

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil



ESTUDIO
SOBRE
CONCRETOS CELULARES

T E S I S

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

Ricardo León VELARDE HUAPAYA

Lima - Perú

1984

INDICE

	pág.
Introducción	
CAPITULO 1. ASPECTOS TECNICOS	
1.1. Definición	01
1.2. Composición	02
1.3. Clasificación	06
1.4. procesos de fabricación	07
1.5. Aplicaciones	13
1.6. Propiedades físicas	15
1.7. Plan de trabajo	21
CAPITULO 2. ANALISIS DE MATERIALES	
2.1. Cemento	23
2.2. Agregados	25
2.3. Agua de mezclado	29
2.4. Agente espumante	29
CAPITULO 3. DOSIFICACION DE MEZCLAS	
3.1. Método de diseño de mezclas	31
3.2. Procedimiento de mezclado	33
3.3. Procedimiento para los ensayos ..	35
3.4. Dosificaciones estudiadas	37
CAPITULO 4. ENSAYOS REALIZADOS	
4.1. Resultados en concreto fresco y endurecido	46

pág.

4.2. Resúmenes y gráficos120

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones131

5.2. Recomendaciones135

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Los concretos celulares, gaseados, espumosos o aereados, son un tipo de concreto liviano que tiene la particularidad de que su liviandez se logra formando burbujas de aire o gas en la mezcla, ya sea por medio de una inclusión de una espuma o agente espumante o por reacción química. Han sido estudiados desde los años '20 y a significado un gran aporte en la industria de la construcción especialmente en los países europeos de climas frios, como Suecia, Gran Bretaña, Alemania, Rusia y en América, E.E.U.U. de N.A.

En nuestro país se han realizado estudios sobre los concretos livianos, en base al aprovechamiento de algunos agregados livianos existentes, de agregados que han sufrido un proceso o de no incluir agregado fino. Aún así, el uso de los concretos livianos con fines estructurales o no, es limitado.

Con el propósito de continuar con los estudios que me han precedido, pretendo en el presente trabajo de investigación dar el primer paso para el conocimiento de este tipo de concreto liviano. Por tal motivo, se ha dividido el tema en dos partes: teórica y práctica; en la primera parte que abarca el capítulo 1, se pretende en forma sucinta dar explicación de la definición, composición, procesos de fabricación, aplicaciones, propiedades físicas, etc., sobre estos

concretos; en la segunda parte, capítulos del 2 al 4, se muestran los resultados de la elaboración de concretos celulares realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales No.1 de la U.N.I. empleando agregados finos locales y siguiendo las recomendaciones del ACI. Finalmente, se indican las conclusiones obtenidas y las recomendaciones pertinentes.

CAPITULO 1

ASPECTOS TEORICOS

1.1.- Definición

El concreto celular es un material liviano compuesto de una pasta o mortero de cemento y/o cal, que presenta una estructura "celular" conformada por múltiples celdillas o vacíos llenos de aire o gas de forma esférica y uniformemente distribuidas.

Dependiendo de su forma de obtención tiene diferentes denominaciones. Así, cuando se le obtiene por un proceso químico, se le conoce como "concreto gaseado"; cuando se le obtiene por medio de un agente inclusor de aire, se le conoce como "concreto espumoso". Más usualmente se le llama "concreto aereado".

La primera patente sobre la elaboración de un concreto celular data de 1914. Se le comenzó a producir comercialmente en 1929 en Suecia, difundiéndose su uso en los demás países europeos, Rusia y Estados Unidos de Norteamérica.

Se caracteriza por contener una considerable cantidad de material rico en sílice y que no incluye por lo general agregado grueso.

1.2.- Composición

En forma genérica, el concreto celular se compone del siguiente modo:

Ligante + Agente químico o + Agua de + Aditivo
Agente espumante mezclado

+ Agregado fino o
Material de relleno.

1.2.1. Ligante

Se emplean los cementos Portland que cumplen las especificaciones de las normas ASTM C150 "Portland Cement" ("Especificaciones para el Cemento Portland"), ó C595 "Blended Hydraulic Cements" ("Cementos Hidráulicos Combinados").

Otro ligante empleado es la cal viva o hidratada, que puede usarse ya sea sólo o mezclada con el cemento, preferentemente en los concretos celulares con curado en autoclave.

Se economiza ligante haciéndose uso de las puzolanas del mismo modo que en los concretos normales. Una puzolana se define como un material rico en sílice y/o alúmina que por si sola posee poca o ninguna propiedad cementante, pero que finamente molida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente formando compuestos con propiedades cementantes.

1.2.2. Agente químico; agente espumante

Los agentes químicos más usados son: el polvo de aluminio y el peróxido de hidrógeno. El polvo de aluminio al reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio, presente en la mezcla al reaccionar el cemento con el agua, o con hidróxido de sodio añadido a la mezcla, libera gas hidrógeno. Igualmente el peróxido de hidrógeno al reaccionar con hipoclorito de calcio, libera gas oxígeno.

Los agentes espumantes son usualmente una forma de proteína hidrolizada, un activador sintético de la superficie, un jabón resinoso, o una combinación de estos. El término "espumante", nos indica una relativamente alta proporción de aire, en forma de burbujas.

Los agentes espumante trabajan como aditivos incorporadores de aire, pero añadiendo altos contenidos. Estas partículas de aire alcanzan diámetros cien veces mayor al de los poros capilares de la pasta de cemento y son del orden de 0.05 a 1.25 mm, separados en intervalos menores o iguales a 0.4 mm y uniformemente distribuidos en la masa. Los agentes espumantes reducen la tensión superficial en la interfase agua-aire, formando burbujas estables que no colapsan.

1.2.3. Agua de mezclado

El agua de mezclado será limpia y bebible; aguas no bebibles pueden ser usadas siempre y cuando se obtengan morteros que alcancen por lo menos resistencias a los 7 y 28 días, de morteros hechos con agua potable, para lo cual se usaría la norma ASTM C109, "Compressive Strength of Hydraulic Cements Mortars"("Resistencia a la Compresión de Morteros de Cementos Hidráulicos"), de 90%.

1.2.4. Aditivos

Pueden ser usados aditivos que proporcionan cambios específicos de las propiedades del concreto fresco o endurecido, cuando así se desee. Se deberán seguir las especificaciones de las normas ASTM C260, "Air-Entraining Admixtures"("Aditivos Incorporadores de Aire") y ASTM C494, "Chemical Admixture"("Aditivos Químicos") para la aceptación de éstos. Así mismo, se cumplirán las recomendaciones del Comité 212 del ACI, "Admixtures for Concrete"("Aditivos para el Concreto").

Al usarse uno o más aditivos a la vez, se determinará por ensayos la compatibilidad de éstos entre sí y con los demás ingredientes del concreto celular.

Se usan más frecuentemente los acelerantes de fragua y de las resistencias iniciales.

Consideramos tambien como aditivos, a las fibras de vidrio y de acero, que cumplen la función específica de evitar las posibles formaciones de grietas por cambios de temperatura o pérdida de humedad. Para el uso adecuado de éstas, se podrá revisar el reporte del ACI C544, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete"("Reporte Actual sobre los Concretos Reforzados con Fibras").

1.2.5. Agregado

Se usarán los agregados finos que cumplen las especificaciones de las normas ASTM C33, "Aggregates for Concrete"("Agregados para el Concreto") y C144 "Aggregates for Masonry Mortars"("Agregados para los Morteros de Albañilería").

No se emplean los agregados gruesos, porque no pueden ser suspendidos fácilmente por las burbujas de gas o aire del concreto celular.

En general, se podrá usar cualquier tipo de arena natural o manufacturada. Estas últimas son un subproducto del chancado de piedra, o de las escorias de hierro de alto horno enfriadas al aire. Igualmente pueden usarse arenas provenientes de los agregados livianos o manufacturados, como: la piedra pómez, el tufo, la arcilla expandida, la pizarra expandida, etc.

Las arenas muy finas no cumplen las especificaciones del ASTM, pero pueden ser usados siempre que se demuestre por ensayos que producen concretos de la densidad, resistencia y otras propiedades, deseadas.

Asi mismo, los materiales puzolánicos como: polvo de ladrillo, ceniza volcánica, residuos de vidrio pulido, tierra de diatomeas, residuos de aceite quemado, etc., cumplen el papel de material complementario o de agregado, cuando se usan en grandes proporciones.

1.3.- Clasificación

Una clasificación basada en el método de curado, estipula que hay dos tipos: concreto celular de curado húmedo y concreto celular de curado en auto-clave; cada tipo difieren considerablemente en sus propiedades. Para cada tipo se haría una segunda clasificación, según la densidad, composición, preparación y uso. Tenemos así: por la densidad obtenida, concretos celulares de muy baja densidad, de densidad intermedia y de densidad alta.

1.3.1. Concretos celulares de muy baja densidad

Son aquellos que alcanzan densidades del orden de 400 k/m^3 . No soportan cargas. Se preparan de pasta

sola de cemento o mezclado con un agregado muy fino. Se preparan mediante un método químico o el de la espuma pre-formada. Se les usa para aislamiento térmico.

1.3.2. Concretos celulares de densidad intermedia

Abarcan densidades en el rango de 640 a 960 k/m^3 . Pueden soportar cargas pequeñas. Se prepara en forma similar a los anteriores, mezclándolo con arena muy fina o que ha sido molida. Se les usa para el recubrimiento de pisos, paredes y azoteas.

1.3.3. Concretos celulares de densidad alta

Su rango de densidad es de 1280 a 1440 k/m^3 . Pueden soportar cargas por lo que se les usa en elementos pre-fabricados. Se les fabrica usando arena natural en proporciones tan altas como 1:4 (peso a peso), respecto al cemento, prefiriéndose usar el método de la espuma formada durante el batido.

La clasificación indicada es solamente tentativa, pues se podrán encontrar concretos celulares con diferentes combinaciones de los factores indicados.

1.4.- Procesos de Fabricación

Los concretos celulares básicamente se fabrican de dos modos: por un proceso químico y por un proceso espumante. Existe otro método, el del agua en exceso, que se describe al final.

1.4.1. Procesos químicos

Mediante este proceso, una cantidad dada de sustancias químicas reaccionan químicamente con otras sustancias intrínsecas a la pasta de cemento y/o cal o añadidas a la mezcla, para liberar un volumen determinado de gas.

Son conocidos los sgtes: método del polvo de aluminio, método del peróxido de hidrógeno, otros métodos como el del polvo de zinc, magnesio, calcio, etc. o de la mezcla de polvo de aluminio y carburo (libera hidrógeno y acetileno) que resultan ser más expansivos y su uso más difícil.

Método del polvo de aluminio

El polvo de aluminio que es un material muy usado en la industria, se le emplea en la fabricación del concreto celular del sgt. modo: se añade una cantidad pre-fijada al cemento, mezclándolo en seco, o cuando se tiene una pasta ya preparada. Para acelerar la reacción química se añade al final hidróxido de sodio.. La reacción química viene dada por la ecuación:



y cuando se añade el hidróxido de sodio:



El hidróxido de calcio resulta al reaccionar el cemento con el agua del sgt. modo:



Para la mayor efectividad del método, se tendrá en cuenta la finura(aprox. 50 micrones), pureza y aglomeración de las partículas de aluminio; la proporción del hidróxido de sodio (2 a 3 veces en peso del aluminio); y las precauciones para evitar la fuga de gas antes del endurecimiento. Será conveniente un estricto control de la temperatura, por lo que la producción se hará preferentemente en fábricas adecuadas; aún así , cabe esperarse que sea difícil de controlar la densidad del producto terminado.

Los moldes deberán ser llenados hasta cierta altura, para prevenir la expansión producida por el aluminio y se ayudará a estabilizar la estructura celular mediante un agente espumante.

Método del peróxido de hidrógeno

Se añade a la mezcla peróxido de hidrógeno junto con hipoclorito de calcio que reaccionan entre sí para generar gas oxígeno y cloruro de calcio(aceelerante de fragua).

La reacción viene dada por la ecuación:



Se buscará estabilizar la estructura celular empleando un agente espumante. La expansión es más rápida, incluso durante el batido, lo cual permite controlar la densidad buscada antes del endurecimiento.

Se tomarán precauciones con los moldes y aceros de refuerzo, contra la acción corrosiva del oxígeno y cloruro de calcio; por ejemplo se podrán usar moldes de material anticorrosivo y proteger los aceros de refuerzo con una capa de un producto asfáltico o con lechada de cemento.

1.4.2. Procesos espumantes

Son los procesos que emplean solo agentes espumantes y la generación de partículas de aire, se hace aplicando un fuerte batido o añadiendo una espuma pre-formada. Para lo cual se requieren mezcladores rápidos o equipos accionados por aire comprimido.

Método de la espuma generada durante el batido

Este método consiste en añadir junto con los demás ingredientes un agente espumante según las indicaciones del fabricante. El batido deberá ser muy

vigoroso, por lo que se preferirá usar mezcladores con velocidades graduables de 30 a 90 rpm. Se tratará de obtener una masa de consistencia cremosa y de fácil vertido. Para mejorar la eficiencia del batido, se podrá inyectar aire comprimido directamente a la masa.

Los moldes son llenados dándoles un exceso, que compense las posibles pérdidas de agua en sus bases y por lo tanto de espuma.

Las cantidades de agente espumante se obtienen según pruebas tentativas, respetandose las indicaciones del fabricante.

El batido no se prolongará más del tiempo necesario, por el peligro de que la densidad buscada cambie.

Método de la espuma pre-formada

Se prepara un volumen de espuma que introduzca el volumen de aire deseado. La espuma tiene una densidad que varía de 32 a 80 k/m^3 ; su peso es debido al agua que rodea las burbujas de aire. Se obtiene la espuma de soluciones del agente espumante al 3 ó 4%, según el producto usado.

Con este método se ahorra agente espumante y su empleo nos dá más confianza en obtener la densidad deseada.

Los aparatos generadores de espuma se asemejan a los extinguidores contra incendio; consisten de un compresor de aire conectado tanto a un depósito que contiene la solución del agente espumante, como a una boquilla de expansión graduable que comunica al exterior. La espuma formada se añade por medio de una manguera flexible a un mezclador de concreto del tipo de platillos o paletas, que contenga un mortero de consistencia semi-plástica; alternativamente la espuma pre-formada puede ser colocada en el mezclador con el agua, añadiéndose luego los demás ingredientes. Conociéndose la relación entre el volumen de la espuma y el volumen de aire que incorpora, bastará con medir el tiempo de ver-tido para obtener una densidad deseada. Constante-mente se controlará la densidad de la espuma y descontar el agua presente en la espuma del agua de mezclado.

1.4.3. Método del agua en exceso

Consiste en emplear altos contenidos de agua del orden de 1.2 a 8.0 (relaciones agua: sólidos). Se emplea la cal (viva o hidratada) o cemento; sílice, esquisto o pizarra finamente molidos; materiales re-tentores de agua como fibras de asbestos o tierra de diatomeas; se llevan a un curado en autoclave. Se obtienen densidades muy bajas.

No se tienen muchas referencias sobre este método.

1.5.- Aplicaciones

El concreto celular tiene aplicaciones como material colado "in situ" y como material pre-fabricado. Como material vaciado "in situ" se le emplea para dar aislamiento térmico a tuberías de calefacción enterradas y pisos de cámaras frigoríficas. Para dar aislamiento térmico y acústico a techos, paredes y pisos.

Para los rangos de densidad más altos, se le usa en el vaciado "in situ" de paredes, pisos y techos; en elementos pre-fabricados como paneles para paredes y pisos, reforzados con mallas de acero si alcanzan dimensiones grandes, o cumplen funciones estructurales como dinteles y elementos a flexión que son usados generalmente en los techos de naves industriales, viviendas, edificios públicos y comerciales.

También se le usa en la fabricación de bloques de albañilería, alcanzando densidades de 400 a 800 k/m^3 , y resistencias necesarias para ser usados como muros portantes. Su fabricación alcanza altos niveles industriales; requiriéndose instalaciones para curado en autoclave. Cito por ejemplo el siguiente anuncio aparecido en la revista Concrete Plant and Production, Feb. 1983, p 153:

"Se lanza al mercado el nuevo producto denominado S-Block, como el bloque ideal para naves industria

les, almacenes y edificios comerciales. Son bloques de cara lisa y color blanco, que no requieren mayor acabado que el de ser asentados con mortero blanco; se consigue por su color una mejor distribución de la luz natural. Se fabrica en medidas: 600 x 225 x 100, 150 ó 200 mm o a pedido del cliente. Estos bloques ofrecen un buen aislamiento térmico, del orden de $0.6 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ y también un buen aislamiento al sonido y resistencia al fuego que son calidades esenciales para el uso en fábricas y otros edificios industriales."(Aerated Concrete Ltd.)

Otro artículo de la revista Building & Prefabricación de Mazo 15 1980 p. 16 menciona sobre la exportación de bloques de concreto celular de la marca Cell rock, descritos como: concreto espumoso elaborado únicamente de agua, cemento y un agente espumante, en medidas de 600 x 200 x 200 mm; alcanza un peso unitario de 450 a 500 k/m^3 y pueden ser usados en la construcción de edificios de hasta tres pisos; se les envía en containers especiales que luego pueden integrarse al resto del edificio construido. (AB Tordmulen)

Otras fábricas de concreto celular conocidas son: Thermalite-Ytong, Siporex, Celcon y Durox.

En general, su uso es similar a los otros tipos de concretos livianos. La forma de fabricación, la densidad y el método de curado influyen en la aplicación que tendrán los concretos celulares; para los concretos celulares vaciados "in situ", se preferirá el método de fabricación por agente espumante más que por reacción química; para los elementos pre-fabricados se preferirá el curado en autoclave más que el curado húmedo; los concretos celulares más livianos servirán más para aislamiento térmico y elementos no portantes, y los más densos para los elementos estructurales.

1.6.- Propiedades físicas

Los concretos celulares se caracterizan más por sus propiedades térmicas que por cualquier otra propiedad. Sus propiedades resistentes si son importantes cuando se les usa en elementos estructurales. También se tienen en cuenta otras propiedades como: resistencia a los ciclos de helada y deshielo, resistencia al fuego, absorción y capilaridad, contracción por secado, propiedad acústica, etc.

1.6.1. Propiedades térmicas

Como es muy bien conocido, el aire es un buen aislante del calor, por lo que todo material poroso o de estructura celular, tiene buena propiedad aislante.

Conductividad térmica

La conductividad térmica se determina por el método de las placas calientes, según el ASTM C177 "Steady-State Thermal Transmission Properties By Means Of The Guarded Hot Plate" ("Propiedades de Transmisión térmica en el Estado Invariable por medio de las Placas Calientes"). Se le designa por "k" y se expresa en BTU in/hr.sq ft.^{°F} o Kcal/hr.m.^{°C}, etc.

El valor de la conductividad térmica se ve afectada por el contenido de humedad; se han determinado variaciones del orden de 2 a 4 % por cada incremento de la densidad del 1 % debido al aumento de la humedad. Se le determina por lo tanto en la condición seca en el horno.

El valor del coeficiente total de la transferencia de calor o flujo de calor de aire a aire a través de una pared, piso o sistema de tejado, conocido como Coeficiente de Transmisibilidad Térmica, "U" se calcula según:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_o} + \frac{x}{k}}, \text{ donde}$$

f_i : conductancia de la superficie interior o relación en el tiempo del cambio de calor por radiación, conducción y convección de un área unitaria de superficie con su alrededor.

f_o : conductancia de la superficie exterior.

x : espesor

k : conductividad térmica.

Para el caso de una pared hecho de un solo material homogéneo.

Los valores típicos para f_i y f_o son: 1.46 con aire quieto y 6.0 para una velocidad del viento de 25 kph (15 mph), respectivamente.

La conductividad térmica es una función muy marcada de la densidad o peso unitario para valores de 320 a 960 k/m^3 (20 a 60 pcf), como se muestra en la fig. (1).

La cantidad de calor transmitido a través de una pared es proporcional al coeficiente "U". A su vez, el valor de "U" viene a ser el recíproco de la resistencia térmica total de la pared, que se calcula sumando todas las resistencias térmicas de las partes en que se compone la pared (la resistencia térmica de cada parte se calcula multiplicando su resistividad, la inversa de la conductividad, por su espesor). Los valores promedios normales de resistencia térmica de las superficies internas y externas, pueden ser tomadas como 0.7 y 0.3 respectivamente, y la resistencia de una cavidad de aire como 1.0.

Coeficiente de expansión térmica

La expansión térmica del concreto celular se incrementa con la densidad que alcance, como se muestra en la fig.(2).

1.6.2. Propiedades resistentes

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión depende de la densidad, el tipo de agregado y la cantidad de cemento. Los concretos celulares hechos con agregados livianos de baja densidad y poca resistencia, pueden aumentar su resistencia cambiando el agregado por una arena natural densa, perdiendo parte de su propiedad térmica.

También afectan la resistencia la relación agua-cemento y el tipo de curado. Con el curado en autoclave se consiguen resistencias más altas que con el curado húmedo.

Los ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión se realizan según el ASTM C330, en moldes cilíndricos de 6 x 12 pulg, con la única variación de que los moldes se compactan golpeando con un martillo de caucho los costados del molde, o por un vibrado lento en la mesa vibratoria.

En la fig. (3), se muestra una relación entre la resistencia a la compresión vs peso unitario.

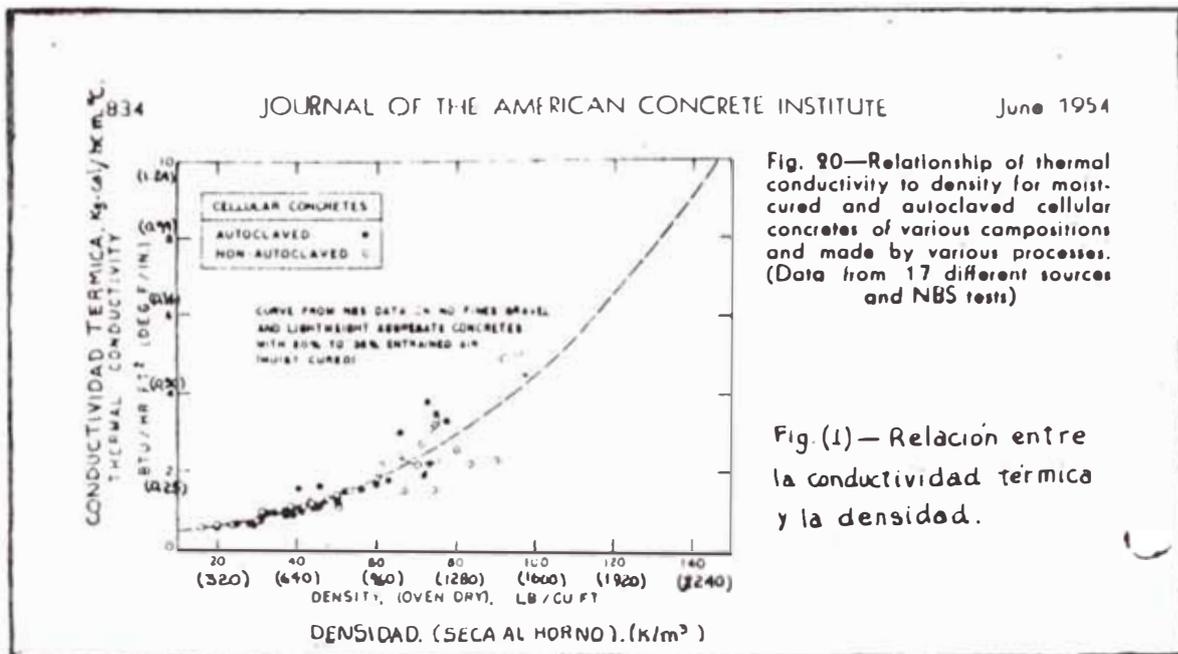


Fig. 20—Relationship of thermal conductivity to density for moist-cured and autoclaved cellular concretes of various compositions and made by various processes. (Data from 17 different sources and NBS tests)

Fig. (1)—Relación entre la conductividad térmica y la densidad.

Fig. (1)—— Relación: Conductividad térmica vs. Densidad (P.U.S.), de los concretos celulares con curado húmedo y en autoclave.

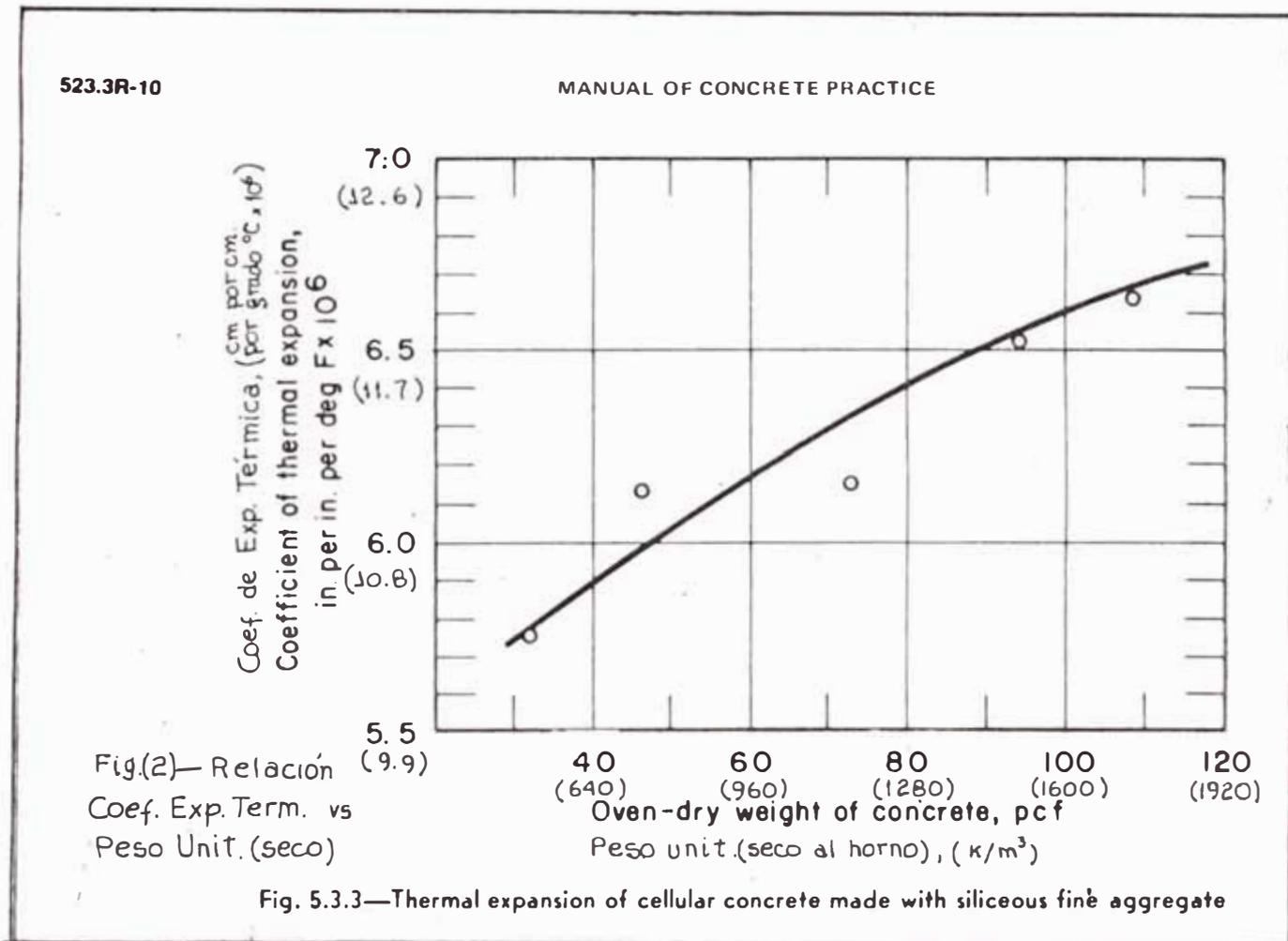


Fig. (2)—Relación Coef. Exp. Term. vs. Peso Unit. (seco)

Fig. 5.3.3—Thermal expansion of cellular concrete made with siliceous fine aggregate

Fig. (2)—— Relación: Coeficiente de expansión térmica vs. Peso unitario (P.U.S.), de los concretos celulares.

Resistencia a la tracción

Se le determina en forma indirecta por el ensayo de compresión diametral en las probetas estandar cilíndricas de 6 x 12 pulg., según el ASTM C496.

Módulo de elasticidad estático

Se le calcula tomando el módulo secante para 0.50 f'_c . También se le puede hallar según la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

donde,

E_c : módulo eláscidad estático, k/cm^2 .

w : peso unitario, k/m^3 .

f'_c : resistencia a la compresión a los 28 d, k/cm^2 , que se considera váli-

da para el rango de densidad de 1440 a 2480 k/m^3 .

Aquí, se considera como una primera aproximación del valor real, el módulo obtenido según la ecuación de Pavn, para el rango de densidad de 360 a 1440 k/m^3 .
Ver fig.(4).

Densidad

La densidad puede verse afectada por el tipo y gra nulometria del agregado, las proporciones de la mez cla y el grado de compactación .

El rango de densidad de los concretos celulares es de 360 a 1600 k/m^3 .

1.6.3. Otras propiedades

Resistencia a las heladas

Tiene alta resistencia a las heladas, debido a la gran cantidad de poros macroscópicos.

Cuando el concreto celular es usado para exteriores, se recomienda que sean tarrajeados, para así disminuir el grado de penetración del agua.

Resistencia al fuego

La transferencia del calor a través de los materiales porosos se efectúa por conducción y a altas temperaturas por radiación. La transferencia de calor por radiación es una función inversa del número de interfases aire-sólidos atravesados.

El concreto celular alcanza resistencias al fuego mayores que los concretos celulares.

Contracción por secado

Los concretos celulares con curado en autoclave, presentan menos variación de volumen por secado y humedecimiento que los concretos con curado húmedo.

Absorción y capilaridad, Propiedades acústicas, etc.

1.7.- Plan de trabajo

El presente trabajo de investigación, pretende obtener los concretos celulares tomando las siguientes pautas:

- 1o. Usar el método del agente espumante batido con los demás ingredientes, para lo cual se hará uso del mezclador de eje inclinado del Laboratorio No. 1 de la U.N.I., que alcanza una velocidad de rotación de aproximadamente 25 rpm.
- 2o. El curado a seguir será el curado húmedo siguiendo el procedimiento del ACI de 21 días a 100% de HR y 7 días de secado al aire a aproximadamente 50% HR.
- 3o. Emplear como agregado fino dos tipos de arena, la arena gruesa de La Molina y arena fina de San Juan de Miraflores, siendo usadas con el contenido de humedad que alcancen en el Laboratorio.
- 4o. Los ensayos de concreto al estado fresco consisten de: ensayo del peso unitario, que se chequeará al desmoldar las probetas y antes de los ensayos de concreto al estado endurecido; ensayo de consistencia usando el cono de Abrams; ensayo del contenido del aire por el método volumétrico.
- 5o. Para el concreto al estado endurecido se harán los siguientes ensayos: ensayo de resistencia a

la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral, módulo de elasticidad estático y peso seco al horno y absorción. Los ensayos se harán a los 28 d de edad. No se considera el ensayo de conductividad térmica, porque para el método de obtención a usar no es posible obtener densidades muy bajas en las que sí importaría conocer sus propiedades térmicas.

6o. Para el diseño de mezclas se empleará el método de los volúmenes absolutos.

7o. Finalmente, se tratará de comparar los resultados obtenidos con los del ACI y ver el uso que se le puede dar en nuestro medio. Queda como alternativa emplear otros agregados, si las densidades obtenidas no son satisfactorias, para hacer de este concreto otro material competitivo.

CAPITULO 2
ANALISIS DE MATERIALES

2.1.- Cemento

Los cementos peruanos en general presentan buenas características para ser usados en los concretos celulares. Para el presente trabajo se usará el cemento "Sol" tipo I.

Las propiedades del cemento "Sol" tipo I, ya estudiadas anteriormente y que aquí se transcriben, en parte, son:

Propiedades físicas

Peso específico = 3.11

Superficie específica (Permeabilímetro Blaine)

- 2951 cm²/gr , (k / \sqrt{t})

- 2968 cm²/gr , (k. $\frac{n_s}{n}$ / \sqrt{t}), sien

do k=374.84, t: tiempo, n: viscosidad del aire a T^oC de ensayo y n_s: viscosidad del aire a T^oC de calibración.

Contenido de aire - 6.60%

Consistencia normal = 24.5

Tiempo de fraguado:

Inicial - 3.14 hr (Agujas Vicat)

3.35 hr (Agujas Guilmore)

Final - 4.59 hr (Agujas Vicat)

5.20 hr (Agujas Guilmore)

Resistencia a la compresión:

7 días	=	268	k/cm ²
28 "	=	326	"
60 "	=	342	"

Resistencia a la tracción:

7 días	=	32	k/cm ²
28 "	=	33	"
60 "	=	33	"

Expansión en autoclave: 0.054

Durante el uso del cemento se tratará que no tengan grumos, para lo cual se tamizará el cemento por la malla No. 16 (1.19 mm) o más fina. Se le mantendrá en un lugar seco preferentemente.

nota: Los datos obtenidos fueron sacados de la Tesis "Características y Comportamiento de los Cementos Lima y Cementos Andinos", por Rivarola y Jimenez, 1982.

2.2.- Agregados

Se empleó dos tipos de arena natural: una procedente de la cantera La Molina, arena gruesa y otra de la cantera de San Juan de Miraflores, arena fina. Para el uso de la arena gruesa, se le tamizó por la malla No. 4 (4.75 mm) con el fin de eliminar las partículas más grandes, que pudieran comportarse como un agregado grueso, es decir, que no sean fácilmente suspendidos por las burbujas de aire, durante la preparación.

Los agregados fueron almacenados en pilas o rumas para que alcanzacen la humedad del Laboratorio.

Se determinaron: peso unitario, contenido de humedad, peso específico y absorción , granulometría. Los ensayos se llevaron a cabo según las especificaciones de las normas ASTM.

2.2.1. Peso unitario (ASTM C29)

Se usó un molde cilíndrico de 0.10 pie cúbico; se obtuvo:

Peso unitario	Arena gruesa	Arena fina
Suelto	1672 k/m ³	2380 k/m ³
Compactado	1848 "	2528 "

2.2.2. Contenido de humedad (ASTM C556)

Se usaron muestras de 500 gr. Se realizaron dos ensayos, obteniendose:

Ensayo No.	Arena gruesa	Arena fina
	1.00%	0.90%
2	0.95%	0.70%
Promedio:	0.98%	0.80%

2.2.3. Peso específico y absorción (ASTM C128)

Se realizaron dos ensayos, obteniendose:

Ensayo No.	Arena gruesa	Arena fina
1	2.65 , 1.42%	2.60, 0.3%
2	2.65 , 1.42%	2.60, 0.3%
Promedio:	2.65 , 1.42%	2.60, 0.3%

2.2.4. Granulometría (ASTM C 136)

Para la arena gruesa se pesó una muestra de aprox. 1.0 kg y para la arena fina de aprox. 0.50 kg. Igualse hicieron dos ensayos, resultando:

Ensayos para la arena gruesa de La Molina

Ensayo No. 1

Peso muestra: 1363 gr

Tamiz No.	Retenido gr	%Ret.	%Acum. Ret.	%Acum. Pasa
4(4.75mm)	---	---	---	100%
8(2.36mm)	34	2.5%	2.5%	97.5%
16(1.18mm)	348	25.5%	28.0%	72.0%
30(0.60mm)	275	20.2%	48.2%	51.8%
50(0.30mm)	403	29.6%	77.8%	22.2%
100(0.15mm)	196	14.4%	92.2%	7.8%
+100	107	7.8%	100.0%	---

Ensayo No. 2

Peso muestra: 976 gr

Tamiz No.	Retenido gr	%Ret	%Acum. Ret.	%Acum. Pasa
4	---	---	---	100%
8	37	3.8%	3.8%	96.2%
16	197	20.2%	24.0%	76.0%
30	217	22.2%	46.2%	53.8%
50	248	25.4%	71.6%	28.4%
100	172	17.7%	89.3%	10.7%
+100	105	10.7%	100.0%	---

Módulo de finura:

Ensayo 1 - 2.49

Ensayo 2 - 2.35

2.42 (promedio)

Ensayos para la arena fina de S. J. Miraflores

Ensayo No. 1		Peso muestra: 481 gr		
Tamiz (No.)	Retenido (gr)	%Ret.	%Acum. Ret.	%Acum. Pasa
4(4.75 mm)	---	---	---	100%
8(2.36 mm)	---	---	---	100%
16(1.18 mm)	---	---	---	100%
30(0.60 mm)	---	---	---	100%
50(0.30 mm)	53	11.0%	11.0%	89%
100(0.15mm)	385	80.0%	91.0%	9%
+100	43	9.0%	100.0%	---

Ensayo No. 2		Peso muestra: 499 gr		
4	---	---	---	100%
8	---	---	---	100%
16	---	---	---	100%
30	---	---	---	100%
50	29	5.8%	5.8%	94.2%
100	406	81.4%	87.2%	12.8%
+100	64	12.8%	100%	---

Módulo de finura:

Ensayo 1= 1.02

Ensayo 2= 0.93

0.98(promedio)

Para la arena gruesa observamos que los valores obtenidos cumplen las especificaciones de las normas ASTM C33 y C144, mientras que los valores de la arena fina no cumple ninguna. Ver fig.(5) y (6).

2.3.-Agua de mezclado

El agua de mezclado empleado proviene de la red pública de abastecimiento de agua potable.

2.4. -Agente espumante

El producto usado se denomina Tricosal S-45, producido por la Chemische Fabrik Grünau GmbH Illertissen/Bayern y distribuido en el Perú por la firma J.V.Jaramillo Ings.

Es un agente incorporador de aire especial, para ser usado en la fabricación de concreto aereado. Sus características físicas son:

Peso específico= 1.02 , Forma: Líquido
Color: incoloro , Dosificación: 0.3
a 0.7% en peso del
cemento(morteros) y 0.5 a 1.0% (concretos).
Rendimiento aprox.: 1 galón/ 1000 kg cemento.
Modo de empleo: debe mezclarse con el agua an
tes de añadir los ingredien-
tes secos; la cantidad de ce-
mento será mayor de 300 k/m^3 .

El producto Tricosal S-45 ha sido usado en nuestro medio como un incorporador de aire para vaciados de concreto normal en las zonas de clima frio, por sus propiedades anticongelante. Tambien se le usa para obtener mezclas fluidas.

CAPITULO 3

DOSIFICACION DE MEZCLAS

3.1.- Método de diseño de mezclas

El método a seguir es el indicado por el reporte 523.3R-75 del ACI, "Guide for Cellular..." ("Guía para los concretos celulares de densidad mayor a 800 k/m^3 (50pcf) y resistencia a la compresión menor que 175 k/cm^2 (2500 psi)").

La determinación de las proporciones de los ingredientes se basa en los volúmenes sólidos o absolutos. Se inicia por elegir parámetros de diseño, que pueden incluir: el peso unitario del concreto húmedo o seco, la resistencia a la compresión, la propiedad térmica. Es necesario por lo tanto conocer los pesos específicos de los ingredientes y sus pesos unitarios sueltos; controlar y determinar las características de absorción y condiciones de humedad libre de los agregados, durante las operaciones de colado.

Para el caso en que se emplee los agentes espumantes, ya sea una espuma pre-formada o la obtenida durante el batido, es adecuado el siguiente procedimiento:

- 1o. Se selecciona un peso unitario de concreto al estado plástico (densidad húmeda), una relación agua-cemento (w/c) y un contenido de cemento. Estos valores podrían variar usualmente después de hacerse un estudio de requisitos como de resistencia a la compresión y conductividad térmica.
- 2o. El volumen de aire requerido se calcula restando de un volumen unitario la suma de volúmenes absolutos del cemento, agua y agregado.
- 3o. La cantidad de agente espumante se selecciona siguiendo las indicaciones del fabricante. En el caso en que la espuma se añade pre-formada a la mezcla, se deberá conocer la relación entre el volumen de aire y el volumen de espuma, que se calcula de los datos de calibración del generador de espuma, como la relación del volumen de espuma por minuto al volumen de aire por minuto (usualmente varía de 1.05 a 1.07), y reducir al agua de mezclado el peso del volumen de espuma (considerado como agua).

En general, para el proceso de la espuma obtenida durante el batido, la cantidad de agente espumante a añadir dependerá de la velocidad del mezclador, de las características de los ingredientes, del tipo de agente empleado, y otras consideraciones. Se harán por lo tanto pruebas tentativas, tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante.

Finalmente, se tomará en cuenta las posibles variaciones de la densidad por efectos del transporte y colocación, de modo que el peso unitario del concreto celular para el cual se ha diseñado, sea obtenido en el sitio de su colocación.

3.2.- Procedimiento de mezclado

Para el método de la espuma formada durante el batido de un agente espumante con los demás ingredientes, el orden de llenado usado es como sigue:

- 1o. Se añade el agua de mezclado
- 2o. Se añade el agente espumante (Tricosal S-45), dejándolo mezclar con el agua durante 1 minuto aproximadamente, obteniéndose un volumen de espuma.
- 3o. Seguidamente se añade el cemento, mezclándolo por aproximadamente 1.5 minutos con la obtenida en el paso anterior.
- 4o. Por último se añade la arena, mezclándolo por el lapso de 1.5 minutos aproximadamente.

Los pasos indicados anteriormente, son los que se seguirán para el presente trabajo, con un tiempo total de mezclado de aproximadamente 4 minutos.

Para el ACI, el agente espumante debe añadirse después que se añade el cemento y antes de incorporar la arena, con lo que evitaría una gran pérdida de burbujas de aire. También indica, que se puede variar el orden, cuando de ese modo resulta más ventajoso; que los aditivos solubles en el agua deben añadirse junto con el agua y que cualquier otro aditivo se añadirá al último. Para el caso de la espuma pre-formada, indica que debe ser añadida después del agregado.

Se evitará dar un excesivo mezclado, por la posibilidad de que el peso unitario cambie.

La cantidad de agente ~~e. aumenta~~ aumenta con la proporción de agregado, si se mantiene la densidad, el tiempo de mezclado y la velocidad del mezclador constante.

Las mezclas más viscosas pueden atrapar vacíos grandes de aire durante el mezclado y moldeado, que no son debidos al agente espumante usado.

3.3.- Procedimiento para los ensayos

Una vez obtenido un concreto celular con las características **d**eseadas, se procede a los ensayos en concreto fresco. Se determina su consistencia usando el cono de Abrams ("slump test" o ensayo de revenimiento). El peso unitario se podrá determinar **ci**ñiéndose al método estándar del ASTM C 138, "Test for Unit Weight, Yield, and Air Content(Gravimetric) of Concrete" ("Ensayo para obtener el Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire por el método gravimétrico del concreto") o calculándolo pesando una de las probetas cilíndricas de 6x12 pulg. llenadas con el concreto celular.

Se tomarán por lo menos 3 probetas estándar cilíndricas de 6x12 pulg. para cada colada realizada, que servirán para los ensayos en concreto endurecido. Para el llenado de las probetas se usará un martillo de caucho o la mesa vibradora para el **acomodo** de la masa de concreto fresco, evitando un exceso de compactación.

Las probetas se desmoldarán al día siguiente, chequeándose su peso unitario, y se pondrán a curar por espacio de 21 días dentro de un tanque de agua, y puestas a secar a la temperatura y humedad del laboratorio hasta que alcancen los 28 días de edad.

Para la realización de los ensayos en concreto en endurecido se tendrá en cuenta el peso unitario de las probetas a ensayar; se pesarán las probetas y se medirán su diámetro y altura. Se realizarán según las especificaciones de las normas ASTM.

Las probetas para los ensayos de resistencia a la compresión y de módulo de elasticidad, tendrán un "capping" de una mezcla de azufre y arcilla.

El ensayo de peso seco al horno y absorción, consistirá en: poner al horno las probetas por 24 hr a 110°C; determinar su peso seco y colocar las probetas bajo agua por 24 hr; sacar las probetas, dejarlas escurrir y pesarlas (peso saturado). El porcentaje de absorción, en peso será:

$$\%A_{(\text{peso})} = \frac{P_{\text{seco}} - P_{\text{sat.}}}{P_{\text{seco}}} \times 100$$

donde,

$\%A_{(\text{peso})}$: porcentaje de absorción, en peso

P_{seco} : peso seco por secado en el horno, kg.

$P_{\text{sat.}}$: peso saturado, kg.

Para el ensayo de tracción por compresión diametral el esfuerzo de tracción viene dado por:

$$F_{ct} = \frac{2 P}{\pi l d}$$

donde,

F_{ct} : esfuerzo de tracción por compresión diametral, k/cm^2 .

P : carga máxima aplicada, kg.

l : longitud de la probeta, cm.

d : diámetro de la probeta, cm.

3.4.- Dosificaciones estudiadas

Para el presente estudio, se consideran los siguientes parámetros de diseño:

Peso unitario, 1600, 1440, 1280 k/m^3 .

Relación agua-cemento, 0.45, 0.50.

Contenido de cemento, 390, 500, k/m^3 .

Tipo de agregado, arena gruesa, arena fina.

Combinación de parámetros

Parámetros	Peso unitario húmedo, k/m^3		
	1600	1440	1280
Cont. cemento, k/m^3	390	390	
		500	500
Rel. agua-cem.	0.45	0.45	0.45
		0.50	
Tipo agregado	ar. gr.	ar. gr.	ar. fi.

Dosificaciones estudiadas

Denominación	Peso unit. k/m ³	Rel. w/c	F. Cem. k/m ³	Agreg.
D 1	1600	0.45	390	ar. gr.
D 2	1440	0.50	390	ar. gr.
D 3	1440	0.50	500	ar. gr.
D 4	1440	0.45	500	ar. gr.
D 5	1440	0.45	390	ar. gr.
D 6	1280	0.45	500	ar. fi.

Se tendrá en cuenta una variación de $\pm 5\%$ en la obtención de los pesos unitarios.

La cantidad de agente espumante para cada dosificación se determinará por pruebas tentativas hasta obtener el peso unitario deseado. No se incluye en el cálculo de las proporciones de los ingredientes.

Antes de iniciar a la proporción de los ingredientes, se tendrán en cuenta las características físicas. Para el presente trabajo, son:

Cemento, peso específico = 3.11

Arena gruesa, peso específico = 2.65

contenido de humedad = 0.98%

Arena fina, peso específico = 2.60

contenido de humedad = 0.80%

3.4.1. Dosificación 1

Parámetros: P.U.= 1600 k/m³ , F.C.= 390 k/m³

Rel. w/c= 0.45 , Ar. gruesa

Proporciones para 1 m³:

Ingredientes	Pesos (kg)	Volúmenes (m ³)
Cemento	390 x 1/3110 =	0.1254
Agua total		
0.45 x 390 =	175.5 x 1/1000=	0.1755
Subtotal	565.5	0.3009
Arena seca requerido		
1600 - 565.5 = 1034.5	x 1/2650=	0.3904
Volumen absoluto		
del cemento, agua y arena		0.6913
Volumen de aire requerido=		
	1.0000 - 0.6913=	0.3087
Agua aportado por la arena=		
	0.0098 x 1034.5=	10.1 kg
Agua corregida=		
	175.5 - 10.1 =	165.4
Arena corregida=		
	1034.5 +10.1 =	1044.6
La mezcla final es luego		
Cemento	390.0	
Agua mezclado	165.4	
Arena	1044.6	

3.4.2. Dosificación 2

Parámetros: P.U.= 1440 k/m³ F.C.= 390 k/m³

Rel. w/c= 0.50 , Ar. gruesa

Proporciones para 1 m³:

Ingredientes	Pesos (kg)	Volúmenes (m ³)
--------------	---------------	--------------------------------

Cemento	390	$390 \times 1/3110 = 0.1254$
---------	-----	------------------------------

Agua total

$0.50 \times 390 =$	195	$195 \times 1/1000 = 0.1950$
---------------------	-----	------------------------------

Subtotal	585	0.3204
----------	-----	--------

Arena seca requerido

$1440 - 585 =$	855	$855 \times 1/2650 = 0.3224$
----------------	-----	------------------------------

Volumen absoluto

del cemento, agua y arena =		<u>0.6428</u>
-----------------------------	--	---------------

Volumen de aire requerido =

$1.0000 - 0.6428 =$		0.3562
---------------------	--	--------

Agua aportado por la arena =

$0.0098 \times 855 =$		8.4 kg
-----------------------	--	--------

Agua corregida =

$195.0 - 8.4 =$		186.6
-----------------	--	-------

Arena corregida =

$855.0 + 8.4 =$		863.4
-----------------	--	-------

La mezcla final es luego

Cemento		390.0
---------	--	-------

Agua mezclado		186.6
---------------	--	-------

Arena		863.4
-------	--	-------

3.4.3. Dosificación 3

Parámetros: P.U. = 1440 k/m³ , F.C. = 500 k/m³

Rel. w/c = 0.50 , Ar. gruesa

Proporciones para 1 m³:

Ingredientes	Pesos (kg)	Volúmenes (m ³)
Cemento	500 x 1/3110	0.1608
Agua total		
0.50 x 500 =	250 x 1/1000 =	0.2500
Subtotal	750	0.4108
Arena seca requerido		
1440 - 750 =	690 x 1/2650 =	0.2604
Volumen absoluto		
del cemento, agua y arena =		0.6712
Volumen de aire requerido =		
	1.0000 - 0.6712 =	0.3288
Agua aportado por la arena		
0.0098 x 690 =	6.8	
Agua corregida =		
250.0 - 6.8 =	243.2	
Arena corregida =		
690.0 + 6.8 =	696.8	
La mezcla final es luego		
Cemento	500.0	
Agua mezclado	243.2	
Arena	696.8	

3.4.4. Dosificación 4

Parámetros: P.U.= 1440 k/m³ , F.C.= 500 k/m³

Rel. w/c - 0.45 , Ar. gruesa

Proporciones para 1 m³:

Ingredientes	Pesos (kg)	Volúmenes (m ³)
Cemento	500 x 1/3110 =	0.1608
Agua total		
0.45 x 500 =	<u>225 x 1/1000 =</u>	<u>0.2250</u>
Subtotal	725	0.3858
Arena seca requerido		
1440 - 725 =	715 x 1/2650 =	0.2698
Volumen absoluto		
del cemento, agua y arena =		0.6556
Volumen de aire requerido =		
	1.0000 - 0.6556 =	0.3444

Agua aportada por la arena

$$0.0098 \times 715 = 7.0$$

Agua corregida =

$$225 - 7.0 = 218.0$$

Arena corregida -

$$715 + 7.0 = 722.0$$

La mezcla final es luego

Cemento 500.0

Agua mezclado 218.0

Arena 722.0

3.4.5. Dosificación 5

Parámetros: P.U. = 1440 k/m^3 , F.C. = 390 k/m^3

Rel. w/c = 0.45 , Ar. gruesa

Proporciones para 1 m^3 :

Ingredientes	Pesos (kg)	Volúmenes (m^3)
Cemento	$390 \times 1/3110 = 0.1254$	
Agua total		
	$0.45 \times 390 = 175.5$	$1/1000 = 0.1755$
Subtotal	565.5	0.3009
Arena seca requerido		
	$1440 - 565.5 = 874.5$	$1/2650 = 0.3300$
Volumen absoluto		
		del cemento, agua y arena = 0.6309
Volumen de aire requerido =		
		$1.0000 - 0.6309 = 0.3691$
Agua aportada por la arena		
	$0.0098 \times 874.5 = 8.6$	
Agua corregida =		
	$175.5 - 8.6 = 166.9$	
Arena corregida =		
	$874.5 + 8.6 = 883.1$	
La mezcla final es luego		
Cemento	390.0	
Agua mezclado	166.9	
Arena	883.1	

3.4.6. Dosificación 6

Parámetros: P.U. = 1280 k/m³ , F.C. = 500 k/m³

Rel. w/c = 0.45 , Ar. fina

Proporciones para 1 m³:

Ingredientes	Pesos (kg)	Volúmenes (m ³)
Cemento	500 x 1/3110 =	0.1608
Agua total		
0.45 x 500 =	225 x 1/1000 =	0.2250
Subtotal	725	0.3858
Arena seca requerido		
1280 - 725 =	555 x 1/2600 =	0.2135
Volumen absoluto		
del cemento, agua y arena =		0.5993
Volumen de aire requerido =		
	1.0000 - 0.5993 =	0.4007
Agua aportada por la arena		
0.0098 x 555 =	5.4	
Agua corregida =		
225.0 - 5.4 =	219.6	
Arena corregida =		
555.0 + 5.4 =	560.4	
La mezcla final es luego		
Cemento	500.0	
Agua mezclado	219.6	
Arena	560.4	

Resúmenes:

Dosifi- cación	Proporciones de diseño para 1 m ³						
	P.U. (k/m ³)	F.C. (k/m ³)	Rel. w/c	A.M. (kg)	A.G. (kg)	A.F. (kg)	Rel. A/c
D 1	1600	390	0.45	175.5	1034.5	--	2.65
D 2	1440	390	0.50	195	855	---	2.19
D 3	1440	500	0.50	250	690	---	1.38
D 4	1440	500	0.45	225	715	---	1.43
D 5	1440	390	0.45	175.5	874.5	--	2.24
D 6	1280	500	0.45	225	---	555	1.11

Dosifi- cación	Proporciones finales para 1 m ³						
	P.U. (k/m ³)	F.C. (k/m ³)	Rel. w/c	A.M. (kg)	A.G. (kg)	A.F. (kg)	Rel. A/c
D 1	1600	390	0.42	165.4	1044.6	--	2.68
D 2	1440	390	0.48	186.6	863.4	--	2.21
D 3	1440	500	0.49	243.2	696.8	---	1.39
D 4	1440	500	0.44	218	722	---	1.44
D 5	1440	390	0.43	166.9	883.1	--	2.26
D 6	1280	500	0.44	219.6	---	560.4	1.12

Donde: A.M.= agua mezclado , A.G.= arena gruesa
A.F.= arena fina
P.U.= peso unitario , w/c= rel. agua-cemen.
F.C.= factor cemento, A/c= rel. agreg.-cem.

CAPITULO 4

ENSAYOS REALIZADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados de cada uno de los ensayos realizados para las dosificaciones indicadas en el capítulo anterior.

Se muestran también los resultados de las pruebas preliminares hasta obtener la dosificación correcta, así como los resultados que sufrieron variaciones a pesar de usarse la dosificación correcta, y por otras causas.

Las tandas de pruebas realizadas fueron para una proporción de diseño de 0.019 m^3 .

4.1.- Resusltados en concreto fresco y endurecido

4.1.1. Dosificación D 1

Proporción de prueba:

Cemento	————	7.40 kg
Agua mezclado	—	3.17 kg
Arena gruesa	——	<u>19.80 kg</u>
Total		30.37 kg

Proporción correcta del agente espumante:

Tricosal S-45 ——— 0.044 kg (0.6%)

Resultados en concreto fresco y al primer día de las tandas realizadas:

Tanda (no.)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	---	1656	1	9.61	15.30	30.56	1710
			2	8.97	15.18	30.55	1621
			3	8.86	15.38	30.59	1558
2	9.0	1458	4	7.79	15.09	30.36	1434
			5	7.87	14.99	30.43	1465
			6	8.85	15.35	30.54	1565
3	4.5	1638	7	9.16	15.26	30.41	1647
			8	9.30	15.09	30.57	1702
			9	9.40	15.03	30.35	1745
4	8.0	1539	10	8.56	15.18	30.57	1547
			11	8.47	15.21	30.44	1531
			12	8.44	15.07	30.34	1559
5	8.5	1494	13	7.92	15.12	30.43	1450
			14	8.15	15.23	30.52	1466
			15	8.00	15.30	30.45	1429

Simbología: P.U.F. - peso unitario del concreto fresco, k/m³.

P.U.D. - peso unit. al desmoldar las probetas, k/m³.

Observaciones:

- 1o. El peso unitario del concreto fresco indicado, resulta del promedio de dos pesadas usando el molde cilíndrico estandar de 6 x 12 pulg. Este procedimiento se continuo en las demás dosificaciones.
- 2o. Los resultados de las tandas 2 y 5, no cen en el rango del peso unitario de la dosificación, que es:

$$1600 \pm 80 \text{ k/cm}^2.$$

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de compresión axial

Edad: 28 d

Prob. (no.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f _c ' (k/cm ²)
1	8.96	15.30	1595	6200	183.9	33.7
2	9.07	15.18	1640	8500	181.0	47.0
3	9.74	15.38	1714	10450	185.8	56.2
Promedios			1650			45.6
4	7.79	15.09	1434	2400	178.8	13.4
5	7.88	14.99	1467	2350	176.5	13.3
6	8.46	15.35	1497	2800	185.1	15.1
Promedios			1466			13.9

Simbología:

P.U.E.= peso unitario durante el ensayo,
k/m³.

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d

Prob. (no.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo f _{ct} (k/cm ²)
7	9.33	15.26	30.41	1678	3200	4.4
8	9.41	15.09	30.57	1722	3250	4.5
9	9.57	15.03	30.35	1778	4000	5.6
Promedios				1726		4.8
13	8.04	15.12	30.43	1472	950	1.3

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 28 d

Prob. (no.)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S. (k/m ³)	Absorción
10	8.65	8.01	9.20	1564	1449	14.9
11	8.52	7.95	9.08	1541	1437	14.2
12	8.50	7.90	9.04	1571	1460	14.0
Promedios				1559	1449	14.4
14	8.25	7.58	9.10	1484	1363	20.0

Simbología:

P.U.S.= peso unitario seco al horno, k/m³.

Ensayo del módulo de elasticidad estático

Edad: 35 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob. (no.): 10 Peso: 8.52 kg Diám.: 15.18 cm
 Area: 181.0 cm² P.U.E.= 1540 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. Unit. (mm)	Def. Unit. x10 ⁺⁵
0	---	3	9	6	---	---	---
500	2.8	15	15	15	9	0.018	9
1000	5.5	27	24	25.5	19.5	0.039	19.5
1500	8.3	38	32	35	29	0.058	29
2000	11	49	44	46.5	40.5	0.081	40.5
2500	13.8	59	55	57	51	0.102	51
3000	16.6	71	68	69.5	63.5	0.127	63.5
3500	19.3	84	83	83.5	77.5	0.155	77.5
4000	22.1	100	100	100	94	0.188	94
4500	24.9	120	122	121	115	0.230	115
5000	27.6	151	159	155	149	0.298	149
5150	28.5	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1540^{1.5} \times \sqrt{28.5}$$

$$E_c = 43878 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(7):

$$E_c = 26636 \text{ k/cm}^2.$$

Edad: 35 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob. (no.): 12 Peso: 8.39 kg Diám.: 15.07 cm
 Area: 178.4 cm² P.U.E.: 1550 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	6	6	6	---	---	---
500	2.8	7.5	21	14.3	8.3	0.017	8.5
1000	5.6	17	39	28	22	0.044	22
1500	8.4	28	59	43.5	37.5	0.075	37.5
2000	11.2	39	82	60.5	54.5	0.109	54.5
2500	14	52	105	78.5	72.5	0.145	72.5
3000	16.8	65	131	98	92	0.184	92
3500	19.6	80	162	121	115	0.230	115
4000	22.4	98	205	151.5	145.5	0.291	145.5
4500	25.2	123	290	206.5	200.5	0.401	200.5
5000	28	162	---	---	---	---	---
5100	28.6	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1550^{1.5} \times \sqrt{28.6}$$

$$E_c = 44383 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(8):

$$E_c = 19536 \text{ k/cm}^2.$$

Edad: 28 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob.(no.): 15 Peso: 8.16 kg Diám.: 15.30
 Area: 183.9 cm² P.U.E.= 1458 k/m³. cm

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	0	9	4.5	---	---	---
500	2.7	25	4	14.5	10	0.02	0.1
1000	5.4	58	14	36	31.5	0.063	31.5
1500	8.2	132	82	107	102.5	0.205	102.5
1600	8.7	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1458^{1.5} \sqrt{8.7}$$

$$E_c = 22332 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(9):

$$E_c = 21220 \text{ k/m}^3.$$

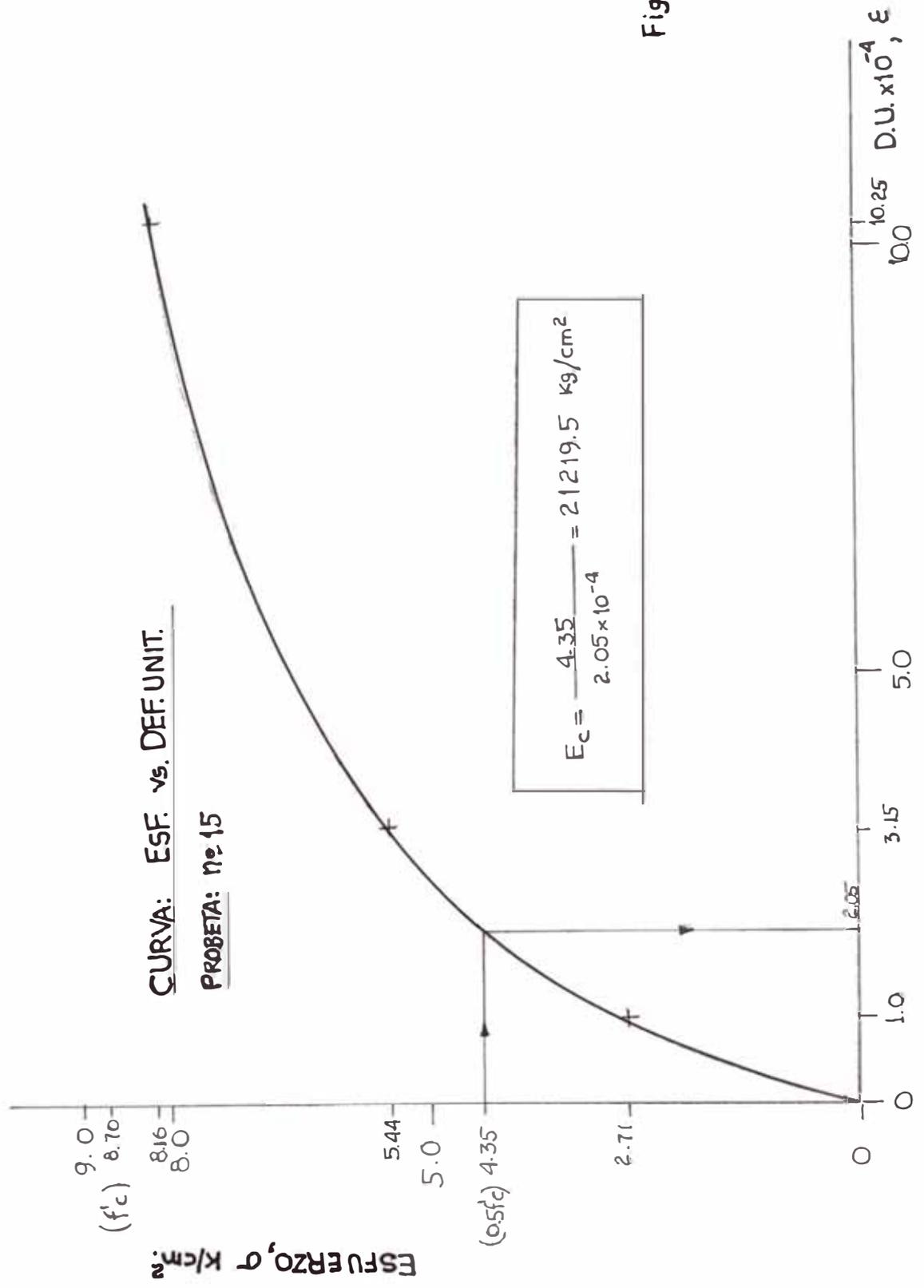


Fig. (9).

Observaciones:

10. Las probetas 10 y 12 se ensayaron después de terminado el ensayo de peso seco al horno y absorción, dejándolas secar por 7 días a la temperatura del laboratorio por encontrarse saturadas.

20. Igualmente la probeta 11 se ensayó a compresión axial, luego de secar 7 días. El resultado es como sigue:

Edad: 35 días

Prob.(no.): 11

Peso: 8.42 kg

Diám.: 15.21
cm

P.U.E.: 1522 k/m³

Carga: 5050 kg

Area: 181.7 cm²

Esfuerzo: 27.8 k/cm²

Resultados en concreto fresco y al primer día de las pruebas preliminares realizadas:

Tanda (no.)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1 (0.5%)	0	1888	1	10.79	---	---	1950
			2	10.34	15.15	30.48	1882
2 (0.7%)	4.5	1673	3	---	15.25	30.52	---
			4	---	15.15	30.75	---
			5	---	15.13	30.65	---
3 (0.8%)	4.5	1763	6	---	15.20	30.68	---
			7	---	15.50	30.75	---
			8	---	15.25	30.70	---
4 (1.0%)	---	1547	9	8.65	15.07	30.43	1593
			10	8.33	15.16	30.73	1502
			11	8.26	15.13	30.48	1507
5 (0.8%)	---	1386	12	7.89	15.25	30.50	1416
			13	7.49	15.13	30.44	1368
			14	7.58	15.28	30.36	1361

Observaciones:

1o. La cantidad empleado de tricosal S-45 para cada tanda, se indica entreparéntesis en %.

2o. En las tandas 1,2,3 se cambió el orden de llenado; se hechó al último el cemento, dandose un tiempo de batido total de 4.5, 5.0 y 6.0 minutos respectivamente. Al alterar el orden de llenado, la mezcla se mostró seca al inicio soltándose al final del batido.

3o. Las tandas 4 y 5 se realizaron en el orden ya establecido. Para la tanda 5 se usó el nuevo envío de tricosal S-45.

Resultados en concreto endurecido de las tandas preliminares:

Ensayo de compresión axial

Edad: 28 d

Prob. (nO.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f' _c (k/cm ²)
1	10.37	15.13	1874	14000	179.8	77.9
2	10.84	15.15	1973	16880	180.3	93.2
Promedios			1924			85.6
3	9.39	15.25	1685	16200	182.1	89.0
4	9.74	15.15	1756	13300	180.3	73.8
5	9.62	15.13	1747	13400	179.7	74.0
Promedios			1729			79.1
6	10.03	15.20	1801	16300	181.5	89.8
7	9.86	15.50	1700	13400	188.7	71.0
8	9.68	15.25	1725	10400	182.7	56.9
Promedios			1742			72.6
9	8.69	15.07	1600	5500	178.4	30.8
10	8.37	15.16	1509	3750	180.5	20.8
11	8.35	15.13	1524	4500	179.8	25.0
Promedios			1544			25.5

continuación...

12	7.82	15.25	1403	5600	182.7	30.7
13	7.39	15.13	1351	2100	179.8	11.7
14	7.48	15.28	1344	2300	183.4	12.5
Promedios			1366			18.3

Observación:

10. Se observa una marcada diferencia en resistencia entre las tandas 3 y 5, a pesar que se usó la misma cantidad de Tricosal S-45.

4.1.2. Dosificación D 2

Proporción de prueba preliminar:

Cemento	_____	7.37 kg
Agua mezclado	_____	3.76 kg
Arena gruesa	_____	15.11 kg

Total		26.24 kg

Proporción del agente espumante Tricosal S-45 usado:

Prueba 1	_____	0.044 kg (0.6%)
Prueba 2	_____	0.052 kg (0.7%)

Observación:

1o. Estas pruebas preliminares provienen de las correcciones hechas a las proporciones de una dosificación con parámetros de diseño: P.U.= 1280 k/m³, Rel. w/c= 0.45, F.C.= 390 k/m³ y tipo de agregado Arena gruesa.

2o. Las relaciones w/c y A/c son:

Rel. w/c - 0.51

Rel. A/c - 2.05, que difieren de las ver-

daderas para esta dosificación D 2, en:

Rel. w/c(verdadera) - 0.48

Rel. A/c(verdadera) - 2.21

Diferencia en Rel. w/c= +0.03

Diferencia en Rel. A/c= -0.16

Resultados en concreto fresco y al primer día de las pruebas preliminares:

Tanda (no.)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1 (0.6%)	8.5	1260		8.30	---	---	1494
			2	8.34	---	---	1501
			3	8.38	15.3	---	1495
			4	8.35	---	---	1503
			5	8.39	15.3	30.50	1496
			6	8.37	15.3	---	1494
			7	8.78	15.3	30.45	1568
2 (0.7%)	9.5	1225	8	7.50	15.2	---	1356
			9	7.60	15.3	---	1356
			10	7.53	15.3	---	1344
			11	7.94	15.3	---	1417
			12	7.80	15.3	30.50	1391
			13	8.01	15.3	---	1429

Observaciones:

1o. Para las probetas que no se midieron su diámetro y/o altura, se consideran las medidas estandar de 6 x 12 pulg (15.24 x 30.48 cm) para el cálculo del peso unitario.

20. Se observa un aumento en el P.U.D. con respecto al P.U.F.

30. El P.U.F. se obtuvo usando un molde cilíndrico de 0.1 pie^3 , cuyo factor volumétrico es 350.

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de compresión axial

Edad: 28 d

Prob. (no.)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f' _c (k/cm ²)
3	8.80	15.3	1570	5700	183.9	31.0
	8.86	15.3	1581	5250	183.9	28.5
Promedios			1576			29.8
8	7.95	15.2	1437	2000	181.5	11.0
10	7.95	15.3	1419	2200	183.9	12.0
Promedios			1428			11.5

Observaciones:

1o. Las probetas se encontraban muy húmedas durante el ensayo, debido a que se le dió un curado muy húmedo. Cumplieron 21 días cubiertos con agua, 6 días secando con un nivel muy bajo de agua (dentro del tanque de curado) y 1 día de secado fuera del tanque.

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)
5	8.87	15.3	30.50	1582	3150	4.3
7	9.26	15.3	30.45	1654	3150	4.3
Promedios				1618		4.3
12	8.24	15.3	30.50	1469	1450	2.0

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S. (k/m ³)	Absorción
1	9.19	8.02	---	1654	1443	
2	9.14	8.18	---	1645	1472	---
4	9.16	8.14	---	1649	1465	---
Promedios				1649	1460	---

Ensayo del módulo de elasticidad estático

Edad: 28 d Varilla: 200 mm Esaala: 1/500
 Prob.(n0): 9 Peso: 8.00 kg Diám.: 15.3 cm
 Area: 184.0 cm² P.U.E.= 1427 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	6	7	6.5	---	---	---
500	2.7	13.5	15	14.3	7.8	0.016	7.8
1000	5.4	24.5	25	24.8	18.3	0.037	18.3
1500	8.2	39.5	39.5	39.5	33.0	0.066	33
1850	10	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1427^{1.5} \sqrt{10}$$

$$E_c = 23183 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig. (10):

$$E_c = 31447 \text{ k/cm}^2.$$

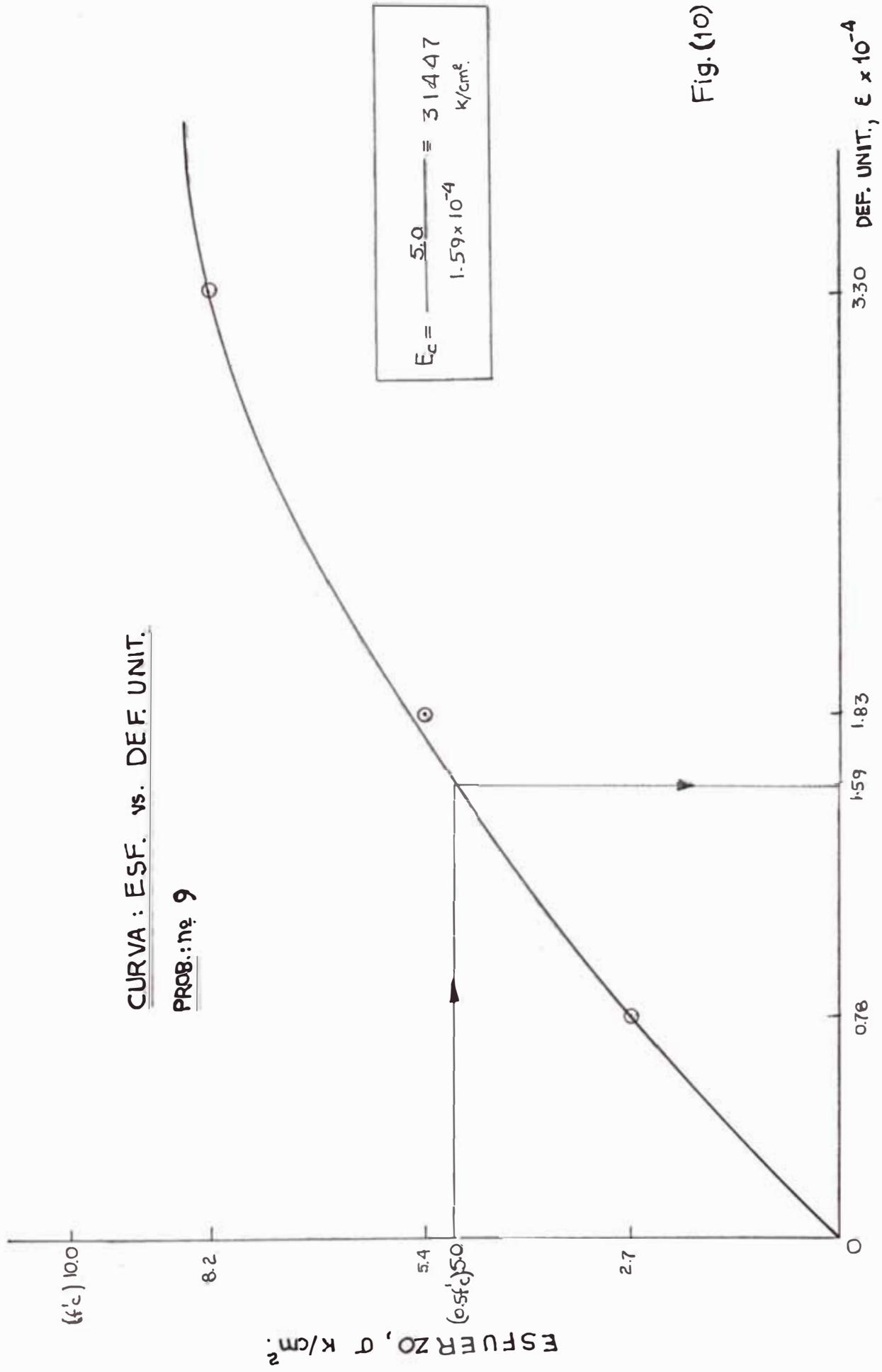


Fig. (10).

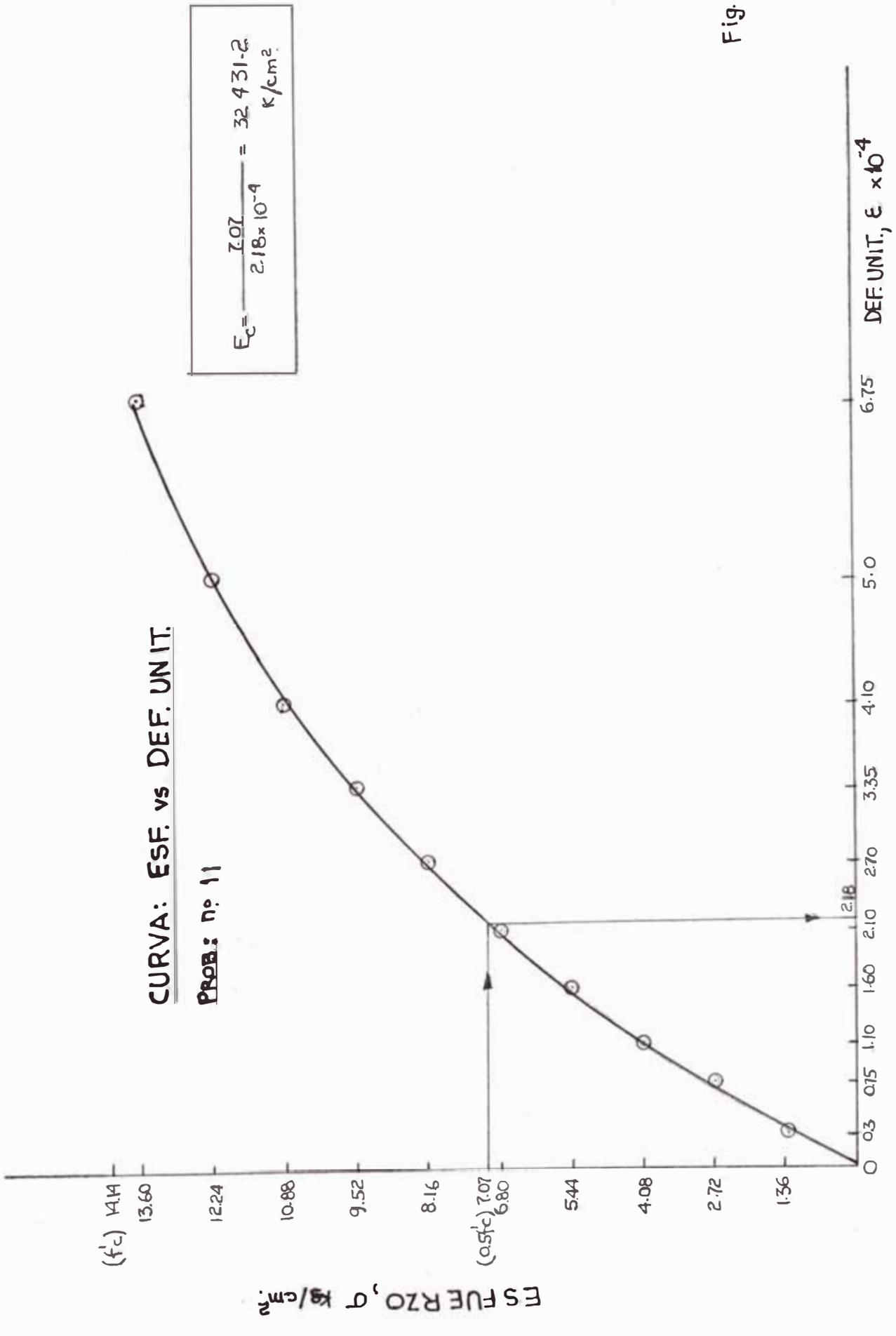


Fig. (11).

Edad: 28d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob.(no.): 13 Peso: 8.44 kg Diám.: 15.3 cm
 Area: 184.0 cm² P.U.E.= 1519 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect.. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	5.5	3.0	4.3	---	---	---
500	2.7	11	18	14.5	10.2	0.020	10.2
1000	5.4	19	25	22	17.7	0.035	17.7
1500	8.2	26	38	32	27.7	0.055	27.7
2000	10.9	36	54	45	40.7	0.081	40.7
2500	13.6	48	77	62.5	58.2	0.116	58.2
2800	15.2	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1519^{1.5} \sqrt{15.2}$$

$$E_c = 31390 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(12):

$$E_c = 29572 \text{ k/cm}^2.$$

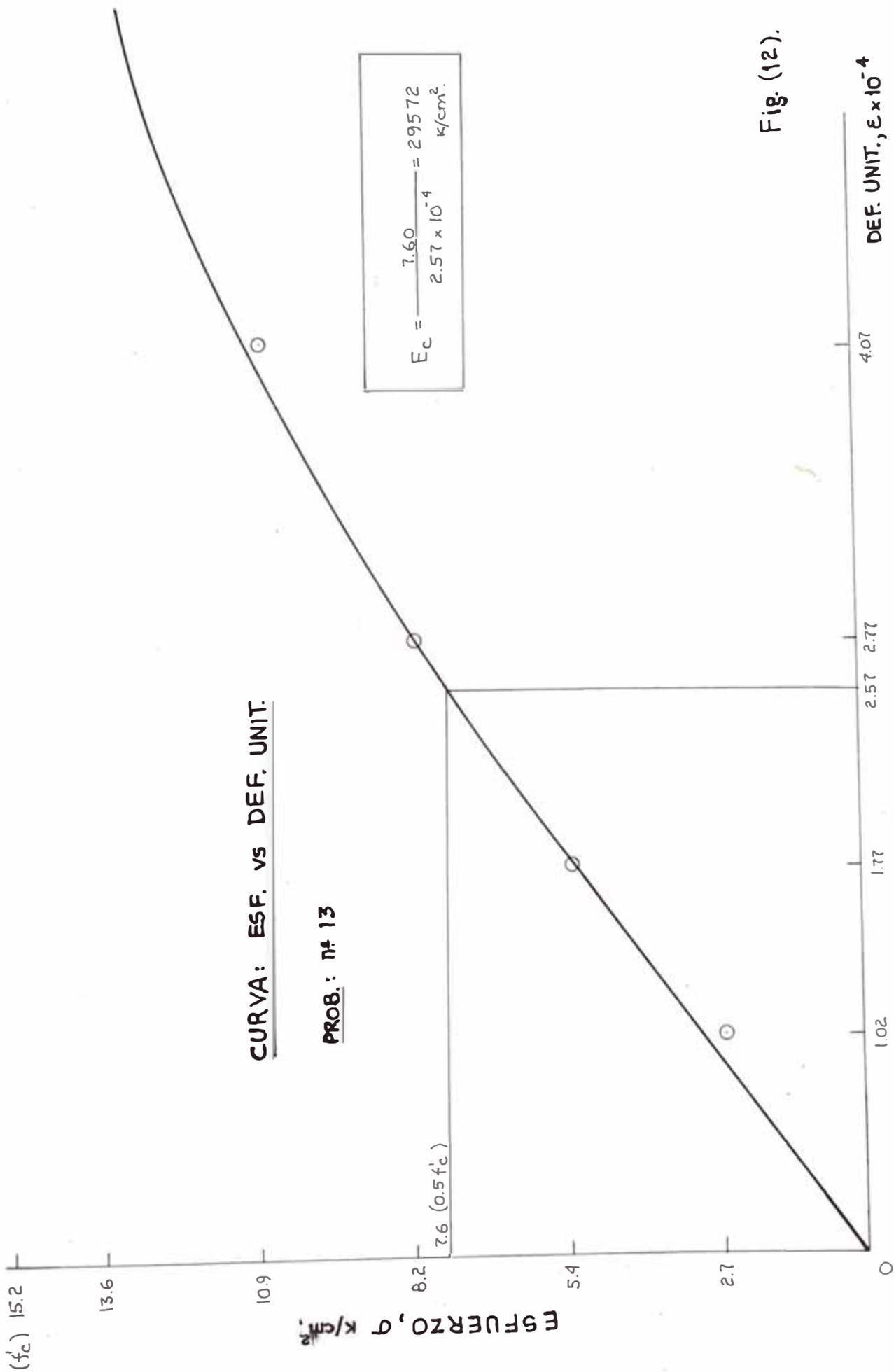


Fig. (12).

Observaciones:

1o. Las probetas que cumplieron el ensayo de peso seco y absorción se rompieron por compresión axial una vez que estuvieron secas, resultando:

Edad: 50 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esf. f' _c (k/cm ²)
1	---	---	---	6150	---	33.7
2	---	---	---	6400	---	35.1
4	---	---	---	6650	---	36.5
Promedio			---			35.1

Se consideró un área aprox. de 184.2 cm² (diám. de 15.24 cm)

4.1.3. Dosificación D 3

Proporción de prueba:

Cemento ————— 9.50 kg
Agua mezclado ————— 4.62 kg
Arena gruesa ————— 13.24 kg
Total 27.36 kg

Proporción correcta del agente espumante:

Tricosal S-45 ——— 0.048 kg (0.5%)

Resultados en concreto fresco y al primer día de las tandas realizadas:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/cm ³)
1	---	1470	1	8.03	15.11	30.58	1465
			2	7.91	15.12	30.58	1440
			3	8.28	15.10	30.43	1520
2	---	1610	4	8.32	15.06	30.48	1532
			5	8.19	15.08	30.52	1500
			6	---	---	---	---
3	9.50	1476	7	7.85	15.19	---	1421
			8	7.82	15.25	---	1405
			9	7.95	15.28	30.32	1430
			10	7.84	15.19	---	1419

Observaciones:

1o. El P.U.F. de las tandas 1 y 2 se determinó por medio de un molde cilíndrico de 0.1 pie^3 con factor volumétrico igual a 350.

2o. Se aumentó las cantidades de ingredientes en la tanda 3 para obtener 4 probetas, en:

Cemento	12.7 kg
Agua mezclado	6.18 kg
Arena gruesa	17.7 kg
Total	36.58 kg
Tricosal S-45	0.064 kg (0.5%)

3o. Las tandas 1 y 2 se hicieron el mismo día en forma consecutiva. Aún así no son idénticas.

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de compresión axial

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f _c ' (k/cm ²)
1	8.46	15.19	1532	5500	181.2	30.4
8	8.54	15.25	1534	5450	182.7	29.8
10	8.20	15.19	1484	5900	181.2	32.6
Promedios			1517			30.9

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 32 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo f _{ct} (k/cm ²)
3	8.57	15.10	30.43	1572	2500	3.5
5	8.50	15.08	30.52	1560	3200	4.4
Promedios				1566		4.0

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 32 d

Prob. (no)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S. (k/m ³)	Absorción %
1	8.33	7.16	9.12	1520	1306	27.4

continuación...

Edad: 28 d

9	8.71	7.12	9.14	1567	1282	28.4
Promedios				1544	1294	27.9

Ensayo de módulo elástico estático

Edad: 32 d Varilla: 200mm Escala: 1/500
 Prob.(no): 2 Peso: 8.17 kg Diám.: 15.12 cm
 Area: 179.6 cm² P.U.E.= 1487 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	11	0	0.5	---	---	---
500	2.78	14	6	10	5	0.01	5
1000	5.57	20	13	16.5	11.5	0.023	11.5
1500	8.35	26.5	20	23.3	18.3	0.037	18.3
2000	11.14	34	27	30.5	25.5	0.051	25.5
2500	13.92	41.5	33	37.3	32.3	0.065	32.3
3000	16.70	50	40	45	40	0.080	40
3500	19.49	58.5	47	52.8	47.8	0.096	47.8
4000	22.27	68	54	61	56	0.112	56
4500	25.06	78	63	70.5	65.5	0.131	65.5
5000	27.84	90.5	72	81.3	76.3	0.153	76.3
5500	30.62	104	83	93.5	88.5	0.177	88.5
6000	33.41	121	96	108.5	103.5	0.207	103.5
6500	36.19	146	114	130	125	0.250	125

Edad: 32 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob.(no): 4 Peso: 8.63 Diám.: 15.06 cm
 Area: 178.1 cm² P.U.E.= 1589 k/m³.

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	137	11	11	---	---	---
500	2.81	131.5	24	24	13	0.026	13
1000	5.61	127.5	38	38	27	0.054	27
1500	8.42	125	53	53	42	0.084	42
2000	11.23	122.5	65	65	54	0.108	54
2500	14.04	122	79	79	68	0.136	68
3000	16.84	123	89	89	78	0.156	78
3500	19.65	125	102	102	91	0.182	91
4000	22.46	127	111	111	100	0.200	100
4500	25.27	130	122	126	115	0.230	115
5000	28.07	134	132	133	122	0.244	122
5500	30.88	138	140	139	128	0.256	128
6000	33.69	144	155	150	139	0.278	139
6500	36.50	150	177	159	148	0.296	148
7000	39.30	157	181	169	158	0.316	158
7500	42.11	165	196	181	170	0.340	170
8000	44.92	178	214	196	185	0.370	185
8500	47.73	217	229	223	212	0.424	212

Aplicando la ecuación de Pawn:

$$\text{Prob.: } 2 \text{ ————— } E_c = 0.136 \times 1488^{1.5} \sqrt{36.2}$$

$$E_c = 46968 \text{ k/cm}^2.$$

$$\text{Prob.: } 4 \text{ ————— } E_c = 0.136 \times 1589^{1.5} \sqrt{47.7}$$

$$E_c = 59495 \text{ k/cm}^2.$$

Observaciones:

- 1o. La probeta 4 durante el ensayo del módulo de elasticidad tuvo un comportamiento inesperado; la lectura izq. daba valores descendentes hasta la carga 2500 kg; se creó conveniente a partir de la carga 4500 kg, considerar esta lectura.
- 2o. Los módulos elásticos medidos, ver fig. (13) y (14), son:

$$E_c = 41136 \text{ k/cm}^2 \text{ (prob. 2)}$$

$$E_c = 22871 \text{ " (prob. 4).}$$

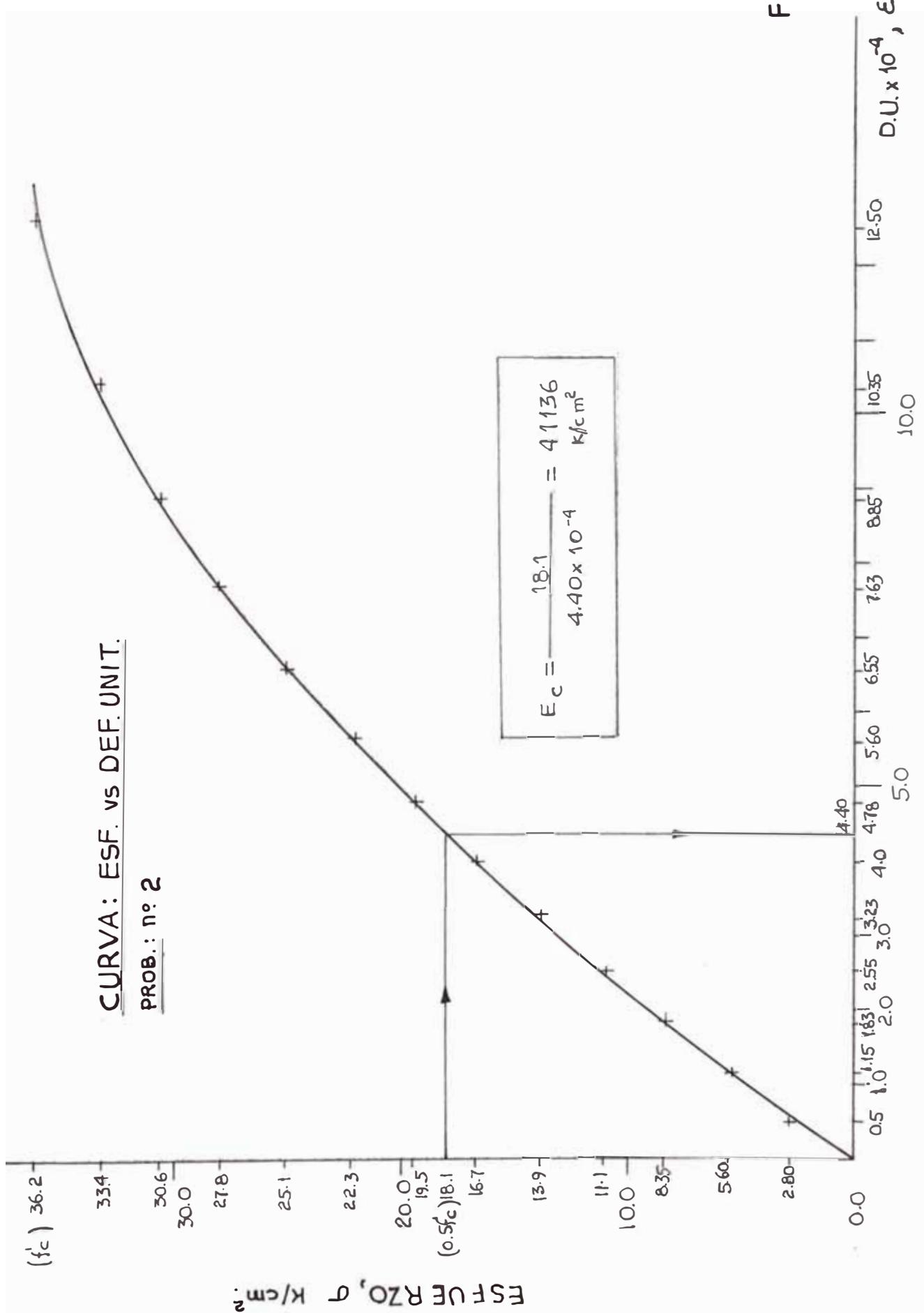


Fig. (13).

4.1.4. Dosificación D 4

Proporción de prueba:

Cemento 9.50 kg

Agua mezclado — 4.16 kg

Arena gruesa — 13.71 kg

Total 27.37 kg

Proporción correcta del agente espumante:

Tricosal S-45 0.062 kg (0.65%)

Resultados en concreto fresco y al primer día
de las tandas realizadas:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	---	1107	1	6.39	15.2	27.5	1315
			2	6.31	15.2	27.5	1298
			3	5.97	15.1	25.3	1306
2	---	1674	4	9.14	15.2	30.5	1645
			5	9.32	15.2	30.5	1678
			6	9.23	15.2	30.5	1661
3	---	1467	7	7.89	15.05	29.89	1484
			8	7.85	15.21	30.21	1430
			9	8.17	15.07	30.08	1522
4	---	1386	10	7.36	15.18	30.27	1343
			11	7.23	15.08	30.06	1347
			12	7.47	15.28	30.38	1342
5	---	1728	13	9.43	15.23	30.62	1690
			14	9.48	15.23	30.62	1699
			15	5.13	15.10	16.90	1695
6	---	1485	16	7.67	---	---	1381
			17	---	---	---	---
			18	---	---	---	---

continuación...

7	---	1566	19	8.58	15.08	30.46	1577
			20	8.47	15.15	30.37	1546
			21	8.65	15.08	30.78	1573

Observaciones:

- 1o. Las tandas 2 y 7 se hicieron con proporciones aumentadas en un 17.9% y 10% respectivamente; se hicieron despues de las tandas 1 y 6 respectivamente, las cuales alcanzaron menores densidades.
- 2o. La tanda 1 se mostró inestable, pues se observó un descenso en las probetas al primer día.
- 3o. Las tandas con mayor peso unitario, tuvieron una consistencia menos fluida, que las demás.

Ensayos en concreto endurecido:

Ensayo de compresión axial

Edad: 48d

Prob.	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f' _c (k/cm ²)
1	6.17	15.2	1236	300	181.5	1.7
2	5.89	15.2	1180	300	181.5	1.7
	5.60	15.1	1236	650	179.1	3.6
Promedios			1217			2.3
4	9.48	15.2	1707	14100	181.5	77.7
5	9.63	15.2	1734	13550	181.5	74.7
6	9.58	15.2	1725	14200	181.5	78.2
Promedios			1722			76.9
7	7.91	15.21	1441	3850	181.7	21.2
8	7.91	15.05	1489	4100	177.9	23.0
9	8.21	15.07	1531	4000	178.4	22.4
Promedios			1487			22.2

Observaciones:

1o. Las probetas 7,8,9 se ensayaron a los 48 días, por provenir después de realizarse el ensayo de peso seco al horno y absorción.

2o. Los valores f'_c para las probetas de los tandas 1 (prob. 1, 2, 3) deben corregirse por la rela-

ción altura/diámetro como sigue:

Prob. 1 ————— Rel. h/d= 1.81
 Prob. 2
 Factor corr.= 0.9848

Prob. 3 ————— Rel. h/d= 1.68
 Factor corr.= 0.9772

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo f _{ct} (k/cm ²)
13	---	15.23	30.62	---	6550	8.9
14	---	15.23	30.62	---	8050	11.0
15	---	15.10	16.90	---	3100	7.7
Promedios						9.2
16	7.78	15.0	30.3	1453	1500	2.1
17	7.64	15.0	30.2	1431	1300	1.8
18	7.56	15.0	30.3	1412	1250	1.8
Promedios				1432		1.9
19	8.90	15.08	30.46	1635	2650	3.6
20	8.89	15.15	30.37	1623	3150	4.4
21	9.10	15.08	30.78	1655	2850	3.9
Promedios				1638		4.0

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso hum. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S (k/m ³)	Absorción %
7	7.91	7.15	8.68	1424	1302	21.5
8	7.91	7.12	8.71	1423	1340	22.5
9	8.21	7.39	8.91	1478	1377	20.6
Promedios				1442	1340	21.5
12	7.67	6.77	9.10	1372	1211	34.5

Ensayo de módulo de elasticidad estático

Edad: 28 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob.(no): 10 Peso: 7.51 kg Diám.: 15.23 cm
 Area: 182.2 cm² P.U.E.= 1366 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	6	0	3	---	---	---
500	2.7	13	15	14	11	0.022	11
1000	5.5	22	31	16.5	23.5	0.047	23.5
1500	8.2	33	49	41	38	0.076	38
2000	11	47	68	57.5	54.5	0.109	54.5
2500	13.7	64	91	77.5	74.5	0.149	74.5
3000	16.5	90	134	112	109	0.218	109
3050	16.7	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1366^{1.5} \sqrt{16.7}$$

$$E_c = 28059 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(15):

$$E_c = 21410 \text{ k/cm}^2.$$

Edad: 28 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob.(no): 11 Peso: 7.42 kg Diám.: 15.14cm
 Area: 180.0 cm² P.U.E.= 1369 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	11	1	6	---	---	---
500	2.8	15	12	13.5	7.5	0.015	7.5
1000	5.6	21	25	23	17	0.034	17
1500	8.3	31	41	36	30	0.060	30
2000	11.1	41	61	51	45	0.090	45
2500	13.9	56	88	72	66	0.132	66
2800	15.6	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pawn:

$$E_c = 0.136 w^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0.136 \times 1369^{1.5} \sqrt{15.6}$$

$$E_c = 27209 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(16):

$$E_c = 28889 \text{ k/cm}^2.$$

CURVA : ESF. vs. DEF. UNIT.

PROB.: nº 11

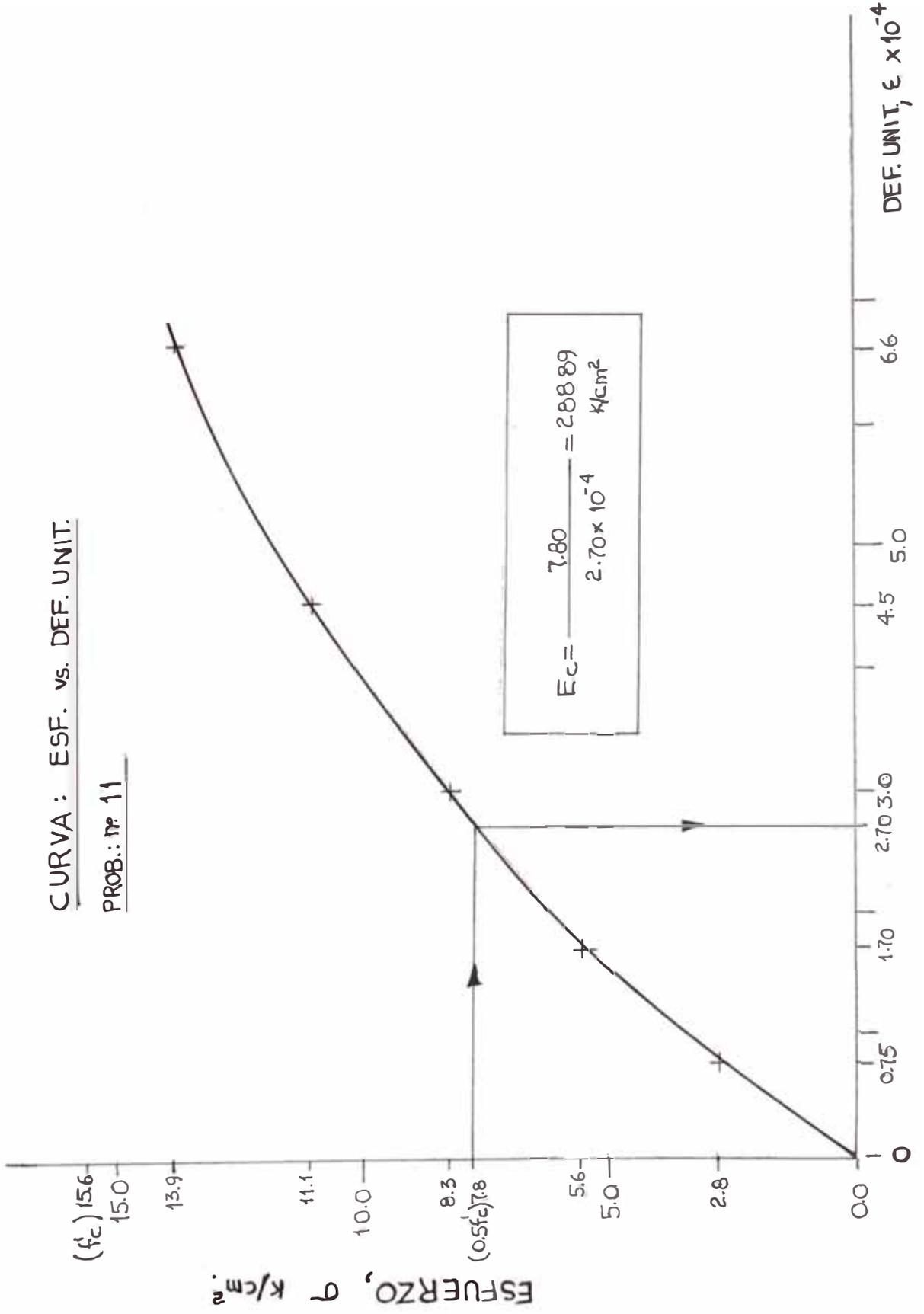


Fig. (16).

Resultados en concreto fresco y al primer día de las pruebas preliminares realizadas:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1 (0.7%)	---	936	1	5.1	15.13	23.5	1200
			2	4.8	15.03	21.96	1232
			3	5.0	15.23	22.35	1228
2 (0.3%)	---	1692	5	8.7	15.13	30.62	1580
			6	8.9	15.37	30.54	1570
3 (0.5%)	---	1692	6	9.2	15.09	30.57	1682
			7	8.8	15.15	30.62	1594
4 (0.47%)	---	1602	8	8.47	15.17	30.49	1537
			9	8.55	15.14	30.45	1559
			10	7.96	15.16	26.55	1640
5 (0.6%)	---	1566	11	8.67	15.18	30.43	1574
			12	8.73	15.21	30.67	1566
			13	7.15	15.27	23.89	1634
6 (0.8))	---	1296	14	6.97	15.12	30.37	1278
			15	6.88	15.06	30.02	1330
			16	7.33	15.08	30.02	1366

Continuación...

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
7 (0.7%)	---	1179	17	6.90	15.45	26.59	1384
			18	6.25	15.04	25.41	1383
			19	6.46	15.00	26.35	1387
8 (0.7%)	---	1566	20	8.50	15.2	30.2	1530
			21	8.61	15.2	30.5	1550
			22	7.11	15.1	24.2	1641
9 (0.55%)	---	1494	23	8.13	15.1	30.5	1463
			24	8.23	15.2	30.5	1481
			25	7.01	15.33	25.6	1482
10 (0.55%)	---	1314	26	7.26	15.17	24.6	1634
			27	7.36	15.18	26.1	1565
			28	7.00	15.02	25.2	1572
11 (0.55%)	---	1728	29	9.39	15.20	30.42	1690
			30	9.40	15.21	30.28	1692

Observaciones:

10. El peso unitario no se mantiene constante a pesar de usarse la misma cantidad de agente espu-

mante.

2o. Las tandas con pesos unitarios bajos perdieron estabilidad al primer día(descenso de la altura en las probetas).

2o. Las tandas 1, 2, 3 se hicieron con proporciones reducidas en 22.1 %. Esta fueron:

Cemento 7.40 kg

Agua mezclado 3.25 kg

Arena gruesa 10.67 kg

Total 21.32 kg

Tricosal S-45 0.052 kg (0.7%)

0.022 kg (0.3%)

0.037 kg (0.5%)

Resultados en concreto endurecido de las tandas preliminares:

Ensayo de resistencia a la compresión

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Rel. $\frac{h/d}{corr.}$	Esf. $\frac{f_c}{k/cm^2}$
1	5.51	15.13	23.62	1297	500	178.8	$\frac{1.56}{0.97}$	2.7
2	4.90	15.03	21.96	1257	500	177.4	$\frac{1.46}{0.97}$	2.7
3	5.25	15.23	22.35	1288	1000	182.2	$\frac{1.47}{0.97}$	5.3
Promedios				1281				3.6
4	9.31	15.13	30.62	1692	9250	179.8		51.4
5	9.49	15.37	30.54	1675	14450	185.5		77.9
Promedios				1684				64.7
6	9.43	15.09	30.57	1725	15000	178.8		83.9
7	9.33	15.15	30.62	1690	12850	180.3		71.3
Promedios								77.6
Promedios				1708				
8	8.54	15.17	30.49	1550	10450	180.7		57.8
9	8.64	15.14	30.45	1575	11200	180.0		62.2
10	8.04	15.16	26.55	1678	13400	180.5	$\frac{1.75}{0.98}$	72.8
Promedios				1601				64.3

continuación...

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Rel. $\frac{h/d}{corr.}$	Esf. f'_c (k/cm ²)
11	8.86	15.18	30.43	1610	10250	181.0		56.6
12	8.95	15.21	30.67	1605	11400	181.7		62.7
13	7.27	15.27	23.89	1661	12900	183.1	$\frac{1.56}{0.97}$	68.5
Promedios				1625				62.6
14	6.97	15.12	30.37	1278	1400	179.6		7.8
15	6.90	15.06	29.02	1335	1350	178.1		7.6
16	7.37	15.08	30.02	1374	1400	178.6		7.8
Promedios				1329				7.7
17	6.95	15.45	26.59	1393	2750	187.5	$\frac{1.72}{0.98}$	14.4
18	6.25	15.04	25.41	1383	3350	177.7	$\frac{1.69}{0.98}$	18.4
19	6.45	15.00	26.35	1382	2700	176.7	$\frac{1.76}{0.98}$	15.0
Promedios				1386				15.9
20	8.82	15.4	30.5	1588	9350	186.3		50.2
21	8.77	15.2	30.5	1578	7850	181.5		43.3
22	6.85	15.1	24.2	1580	7250	179.1	$\frac{1.60}{0.97}$	39.4
Promedios				1582				44.3

continuación...

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Rel. $\frac{h/d}{corr.}$	Esf. (k/cm ²)
23	8.48	15.1	30.5	1526	8200	179.1		45.8
24	8.67	15.2	30.5	1561	9100	181.5		50.1
25	7.19	15.33	25.6	1524	7850	184.5	$\frac{1.67}{0.98}$	41.6
Promedios				1537				45.8
26	7.30	15.17	24.58	1643	6150	180.7	$\frac{1.62}{0.97}$	36.5
27	7.39	15.18	25.97	1572	6200	181.0	$\frac{1.71}{0.98}$	33.6
28	7.01	15.02	25.13	1575	4750	177.2	$\frac{1.67}{0.98}$	26.2
Promedios				1597				32.1
29	---	15.20	30.42	---	16350	181.5		90.1
30	---	15.21	30.28	---	17150	181.7		94.4
Promedios				---				92.3

4.1.5. Dosificación D 5

Proporción de prueba:

Cemento ————— 7.41 kg

Agua mezclado — 3.18 kg

Arena gruesa 16.77 kg

Total 27.36 kg

Proporción correcta del agente espumante:

Tricosal S-45 — 0.056 kg (0.75%)

Resultados en concreto fresco y al primer día de las tandas realizadas:

Tanda (no)	Slump (pulg.)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	---	1494	1	8.22	15.2	30.5	1480
			2	8.60	15.4	30.4	1548
			3	6.77	15.2	23.6	1580
2	---	1476	4	8.04	15.05	29.89	1512
			5	8.12	15.21	30.21	1479
			6	8.10	15.07	30.08	1509
3	---	1530	7	8.40	15.25	30.71	1498
			8	8.38	15.23	30.49	1508
			9	6.86	15.29	24.94	1497
4	---	1809	10	9.88	15.30	30.67	1752
			11	9.82	15.27	30.57	1755
			12	5.12	15.14	16.20	1756

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de resistencia a la compresión

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Rel. $\frac{h/d}{corr.}$	Esf. f'_{c2} (k/cm ²)
1	8.49	15.2	30.5	1527	4550	181.5		25.1
2	8.75	15.4	30.4	1575	3850	186.3		20.7
3	7.45	15.2	23.6	1617	5400	181.5	$\frac{1.55}{0.97}$	28.9
Promedios				1573				24.9

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo f_{ct} (k/cm ²)
4	7.91	15.05	29.89	1424	1900	2.7
5	7.91	15.21	30.21	1423	2550	3.5
6	8.21	15.07	30.08	1478	2050	2.9
Promedios				1442		3.0
10	---	15.30	30.67	---	7950	10.8
11	---	15.27	30.57	---	7050	9.6
12	---	15.14	16.20	---	3850	10.0
Promedios				---		10.1

Ensayo de peso seco al hormo y absorción

Edad: 28 d

Prob.: no. 8

Peso húm.: 8.57 kh P.U.E.= 1537 k/m³

Peso seco: 7.73 kg P.U.S.= 1387 k/m³

Peso sat.: 9.44 kg %Absorción = 22.2 %

Ensayo de módulo de elasticidad estático

Edad: 28 d

Varilla: 200 mm

Escala: 1/500

Prob. (no): 7

Peso: 8.61 kg

Diám.: 15.25 cm

Area: 182.7 cm²

P.U.E.= 1541 k/m³

Carga (no)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	10	8	4.5	---	0.009	4.5
500	2.7	5	13	9	4.5	0.009	4.5
1000	5.5	11	21	16	11.5	0.023	11.5
1500	8.2	18	31	24.5	20	0.040	20
2000	10.9	25	41	33	28.5	0.057	28.5
2500	13.7	33	53	44	39.5	0.079	39.5
3000	16.4	42	65	53.5	49	0.098	49
3500	19.2	52	80	66	61.5	0.123	61.5
4000	21.9	65	100	82.5	78	0.156	78
4450	24.4	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pauw:

$$\begin{aligned} E_c &= 0.136 w^{1.5} \sqrt{f_c} \\ E_c &= 0.136 \times 1541^{1.5} \sqrt{24.4} \\ E_c &= 40639 \text{ k/cm}^2 \end{aligned}$$

Medido, ver fig.(17):

$$E_c = 38854 \text{ k/cm}^2.$$

Observaciones:

1o. Para los últimos ensayos solo se emplearon 1 probeta.

2o. La probeta 9 se ensayó en tracción por compresión diametral, posteriormente, resultando:

Peso= 6.99 kg

Diám=15.28 cm

Alt.=24.96 cm

P.U.E.= 1527 k/m³

Carga = 1700 kg

Esfuerzo fct = 2.8 k/cm²

Resultados en concreto fresco y al primer día de las tandas preliminares:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1 (0.5%)	6.75	1674	1	9.24	15.28	30.58	1694
			2	9.28	15.07	30.38	1656
			3	6.18	15.15	19.31	1775
2 (0.65%)	---	1620		8.82	15.3	30.4	1588
			2	8.76	15.2	30.6	1576
			3	7.34	15.0	25.1	1605

4.1.6. Dosificación D 6

Proporción de prueba preliminar:

Cemento	9.0 kg
Agua mezclado	4.0 "
Arena fina	9.0 "

Total 22.0 kg

Proporción del agente espumante usado:

Tricosal S-45	0.045 kg (0.5%)
	0.045 " (0.49%)

Observación:

1o. Se prepararon tres tandas, habiéndose hecho la primera con cantidades duplicadas y las otras dos, del sgt. modo: se hizo una tanda similar a la tanda 1, mezclándolo posteriormente con otra tanda aumentada en 0.5 kg de cemento y arena.

Resultados en concreto fresco y al primer día de las pruebas realizadas:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	9.0	1260	1	---	15.2	---	---
			2	---	15.35	---	---
			3	---	15.3	---	---
			4	---	---	---	---
			5	---	---	---	---
2	---	1242	1	6.6	15.25	---	1185
			7	7.2	15.30	30.65	1278
			8	6.6	15.30	30.40	1181
			9	6.8	15.20	---	1229
			10	7.2	15.25	---	1293
			11	---	15.40	26.30	---

Observaciones:

1o. En la tanda 1 se pesó una probeta al azar, obteniéndose un P.U.D.= 1365 k/m³.

2o. En la tanda 2, antes de mezclar las dos coladas de que se compone, se pesó un peso unitario de concreto fresco de 960 k/m³. correspondiente a la primera colada.

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de resistencia a la compresión

Edad: 28 d

Tanb. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f' _c (k/cm ²)
1	7.97	15.2	1441	9450	181.5	52.1
9	7.54	15.2	1363	5200	181.5	28.7
10	7.68	15.25	1379	6250	182.7	34.2
Promedios			1371			31.5

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esf. f _{ct} (k/cm ²)
7	7.73	15.3	30.65	1372	3150	4.3
8	6.94	15.3	30.40	1241	2400	3.3
9	6.54	15.4	26.30	1335	2050	3.2
Promedios				1316		3.6

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S. (k/m ³)	Absorción
4	6.74	6.74	8.06	---	1211	19.6
5	---	6.80	7.93	---	1222	16.6
Promedios				---	1217	18.1

continuación...

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 \times 1383^{1.5} \sqrt{49.8} = 49361 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(18) y (19):

$$E_c = 53478 \text{ k/cm}^2 \quad (\text{prob. } 2)$$

$$E_c = 45273 \quad " \quad (\text{prob. } 3)$$

CURVA: ESF vs DEF UNIT.

PROB.: n° 2

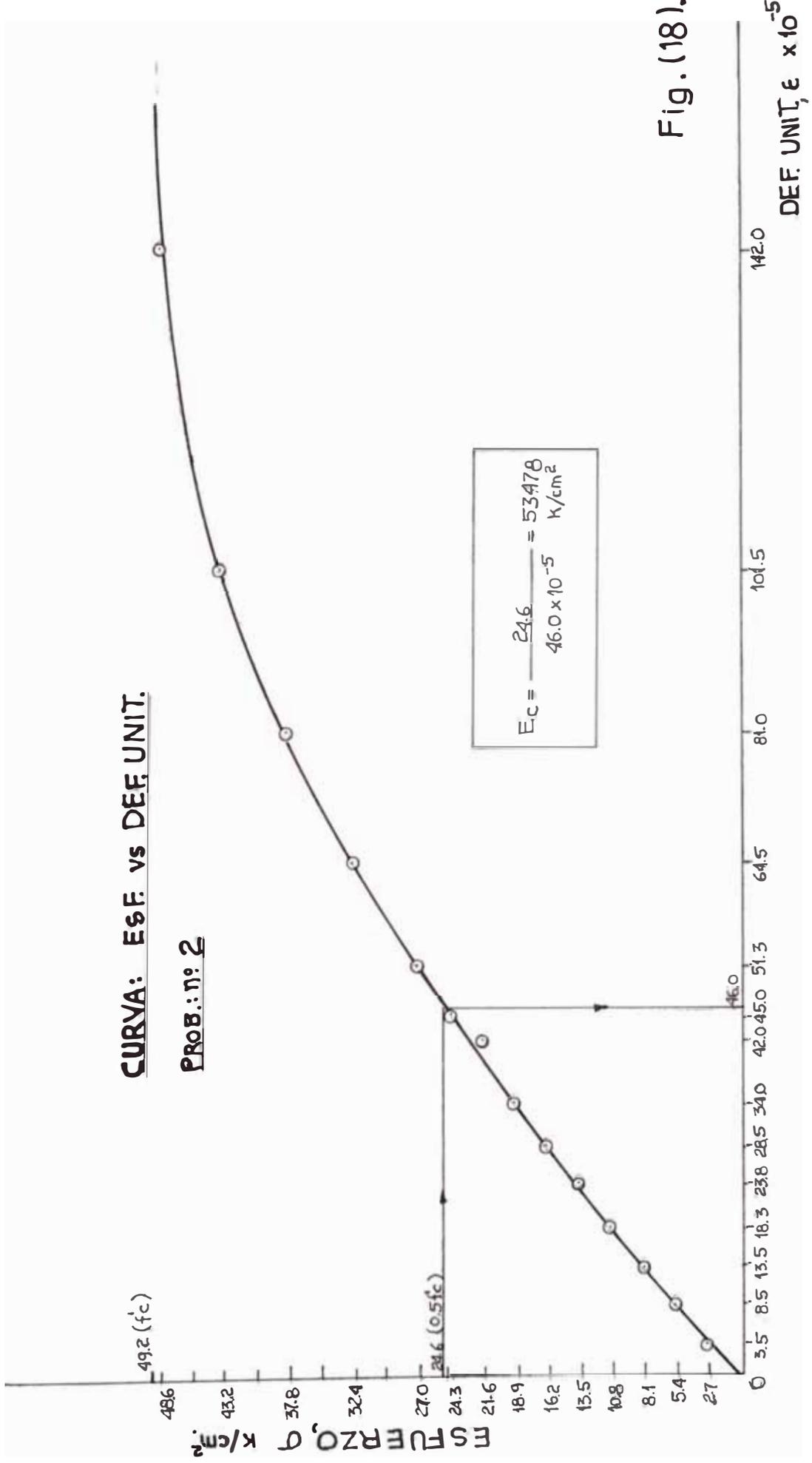


Fig. (18).

Edad: 28 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
Prob.(no): 6 Peso: 6.95 kg Diám.: 15.25 cm
Area: 182.7 cm² P.U.E.= 1248 k/m³.

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	8	2	5	---	---	---
500	2.7	12	11.5	11.8	6.8	0.014	6.8
1000	5.4	17	30	23.5	18.5	0.037	18.5
1500	8.1	22	49	35.5	30.5	0.061	30.5
2000	10.8	27	69	48	43	0.086	43
2500	13.5	35	91	63	58	0.116	58
3000	16.2	45	113	79	74	0.148	74
3500	18.9	58	140	99	94	0.188	94
4000	21.6	74	170	122	117	0.234	117
4500	24.3	103	225	164	159	0.318	159
4550	24.9	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 \times 1248^{1.5} \sqrt{24.9}$$

$$E_c = 29920 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(20):

$$E_c = 24412 \text{ k/cm}^2.$$

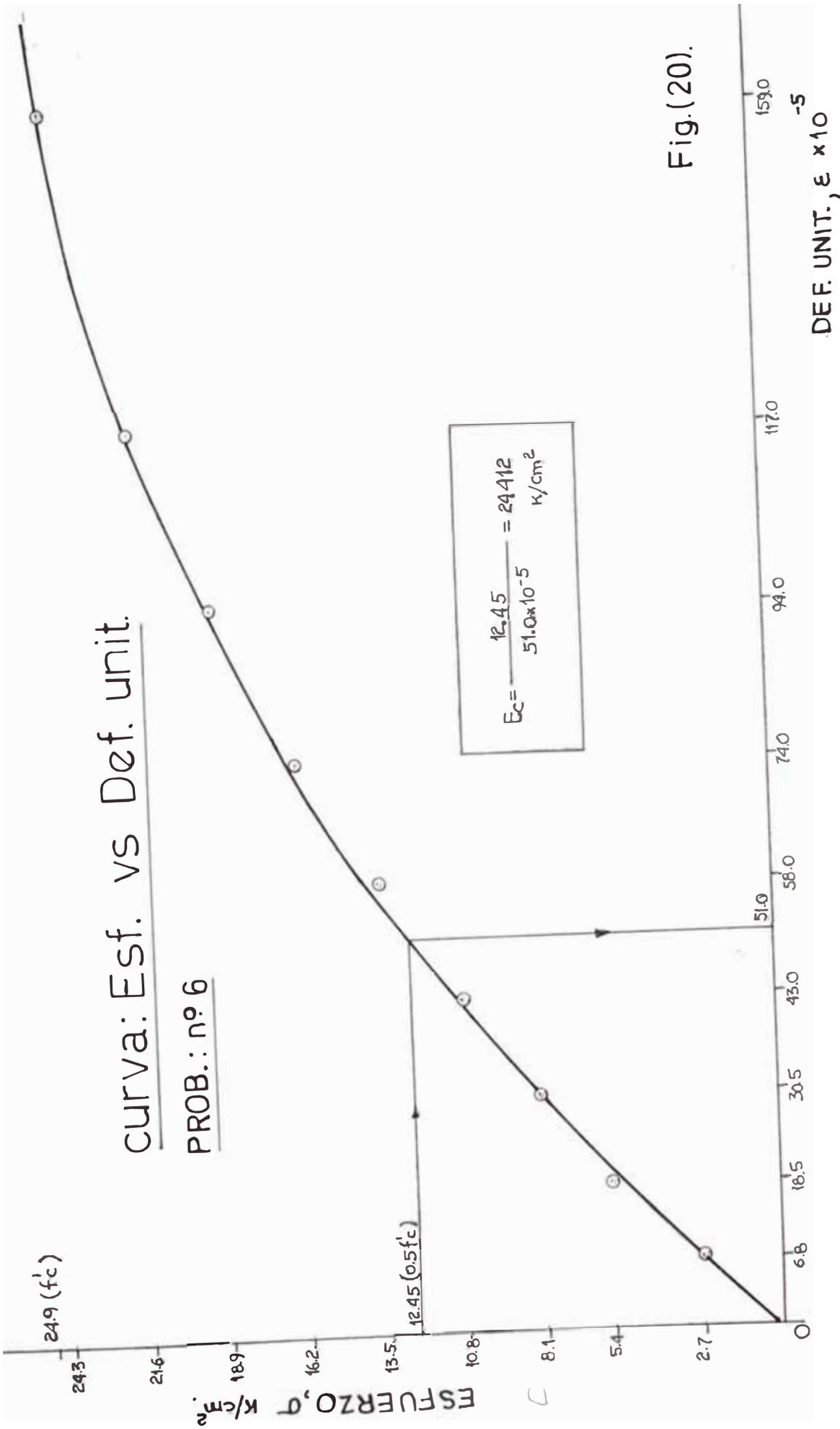


Fig.(20).

4.1.7. Otras dosificaciones

Dosificación D 7

Proporción de prueba:

Cemento	7.02 kg
Agua mezclado	3.76 kg
Arena gruesa	18.60 kg
Tricosal S-45	0.02 kg (0.28%)

Resultados en concreto fresco y al primer día de las tandas realizadas:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	5.75	1610	1	9.74	---	---	1753
			2	9.90	---	---	1782
			3	9.95	---	---	1791
2	7.75	1610	4	9.19	15.3	30.5	1639
			5	9.16	---	---	1649
			6	9.15	15.3	---	1633
3+4	6.50	1505	7	9.37	15.3	---	1672
			8	9.41	15.3	---	1679
			9	9.35	15.3	---	1668
			10	9.43	15.3	---	1682
			11	9.47	15.3	30.5	1689
			12	9.45	15.3	30.6	1680

Observaciones:

- 1o. A partir de la tanda 2, se usó una cantidad de proporciones aumentadas en 5%, con el objeto de que alcance mezcla para llenar 3 probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg.

- 2o. El peso unitario se determinó en base al mol de cilíndrico estandar de 0.1 pie³ con factor volumétrico igual a 350.

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de resistencia a la compresión

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f _c ' (k/cm ²)
6	9.15	15.3	1727	10000	183.9	54.4
9	9.77	15.3	1743	12900	183.9	70.1
10	9.95	15.25	1787	12700	182.7	69.5
Promedios			1752			64.7

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Esfuerzo f _{ct} (k/cm ²)
4	9.65	15.3	30.5	1721	5400	7.4
11	9.98	15.3	30.5	1780	5650	7.7
12	9.90	15.3	30.6	1760	5350	7.3
Promedios				1754		7.5

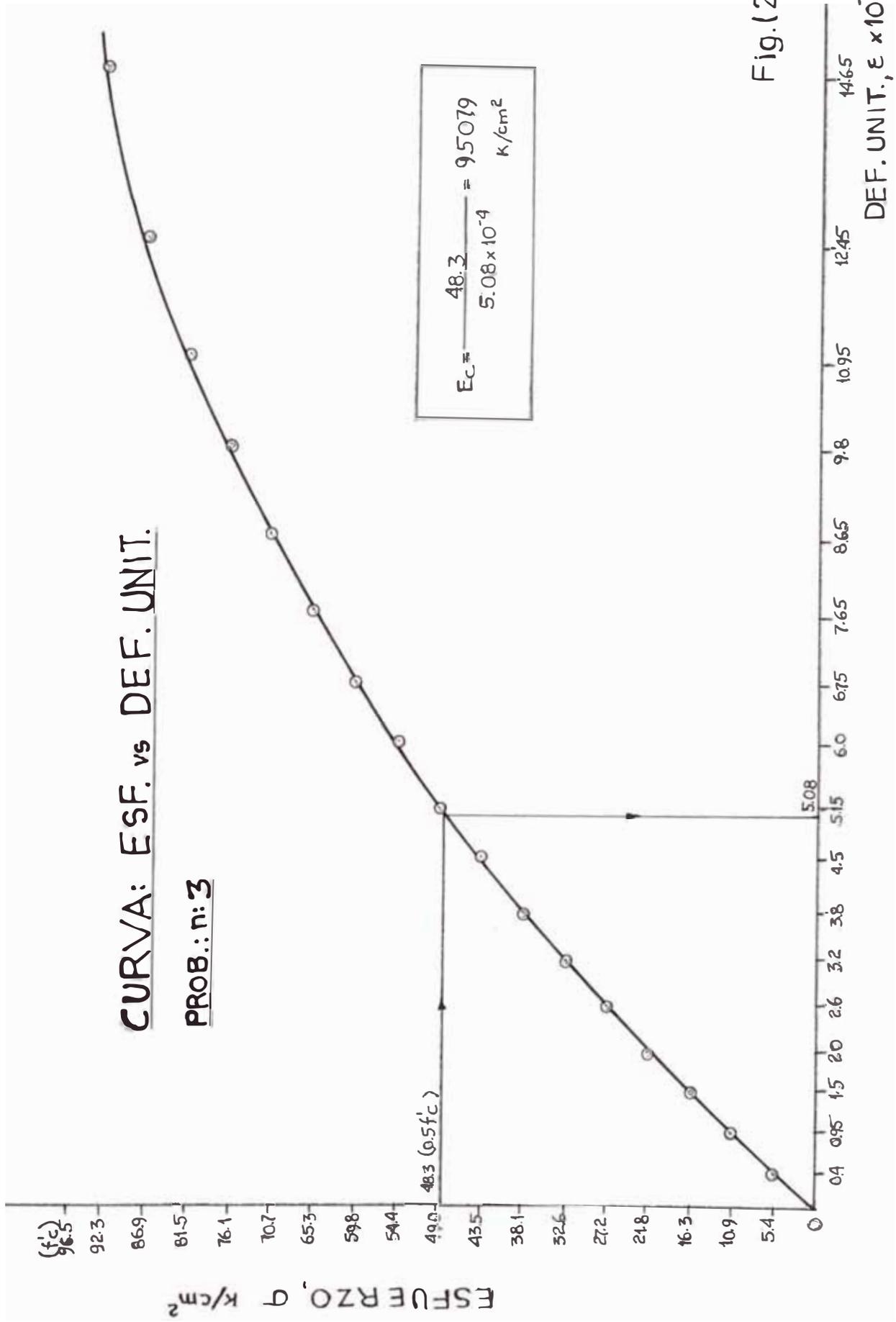


Fig. (21).

CURVA: ESF. vs DEF. UNIT.

PROB.: nº 7

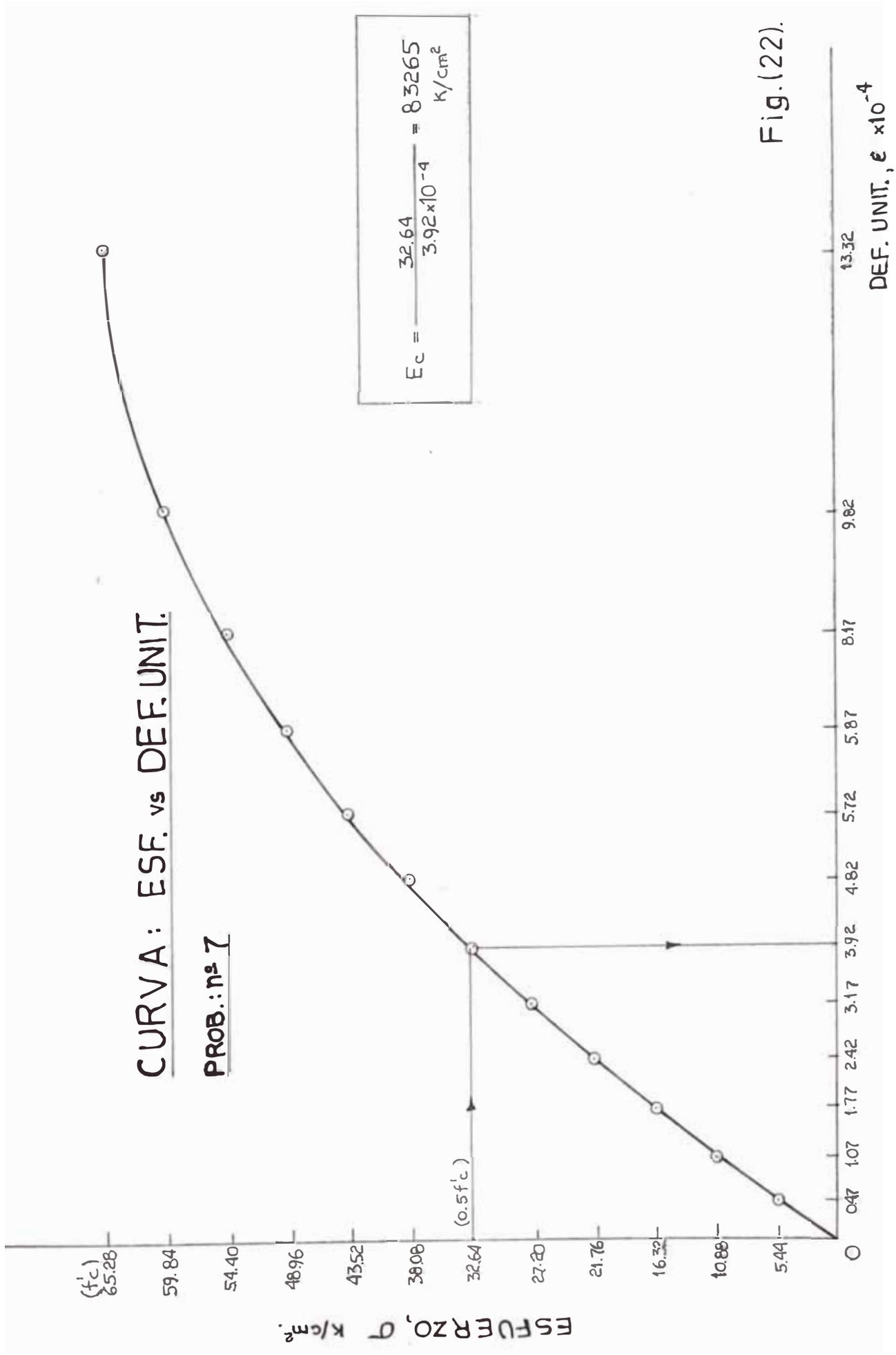


Fig.(22).

Edad: 28 d Varilla: 200 mm Escala: 1/500
 Prob.(no): 8 Peso: 9.87 kg Diám.: 1533 cm
 Prob: 183.9 cm² P.U.E.= 1761 k/m³

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	6	5	5.5	---	---	---
1000	5.4	13	10	11.5	6	0.012	6
2000	10.8	22	18	20	14.5	0.029	14.5
3000	16.3	35	29	32	26.5	0.033	26.5
4000	21.8	50	42	46	40.5	0.045	40.5
5000	27.2	66	46	56	50.5	0.101	50.5
6000	32.6	77	51	64	58.5	0.117	58.5
7000	38.1	92	66	79	73.5	0.147	73.5
8000	43.5	100	70	85	79.5	0.159	79.5
9000	49.0	120	80	100	94.5	0.189	94.5
10000	54.4	130	85	108	102.5	0.205	102.5
11000	59.8	144	93	119	113.5	0.227	113.5
11400	62.0	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 \times 1720^{1.5} \sqrt{62.0} - 76388 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(23):

$$E_c = 60078 \text{ k/cm}^2.$$

CURVA: ESF. vs DEF. UNIT.

PROB.: nº 8

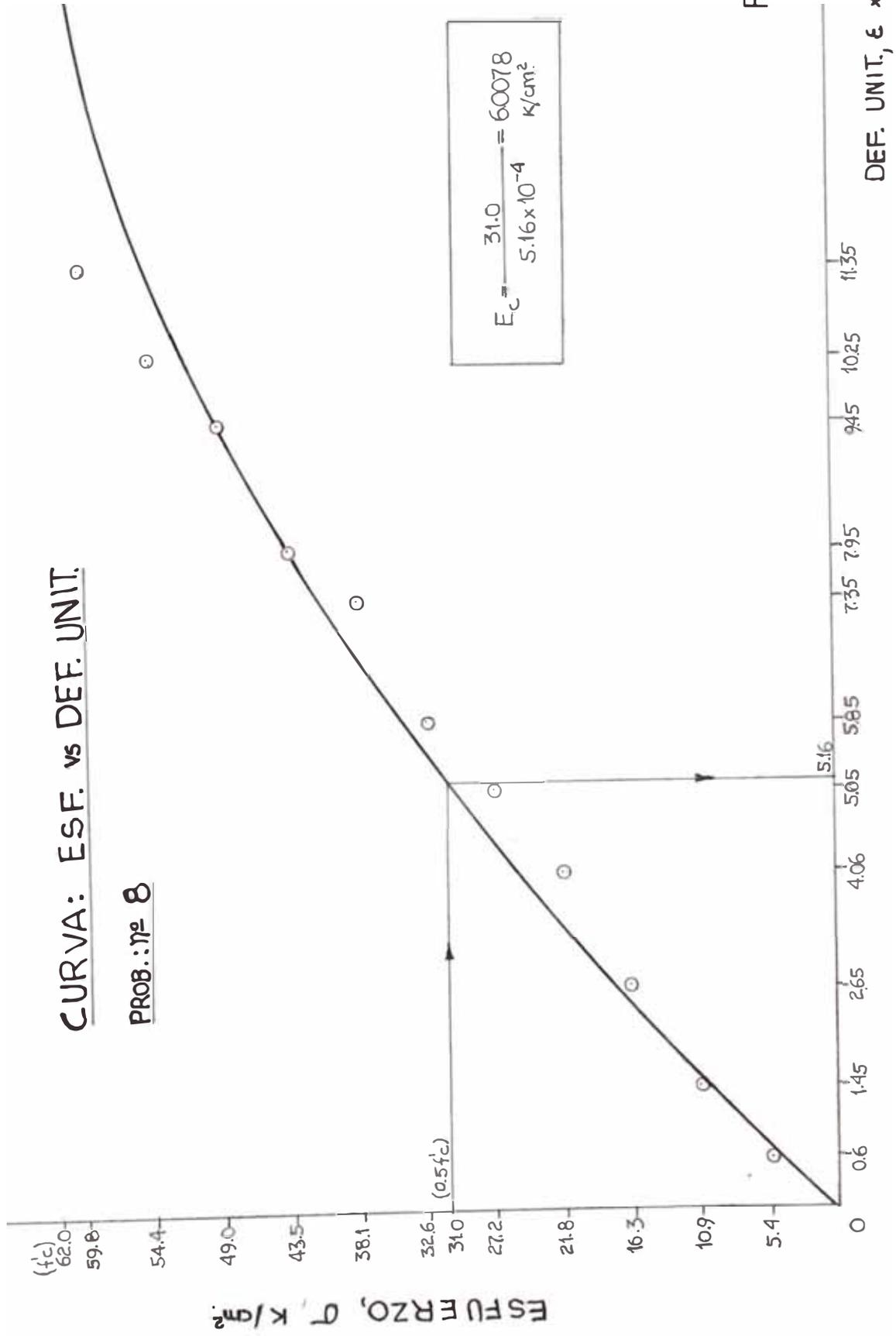


Fig. (23).

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S. (k/m ³)	Absorción 5
1	10.61	9.35	---	1874	1683	13.5
2	10.61	10.01	---	1910	1643	1622
5	9.92	8.78	---	1786	1580	13.0
Promedios				1857	1635	14.2

Observaciones:

- 1o. Las probetas ensayadas se encontraban muy húmedas. Se les pesó a los 28 d y se les dejó 1 día más para que escurriesen todo el agua que contenían, secándolas todo lo posible antes de ensayarlas.
- 2o. Por lo anterior se puede considerar que los P.U.E. indicados, sean mayores a los reales. Se estimó conveniente tomar un promedio entre los valores de P.U.D. y peso unitario a los 28 días. Así se hizo para la aplicación de la ecuación de Pawn.
- 3o. Para el ensayo de Absorción, no se midió el peso saturado de cada probeta, por lo que se hizo el cálculo con los pesos húmedos a los 28 d.

Determinación de las proporciones de diseño:

Se determina del siguiente modo;

$$\begin{aligned} \text{P.U.F. (promedio)} &= \frac{1610 + 1610 + 1505}{3} \\ &= 1575 \text{ k/m}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso total de la colada} &= 7.02 + 3.76 + 18.60 \\ &\quad + 0.020 \\ &= 29.40 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Rendimiento de la tanda} = \frac{29.40}{1575} = 0.0187 \text{ m}^3$$

Proporciones para 1 m³:

$$\text{Cemento} \text{ ————— } 7.02 \times \frac{1}{0.0187} = 376.1 \text{ kg}$$

$$\text{Agua mezclado: } 3.76 \times \frac{1}{0.0187} = 201.4 \text{ kg}$$

$$\text{Arena gruesa: } 18.60 \times \frac{1}{0.0187} = 996.4 \text{ kg}$$

$$\text{Tricosal S-45: } 0.02 \times \frac{1}{0.0187} = 1.1 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la arena seca} = 996.4 \times \frac{1}{1.0098} = 986.7 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Aporte de agua de la arena} &= 996.4 - 986.7 \\ &= 9.7 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Agua de diseño} = 201.4 + 9.7 = 211.1 \text{ kg}$$

Proporción de diseño:

$$\text{Cemento} \text{ ————— } 376.1 \text{ kg}$$

$$\text{Agua mezclado} \text{ ——— } 211.1 \text{ kg}$$

$$\text{Arena gressa} \text{ ————— } 986.7 \text{ kg}$$

$$\text{Rel. w/c} = 0.56$$

$$\text{Rel. A/c} = 2.62$$

Dosificación D 8

Proporción de prueba:

Cemento ————— 10.8 kg
Agua mezclado — 6.1 kg
Arena fina ————— 28.8 kg
Tricosal S-45 — 0.065 kg (0.6%)

Resultado en concreto fresco y al primer día:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	---	1440	1	7.83	15.15	30.42	1428
			2	7.96	15.29	30.34	1428
			3	7.83	15.14	30.46	1428
			4	7.97	15.22	30.52	1435
			5	7.92	15.25	30.39	1426
			6	7.82	15.11	30.42	1434

Observación:

1o. La tanda se realizó en dos partes, que luego se mezclaron juntas. El peso unitario en concreto fresco se obtuvo pesando un molde cilíndrico estandar de 6 x 12 pulg.

Resultado en concreto endurecido:

Ensayo de compresión axial

Edad: 28 d	Area: 179.3 cm ²
Prob.(no): 6	P.U.E.= ---
Peso: ---	Carga: 10400 kg
Diám.: 15.11 cm	Esfuerzo f' _c = 58.0 k/cm ²

Ensayo de tracción por compresión diametral

Edad: 28 d	Altura: 30.52 cm
Prob.(no): 4	P.U.E.: 1534 k/m ³
Peso: 8.52 kg	Carga: 3550 kg
Diám.: 15.22 cm	Esfuerzo f _{ct} = 4.9 k/cm ²

Ensayo de peso seco al horno y absorción

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	Peso sat. (kg)	P.U.E. (k/m ³)	P.U.S. (k/m ³)	Absorción
1	---	7.14	7.74		1302	8.4
2	---	7.26	7.88	---	1302	8.5
Promedios				---	1302	8.5

Ensayo de módulo elástico estático

Edad: 28 d	Varilla: 200 mm	Escala: 1/500
Prob.(no): 5	Peso: ---	Diám.: 15.25 cm
Area: 182.7 cm ²	P.U.E.: ---	

Carga (kg)	Esf. (k/cm ²)	Lect. Izq. (mm)	Lect. Der. (mm)	Lect. Prom. (mm)	Lect. Corr. (mm)	Def. (mm)	Def. Unit. x10 ⁻⁵
0	---	1	2	1.5	---	---	---
1000	2.7	4	5	4.5	3	0.002	3
1000	5.5	9	8	8.5	7	0.004	7
1500	8.2	14	13	13.5	12	0.024	12
2000	10.9	18	15	16.5	15	0.030	15
2500	13.7	22	20	21	19.5	0.039	19.5
3000	16.4	27	23	25	23.5	0.047	23.5
3500	19.2	31	28	29.5	28	0.056	28
4000	21.9	35	32	33.5	32	0.064	32
4500	24.6	40	37	38.5	37	0.074	37
5000	27.4	44	43	43.5	42	0.084	42
5500	30.1	49	48	48.5	47	0.094	47
6000	32.8	54	52	53	51.5	0.103	51.5
6500	35.6	59	57	58	56.5	0.113	56.5
7000	38.3	64	63	63.5	62	0.124	62
7500	41.1	70	70	70	68.5	0.137	68.5
8000	43.8	76	75	75.5	74	0.148	74
8500	46.5	83	82	82.5	81	0.162	81
9000	49.3	90	90	90	88.5	0.177	86.5
9500	52.0	99	97	98	96.5	0.193	96.5
10000	54.7	108	107	107.5	106	0.212	106

continuación...

10500	57.5	120	119	119.5	118	0.236	118
11000	60.2	138	137	137.5	136	0.272	136
11450	62.7	---	---	---	---	---	---

Aplicando la ecuación de Pavn:

$$E_c = 0.136 \times 1426^{1.5} \sqrt{62.7}$$

$$E_c = 57990 \text{ k/cm}^2.$$

Medido, ver fig.(24):

$$E_c = 63980 \text{ k/cm}^2.$$

Observaciones:

1o. Para la aplicación de la ecuación de Pavn se consideró el P.U.D. de la probeta.

2o. La probeta no. 3 se ensayó a compresión diámetro, luego de ser puesta al horno por 24 hr, dando:

Edad = 29 d

Altura = 30.46 cm

Prob.(no) = 3

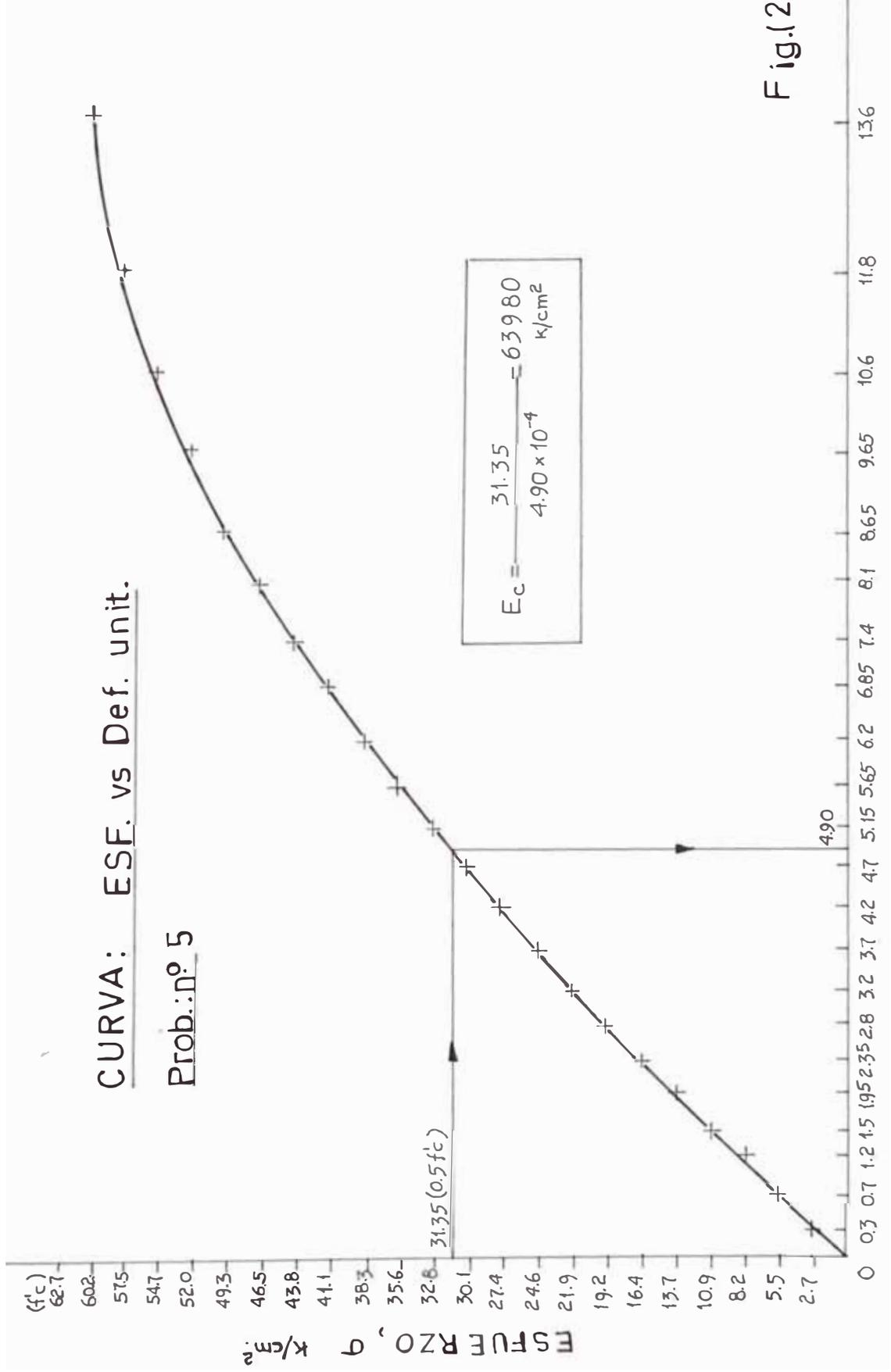
P.U.E. = 1304 k/m³.

Peso seco = 7.15 kg

Carga = 4450 kg

Diám. = 15.14 cm

Esf. f_{ct} = 6.1 k/cm².



Determinación de las proporciones de diseño:

Se determina del siguiente modo;

$$P.U.F. = 1440 \text{ k/m}^3.$$

$$\begin{aligned} \text{Peso total de la colada} &= 10.8 + 6.1 + 28.8 + 0.065 \\ &= 45.765 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Rendimiento de la tanda} = \frac{45.765}{1440} = 0.0318 \text{ m}^3$$

Proporciones para 1 m³:

$$\text{Cemento} \text{ ————— } 10.8 \times \frac{1}{0.0318} = 339.8 \text{ kg}$$

$$\text{Agua mezclado} \text{ — } 6.1 \times \frac{1}{0.0318} = 191.9 \text{ kg}$$

$$\text{Arena fina} \text{ ————— } 28.8 \times \frac{1}{0.0318} = 906.2 \text{ kg}$$

$$\text{Tricosal S-45} \text{ — } 0.065 \times \frac{1}{0.0318} = 2.05 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la arena seca} = 906.2 \times \frac{1}{1.008} = 899.0 \text{ kg}$$

$$\text{Aporte de agua de la arena} = 906.2 - 899.0 = 7.2 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de diseño} = 191.9 + 7.2 = 199.1 \text{ kg}$$

Proporciones de diseño:

$$\text{Cemento} \text{ ————— } 339.8 \text{ kg}$$

$$\text{Agua total} \text{ ————— } 199.1 \text{ kg}$$

$$\text{Arena fina(seca)} \text{ — } 899.0 \text{ kg}$$

$$\text{Rel. } w/c = 0.586 \quad ; \quad \text{Rel. } A/c = 2.646$$

Dosificación D 9

Proporción de prueba:

Cemento ————— 8.0 kg
 Agua mezclado ——— 4.0 kg
 Arena gruesa ———— 23.0 kg
 Tricosal S-45 ——— 0.060 kg (0.75%)
 Total 35.060 kg

Resultados en concreto fresco y al primer día:

Tanda (no)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	Alt. (cm)	P.U.D. (k/m ³)
1	9.0	1330	1	---	15.3	---	---
			2	---	15.3	---	---
			3	---	15.3	---	---
2	9.0	1260	4	7.83	15.3	---	1397
			5	---	15.3	---	---
			6	---	15.2	---	---
Promedio		1295					1397

$$\text{Rendimiento de la colada} = \frac{36.06}{1295} = 0.0278 \text{ m}^3.$$

Proporción para 1 m³:

$$\text{Cemento} \text{ ————— } 8.0 \times \frac{1}{0.0278} = 287.3 \text{ kg}$$

$$\text{Agua mezclado} \text{ — } 4.0 \times \frac{1}{0.0278} = 143.6 \text{ kg}$$

$$\text{Arena gruesa} \text{ ———— } 23.0 \times \frac{1}{0.0278} = 826.0 \text{ kg}$$

$$\text{Tricosal S-45} \text{ — } 0.06 \times \frac{1}{0.0278} = 2.15 \text{ kg}$$

Peso de la arena seca = $826.0 \times \frac{1}{1.0098} = 818.0$ kg

Aporte de agua de la arena = $826.0 - 818.0 = 8.0$ kg

Agua de diseño = $143.6 + 8.0 = 151.6$ kg

Proporciones de diseño:

Cemento _____ 287.3 kg

Agua total _____ 151.6 kg

Arena gruesa(seca)_____ 818.0 kg

Rel. w/c= 0.53 ; Rel. A/c= 2.85

Resultados en concreto endurecido:

Ensayo de resistencia a la compresión

Edad: 28 d

Prob. (no)	Peso (kg)	Diám. (cm)	P.U.E. (k/m ³)	Carga (kg)	Area (cm ²)	Esfuerzo f' _c (k/cm ²)
1	7.40	15.3	1330	2150	183.9	11.7
2	7.40	15.3	1335	2200	183.9	12.0
3	7.49	15.3	1350	2300	183.9	12.5
4	7.92	15.3	1425	2300	183.9	12.5
5	7.94	15.3	1430	2350	183.9	12.8
6	7.95	15.2	1430	2400	183.9	13.0
Promedios			1383			12.4

4.2.- Resúmenes y gráficos

Se muestra en forma resumida los resultados alcanzados, así como los siguientes gráficos: resistencia a la compresión vs peso unitario; porcentaje de agente espumante empleado vs peso unitario obtenido; módulo elástico obtenido vs módulo elástico calculado y módulo elástico vs peso unitario.

4.2.1. Resumen de los ensayos realizados

Se incluyen los resultados de las dosificaciones del acápite (4.1.7.).

Resumen de los ensayos en concreto fresco y al primer día:

Dosificación (P.U. diseño) (k/m ³)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	P.U.D. (k/m ³)
D 1 (1600 ± 80)	7.5	1557	1562
D 2 (1440 ± 72)	9.0	1243	1450
D 3 (1440 ± 72)	9.5	1565	1459
D 4 (1440 ± 72)	---	1488	1502
D 5 (1440 ± 72)	---	1577	1573

continuación...

D 6 (1280 \pm 64)	9.0	1251	1233
D 7	6.5	1575	1693
D 8	---	1440	1430
D 9	9.0	1295	1397

Resultados en concreto endurecido:

Dosifi- cación (no)	P.U.E. (k/m ³)	Resist. Comp. f' _c (k/cm ²)	Resist. tracc. f _{ct} (k/cm ²)	Mód. El. ensayo calc. (k/cm ²)	P.U.S. (k/ m ³) %Absor.
D 1	1583	29.8	3.1	$\frac{22464}{36864}$	$\frac{1406}{17.2}$
D 2	1523	20.7	3.2	$\frac{31150}{28051}$	$\frac{1460}{13.0}$
D 3	1541	30.9	4.0	$\frac{32004}{53232}$	$\frac{1294}{27.9}$
D 4	1473	33.8	5.0	$\frac{25150}{27634}$	$\frac{1276}{28.0}$
D 5	1523	24.9	6.6	$\frac{38854}{40639}$	$\frac{1387}{22.2}$
D 6	1339	31.5	3.6	$\frac{41054}{42759}$	$\frac{1217}{18.1}$
D 7	1790	64.7	7.5	$\frac{79474}{86194}$	$\frac{1635}{14.2}$
D 8 [⊗]	1534	58.0	4.9	$\frac{63980}{57990}$	$\frac{1302}{8.5}$

⊗ Se rompió solo 1 prob. en los ensayos de compresión axial, diametral y módulo elástico.

D 9	1383	12.4	---	-----	-----
-----	------	------	-----	-------	-------

nota: Los resultados indicados han sido tomados promediando los valores obtenidos en cada ensayo, sin considerar el peso unitario de las probetas rotas; se tomó en cuenta que pertenecían a una misma dosificación, solamente.

Resultados en concreto fresco y endurecido de las pruebas preliminares:

Dosificación (no)	Cont. Tric. S-45 (%)	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	P.U.D. (k/m ³)	P.U.E. (k/m ³)	f' _c (k/cm ²)	f _{ct}
D 1	0.5 [✕]	0.0	1888	1916	1924	85.6	---
	0.7 [✕]	4.5	1673	---	1729	79.1	---
	0.8 [✕]	4.5	1763	---	1742	72.6	---
	0.8	---	1386	1382	1366	18.3	---
	1.0	---	1547	1534	1544	25.5	---
D 2	Fueron consideradas aceptables.						
D 3	Ninguna						
D 4	0.3	---	1692	1575	1684	64.7	---
	0.47	---	1602	1579	1601	64.3	---
	0.5	---	1692	1638	1708	77.6	---
	0.55	---	1512	1572	1567	56.7	---
	0.6	---	1566	1591	1625	62.6	---
	0.7	---	1227	1393	1416	21.3	---
	0.8	---	1296	1325	1329	7.7	---
D 5	0.5	6.75	1674	1708	1756	67.8	---
	0.65	---	1620	1590	1646	35.9	---
D 6	Ninguna		✕ Las únicas tandas en que el cemento se añadió al último.				
D 7	Ninguna						
D 8, D9	Ninguna						

Determinación de las dosificaciones verdaderas de las tandas preliminares:

Se hará promediando los valores que más se aproximan, para cada caso.

Dosificación D 1

DP 1 Se promedian los valores afectados por un asterisco en el cuadro anterior

Contenido Tricosal S-45 = 0.67%

Slump = 3.0 pulg

P.U.F. = 1775 k/m³.

Peso total de la colada = 30.37 kg

Rendimiento tanda = $\frac{30.37}{1775} = 0.0171$

Factor multiplicador = $\frac{1}{0.0171} = 58.48$

Proporción para 1 m³:

Cemento ————— 7.4 x 58.48 = 432.7 kg

Agua mezclado — 3.17 x " = 185.4 kg

Arena gruesa ——— 19.8 x " = 1157.9 kg

Peso arena seca = 1157.9 x $\frac{1}{1.0098} = 1146.7$ kg

Aporte agua de la arena = 1157.9 - 1146.7
= 11.2 kg

Agua de diseño = 185.4 + 11.2 = 196.6 kg

Proporción de diseño:

Cemento ————— 432.7 kg

Agua total ————— 196.6 kg

Arena gruesa(seca) 1146.7 kg

Rel w/c = 0.45 ; Rel. A/c = 2.65

continuación...

P.U.D.= -----

P.U.E.= 1798 k/m³.

Resistencia a la compresión= 79.1 k/cm².

DP 2

Contenido Tricosal S-45= 0.9%

Slump= ---

P.U.F.= 1467 k/m³

Rendimiento tanda= $\frac{30.37}{1467} = 0.0207 \text{ m}^3$

Factor multiplicador= $\frac{1}{0.0207} = 48.29$

Proporción para 1 m³:

Cemento ----- 7.4 x 48.29= 357.3
kg

Agua mezclado --- 3.17 x " = 153.1
kg

Arena gruesa --- 19.8 x " = 956.1
kg

Peso arena seca= 956.1 x $\frac{1}{0.0098} = 946.8$
kg

Aporte agua de la arena= 956.1 - 946.8
= 9.3 kg

Agua de diseño= 153.1 + 9.3 = 162.4 kg

Proporción de diseño:

Cemento ----- 357.3 kg

Agua total ----- 162.4 kg

Arena gruesa(seca) 946.8 kg

Rel. w/c= 0.45 ; Rel. A/c= 2.65

P.U.D.= 1458k/m³

P.U.E.= 1455 "

Resist. a la compresión= 21.9 k/cm²

Dosificación D 4

DP 3 Cont. TricosalS-45 - 0.42%

Slump= ---

P.U.F.= 1662 k/m^3

Rend. tanda= $\frac{27.37}{1662} = 0.0165 \text{ m}^3$

F.M.= 60.72

Proporción para 1 m^3 :

Cemento _____ $9.5 \times 60.72 = 576.9 \text{ kg}$

Agua mezclado — 4.16x " = 252.6 "

Arena gruesa — 13.71x " = 832.5 "

Peso arena seca= $832.5 \times \frac{1}{1.0098} = 824.4 \text{ "}$

Aporte agua de la arena= $832.5 - 824.4$

= 8.1 kg

Agua de diseño= $8.1 + 252.6 = 260.7 \text{ kg}$

DP 4 Cont. ticosal S-45= 0.58 %

Slump= ---

P.U.F.= 1539 k/m^3

Rend. tanda= $\frac{27.37}{1539} = 0.0178 \text{ m}^3$

F.M.= 56.23

Proporción para 1 m^3 :

Cemento _____ $9.5 \times 56.23 = 534.1 \text{ kg}$

Agua mezclado — 4.16 x " = 233.9 "

Arena gruesa — 13.71x " = 770.9 "

Peso arena seca= $770.9 \times \frac{1}{1.0098} = 763.4 \text{ "}$

Aporte agua de la arena= $770.9 - 763.4$

- 7.5 kg

Agua de diseño= $233.9 + 7.5 = 241.4 \text{ kg}$

DP 5

Cont. tricosal S-45= 0.75%

Slump= ---

P.U.F.= 1262 k/m³

Rend. tanda= $\frac{27.37}{1262} = 0.0217 \text{ m}^3$

F.M.= 46.11

Proporción para 1 m³:

Cemento ————— 9.5 x 46.11=438.0 kg

Agua mezclado ——— 4.16 x " =191.8 "

Arena gruesa ——— 13.71x " =632.2 "

Peso arena seca= 632.2 x $\frac{1}{1.0098}$ =626.0 "

Aporte agua de la arena= 632.2 -626.0
= 6.2 kg

Agua de diseño= 191.8 + 6.2= 198.0 kg

Dosificación D 5

DP 6

Cont. tricosal S-45= 0.58%

Slump= 6.75

P.U.F.= 1647 k/m³

Rend. tanda= $\frac{27.36}{1647} = 0.0166 \text{ m}^3$

F.M.= 60.20

Proporción para 1 m³:

Cemento ————— 7.41 x 60.2=446.1 kg

Agua mezclado ——— 3.18 x " =191.4 "

Arena gruesa ——— 16.77 x " =1009.5"

Arena seca= 1009.5 x $\frac{1}{1.0098}$ = 999.7 kg

Aporte agua de la arena= 1009.5 - 999.7
= 9.8 kg

Agua de diseño= 191.4 + 9.8 = 201.2 kg

Resumen de las dosificaciones de diseño de las pruebas preliminares y dosificaciones estudiadas en el acápite(4.1.7.):

Dosifi- cación	Proporciones de diseño para 1 m ³							
	P.U.F. (k/m ³)	F.C. (kg)	Rel. w/c	A.M. (kg)	A.G. (kg)	A.F. (kg)	Rel. A/c	Rel. T/c (%)
D 7	1575	376.1	0.56	211.1	996.4	---	2.62	0.28
D 8	1440	339.8	0.59	199.1	---	899.0	2.65	0.6
D 9	1295	287.3	0.53	151.6	818.0	---	2.85	0.75
DP 1	1775	432.7	0.45	196.6	1146.7	--	2.65	0.67
DP 2	1467	357.3	0.45	162.4	946.8	---	2.65	0.9
DP 3	1662	576.9	0.45	260.7	824.4	---	1.43	0.42
DP 4	1539	534.1	0.45	241.4	763.4	---	1.43	0.58
DP 5	1262	438.0	0.45	198.0	626.0	---	1.43	0.75
DP 6	1647	446.1	0.45	201.2	999.7	---	2.24	0.58

Resumen de los ensayos en concreto fresco y endurecido de las tandas preliminares ordenadas:

Dosificación	Slump (pulg)	P.U.F. (k/m ³)	P.U.D. (k/m ³)	P.U.E. (k/m ³)	Resist. a la Compresión ₂ f' _c (k/cm ²)
(D1)DP 1	3.0	1775	---	1798	79.1
(D1)DP 2	---	1467	1458	1455	21.9
(D4)DP 3	---	1662	1597	1664	68.9
(D4)DP 4	---	1539	1582	1596	59.7
(D4)DP 5	---	1262	1359	1373	14.5
(D5)DP 6	6.75	1647	1649	1701	51.9

4.2.2. Gráficos

Para la representación de los gráficos se ha seguido el siguiente criterio:

- 1o. Representar los valores obtenidos por cada tanda sin tomar en cuenta los valores promedios del acápite anterior (4.2.1.).
- 2o. Considerar los rangos de variación de los pesos unitarios, que son: 1600 ± 80 , 1440 ± 72 y $1280 \pm 64 \text{ k/m}^3$, representándolas por líneas discontinuas.
- 3o. Diferenciar los valores para cada tipo de agredado, donde sea necesario.

Los gráficos representados son:

Resistencia a la compresión vs Peso unitario, fig.(25 y 26).

Peso unitario vs Porcentaje de agente espumante, fig.(27).

Módulo de elasticidad medido vs Módulo de elasticidad calculado, fig.(28).

Módulo de elasticidad vs Peso unitario, fig.(29).

Peso unitario diseño vs Peso unitario medido, figs. (30) y (31).

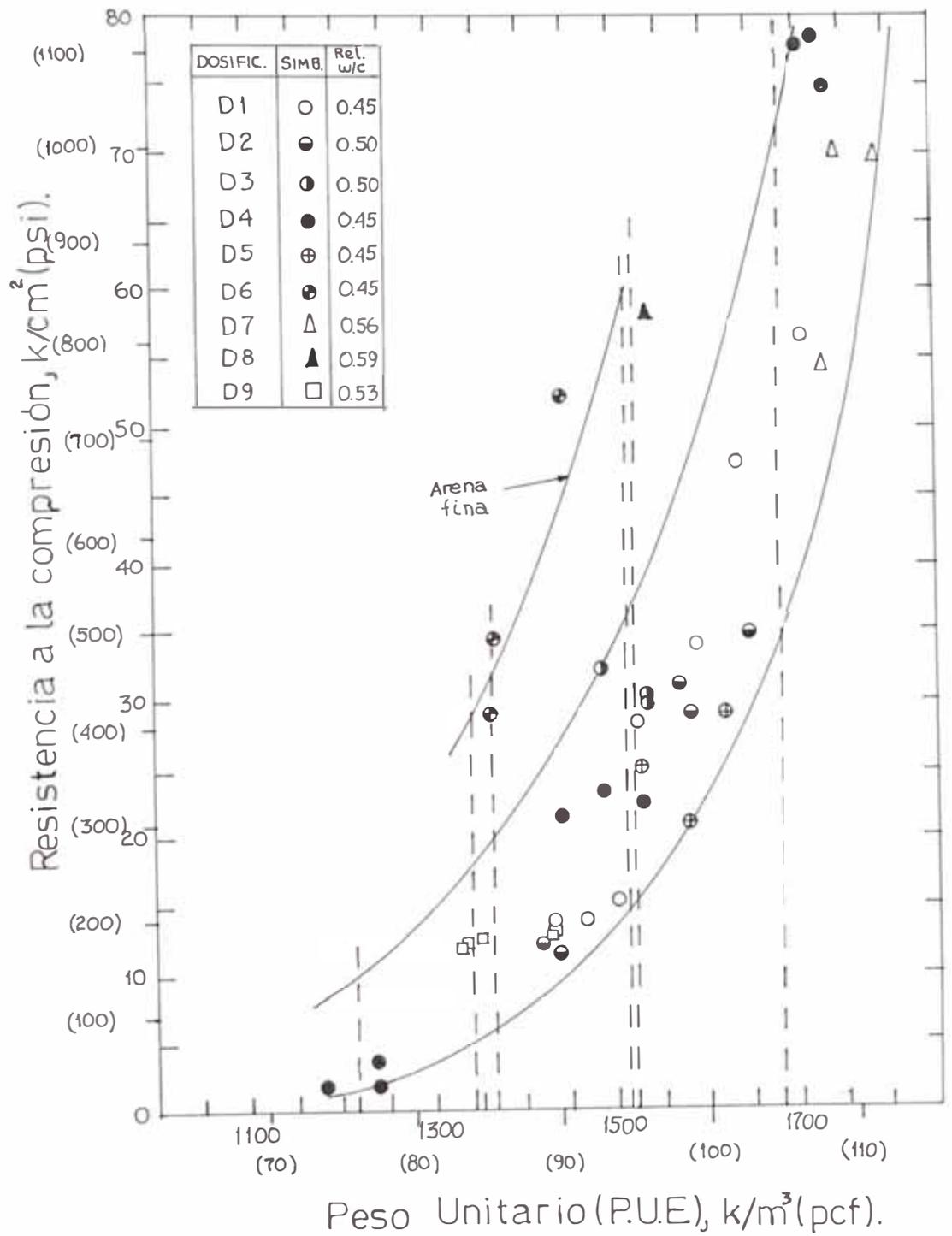


Fig.(25) — Relación Resistencia a la compresión vs Peso Unitario, de las dosificaciones D 1 a D 9.

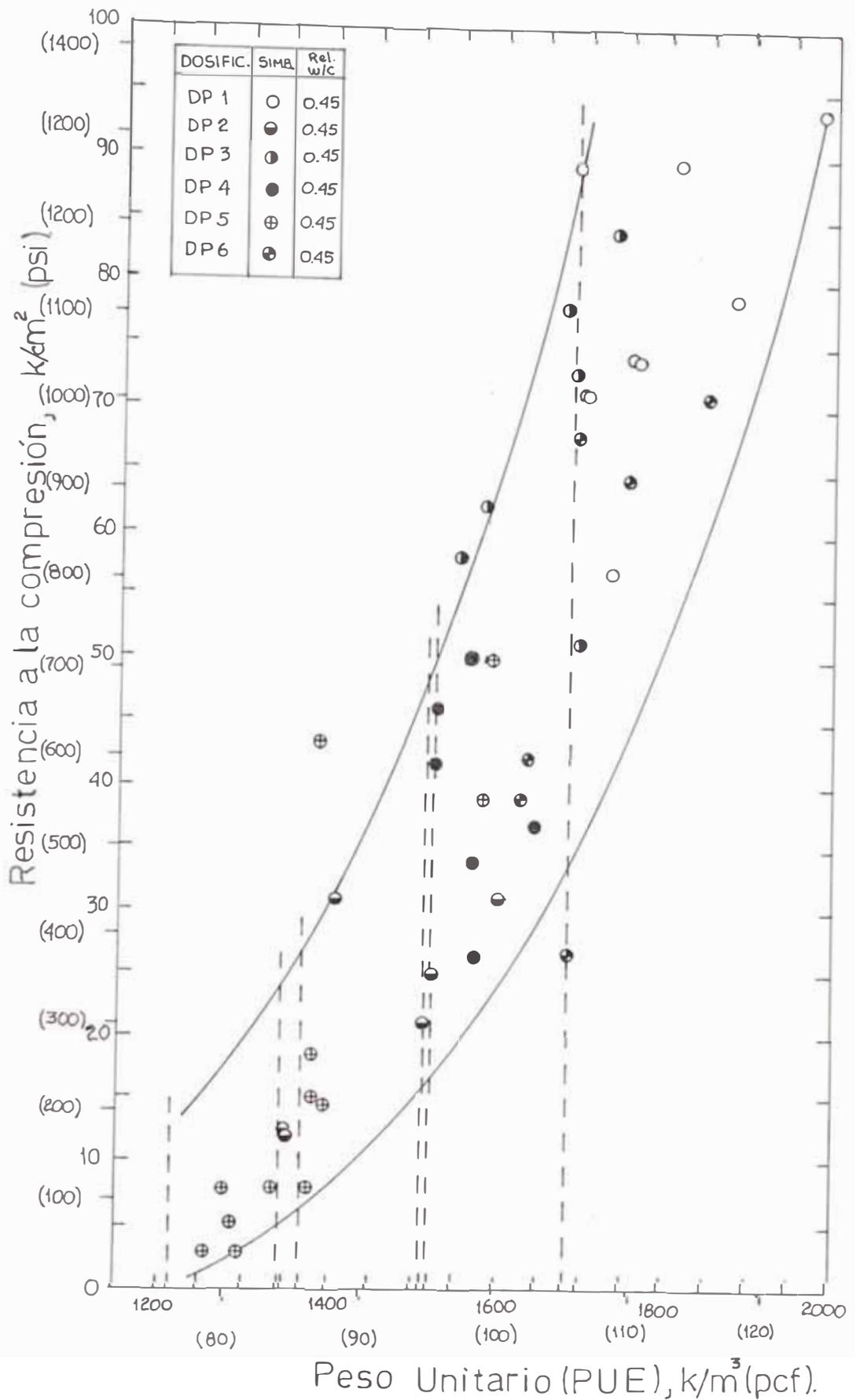


Fig.(26) — Relación: Resistencia a la compresión vs Peso unitario dosificaciones DP 1 a DP 6.

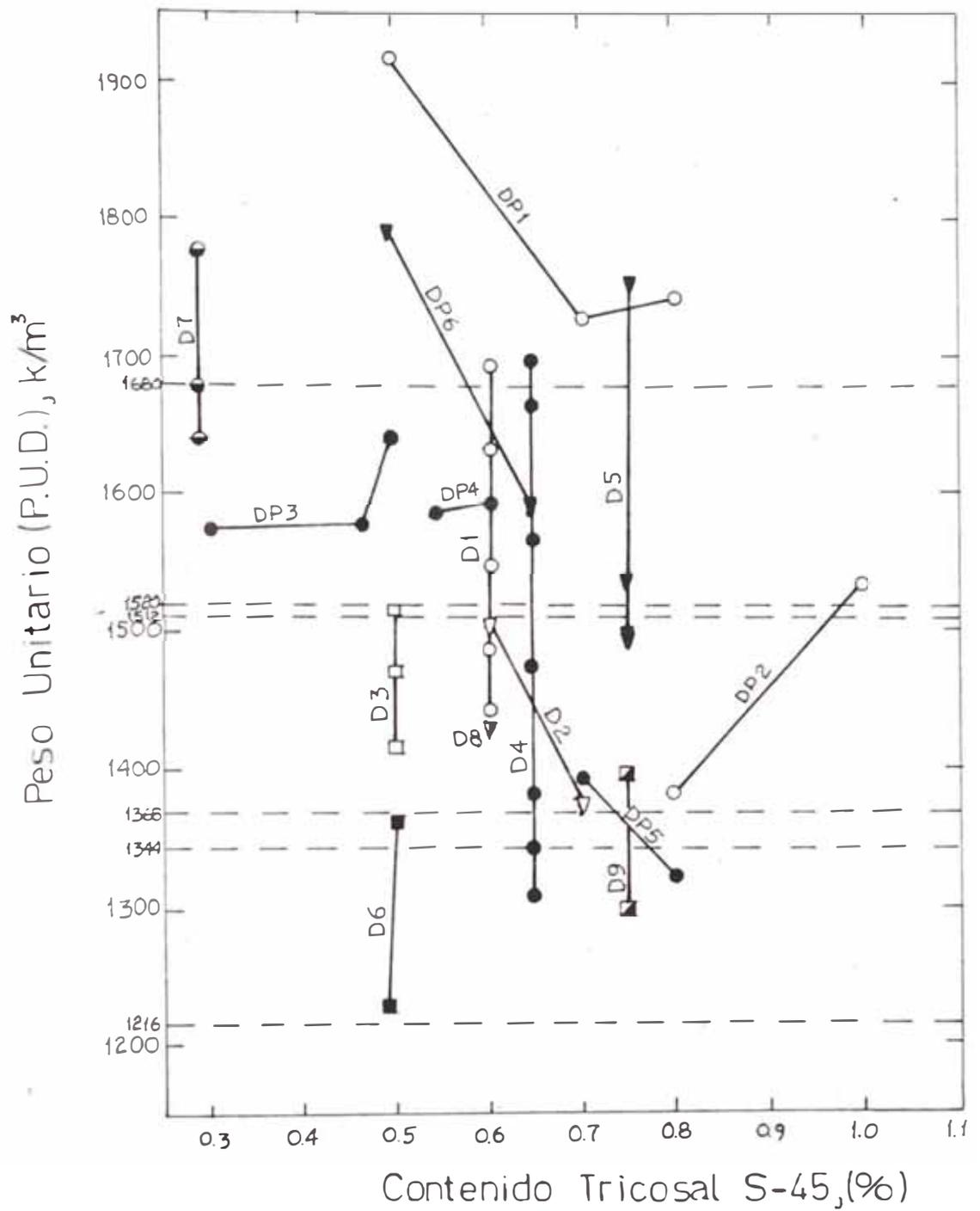


Fig.(27) — Relación Peso Unitario vs Porcentaje
Agente Espumante

CAPITULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones

En la culminación del presente trabajo, se ha visto conveniente enumerar las siguientes conclusiones:

1o. La proporción del agente espumante debe ser obtenida de pruebas preliminares. Para nuestro caso, las indicaciones del fabricante resultaron ser una buena aproximación.

2o. Con el agregado más fino (arena fina) se obtiene la densidad más baja. La densidad más baja obtenida fue 1233 k/m^3 con la arena fina y 1397 k/m^3 con la arena gruesa, obtenidas según los siguientes parámetros de diseño:

P.U. = 1280 k/m^3	P.U. = 1295 k/m^3
Rel. w/c = 0.45	Rel. w/c = 0.53
F.C. = 500 k/m^3	F.C. = 287 k/m^3
Arena fina	Arena gruesa
Rel. A/c = 1.11	Rel. A/c = 2.85
(dosif. D 6)	(dosif. D 9)
Rel. T/c = 0.5%	Rel. T/c = 0.75%

Otra dosificación denominada DP 5, alcanzó una densidad de 1359 k/m^3 , con parámetros de diseño:

P.U.= 1262 k/m³

F.C.= 438 "

Rel. w/c= 0.45

Rel. A/c= 1.43

Rel. T/c= 0.75

Arena gruesa , proveniente de una dosificación preliminar de la dosificación D 4.

3o. Es difícil el control del peso unitario durante la preparación de las dosificaciones, especialmente si el agregado es la arena gruesa.

4o. La mezcla de concreto celular al estado fresco resulta más inestable al usarse arena gruesa para una misma densidad muy baja, que al usarse la arena fina. Esta inestabilidad se manifestó al perder altura la probeta de ensayo, antes de desmoldarlo.

5o. El orden de llenado seguido en la preparación de cada colada, ha resultado satisfactorio. El recomendado por el ACI no es el adecuado para el tipo de agente espumante usado. Se probó variar el orden de llenado, añadiendo al último el cemento (ver dosif. DP 1, acápite 4.1.7), resultando un mayor empleo en la proporción del agente espumante.

60. Los valores de resistencia a la compresión resultaron ser más bajos que los obtenidos por el ACI, para los mismos parámetros de diseño, como se muestra a continuación:

Dosifi- cación	I.U. (k/m ³)	Parámetros diseño			Rel. A/c	f' _c	
		F.C. (k/m ³)	Rel. w/c	Tipo Agreg.		Tesis (k/cm ²)	ACI (k/cm ²)
D 1	1600	390	0.45	Arena gruesa	2.65	45.6	120
D 2	1440	390	0.50	"	2.19	11.5	77
D 3	1440	500	0.50	"	1.38	32.6	
D 4	1440	500	0.45	"	1.43	22.1	91
D 5	1440	390	0.45	"	2.24	---	---
D 6	1280	500	0.45	Arena fina	1.11	31.5	---
D 7	1575	376	0.55	Arena gruesa	2.62	64.7	---
D 8	1440	340	0.59	Arena fina	2.65	53.0	---
D 9	1295	287	0.53	Arena gruesa	2.85	12.4	---

nota: se toma los valores f'_c que caen en el rango de densidad, ver fig. (25) y los del ACI mostrados en la fig.(30).

60. Los valores de resistencia a la compresión resultaron ser más bajos que los obtenidos por el ACI, para los mismos parámetros de diseño, como se muestra a continuación:

Dosisificación	P.U. (k/m ³)	Parámetros diseño			Rel. A/c	f' _c	
		P.C. (k/m ³)	rel. w/c	Tipo Agreg.		Tesis (k/cm ²)	ACI (k/cm ²)
D 1	1600	390	0.45	Arena gruesa	2.65	45.6	120
D 2	1440	390	0.50	"	2.19	11.5	77
D 3	1440	500	0.50	"	1.38	32.6	---
D 4	1440	500	0.45	"	1.43	22.1	91
D 5	1440	390	0.45	"	2.24	---	---
D 6	1280	500	0.45	Arena fina	1.11	31.5	---
D 7	1575	376	0.56	Arena gruesa	2.62	64.7	---
D 8	1440	340	0.59	Arena fina	2.65	53.0	---
D 9	1295	287	0.53	Arena gruesa	2.85	12.4	---

nota: se toma los valores f'_c que caen en el rango de densidad, ver fig. (25) y los del ACI mostrados en la fig.(30).

TABLE 5.3.1—COMPRESSIVE STRENGTH OF TYPICAL CELLULAR CONCRETE USING TYPE I CEMENT ^{1,2}									
Plastic weight, pcf		Sand-cement ratio (Relación: Arena-cem)		Water-cement ratio (Relación: Agua-cem)		Cement factor, lb/yd ³ kg/m ³		Compressive strength, psi kgf/cm ²	
50	800	0.79	0.60	564	335	250	18		
50	800	0.55	0.50	658	390	300	21		
50	800	0.29	0.50	752	446	400	28		
60	960	1.27	0.60	564	335	350	25		
60	960	0.96	0.50	658	390	400	28		
60	960		0.50	752	446	500	35		
70	1120	1.75	0.60	564	335	450	32		
70	1120	1.37	0.50	658	390	500	35		
70	1120	1.06	0.45	752	446	600	42		
80	1280	2.22	0.60	564	335	600	42		
80	1280	1.78	0.50	658	390	650	46		
80	1280	1.42	0.45	752	446	750	53		
90	1440	2.85	0.45	564	335	1100	77		
90	1440	2.19	0.50	658	390	1100	77		
90	1440	1.78	0.45	752	446	1300	91		
100	1600	3.18	0.60	564	335	1250	88		
100	1600	2.65	0.45	658	390	1700	120		
100	1600	2.14	0.45	752	446	1800	127		
110	1760	3.66	0.60	564	335	2000	141		
110	1760	3.06	0.45	658	390	2600	183		
110	1760	2.44	0.50	752	446	2500	176		
120	1920	3.32	0.60	658	390	3320	233		
120	1920	2.80	0.50	752	446	3520	247		

Fig.(32)—— Tabla que muestra los valores típicos de Resistencia a la compresión de los concretos celulares hechos con cemento tipo I.(ACI 523.3R-75).

- 7o. Se obtiene una mejor resistencia a la compresión con la arena fina que con la arena gruesa para una misma densidad del concreto celular.
- 8o. Del gráfico de la fig.(28), se deduce que el módulo de elasticidad calculado por la ecuación de F_{auw} es una buena aproximación del módulo de elasticidad medido, en el rango de las densidades más bajas estudiadas.
- 9o. El método de dosificación por los volúmenes absolutos es adecuado para este tipo concreto.
- 10o. La dosificación más adecuada para el Peso Unitario de diseño, 1600 k/m^3 resultó ser la dosificación D7: F.C.= 376 k/m^3 , Arena gruesa
Rel. w/c= 0.56, Rel. A/c= 2.62
Rel. T/c= 0.28%, $f'_c = 64.7 \text{ k/cm}^2$.
- por razones resistentes y de economía del agente espumante; para 1440 k/m^3 , la dosificación D 3:
F.C.= 500 k/m^3 , Arena gruesa
Rel. w/c= 0.50, Rel. A/c= 1.38
Rel. T/c= 0.5%, $f'_c = 32.6 \text{ k/cm}^2$.
- por razones resistentes y de economía del agente espumante.

5.2.- Recomendaciones

10. Recomiendo que en próximas investigaciones sobre el concreto celular se e plee otros tipos de agregados finos, como los materiales puzolánicos, y agregados finos livianos, para obtener densidades más bajas de las alcanzadas en el presente estudio.
20. Recomiendo que se estudie las propiedades térmicas de estos concretos celulares.
30. Recomiendo implementar en el Laboratorio, en un estudio posterior, una forma de producción de concreto celular por el método de la espuma pre-formada o por un batido vigoroso en mezcladores de gran velocidad y con curado en autoclave.

Foto

Foto1 Formación de la espuma



Foto2: ati o final

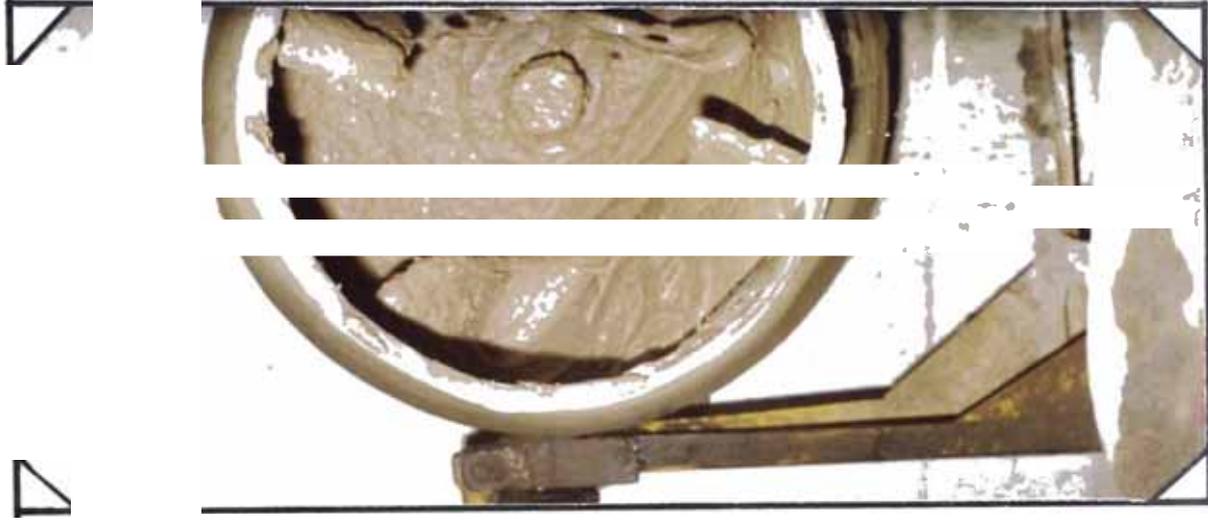


Foto3 Vertido







BIBLIOGRAFIA

- 1 Rudolph C. Valore; "CELLULAR CONCRETES"; Título 50-48a y 50-48b Journal of the American Concrete Institute, vol. 25 no.9 May 1954, Proceedings V. 50.
- 2 Reporte del Comité 523 del ACI; "GUIDE FOR CELLULAR CONCRETES ABOVE 50 pcf, AND FOR AGGREGATE CONCRETES ABOVE 50 pcf WITH COMPRESSIVE STRENGTHS LESS THAN 2500 psi"; Manual Practice Concrete, parte 5-523.3R-75, 1981.
- 3 Cement and Concrete Association; "AN INTRODUCTION TO LIGHTWEIGHT CONCRETE"; 3era. edición Oct. 1960.
- 4 Fred C. Mc. Cormick; "RATIONAL PROPORTIONING OF PREFORMED FOAM CELLULAR CONCRETE"; ACI Journal/ Feb. 1967.
- 5 Andrews Short; "CONCRETO LIGERO"; Edit. Limusa Wiles S.A., México 1967 1er. edición.
- 6 Apuntes del Ing. Rivva López; "CONCRETOS ESPECIALES"; UNI.
- 7 Tesis Ings. Rivvarola y Jimenez; "CARACTERISTICAS DE LOS CEMENTOS DE LIMA Y CEMENTO ANDINO"; UNI.
- 8 Normas ASTM, tomo 14 publicación 1981.
- 9 Revista: CONCRETE PLANT AND PRODUCTION; Feb. 1983.