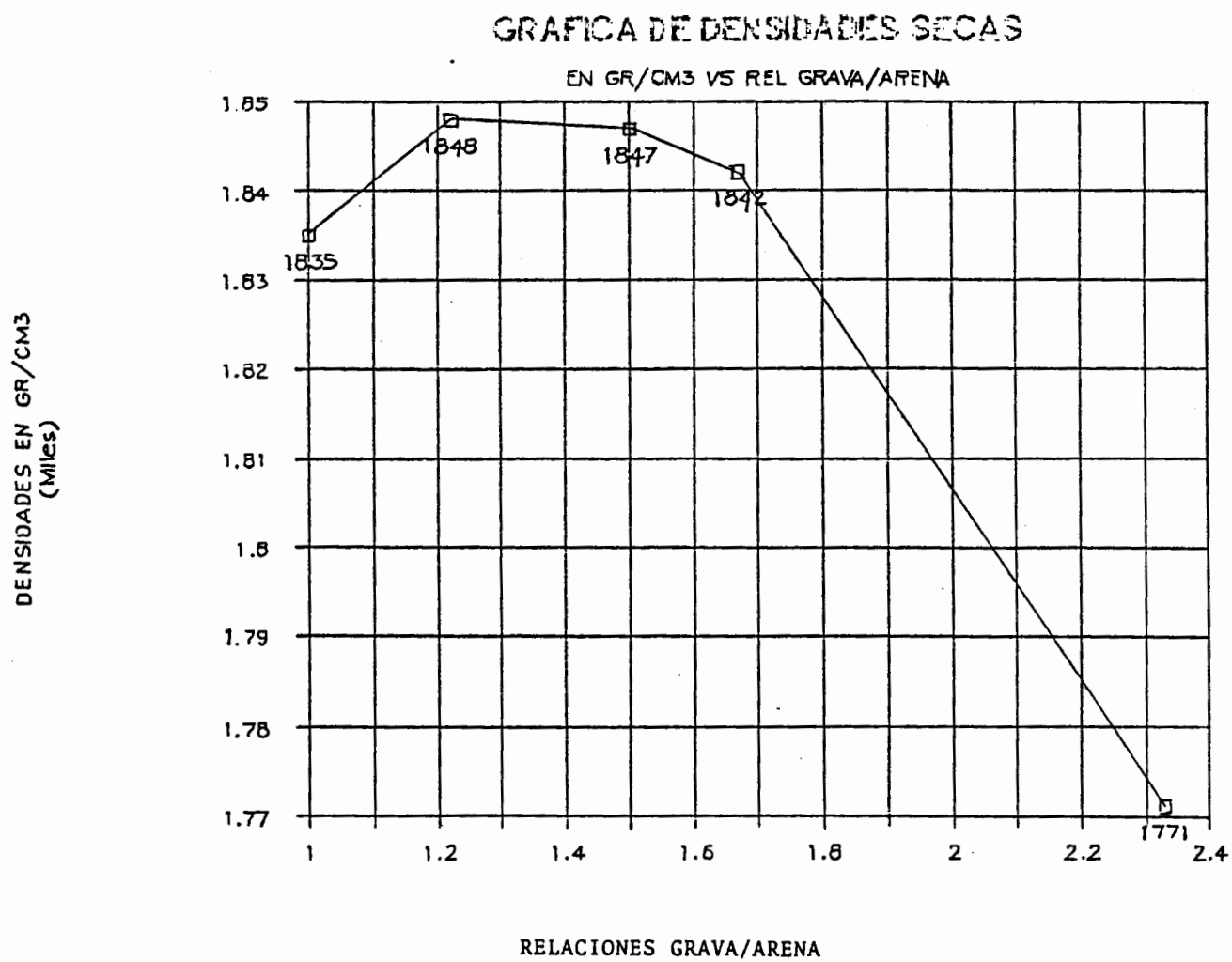


Fig. 4.3 Pesos volumétricos para diferentes relaciones G/A,
Basalto

conclusiones. En las notas se especifican los pesos sobrepuestos en la mezcla confinada en el molde, ésto es; un peso total de 34 kg dividido en cuatro partes, siendo estos pesos una de las variables. Otras variables son: tiempo de vibrado, el número de capas por cilindro, contenido de cemento, relación grava-arena y agua-cemento.

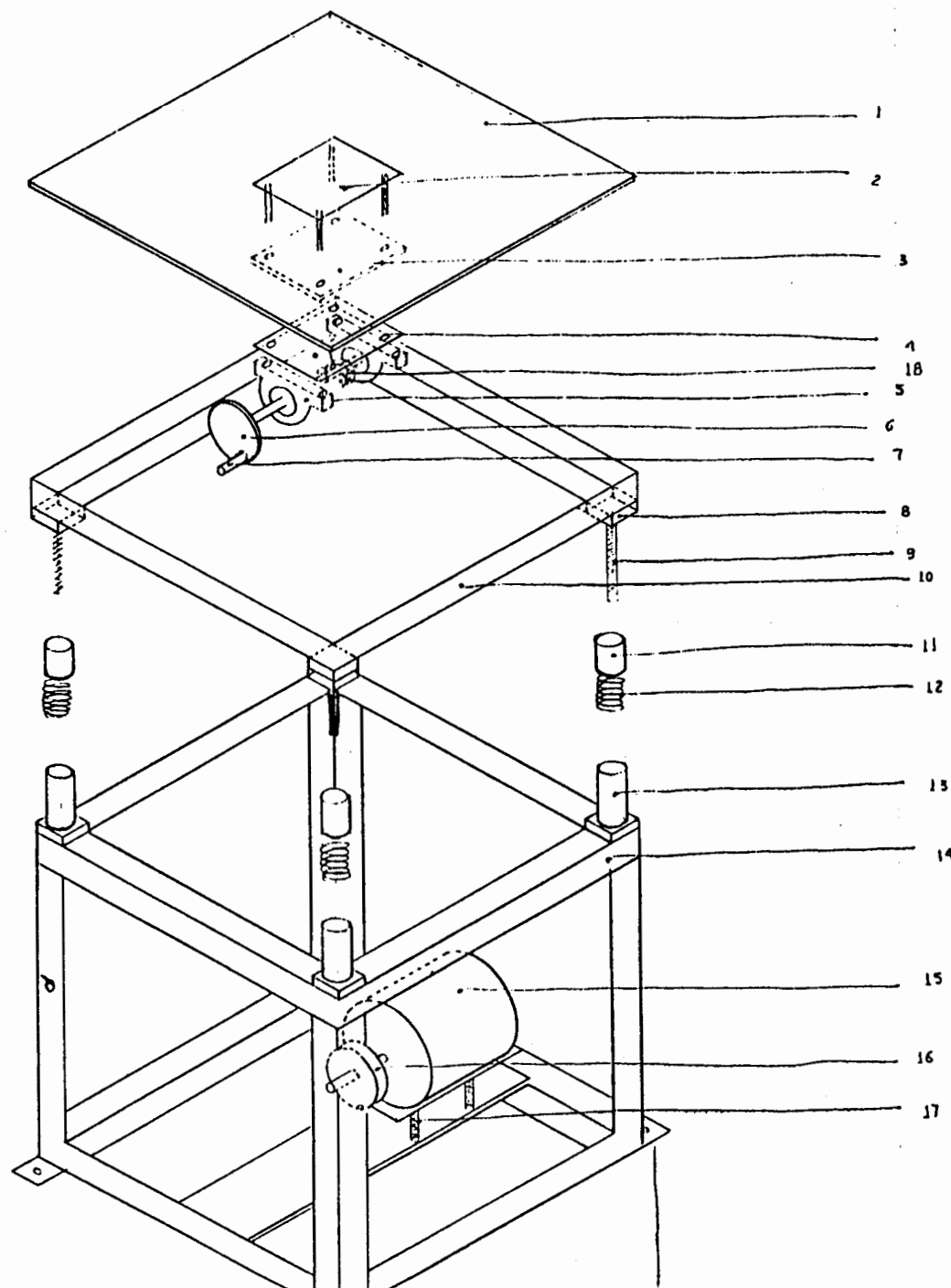
Se utilizaba la olla de mezclado (trompo) cuando se realizaban mezclas de 60 lt, y manual (con pala) cuando eran de 20 lt.

En la mayor parte del estudio se trabajo con material tipo calizo cuando no se especifica en las notas.

El consistómetro VeBe es un aparato que sirve para medir la consistencia del concreto, pero se utilizó para comparar la mezcla de CCR por vibrocompactación contra la mesa vibratoria (fig. 4.4).

Fig. 4.4 Mesa Vibratoria

- 1 BASE VIBRADORA
- 2 SCARTE DE VIBRADOR
- 3 PLACA DE NEOPRENO
- 4 BASE PARA CHUMACERAS
- 5 CHUMACERA
- 6 DISCO
- 7 CONTRAPESO
- 8 BASE SUPERIOR DE TENSOR
- 9 TENSOR PARA REGULAR VIBRACION
- 10 MARCO DE BASE VIBRADORA
- 11 CAMISA DE RESORTE (SUPERIOR)
- 12 RESORTE
- 13 CAMISA DE RESORTE (INTERIOR)
- 14 MESA
- 15 MOTOR
- 16 POLSA INTERIOR
- 17 TENSIADORES
- 18 PLEYA SUPERIOR
- 19 SUJETADORES
- 20 APAGADOR



MOTOR:

1 HP. DE FUERZA

MONOTASICO

4 POLOS

3600 R.P.M.

OBJETIVO:

COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 3 DIAS, PARA DIFERENTES RELACIONES A/C, ELABORADOS CON LA MESA VEBE Y LA MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- 4 PESOS
- TPO. 45 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- 1 CILINDRO ENSAYADO
- MEZCLA MANUAL
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M³, TIPO I, APASCO
- G/A = 1.2

A/C	F' _c (KG/CM ²)		Δ(%)
	VEBE	M. VIBRATORIA	
0.35	89	89	1.00
0.40	142	102	1.39
0.45	187	192	0.97

NOTAS:

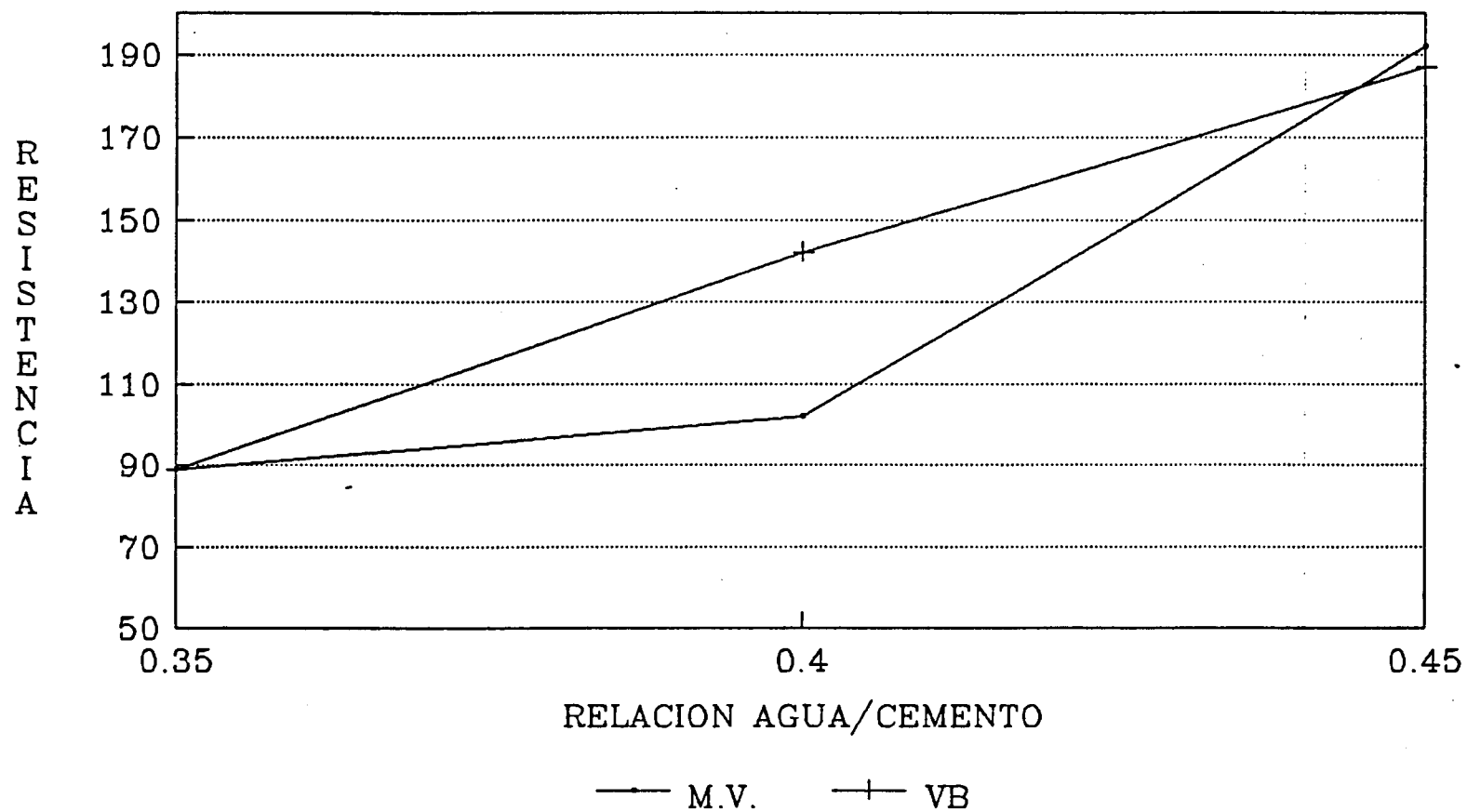
- 4 PESOS
- TPO. 60 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- 1 CILINDRO ENSAYADO
- MEZCLA MANUAL
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M³, TIPO I, APASCO
- G/A = 1.174

A/C	F' _c (KG/CM ²)		Δ(%)
	VEBE	M. VIBRATORIA	
0.35	83	98	0.85
0.40	114	166	0.69
0.45	201	256	0.79

CONCLUSION:

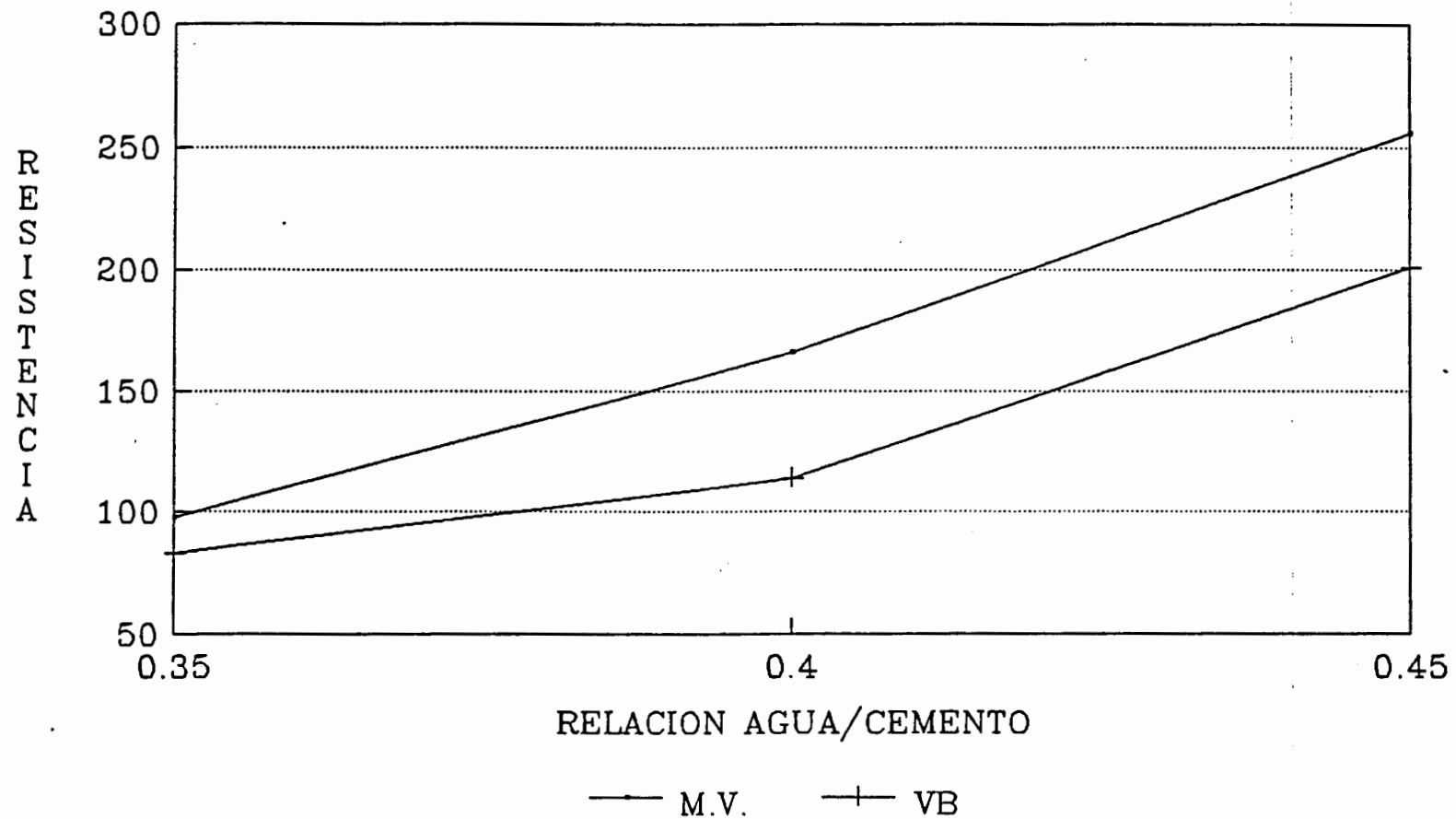
PARA UN TIEMPO DE 45 s LA DIFERENCIA EN RESISTENCIAS POR LAS MESAS NO ES NOTABLE. SIN EMBARGO AL AUMENTAR EL TIEMPO A 60 s SE OBSERVA EL INCREMENTO DE RESISTENCIA POR LA MESA VIBRATORIA.

COMPARACION DE RESISTENCIAS ENTRE LA VB Y LA M.V. A 3 DIAS (5/6/90)



4 SOBREPESOS, 45 s DE VIBRADO, 2 CAPAS
VARILLADAS 25 GOLPES, VALOR 1 CILINDRO

COMPARACION DE RESISTENCIAS ENTRE LA
VB Y LA M.V. A 3 DIAS (5/6/90)



4 SOBREPESOS, 60 s DE VIBRADO, 2 CAPAS
VARILLADAS 25 GOLPES, VALOR 1 CILINDRO

OBJETIVO:

COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 5 DIAS, PARA DIFERENTES PESOS Y TIEMPOS DE VIBRADO, ELABORADOS CON LA MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- 2 CAPAS, VARILLADO 25 GOLPES
- CADA VALOR ES PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA
- CONT. DE CEMENTO 350 KG/M^3 , TIPO I, APASCO
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

TIEMPO DE VIBRADO POR CADA CAPA (s)	F' _c (KG/CM ²)			
	No DE PESOS			
	1	2	3	4
45	258	227	151	150
60	278	244	191	134
75	276	-	-	180
90	288	-	-	240

TIEMPO DE VIBRADO POR CADA CAPA (s)	NORMALIZANDO LAS F' _c EN %			
	No DE PESOS			
	1	2	3	4
45	100	88	59	58
60	108	95	74	52
75	107	-	-	70
90	112	-	-	93

CONCLUSION:

A MAYOR TIEMPO DE VIBRADO MAYOR RESISTENCIA
A MAYOR No DE PESOS LA RESISTENCIA SE VE AFECTADA NOTORIAMENTE (DISMINUYE).

OBJETIVO:

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CON LA EDAD DEL CILINDRO. UTILIZANDO MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- 1 PESO
- TPO 75 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA, ORDEN DE ELABORACION ALEATORIA
- CONT. DE CEMENTO 350 KG/M^3 . TIPO I, APASCO
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

EDAD (DIAS)	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	157
7	276
14	169
28	383 { 433
	333
CURADO ACELERADO	199

CONCLUSION:

SE OBTIENE APROXIMADAMENTE UNA RESISTENCIA DE 1 KG/CM^2 POR CADA KILO DE CEMENTO A LA EDAD DE 28 DIAS.

OBJETIVO:

COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 7 DIAS CON DIFERENTE TIEMPO DE VIBRADO, UTILIZANDO LA MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

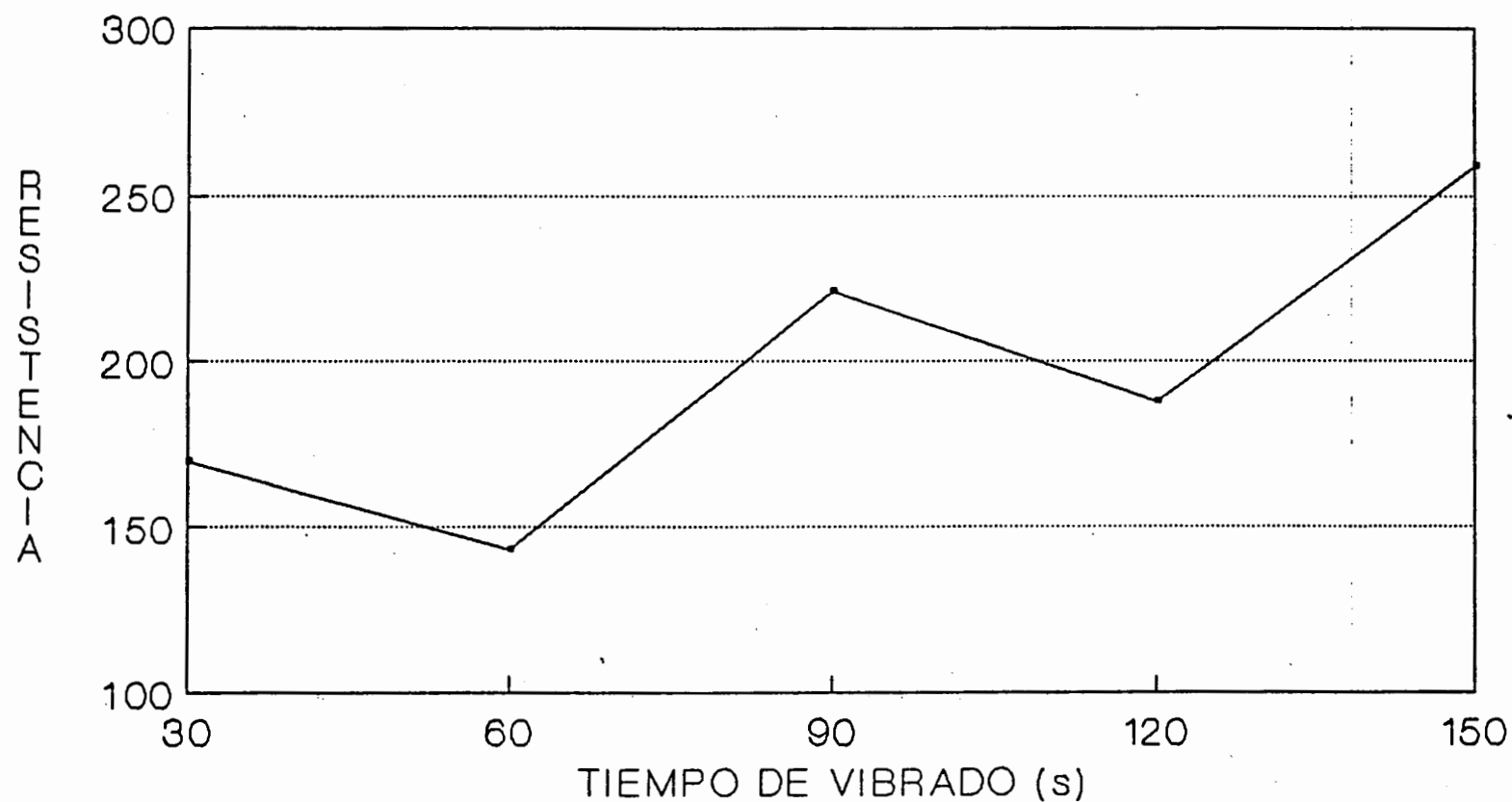
- 1 PESO
- 2 CAPAS, VARILLADAS 25 GOLPES
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA, ORDEN DE ELABORACION ALEATORIO
- CONT DE CEMENTO 350 KG/M^3 , TIPO I, APASCO
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

TIEMPO DE VIBRADO POR CADA CAPA (s)	$F'_c(\text{KG/CM}^2)$
30	170
60	143
90	221
120	188
150	259

CONCLUSION:

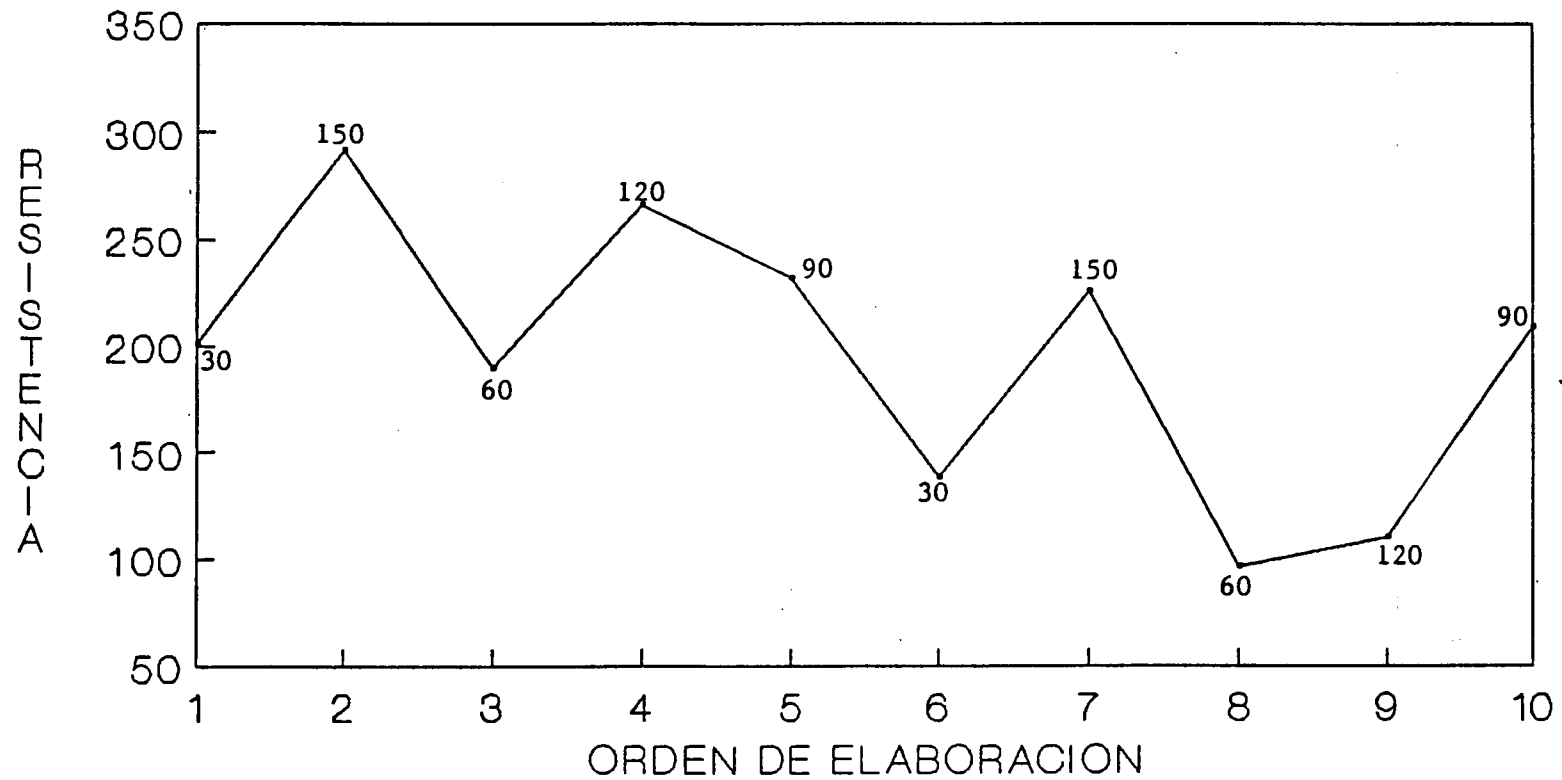
EN GENERAL A MAYOR TIEMPO DE VIBRADO LA RESISTENCIA ES MAYOR.

RESISTENCIA VS. TIEMPO DE VIBRADO
PROMEDIO DE 2 CILINDROS/TIEMPO (18/6/90)



CILINDROS EN 2 CAPAS
1 SOBREPESO/CAPA, EDAD 7 DIAS

RESISTENCIA VS ORDEN DE ELABORACION
PARA DISTINTOS TIEMPOS DE VIBRADO
(18/6/90)



CILINDROS EN DOS CAPAS
RESISTENCIA A 7 DIAS

OBJETIVO:

COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 7 DIAS CON DIFERENTES PESOS SOBREPUESTOS UTILIZANDO LA MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- TPO. 75 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA, ORDEN DE ELABORACION ALEATORIO
- CONT DE CEMENTO 350 KG/M³, TIPO I, APASCO
- G/A = 1.2
- A/C = 0.4

No DE PESOS	F' _c (KG/CM ²)
0	204
BASE	179
1	127
4	118
4*	109

CONCLUSION:

LA RESISTENCIA SE INCREMENTA A MENOR NUMERO DE PESOS

* PESOS SOBREPUESTOS CON ABRAZADERA

OBJETIVO:

OBTENCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 7 DIAS CON DIFERENTE RELACION PASTA-AGREGADO, UTILIZANDO MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- 1 PESO
- TPO 75 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MANUAL
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

% DE PASTA	CEMENTO, TIPO I, APASCO (KG/M ³)	F' _c (KG/CM ²)
20	260	170
24	312	177
27	350	274
30	389	267
35	454	284

CONCLUSION:

LA RESISTENCIA SE INCREMENTA A MAYOR PORCENTAJE DE PASTA.

OBJETIVO:

OBTENCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 7 DIAS, CON DIFERENTES CAPAS, UTILIZANDO MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- 1 PESO
- TPO 75 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M^3 , TIPO I, APASCO
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

No DE CAPAS (VARILLADA 25 GOLPES)	TIEMPO TOTAL (S)	E' (KG/CM^2)
1	75	248
2	150	274
3	225	286

1. CONCLUSION:

LA RESISTENCIA SE INCREMENTA A MAYOR NUMERO DE CAPAS Y EN TIEMPO DE VIBRADO

No. DE CAPAS (VARILLADA 25 GOLPES)	TPO. VIBR. POR C/CAPA	TIEMPO TOTAL (S)	F'_c (KG/CM^2)
1	150	150	282
2	75	150	274
3	50	150	257

2. CONCLUSION:

LA RESISTENCIA SE INCREMENTA PARA UN MISMO TIEMPO TOTAL DE VIBRACION AL HACERLO EN MENOS CAPAS. NOTESE QUE PARA 1 Y 2 CAPAS SE OBTUVIERON RESULTADOS SIMILARES.

OBJETIVO:

OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO ENTRE EL NUMERO DE CAPAS Y EL TIEMPO TOTAL DE VIBRACION.

NOTAS:

- 1 PESO
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M^3 , TIPO I, APASCO
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

# DE CAPAS	TPO. VIBR. POR C/CAPA	TIEMPO TOTAL (S)	F'_c (KG/CM^2)
1	75	75	248
1	150	150	282
3	50	150	257
3	75	225	286

3. CONCLUSION:

PARA LA MISMA CANTIDAD DE CAPAS Y MAYOR TIEMPO TOTAL DE VIBRACION, MAYOR RESISTENCIA.

OBJETIVO:

DETECTAR EL TIEMPO NECESARIO PARA COMPACTAR LA MEZCLA POR EL ACUMULAMIENTO DE MORTERO EN LA SUPERFICIE DE CADA CAPA BASANDOSE EN OBSERVACION DIRECTA.

NOTAS:

- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- VALOR PROMEDIO DE 2 CILINDROS
- MEZCLA MECANICA
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/CM², TIPO I, APASCO
- G/A = 1.2
- A/C = 0.4

# DE PESOS	TIEMPO NECESARIO DE COMPACTACION (S)	F' _c (KG/CM ²)
1	45	270
2	30	244
3	40	162
4	32	225

CONCLUSION:

EL TIEMPO MINIMO NECESARIO PARA LA SUPUESTA COMPACTACION SE ENCUENTRA EN EL RANGO DE 30 A 45 SEGUNDOS POR CAPA. Y SE SIGUE OBSERVANDO LA TENDENCIA DE QUE A MENOR NUMERO DE PESOS MAYOR RESISTENCIA.

OBJETIVO:

OBTENCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 7 DIAS, SEGUN EL TIEMPO DE ELABORACION, UTILIZANDO ADITIVO PLASTIMENT N, (SIKAMEX) EN LA PRIMERA MEZCLA, Y EN LA SEGUNDA NO, UTILIZANDO MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

- 1 PESO
- TPO 200 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 1 CAPA, VARILLADA 25 GOLPES
- 1 CILINDRO ENSAYADO
- MEZCLA MECANICA
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M^3 , TIPO I, APASCO
- $G/A = 1.2$
- $A/C = 0.4$

TPO DE ELABORACION (MIN)

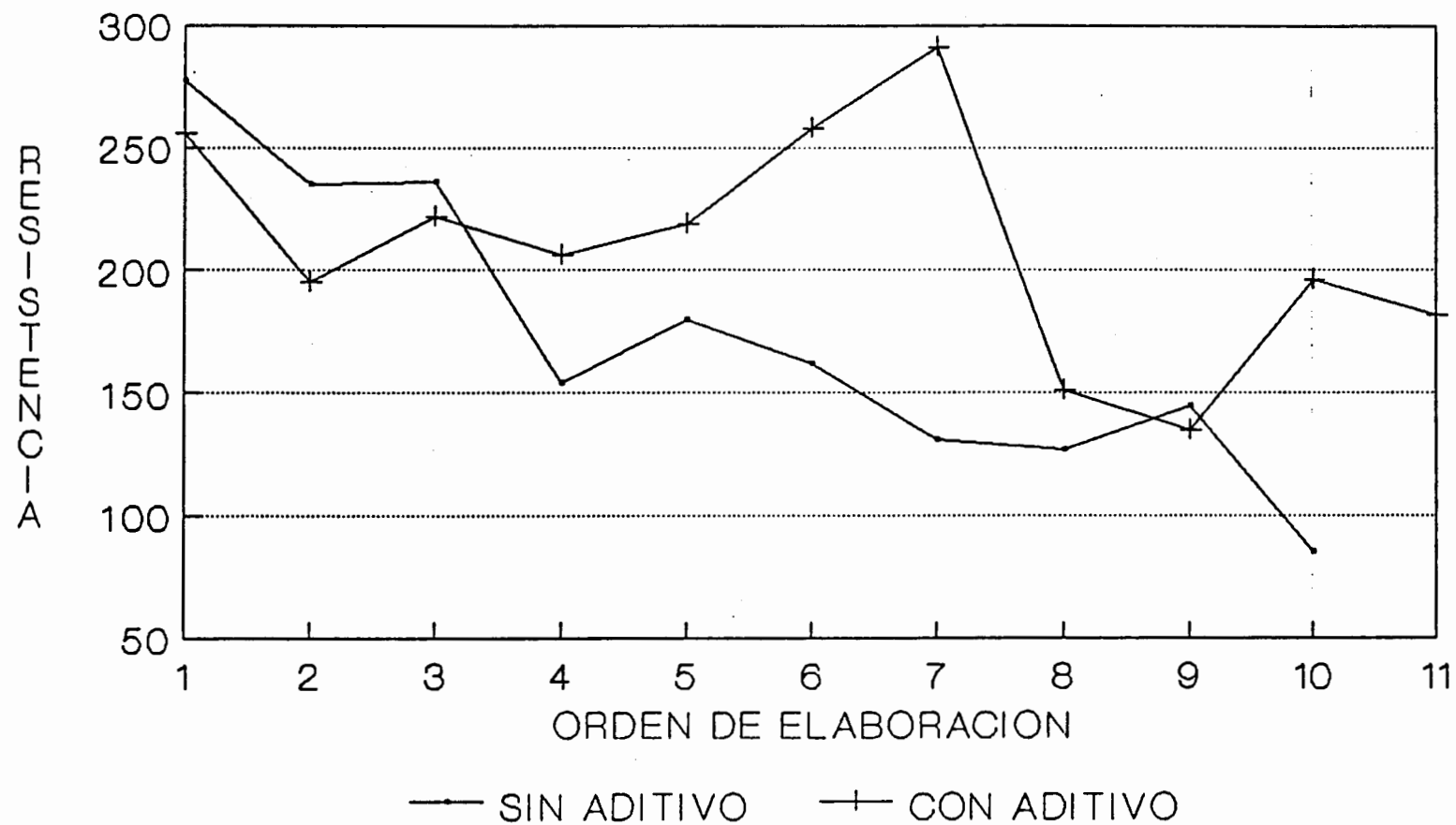
$F'_c(\text{KG/CM}^2)$

	S/ADITIVO	C/ADITIVO
12	277	256
24	235	195
36	236	222
48	154	206
60	180	219
72	162	258
84	131	291
96	127	151
108	145	135
120	85	196
$\bar{X} =$	173	210

CONCLUSION:

UTILIZANDO EL ADITIVO, EXISTE UN RETARDO EN LA PERDIDA DE RESISTENCIA COMO SE OBSERVA EN LA SIGUIENTE GRAFICA.

ORDEN DE ELABORACION VS. RESISTENCIA (2/7/90)



1 SOBREPESO, 1 CAPA, 200 s DE VIBRADO
SE OBSERVARON GRIETAS Y OQUEDADES EN
LAS PROBETAS

OBJETIVO:

OBTENCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CILINDROS ENSAYADOS A LA EDAD DE 28 DIAS, SEGUN EL TIEMPO DE ELABORACION, UTILIZANDO ADITIVO PLASTIMENT N, (SIKAMEX) EN LA PRIMERA MEZCLA, Y EN LA SEGUNDA NO, UTILIZANDO MESA VIBRATORIA (60 HZ).

NOTAS:

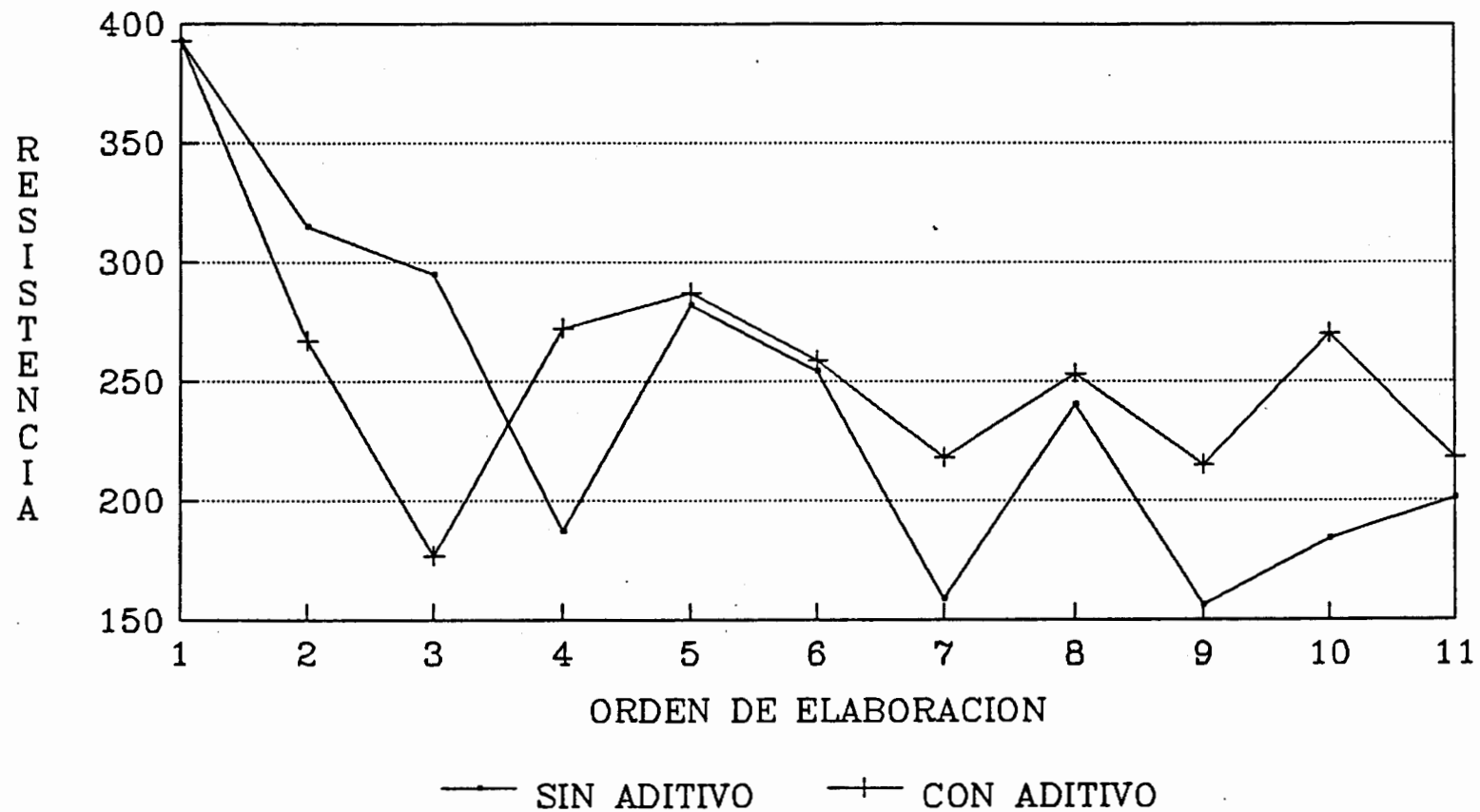
- 1 PESO
- TPO 200 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 1 CAPA, VARILLADA 25 GOLPES
- 1 CILINDRO ENSAYADO
- MEZCLA MECANICA
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M³, TIPO I, APASCO
- G/A = 1.2
- A/C = 0.4

TPO DE ELABORACION (MIN)	F' _c (KG/CM ²)	
	S/ADITIVO	C/ADITIVO
10	393	393
20	315	267
30	295	177
40	187	272
50	282	287
60	254	259
70	159	218
80	240	253
90	156	215
100	184	270
110	201	218
	$\bar{X} =$ 242	257

CONCLUSION:

UTILIZANDO EL ADITIVO, EXISTE UN RETARDO EN LA PERDIDA DE RESISTENCIA COMO SE OBSERVA EN LA SIGUIENTE GRAFICA.

ORDEN DE ELABORACION VS. RESISTENCIA (3/7/90)



1 SOBREPESO, 1 CAPA, 200 s DE VIBRADO
SE OBSERVARON GRIETAS Y OQUEDADES EN
LAS PROBETAS

OBJETIVO:

COMPARACION DE RESISTENCIAS VARIANDO LA RELACION GRAVA-ARENA, CON DIFERENTES MATERIALES Y CEMENTOS, ENSAYADOS A LA EDAD DE 7 DIAS.

NOTAS:

- 1 PESO CON ABRAZADERA
- TPO 75 s DE VIBRADO POR CADA CAPA
- 2 CAPAS, VARILLADA 25 GOLPES
- VALOR PROMEDIO DE 3 CILINDROS
- MEZCLA MANUAL
- CONTENIDO DE CEMENTO 350 KG/M³

		F'c(KG/CM ²)						
		CALIZA				BASALTO	ANDESITA	
REL. G-A	G/A	CEM.T-I, APASCO			CEM.T-II, C. A.	CEM.T-I, APASCO	CEM.T-I, APASCO	CEM.T-II C. A.
		A/C						
		0.40	0.35	0.30	A/C=0.4	A/C=0.4	A/C=0.4	A/C=0.4
50-50	1	217	—	—	—	—	—	—
54-46	1.2	234	155	125	198	210	200	216
60-40	1.5	241	—	—	—	—	—	—

CONCLUSION:

A MAYOR RELACION GRAVA-ARENA MAYOR RESISTENCIA,
Y A MENOR RELACION AGUA/CEMENTO LA RESISTENCIA ES
MENOR.

NO HAY DIFERENCIAS APRECIABLES EN RESISTENCIA AL
CAMBIAR DE MATERIAL Y MARCA DE CEMENTO.

5. CONCLUSIONES GENERALES

En la actualidad existen equipos en el mercado para producir, transportar, extender y compactar de una manera homogénea las mezclas de CCR a base de cemento portland con cero revenimiento. La selección de estos equipos será función directa del tipo de proyecto (urbano o carretero), tamaño de la obra, tiempo de ejecución, recursos económicos disponibles, localidad o país donde se realizará la obra, servicios que presenten las empresas fabricantes en la reparación o suministro de partes de sus equipos, y otras variables que están involucradas de forma directa o indirecta con el proyecto.

Las conclusiones generales de los resultados son:

- 1.- La resistencia mayor se obtuvo con la mesa vibratoria.
- 2.- A mayor tiempo de vibrado mayor resistencia, no encontrándose el declive de la resistencia.
- 3.- A menor número de pesos la resistencia es mayor.
- 4.- Se obtiene aproximadamente una resistencia de 1 kg/cm^2 por cada kilo de cemento a la edad de 28 días.
- 5.- En la gráfica de: resistencia vs orden de elaboración para distintos tiempos de vibrado (18/6/90), hay una disminución de la resistencia por el tiempo transcurrido desde el inicio hasta el final de la elaboración del cilindro (2 hr). Por tanto se recomienda trabajar con mezclas manuales de pequeñas cantidades para una batchada (20 lt).
- 6.- A mayor contenido de cemento mayor resistencia.
- 7.- Tiempo mínimo para la vibrocompactación de 30 seg/capa.
- 8.- Se recomienda utilizar aditivo para el retardo del fraguado del CCR, para no perder resistencia en el tiempo de trabajo (gráficas: 2/7/90 y 3/7/90).

Todos los estudios y ensayos previos de los materiales no deben verse de manera puntual, sino de una manera conjunta y ponderal, donde la experiencia y criterio del profesional juega un papel importante.

Las pruebas de laboratorio, tendrán que acercarse más a los procedimientos que se realizan en la práctica pues varios de ellos distán mucho de representar las condiciones reales de la obra.

La implementación de nuevas tecnologías conlleva a incurrir en una serie de éxitos y fracasos, que con el tiempo, el cúmulo de los resultados ya normalizados, pondrán en punta los lineamientos que se requieren para revolucionar y conseguir más y mejores vías de comunicación carretera.

Estos resultados son la base preliminar para seguir realizando un mejor estudio tanto en lo experimental como en lo teórico y así obtener proporcionamiento adecuado de mezclas para cualquier tipo de material.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Rollings, R.S. "Desing of Roller Compacted Concrete Pavements", pp 454-466.
- 2.- Ragan, S.A. "Proportioning RCC Paviment Mixtures", pp 380-393.
- 3.- Winthrow, H. "Compaction Parameters of Roller Compacted Concrete" pp 123-135.
- 4.- Schweizer, E. y Raba, G.W. "Roller Compacted Concrete with Marginal Aggregates", pp 419-428.
- 5.- Pittman, D.W. "RCC Pavement Construction and Quality Control", pp 438-453.
- 6.- Keifer, O.Jr. "Corps of Engineers Experience with RCC Paviments", pp 429-437.
- 7.- Hess, J.R. "RCC Storage Pads at Tooele Army Depot, Utah", pp 394-409.
- 8.- Delva, K.L. "Rennick Yard RCC Paviment Desing and Construction" pp 410-418.
- 9.- Brett, D.M. "RCC Paviments in Tasmania, Australia", pp 369-379.
- 10.- Jafre, C. et al "Spanish Experience with RCC Paviments", pp 467-483.
- 11.- Figueroa, D.G. "Pavimento de Concreto Compactado con Rodillos (CCR)", Constucción y Tecnología, IMCYC; Vol 1. No. 5 Octubre 1988.
- 12.- Del Val, M.A., "Criterios de Calidad para el proyecto y construcción", VI Curso Internacional de Carreteras, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica

de Madrid, Junio de 1990.

13.- Jofre, C., "Hormogón Compactado con Rodillos", VI Curso Internacional de Carreteras, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Junio de 1990.

14.- Literatura Técnica, Beta Machinery Group, BMG, Corporation, 909 Industry Drive, Seattle, WA 9818, U.S.A., Febrero de 1990.

15.- Literatura Técnica, ROSS COMPANY, Box 70, Brownwood, Texas 76804, U.S.A., Febrero de 1990.

16.- Literatura técnica, ARAN EQUIPMENT INC., 20202 HWY. 59 North, Suite 160, Humble Texas 77338, U.S.A., Febrero de 1990.

17.- Literatura técnica, Davis Pugmill, INC., 212 Cemetery Ave., Columbia, TN 38402, U.S.A., Febrero de 1990.

18.- Manual BARBER-GREENE Europa B.V., Melkmarkt 2, Zwoolle, The Nether Lanas, Febrero de 1990.

19.- Literatura técnica, Talleres Caminero, S.A., TACAL, Antoñita Jiménez 46, 28019 Madrid, España, Febrero de 1990.

20.- ABG Publication, "Roller Compacted Concrete, RCC", P.O. Box 647, D-3250 Hameln 1, W. Germany, Febrero de 1990.

21.- Construction Industry International, Dicember de 1987.

22.- ABG Report 36, "RCC Construction at the port of Tacoma, Washington, U.S.A., Julio de 1985.

23.- Fernandez, S.R. "Jornadas sobre pavimentos de hormigón (1984: Cordoba). Madrid, Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 1984. p. 190.

F/DEPFI/TI 1/1990/B



717773