

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

-----

DEPTO. DE ING. CIVIL

-----

TESIS DE GRADO

-----

ENSAYE DE MATERIALES

-----

- Cemento, Concreto, Agregados -

MANUEL GONZALEZ DE LA COTERA S.

Promoción 1949

C A P I T U L O I

EL ENSAYE DE LOS AGLOMERANTES



## ESENCIA, SIGNIFICADO Y FUNCION DEL ENSAYE DE MATERIALES.

---

La historia de la construcción humana, la de las grandes obras que jalonan su desenvolvimiento, tiene una íntima ligazón con la historia del desarrollo de los materiales de construcción. Desarrollo progresivo impulsado por el avance siempre creciente de las fuerzas productivas de la humanidad, es decir, de las formas de producción en mejoramiento incesante. Las nuevas formas de producción han hecho alcanzar así, en el transcurso de los tiempos, proyecciones insospechadas a materiales conocidos desde la más remota antigüedad; permitiendo, por otra parte, el descubrimiento de otros nuevos. Todo ello se remarca notablemente a raíz de la revolución industrial que señala un nuevo período en el campo de la construcción. Movimiento que tiende a incorporar cada vez más la ciencia en el arte de la construcción. Dejando de lado las tradiciones, el sentimiento y el instinto, para tomar como guías el razonamiento, la observación y la experiencia; según la marcha paralela del espíritu humano, imbuido del prodigioso desarrollo de las ciencias naturales y sus aplicaciones.

Los hechos igualmente han seguido muy de cerca los progresos de las ciencias naturales y de las aplicaciones industriales desde el punto de vista de la construcción. Dos productos manufacturados, esenciales e incomparables, han tomado un gran desarrollo industrial después de la segunda mitad del siglo diecinueve, son ellos: el acero y el cemento. Sin eliminar total-

mente los materiales antiguos ellos han conquistado la construcción moderna, al permitir el trabajo de elementos bajo cargas insospechadas o cubriendo luces portentosas. Todo esto, consecuentemente, ha llevado a los constructores ante responsabilidades y problemas acerca de los cuales los métodos tradicionales son impotentes. Ello ha hecho necesario el renovar el arte de la construcción, introduciendo constantemente en él la ciencia de acuerdo con las ideas precisadas anteriormente. En ese sentido, un método es esencial: La experimentación bajo lineamientos científicos. Pues como bien dice el proverbio, la experiencia es el manantial de la verdad y del conocimiento.

Si se escribiera la historia detallada de los progresos de la construcción, en su período mas revolucionario de la última centuria, se demostraría sin duda que el desarrollo progresivo de la experiencia es el factor constante que antecede a toda aplicación nueva, y que permite, además su perfeccionamiento. Sin duda alguna, por su naturaleza misma todo tipo de construcción nuevo constituye en sí mismo una experiencia, pero las construcciones que la han de suceder no son aseguradas por esa experiencia independiente. Ellas requieren de un proceso de experimentación conscientizado, que se puede denominar científico, ya que así lo son sus bases. Proceso que apartándose de lo particular y accesorio va a desentrañar lo esencial y básico, estableciendo las relaciones entre causa y efecto.

Si ampliamos estos conceptos hemos de convenir que si en un principio el trabajo de las estructuras hechas con piedras y maderas se podía basar en la sencilla y común experiencia propia de la época, dada sus dimensiones y forma de trabajo. Que si por otra parte, los aglomerantes no cumplían otra función que ensamblar y transmitir las cargas, era justificable el estado empírico en que se encontraba el estudio de los mismos. Pero hoy, en virtud de la aparición de nuevas formas de producción impelidas por el desarrollo económico de los pueblos, el hombre cuenta con nuevos materiales que le permiten afrontar colosales empresas. Se necesita así, el conocimiento amplio de su constitución, de su forma de trabajo y de su comportamiento ante determinadas condiciones. Todo lo cual no solamente es necesario para el planeamiento sino también para la construcción misma. En el caso de los aglomerados, propio del presente trabajo los hombres de ciencia, los técnicos, se dieron a la tarea de dominar sus posibilidades, realizando sus trabajos y estudios con tensión encomiable llegando a conclusiones tan felices que hoy en día, los mas antiguos de ellos, aparecen como brillantes descubrimientos de la mente humana. Constancia de ello daremos en el capítulo dedicado a la investigación.

En los últimos años, entre el vasto mar de experiencias, tendencias y objetivos, por un criterio natural y lógico, se ha dividido el ensayo de materiales de acuerdo con la dirección de los factores enunciados. Esa división prima en la organización misma de los modernos laboratorios, en su equipamiento y en el

trabajo del personal de los mismos. Permitiendo en esa forma una división de trabajo que origina seguramente más fructíferos resultados. No impidiendo por otra parte una bien ordenada multiplicidad de formas.

Sin embargo todas las direcciones a proponer tienen íntima relación. Así, en cuanto al ensaye llamado de "rutina o control realizado con el objeto de vigilar el cumplimiento de normas y especificaciones - es muchas veces el que señala los vacíos que han de llenar con el trabajo de "investigación", el que a su vez, en reciprocidad, permite una normalización más eficiente. Por último el trabajo con fines "didácticos" en el laboratorio no solamente enriquece la experiencia y prepara incesantemente nuevos técnicos, sino que es muchas veces la razón del planeamiento de inteligentes dudas y problemas.

Por múltiples motivos hemos de tratar separadamente los distintos objetivos del ensaye de los materiales aglomerantes. Sin embargo, valga decir aquí, la imperiosa necesidad de los mismos como cuestión vital de los proyectos, como seguridad de su realización práctica y de su buena ejecución y finalmente como gandolfero del ancho camino del progreso de la humanidad. Merced al descubrimiento de nuevas propiedades en los elementos - ya simples o unidos - que lleven a logros ventajosos en cuanto a economía y posibilidades constructivas.





ellos, así como con otros cursos, no es una relación de dependencia, sino la natural que existe, entre los que conforman un plan orgánico. Es por ello que en su desarrollo procura dotar al estudiante de todos los conocimientos indispensables con respecto a la mutua relación entre los materiales y las fuerzas con los que el ingeniero trabaja constantemente.

Este curso debe ser desarrollado eficientemente, para que los estudiantes conozcan el comportamiento, características y propiedades de los materiales con el que en su vida profesional han de proyectar y construir las obras de ingeniería. Ello solamente puede ser alcanzado si se une inteligentemente la teoría correspondiente al ensaye con la demostración práctica. El diseño racional de los elementos estructurales debe perder en el ingeniero el carácter mecánico-formal para alcanzar procesos justos por el conocimiento del comportamiento de los materiales en todas las circunstancias de trabajo. Los principales problemas de la construcción, debidos a la naturaleza de los materiales, deben ser ampliamente expuestos en el laboratorio, descorriendo el velo de lo incognosible que pretenda cubrirlos. Los factores supuestamente imponderables que gobiernan el comportamiento de determinados elementos, deben tener igualmente la explicación racional, que muchas veces se le niega al estudiante; pese a ser en su mayoría factores resueltos por los laboratorios de ensaye. Así mismo el carácter milagrero que adoptan los fórmulas en la imaginación del alumno, deben adquirirse mediante la constatación y experiencia su verdadero carácter práctico y útil, en lo que bien se podría llamar un redescubrimiento.

El ensaye debe contemplar también con la debida seriedad, el conocimiento y operación de la maquinaria y del equipo de ensaye; la eficiencia de las operaciones, el recuerdo del proceso y marcha de las mismas; y finalmente la correcta interpretación y exposición de los resultados en informes razonados. Pero el objetivo básico ha de ser como se ha dicho el dar a conocer los propósitos del ensaye y el significado de los datos estadísticos, con los consiguientes factores derivados de las proposiciones antedichas. De esta manera el alumno interpretará y conocerá el fondo íntimo de las especificaciones de compra y la necesidad de un método de control así como la interpretación de los requisitos de inspección. Podrá también indicar convenientemente los ensayes necesarios ante condiciones específicas. En fin tendrá capacidad suficiente para influir en la marcha de los acontecimientos, evitando el ser llevado a ras-tras por los mismos.

Los conocimientos teóricos indispensables al estudiante son los relativos a las propiedades de los materiales a estudiar y básicamente las generales a todos. Los ensayes esenciales, tanto mecánicos como químicos, físicos y otros, con las posibilidades de traducir mas o menos correctamente los puntos planteados al análisis. Las circunstancias particulares y su influencia en los resultados, los procesos de ensaye mas correctos para las mismas; todo ello dentro de las orientaciones enunciadas primeramente. De acuerdo con tales lineamientos, los ensayes se pueden agrupar considerando sus mas inmediatos propósitos en los siguientes grupos:

1º.- Con propósitos de ilustración, verificación e interrela-

ción con la resistencia de los materiales, mediante pruebas que se pueden titular de divulgación académica.

2°.- Como bases de aceptación o rechazo de los materiales.

3°.- Con fines al diseño de elementos o especificaciones de obras; como valoración de las propiedades fundamentales de los materiales y su comportamiento en condiciones concretas, mediante ensaye que bien podían ser llamados de investigación.

4°.- Ayuda para el diseño mediante determinados enfoques especiales, como puede ser el uso de métodos considerados anteriormente en casos de diseño de mezclas u otros métodos más especializados como analogías, modelos etc.

En general la solución de los puntos propuestos no ha de dar un conocimiento completo y esencial, como no lo dan ningún curso universitario, pero permiten alcanzar dicho estado. Tampoco han de formar laboratoristas expertos, pues pocos ingenieros toman tal trabajo. Pero sí, a todas luces, desarrolla cabalmente. 1°.- las bases generales necesarias para un correcto diseño de una obra de ingeniería.

2°.- Las bases para la compra e inspección de los materiales mas convenientes. 3°.- La inquietud científica, el buen habito de trabajo y la aptitud de resolución de problemas.

## LA INVESTIGACION

\* \* \* \* \*

La labor de investigación de los laboratorios de ensaye, está condicionada a las orientaciones de la ciencia y de la técnica coadyugando a la vez al planteamiento de las mismas, en una neta misión de avanzada. En cuanto a sus resultados prácticos, su misión puede concretarse en dos objetivos claros:

- 1.- Encontrar las mejores posibilidades de empleo del material
- 2.- Satisfacer el amplio conocimiento de su comportamiento y propiedades.

Esta labor está urgida en la actualidad por las necesidades crecientes de la industria de la construcción. Correspondiendo así, por otra parte a la investigación mancomunada de ingenieros, físicos, matemáticos y químicos, etc. el vasto desarrollo de la técnica en los últimos años.

Tal como se ha planteado, el trabajo de investigación escapa en la actualidad a la obra y posibilidades de un investigador solitario. Su existencia misma es ya un mero recuerdo; aunque justo sea reconocer es, prototipo del estudioso del pasado siglo. Hoy no hay mente capaz de abarcar, en el tiempo de una vida útil, todas las técnicas necesarias a un cabal conocimiento. La especulación científica comprende variados estudios ya, empleando la técnica de los modelos o analogías, ya el microscopio electrónico y la difracción o los ensayes físicos y químicos, en enorme conjunto de métodos y procesos. Consecuentemente con tal situación se establecido una gran corrien

te de intercambio que une a hombres de diversos países, razas y religiones, los que en innumerables de gabinetes de trabajo cooperan muchas veces en una misma experiencia. Igualmente el desarrollo científico se posibilita cada vez mas por la enorme difusión que adquieren hoy en día los trabajos de los hombres que dedican sus vidas a la investigación, en procura de un mundo mejor.

Ejemplo relieve de lo dicho, es el caso de los aglomerantes y entre estos, sin duda alguna, el de los cementos y compuestos que son los que adquieren mayor vigencia tanto por la amplitud de sus usos como por la magnitud de sus realizaciones.

La investigación de las propiedades y del comportamiento de los cementos cubre unos pocos años plenos de una intensa labor. Los primeros tanteos llevados a cabo por sus iniciales propugnadores, llámense Johnson, Frost, Parker, en Inglaterra; Dyckerkoff, Schott y Mayes en Alemania; Demarle en Francia; Leslie y Mackay en los Estados Unidos, han sido continuados notablemente por el camino de la rigurosidad científica. Jalonando el inicio de dicha senda Henri Le Chatelier, en el año de 1897, dejó fijada la naturaleza de su constitución mineralógica y la forma cristalina o amorfa de sus principales constituyentes. Estableciendo luego su teoría sobre el fenómeno de la fragua. Por la misma fecha, aunque independientemente, Tornebohn en Suecia, realizó un estudio identificando los mismos elementos. Michaelis en Alemania da su valioso aporte al conocimiento de los compuestos de los cementos y su resistencia a la acción química; enriqueciendo igualmente las teorías de la hidratación de las pastas de cemento.

En el año de 1915 Rankin y Whrightt dieron a la luz un importan-

te estudio sobre el sistema ternario de los elementos de base del cemento: la cal, la sílice y el aluminio; según la aplicación de la ley de fases de Gibbs. La importancia de los mismos hizo que fueran ampliados por Lerch, Bogue y Brownmiller en los Estados Unidos y Lea y Parker en Inglaterra.

Por otra parte las primitivas teorías sobre el fraguado fueron enriquecidas por los descubrimientos de Kuhl, White, Neville, Glasenap, Desch, Donnan y Baykoff. Y los nuevos planteamientos, formulados a través de modernas técnicas, de Bogue, Lerch, Roller y Hedin.

El uso generalizado del cemento y la calidad de las obras en que es empleado ha llevado a la investigación de todas sus propiedades así como al estudio de sus características de comportamiento ante condiciones específicas.

Con tal propósito los trabajos han tenido que orientarse fuera del campo del cemento propiamente dicho, incidiendo, en forma cada vez mas amplia, en el estudio del clinker valiendose de métodos usuales en la técnica petográfica, usando del microscopio, del análisis espetográfico y polarográfico y últimamente la difracción y del microscopio electrónico. Paralelamente la técnica de la investigación de las fases a alta temperatura, basada en la aplicación de las leyes de los equilibrios heterogéneos, ofrece hoy perspectivas a la fabricación de cemento de alta calidad merced a procesos mas racionales. Se ha destruído así la incertidumbre causada por comportamientos diferentes de cementos de una misma composición química.

Por otra parte numerosas teorías se han ocupado de precisar el

comportamiento del cemento con el agua y los fenómenos consiguientes de fraguado y endurecimiento. En dicho camino no solamente se ha hecho uso de las ventajas del microscopio electrónico sino de técnicas basadas en la conductividad eléctrica, la medición del calor desarrollado y otras. Planteándose así las teorías de la hidratación selectiva, de la coagulación mutua y de la formación de películas. Conjuntamente se ha estudiado la acción de los elementos que propician el aumento y disminución de la velocidad de fraguado.

Uno de los puntos inexhaustos en el estudio de los aglomerantes lo constituye el de sus propiedades mecánicas. Las resistencias de las pastas de cemento son básicas para el ingeniero, por lo cual son materia de múltiples estudios. En el caso de las resistencias a la tracción las teorías son aún estudios en la búsqueda de lo definitivo. Conspira al mantenimiento de tal situación la falta de relación entre esta resistencia y la obtenida en los concretos, debido a los múltiples factores que intervienen en los últimos. Indudablemente mucho se habrá avanzado al conocer el proceso de endurecimiento de las pastas hidratadas. Con tal fin, se ha encontrado la resistencias compresivas de los diversos componentes del cemento, ya solos o unidos en variadas proporciones. Preparándose la contribución de los mismos al endurecimiento de las pastas. Así mismo se ha trabajado tratando de identificar las resistencias de los cementos, con la relación espacio-gel. La influencia de los factores ambientales en el endurecimiento no ha sido descuidada, observándose detenidamente el curado de las pastas con tratamiento a distintas temperaturas, con vapor a presiones distintas bajo el paso de la corriente eléctrica, etc.

Se ha comprobado el valor de la fineza de los cementos y su relación con sus características de uso, deteniéndose prudencialmente la carrera emprendida hacia finezas excesivas. El calor de fragua y las causas de sus variaciones se han establecido en forma amplia. La inestabilidad de volumen del cemento hidratado por razón de los porcentajes de sus constituyentes o por la acción de algunos áridos sobre los álcalis, son también cuestiones bien estudiadas.

. ----- .



. En cuanto a los concretos es necesario tener en cuenta en forma previa su heterogeneidad. En la constitución del concreto se ofrece un espectáculo vasto y complicado. A la diversidad de tamaño, de constitución y forma de los áridos que lo conforman ha de unirse los coloides, geles y estructuras cristalinas formadas por los micro-cristales y el agua en sus múltiples formas, ya libre, absorbida o interpuesta, mientras se desarrolla el proceso de la hidratación. Este estado, por otra parte, puede sufrir bruscas variaciones a causa de alteraciones del ambiente. Así una elevación de temperatura o la presencia de sustancias extrañas ocasionaran posibles cambios en la estructura del gel o en el tiempo de aparición de componentes esenciales para la hidratación.

La necesidad de concretos convenientemente plásticos y fácilmente trabajables orientó en un principio la investigación hacia nuevas formas mecánicas de puesta en obra. Sin embargo es necesario encausarla nuevamente al estudio de las sustancias que disminuyan la tensión superficial del agua de amasado con oclosión del aire en pequeñas burbujas independientes. El uso de dispersivos o sustancias coloidales que permitan que los áridos sean perfectamente cubiertos por la pasta. El empleo de materiales de lubricaciones como los incorporadores de aire. Por otra parte es también necesario contemplar el conocimiento de la influencia de los elementos que componen el concreto: agua, áridos, cementos; en sus variadas formas, tipos, granulometrías y dosificaciones. Así mismo, conviene estudiar las nuevas técnicas de colocación de concreto y sus efectos, incluyendo en ellas la vibración, el uso de bombas etc.

Las retracciones de los concretos, ocupan también lugar importante en el trabajo de los laboratorios. Una de las cuestiones básicas es relacionarlas con las retracciones de los cementos. Igualmente es necesario estudiarlas en función de la higrometría y otras variables importantes.

En el concreto simple la retracción de la pasta produce grietas de un tamaño microscópico que sin embargo originan un estado tensional interno que es causa de una disminución relativamente apreciable de su resistencia a la tracción.

Cabe precisar igualmente que cuando las contracciones no están facultadas por las sustentaciones de la estructura los elementos sufren generalmente peligrosos agrietamientos.

Las resistencias mecánicas y entre ellas las de tracción, figuran en lugar preferente en la agenda de los laboratorios que investigan el comportamiento del concreto. Una notable bibliografía permite cubrir casi todos los tópicos referentes a la compacidad, granulometrías y dosificaciones. Actualmente se pretende establecer las causas físico-químicas de la adherencia y la posible obtención de agrupaciones cristalinas o micelares orientadas.

En los concretos, por otra parte, las deformaciones bajo carga no se ajustan exactamente ni a las leyes de la elasticidad, ni a la plasticidad, pues a las sollicitaciones de las fuerzas actuantes se suman las tensiones internas propias de su constitución. Precisa también el definir la delimitación entre las deformaciones elásticas y plásticas. Se ha querido explicar el fenómeno de la deformación lenta del concreto, por la despaciosa eliminación del agua intersisial que por la compresión, tiende a salir por las porosidades, liberándose del gel para ser luego absorbida por la atmósfera.

Las propiedades mecánicas de los concretos a la tracción, torsión e impacto así como la comprobación experimental de las teorías de la ruptura bajo sollicitaciones dobles o triples tienen el inconveniente de la carencia de la maquinaria y equipo apropiado.

## CAPITULO II

XXXXXXXXXXXX

MAQUINA Y EQUIPO DE ENSAYE



Para la valuación de las propiedades mecánicas de los materiales por medio de ensayos sistemáticos, se emplean diversos tipos de máquinas capaces de producir sobre ellos las sollicitaciones simples de Tracción, Compresión, Flexión y Torsión; otras tienen por objeto producir el efecto de dos o mas sollicitaciones simples a la vez; y finalmente unas especiales, para conocer la dureza, fatiga, impacto, etc. Cada tipo de prueba exige una máquina especialmente diseñada. Sin embargo es general el uso de las Máquinas Universales, llamadas así por ser factible su uso tanto para pruebas de compresión, como de tracción o de flexión.

De acuerdo con los conceptos precedentes, las máquinas de ensaye se pueden clasificar de acuerdo a lo que exponemos en los siguientes cuadros:

/

## MAQUINAS PARA DETERMINACION DE PROPIEDADES MECANICAS

Clasificación por tipo de carga y esfuerzo:-

TIPO DE CARGA

CLASE DE ESFUERZO

Estática

Esfuerzo Simple

- 1.- Tensión
- 2.- Compresión
- 3.- Flexión
- 4.- Cortante
- 5.- Torsión

Esfuerzo Combinado

- 1.- Esfuerzo bi-axial
  - a) Tensión-Tensión
  - b) Compresión Compresión
  - c) Tensión-Compresión
- 2.- Esfuerzos Tri-axiales

Dinámica

fatiga

- 1.- Esfuerzo Simple (carga estática)
- 2.- Esfuerzos Combinados

Dinámica

Impacto

- 1.- Esfuerzo Simple
  - a).- Tensión
  - b).- Flexión
  - c).- Torsión

## MAQUINAS PARA ENSAYOS DE FATIGA.

### Tipo de Carga

### Clase de esfuerzo

Carga constante  
(peso muerto)

- 1.- Esfuerzo Simple
  - a) Flexión pura
  - b) Flexión y corte
  - c) Tensión - Compresión
  - d) Torsión
- 2.- Esfuerzos Combinados  
(biaxiales)
  - a) Tensión - Tensión
  - b) Tensión - Compresión

Carga constante  
(fuerza de inercia)

- 1.- Esfuerzo Simple
  - a) Flexión pura
  - b) Tensión - Compresión
  - c) Torsión
- 2.- Esfuerzos Combinados  
(biaxiales)
  - a) Tensión - Compresión  
(torsión y flexión)

Deflexión constante

- 1.- Esfuerzo simple
  - a) Flexión
  - b) Tensión - Compresión
  - c) Torsión
- 2.- Esfuerzos Combinados
  - a) Tensión - Compresión



## MAQUINAS DE IMPACTO

Clasificación según método de aplicación de cargas, clase de esfuerzo y fabricante de maquinaria:

METODO DE APLICACION CARGA	CLASE ESFUERZO	MAQUINA
<u>Péndulo de vaivén</u>	Tensión	CHARPY o IZOD
	Corte	Mc ADANS
<u>Volante en rotación</u>	Tensión	MAN
	Torsión	CARPENTER
	Flexión	GUILLERY
<u>Pesos Soltados</u> golpes solos o repetidos	Tensión	OLSEN
	Compresión	OLSEN
	Flexión	HATT-TURNER

## MAQUINAS ESPECIALES DE ENSAYO DE MATERIALES

1º.- Máquinas para medir dureza; incluyendo resistencia a:

- a).- Arañado
- b).- Dentado
- c).- Abrasión y desgaste
- d).- Adherencia

2º.- Equipo para determinación de estructura de los Materiales:

- a).- Microestructura
- b).- Macroestructura

3º.- Máquinas para determinaciones de Homogenidad y Uniformidad:

- a).- Determinaciones por Rayos X y flujo Magnético.
- b).- Determinación de Contenido de humedad.
- c).- Determinación de Porosidad.

4º.- Máquinas para pruebas de elementos estructurales.

- a).- Resistencias
- b).- Frecuencia de Resonancias
- c).- Durabilidad Física y Química

5º.- Equipo para determinación de propiedades varias.

- a).- Termoconductividad y coeficiente de expansión
- b).- Propiedades eléctricas y Magnéticas
- c).- Propiedades acústicas
- d).- Propiedades ópticas.

MATERIALS TESTING

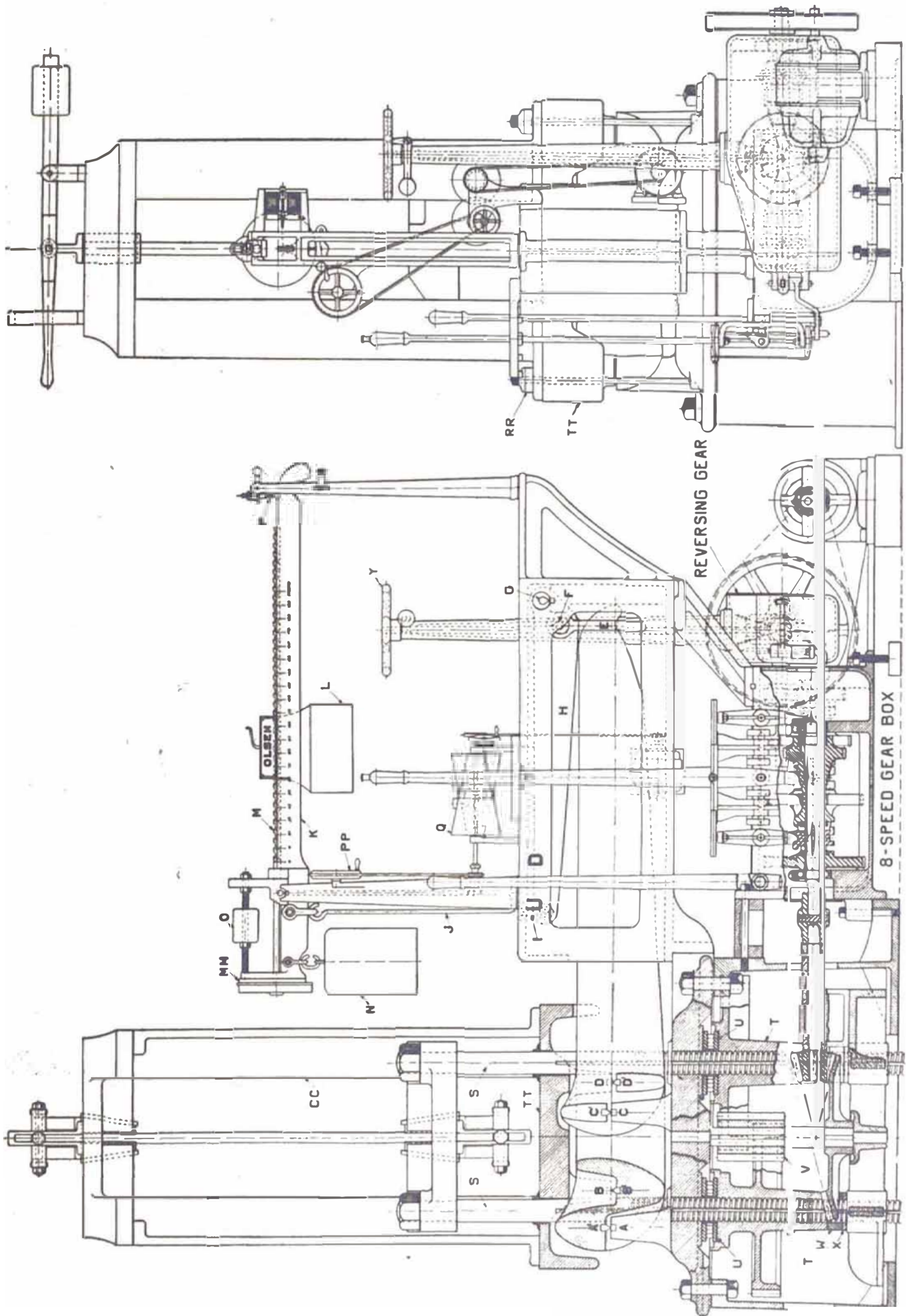


FIG. 1.—Tinius Olsen type. (Courtesy of Tinius Olsen Factory Machine Company.)

**Máquinas Universales:** Las máquinas llamadas universales así como las que realizan un solo tipo de esfuerzo comprenden una gran variedad de formas y dispositivos, pero en todas ellas se encuentra como elementos básicos: A.- El mecanismo que genera el esfuerzo; E.- El mecanismo que aplica y mide las cargas. El proceso del ensaye es también el mismo en sus lineamientos generales. El elemento a ensayarse se coloca entre los dos cabezales de la máquina uno de los cuales es fijo y el otro móvil - mediante aditamentos especiales de sujeción. Hecho esto la muestra es tensada por el movimiento controlado del cabezal móvil. Paralelamente se realiza la medida de las cargas que actúan sobre la muestra por un sistema de palancas, cámaras de presiones, o cualquier otro método que reduce proporcionalmente la fuerza actuante permitiendo su medición.

En la actualidad la casi totalidad de las máquinas de ensaye tienen sistemas de transmisión hidráulica que tienen sobre los de transmisión por tornillo - usadas en el pasado - la ventaja de posibilitar mayores cargas y velocidades de operación, así como lecturas directas en el sistema de carga. Ambos se diferencian evidentemente en que mientras la de transmisión por tornillo hace uso de un conjunto de palancas para aplicar las cargas, las otras tienen un sistema hidráulico, que mas adelante hemos de estudiar.

La figura 1 muestra un diagrama de la máquina Universal, en la cual el sistema móvil es accionado por medio de una transmisión y un sistema de tornillos. La carga se mide por medio de un juego de palancas y una viga a escala, sobre la que existe una pesa móvil. La figura muestra un diagrama de la máquina Universal en la cual el cabezal se

mueve por medio de un sistema hidráulico y las cargas se indica en unos diales accionados también por presión hidráulico.

En la figura 4 la muestra se encuentra para ensaye a la tracción, sujeta por medio de unas calzas en los cabezales superiores e inferiores. Al empezar la prueba el cabezal móvil se desplaza hacia abajo traccionando la muestra. La resistencia del elemento actúa como una reacción hacia abajo del cabezal fijo. Reacción que se trasmite a través de las piezas cc a la platina TT. La platina está sostenida en B y D sobre las palancas A', B', E y C', D' y E formando así una gran balanza en la plataforma. Ambas palancas se conectan a través de otras de reducción H y con un eslabón J a la viga con escala K, sobre la cual está montada la pesa móvil L.

A medida que se va cargando la muestra, la pesa móvil se va moviendo hacia afuera para mantener la viga balanceada, así se podrá ir leyendo directamente de la escala de la viga el valor de las cargas aplicadas.

En el ensaye a compresión la muestra se coloca sobre la platina en forma tal que el cabezal superior la comprima al bajar.

En el ensaye a flexión, la viga se coloca sobre los elementos convenientes, dispuestos sobre la platina y el cabezal móvil, provisto de las modificaciones necesarias, viaja hacia abajo como en el caso de la compresión.

Es conveniente tener en cuenta que el cabezal móvil tiene un recorrido constante en un solo sentido cualquiera que sea el tipo de la

a través de la platina al cilindro principal de compresión. El aumento de presión es indicado en los medidores que están calibrados en términos de cargas totales. La máquina de la figura, 2 como muchas otras, tiene dos medidores de precisión para permitir mediciones más exactas. Con el mismo fin, otras máquinas de un solo dial tienen dos escalas cada una de las cuales calibra independientemente las cargas bajas o altas. En cuanto a la ampliación, generalmente es variada, en concordancia con la escala, sin interrumpir la prueba.

Otras máquinas de ensaye del tipo hidráulico universal tienen el mismo mecanismo de tensión aunque varían en el sistema indicador de cargas.

000

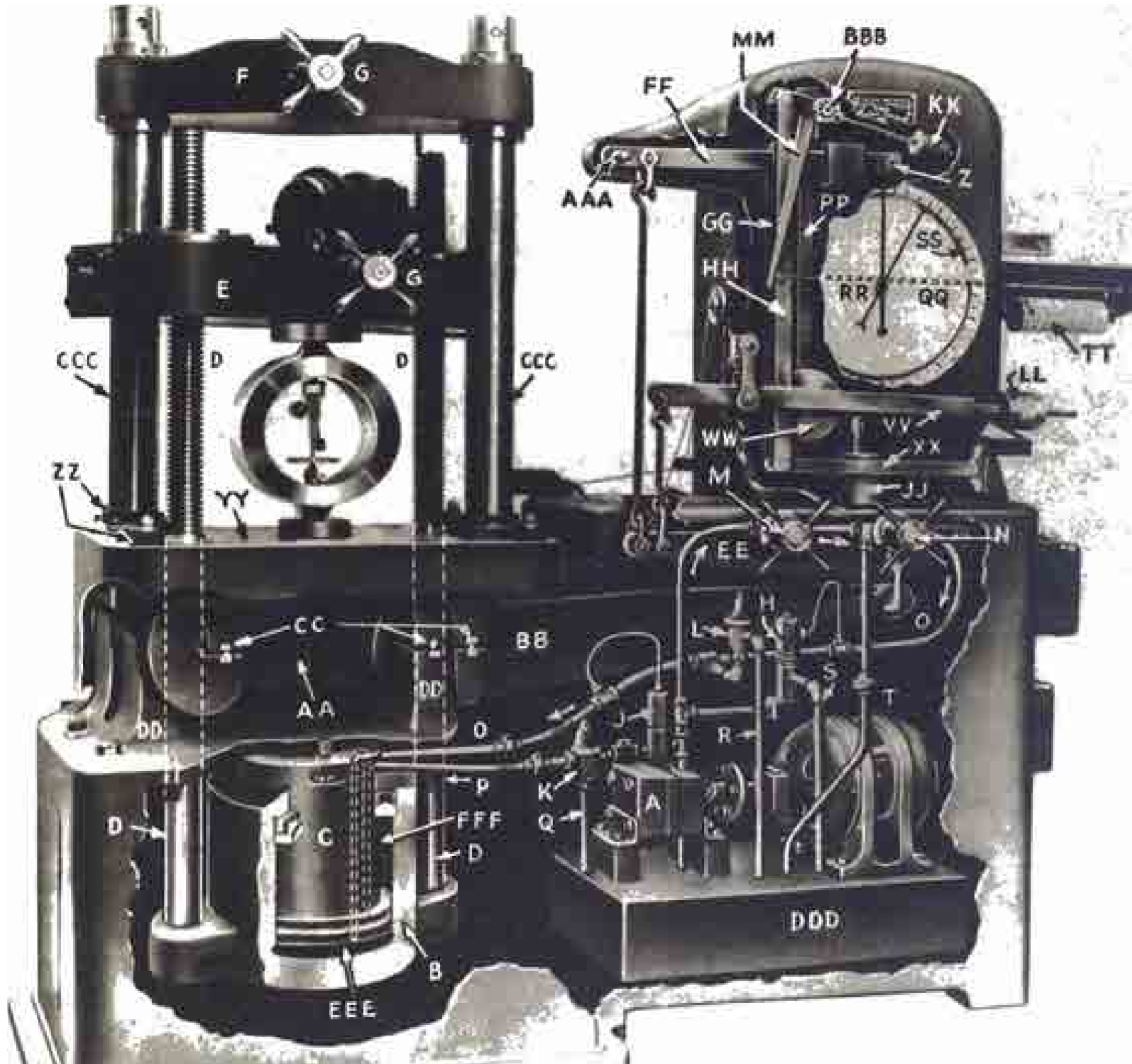


FIG. 2—Diagram of an hydraulic testing machine with a pendulum-type weighing system. (Courtesy of Timius Olsen Testing Machine Company.)

Fig 2

## DEFINICIONES

Es conveniente definir algunos términos propios de las máquinas de ensaye. Ellos son:

### Proporción Desmultiplicadora

Esta expresión se refiere al sistema de carga por palancas. Se define como proporción desmultiplicadora de cualquier palanca la relación entre la potencia y la resistencia, o dicho en otras palabras, consiste en el cociente entre la carga máxima que puede soportar y la fuerza de balance. Esta relación se obtiene midiendo las cargas o las palancas. Estudiaremos brevemente cada tipo de medición.

Proporción por pesada.- Por este método se obtiene el valor de la proporción desmultiplicadora dividiendo la capacidad de la máquina entre el peso de la carga móvil que actúa sobre la escala. De esta forma cualquier alteración de peso en la carga móvil origina una variación en el factor de desmultiplicación. Inconveniente que es salvado en el método de medición de palancas.

Proporción por medición.- Como sabemos la proporción desmultiplicadora de una palanca simple se puede definir como la relación del brazo de palanca mayor entre el menor. Siendo que estos factores se pueden encontrar por simple medición. En el caso de las máquinas de ensaye, dotadas de palancas compuestas, la proporción multiplicadora de las mismas será igual al producto de las relaciones de cada una de las palancas.



### Longitud equivalente de palanca:

En las máquinas de prueba a torsión se usa un sistema de palancas para medir el torque que actúa sobre la muestra. La longitud equivalente de palanca significa en esos casos "la longitud de la palanca que sostiene la carga móvil necesaria, para producir el torque indicado en las especificaciones de una máquina determinada a carga máxima.

El esquema correspondiente a estas máquinas es el siguiente: El cabezal está sujeto a una pieza transversal conectada al extremo de la máquina, mientras el otro lo está a un sistema de palancas. De componerse el diagrama de las fuerzas que actúan sobre el indicado cabezal se mostraría que el torque aplicado sobre la muestra se equilibra con un par reducido que actúa sobre la pieza transversal. Una de cuyas fuerzas es la reacción en el marco en uno de los extremos de la pieza transversal, mientras la otra actúa en el lado opuesto de la misma pieza, en virtud de la carga móvil que actúa a través del sistema de palancas.

Para valorizar la longitud aparente de la palanca se pueden seguir dos caminos: 1) Mediante un tipo de medición, estableciendo el producto del brazo del par que actúa sobre el marco transversal, por los productos de las relaciones de las palancas del sistema y 2) por pesada, encontrando el cociente de la capacidad de la máquina entre el peso de la carga móvil.

### Sensibilidad.-

La sensibilidad de las máquinas de ensaye se expresa como la posibilidad para reaccionar que tiene el sistema de esfuerzos ante un pequeño cambio de las cargas. Así pues queda establecido la diferencia existente entre exactitud y sensibilidad.

Para aumentar la sensibilidad es necesario subir el centro de gravedad de la escala, lo que ocasiona dificultades para el balance y nivelación de la viga.

### Lentitud.-

Lentitud es el equivalente de la falta de sensibilidad. Puede ser determinada como: el cambio de carga que se produce por una variación apreciable, del orden de media pulgada, del movimiento vertical del extremo libre de la regla; que sirve de escala en el sistema de palancas.

La lentitud se produce por centro de gravedad demasiado bajo de la regla; por la fuerza de inercia de la platina y palancas o por la existencia de puntos de apoyo mal centrados, sucios o gastados.

Una máquina lenta da lecturas erradas, el error será mayor cuanto menor sea la carga considerada.

### Errores.-

Los errores de un sistema de cargas se definen como la diferencia entre la carga indicada y la real, tanto en sentido positivo como negativo.

El error se expresa en forma de porcentaje del error al valor correcto.

Amplitud de capacidad y carga.

La amplitud de capacidad nominal de una máquina de ensaye es la amplitud de carga para la cual ha sido diseñado. Algunas máquinas tienen mas de una amplitud de capacidad. Llámase amplitud de carga de una máquina de prueba a la amplitud de las cargas indicadas para las cuales la máquina da resultados dentro de las variaciones permisibles que se especifican.

## VERIFICACION DE MAQUINAS DE ENSAYE:

\*\*\*\*\*

Existen tres métodos para la verificación de las máquinas de prueba. El más preciso es el llamado de los Pesos patrones, que consiste en la aplicación directa de pesos standard en el mecanismo de pesada de las máquinas de ensaye; lo cual tiene las naturales limitaciones de su realización práctica. Sin embargo este método, no cubre la capacidad de carga de la mayoría de las máquinas de ensaye por lo cual se usa generalmente el denominado como de las Palancas de Prueba que ofrece la ventaja de tener una escala mayor, aunque tampoco llega a cubrir la capacidad de las más grandes máquinas de prueba.

Ambos métodos tienen las limitaciones siguientes:

- 1.- La ya enunciada incapacidad para cubrir una vasta escala de carga.
- 2.- La falta de portabilidad de cualquier cantidad de pesos patrones.
- 3.- Su inutilidad frente a máquinas de ensaye verticales u horizontales que trabajan con una fuerza hacia arriba.

Para superar estas trabas se ha generalizado el método de calibración elástica en el que la verificación se realiza por medios mecánicos. Midiendo el esfuerzo elástico o de flexión de un anillo, zuncho u otro elemento similar; bajo una carga de tensión o compresión.

PRECAUSIONES EN EL USO DE LAS MAQUINAS DE ENSAYE: En el uso de las máquinas de pruebas es necesario adoptar determinadas precauciones que eviten deterioros a las mismas. Los mas importantes son los siguientes:

- 1).- Usos autorizados: Las máquinas y equipos de ensaye solo serán utilizados para usos especificados previamente.
- 2).- Conocimiento de los controles: Las máquinas de ensaye deberán ser operadas exclusivamente por personal experto en el uso de los controles; teniendo en cuenta las características propias de las fabricadas por los diversas compañías.
- 3).- Prueba: Antes de efectuar un primer ensaye la máquina ha de ser probada de acuerdo con las especificaciones respectivas.
- 4).- Embragues: Cuando se usen máquinas provistas de dos embragues se deberá constatar que ambos se encuentran desenganchados antes de proceder a enganchar cualquiera de ellos.
- 5).- Velocidades: Para efectuar un cambio de velocidades deberá pararse la máquina o desengancharse el embrague, procediendo con cuidado. En ningún caso debe tratarse de forzar un cambio.
- 6).- Funcionamiento: Durante el funcionamiento de la máquina es indispensable el no abandonar los controles.
- 7).- Retroceso: No debe darse marcha atras a la máquina violentamente pues se pueden quemar los plomos de la misma.
- 8).- Velocidades lentas: Deberán ser usadas en el proceso de las salvo especificación contraria.

- 9).- **Velocidades altas:** Estas se usarán únicamente para poner los cabezales en posición.
- 10).- **Balance de la escala:** El balance de la escala en carga cero deberá efectuarse antes de la iniciación de la prueba.
- 11).- **Uniformidad del Balance:** Durante el desarrollo de la prueba la carga móvil deberá ser mantenida en el punto de balance o en su defecto un poco mas adelante.
- 12).- **Asideros y guías:** Deberán limpiarse antes de su uso en las pruebas. Las partes posteriores de los mismos no serán aceitados pero sí cubiertos de cebo para facilitar su remoción terminada la prueba.
- 13).- **Soporte de asideros:** Al preparar una prueba se deberá dar suficiente guía para llevar las puntas de los asideros a 1/2 pulgada dentro del cabezal, acuniéndolos convenientemente. Esto es indispensable, para evitar el que dos asideros se salgan y se proyecten fuera conforme avance la prueba. Por otra parte una proyección apreciable por encima de la superficie del cabezal puede causar la rotura.
- 14).- **Longitud de los asideros:** Las muestras deberán extenderse a lo largo de la cuña para evitar la rotura de la última o el resbalamiento de la primera.
- 15).- **Cuñas:** Debido a su fragilidad deberán tomarse determinadas precauciones como son el golpearlas con martillos no duros tal como los que sobrepasan al de cobre. Evitando también golpear la pieza de soporte de las cuñas.

- 16).- Rallado: Se tomarán siempre las precauciones conveniente para evitar el rallado de cualquier parte de las máquinas, sea cabeza, cama o tornillos de la misma. Una platina de fierro fundido, debe colocarse entre la muestra comprimida y la cama de la máquina.
- 17).- Ruidos: Cuando se produzcan en forma extraña deberá desconectarse la máquina para proceder a su cuidadosa revisión.
- 18).- Tuercas de retroceso: Las tuercas de retroceso no deberán estar ajustadas. En el caso de carga nula, deberán estar a penas en contacto con sus cojincillos.
- 19).- Parada: Cuando el cabezal se ha puesto en posición merced a una alta velocidad la máquina deberá desengancharse para permitir una parada en una pulgada.

OoO ~~—————~~

**LA MEDIDA DE LAS DEFORMACIONES**

---



El problema de medir con exactitud las pequeñas deformaciones y desplazamientos está largamente vigente en el análisis experimental de los elementos de construcción. Siempre en búsqueda de soluciones mas propicias y convenientes. Como dichos movimientos se realizan en una escala tal que no son aún apreciados por los sentidos humanos, en la mayoría de los casos, fácil es comprender la necesidad de ampliarlos, en forma precisa y determinada.

La primera solución propuesta en el tiempo fue la utilización de sistemas de palancas, engranajes y dispositivos similares. La idea básica residía en el hecho de que si una palanca producía una ampliación de 1 a 10, una combinación de palancas produciría necesariamente una ampliación de 1 a 100. Sin embargo ello no se cumple exactamente por la intervención de factores tales como los movimientos perdidos, la inercia y la flexibilidad. Teniendo mayor vigencia cuantomayor es la ampliación buscada.

Otro elemento de tipo mecánico es el que se aumenta la multiplicación utilizando una fina cinta metálica torsionada, que luego se distorciona según sea el alargamiento que se le impone. Empleando al efecto una aguja ad-hoc que marca sobre un cuadrante el número de giros realizados. Obteniéndose así el conocimiento de variaciones del orden de los diez milésimos de milímetro.

Con el objeto de encontrar mayor exactitud, precisión y sensibilidad en las observaciones, se han ideado gran variedad de métodos sustentados por principios ópticos, eléctricos y otros.

Así, se ha aprovechado las ventajas de un rayo de luz que puede actuar como una finísima aguja incomparablemente rígida, sin peso ni inercia y de una longitud que sobrepasa todo lo concebible en la práctica mecánica. Los métodos ópticos presentan notables e inteligentes variaciones de este principio.

Los movimientos a observar, son también reflejados en los cambios de un circuito eléctrico y aunque no se realice ninguna ampliación se gana en múltiples ventajas. Así se puede establecer el punto de observación, a gran distancia del elemento donde ocurren las variaciones, por una conexión de finísimos alambres. Posibilitando de este modo el conocimiento de las deformaciones en puntos cubiertos o inaccesibles.

En este sentido se ha hecho uso de la medición de distancias, por las puntas de un aparato, que por la variación de la capacidad de un condensador o la inducción producida por separarse dos o más pequeñas bobinas. La ayuda de la amplificación electrónica permite alcanzar además grandes sensibilidades. También es posible utilizar las variaciones de la resistencia eléctrica de un hilo metálico por medio de su alargamiento; para lo que se adhiere el hilo con aislantes especiales a la superficie del elemento.

A pesar de la antigüedad del método mecánico y de los avances de la ciencia en campos que permiten la adopción de nuevos sistemas de medida, es todavía uno de los más usados, principalmente cuando no se trata de medir vibraciones o efectos de impacto. Ello se debe fundamentalmente, como se constará a continuación, al hecho de ser completamente independiente, no necesitando la intervención de aparatos auxiliares; a la facilidad para observar sus resultados, que se muestran en diales y esferas visibles desde variadas posiciones del observador.

## MEDIDORES DE DEFORMACIONES

### - Deformómetros -

Los deformómetros como lo indica su nombre son mecanismos que sirven para medir deformaciones. Cuando éstas se deben a sollicitaciones de tensión, reciben el nombre de extensómetros y cuando se originan por compresión son llamados compresómetros. En líneas generales ambos tipos de deformómetros funcionan según el mismo principio. Consisten en dos horquillas que se adquieren a la muestra, la que al deformarse las obliga a moverse en forma relativa, a una con respecto a la otra. Estos últimos desplazamientos son medidos por diversos dispositivos, alguno de los cuales describiremos a continuación:

**Indicadores de Dial:** Estos indicadores por sus múltiples ventajas son sumamente usados en extensómetros y compresómetros; como medidores de profundidad, espesor y otras similares; en elementos de comprobación; en la medición de deformaciones de elementos tales como vigas, porticos, etc.; y generalmente cuando se quiere obtener lecturas directas.

La elección del dial para un extensómetro está condicionada al uso del mismo. Así cuando se trata de determinar deformaciones laterales, generalmente muy pequeñas, son convenientes los de gran aproximación. En casos de extensómetros longitudinales son preferibles los diales del orden de 0.001 pulgadas y de una amplitud de 0.250 de pulgada.

Entre los diales existentes en el mercado uno de los mas exactos es el "Last Word" que trabaja mediante un sistema de guanos llegando a una aproximación de 0.0001 de pulgada. Sin embargo solo puede ser usado entre los límites de su movimiento total reducido a 0.02 pulgadas, razón por la cual se le dedica a la determinación del Módulo de Poisson, como extensómetro lateral.

Entre los diales que usan mecanismos de piñón y cremallera, como son los fabricados por "Ames" y "Federal", se encuentran diversos modelos. Su mayor inconveniente son los errores sistemáticos por lo que diales de lecturas de 0.0001 de pulgada son a veces menos precisos que otros de 0.001 de pulgada. La lectura mínima de estos mecanismos es de 0.001 de pulgada y de amplitud de 0.005 a 1 pulgada. La amplitud de 0.25 que se adapta a diversos tipos de trabajo es muy usada. También hay diales con lecturas mínimas de 0.00025, 0.0005 y 0.005 de pulgada con amplitudes de 0.20 a 0.25 de pulgada.

**Tornillos Micrométricos:** Son usados para medir los desplazamientos relativos de la horquilla. Para llegar a la máxima precisión en el ajuste se usa una conexión eléctrica que con zumbidos indica el punto exacto, según va disminuyendo la distancia que representa el desplazamiento, cuando se da vuelta al tornillo.

**Microscopios Micrométricos:** En algunos aparatos se colocan junto a las dos horquillas dispositivos tales como un par de

aguja, midiéndose la distancia o cambio de la misma contra la escala del microscopio. El aumento depende del microscopio, siendo así pequeño en el caso de usarse microscopios tubulares a mano. En general los microscopios micrométricos son muy útiles para determinadas experiencias, pero poco recomendables cuando se requiere precisión.

Óptico.- Cuando se requiere gran precisión en los resultados y una magnífica sensibilidad se usan estos aparatos.

El desplazamiento es aprovechado para hacer rotar un pequeño espejo que recibe y refleja un rayo de luz de un elemento en forma de diamante, sobre una escala graduada, deslizándose sobre la misma. La cantidad de movimiento está en razón directa con el cambio de longitud del medidor.

Los extensómetros de espejos que usan la palanca óptica son relativamente simples, con pocas partes móviles y de una baja inercia. Sin embargo requieren gran tiempo y cuidado en su ajuste. La precisión del resultado depende de la calidad del espejo, pues, de ser defectuosos habrá distorsión en las lecturas; por lo que se recomienda el uso de espejos pulidos de acero. Por otra parte, bueno es recordar que estos elementos son fáciles de influenciarse por vibraciones y otros factores propios del medio ambiente en que son utilizados.

Lectura por rayado con microscopio compuesto.- Es usado en la obtención de gráficas, en investigaciones de deformaciones rápidas por impacto u otras sollicitaciones. Tal el caso del conocido "stematograph". En sí, no son más que una aguja que se apoya sobre un disco

ahumado y que está unida a una de las horquillas. El diagrama de los desplazamientos relativos es rayado en el disco y se puede leer contra la escala de un microscopio compuesto. En algunos casos para facilitar la lectura de los desplazamientos el disco rota lentamente en el transcurso de la prueba.

\*\*\*\*\* 000 \*\*\*\*\*

## OPERACION DEL COMPRESOMETRO

Un ejemplo de compresómetro lo tenemos en de Olsen de dial simple. Este instrumento se compone de dos anillos que están sujetos a la muestra por tres juegos de tornillos. El espécimen es el mismo cilindro de 6" de diámetro que se usa en ensayos de compresión. Estos dos anillos se mantienen rígidamente en posición por medio de barras laterales a distancias apropiadas.

El anillo inferior lleva un elevador flotante en forma de un semi-círculo el que es pivoteado en el centro e indica por el movimiento en un dial el doble de la cantidad de la deflexión, que se origina en la muestra entre los pivotes de soporte.

Los puntos de ajuste o contacto deben ser cuidadosamente asegurados para soportar los anillos en forma uniforme. Luego de lo cual las varillas de espaciamento pueden ser movidas dejando así el instrumento sujeto a la muestra. El dial es puesto en contacto con su botón y colocado en posición vertical con referencia al mismo. Los tornillos de contacto sobre el botón son ser aflojados y el ajuste se realiza hasta que la aguja comienza a moverse. El piñón del indicador es así girado llevando el cero a la posición coincidente con la aguja, después de lo cual cualquier cambio en longitud que se registre en la muestra será indicado por el movimiento de la aguja. Esta lectura tomada en diez milésimos de pulgada debe ser dividida por dos para obtener el cambio de longitud del cilindro. En el caso en que el cambio de longitud exceda la esfera del dial



este puede ser vuelto a colocar al acero y la prueba continúase,  
en forma sucesiva.

El instrumento debe ser retirado previamente a la rotura para  
evitar deterioros en el mecanismo del compresómetro.

000 - ~~0000~~ - 000

## MANEJO DEL EXTENSOMETRO

Un diagrama de extensómetro colocado a la muestra, que ha de servirnos para estudiar su forma de trabajo, es el de la figura 4. La horquilla inferior A se encuentra asegurada a la muestra por un tornillo mientras la superior B la abraza con dos. Una varilla C conecta las dos horquillas en los puntos D y E. Mientras el extensómetro es colocado sobre la muestra una barra espaciadora F mantiene las horquillas paralelas y a una distancia apropiada. Esta barra se retira antes de iniciar la prueba. El extensómetro de la figura tiene un dial indicador G para medir los movimientos relativos de las horquillas.

Las líneas gruesas de la figura señalan la posición inicial del extensómetro y las líneas punteadas indican exageradamente la posición final, después de la deformación. La horquilla inferior mantiene fija su posición con respecto a la probeta pues se encuentra fijada por tres puntas. Con el aumento de distancia  $\Delta L$  entre los extremos del medidor de longitud L la horquilla superior gira alrededor de la punta D originando el ascenso de la barra H en una longitud de  $\Delta D$  mayor que  $\Delta L$ . El movimiento  $\Delta D$  se mide con el dial.

La razón de aumento del extensómetro se conoce como razón de desmultiplicación. En la práctica se obtiene fácilmente midiendo la distancia del punto D a la barra H para dividirla luego por la distancia de D a los tornillos de la horquilla superior. Los medidores de algunos extensómetros indican directamente la razón de

desmultiplicación, para lo cual el extensómetro viene como una unidad junto al dial. En caso de que el medidor indique directamente la distancia  $D$  la deformación total de la longitud se encuentra dividiendo  $D$  por la razón.

El extensómetro de la figura es del tipo de promedios, es decir marca la deformación promedio a través de la congenitud del medidor. Los extensómetros de otro tipo -que no dan promedios- no tienen conexión entre sus horquillas las que pueden moverse independientemente la una de la otra. En tal caso los movimientos de las horquillas superior e inferior son medidos por dos diales separados entre sí en  $120^\circ$  a  $180$  grados. Como los tres puntos determinan un plano los tres diales dan datos completos con los que se puede evaluar los movimientos relativos o deformaciones a lo largo de la muestra.

Todos los extensómetros indican la deformación total en la longitud del medidor pero no dan informaciones sobre la distribución de las deformaciones a lo largo de la misma. La deformación unitaria se calcula usualmente dividiendo la deformación total entre la longitud, para obtener así un valor promedio. La deformación unitaria máxima es mayor que la promedio pero es imposible determinarla por medio del extensómetro.

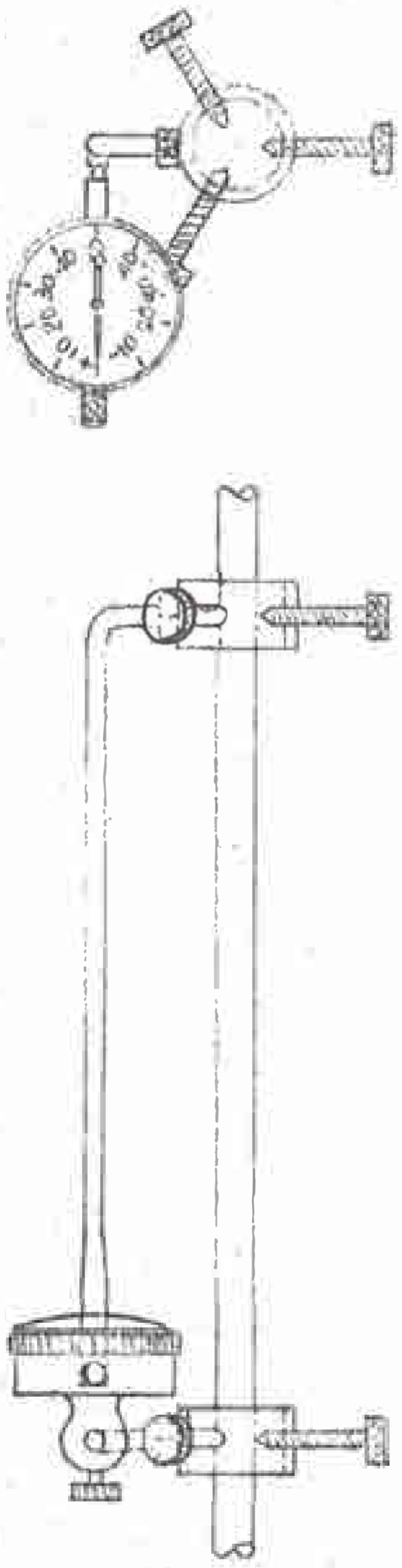


Diagrama de un extensómetro

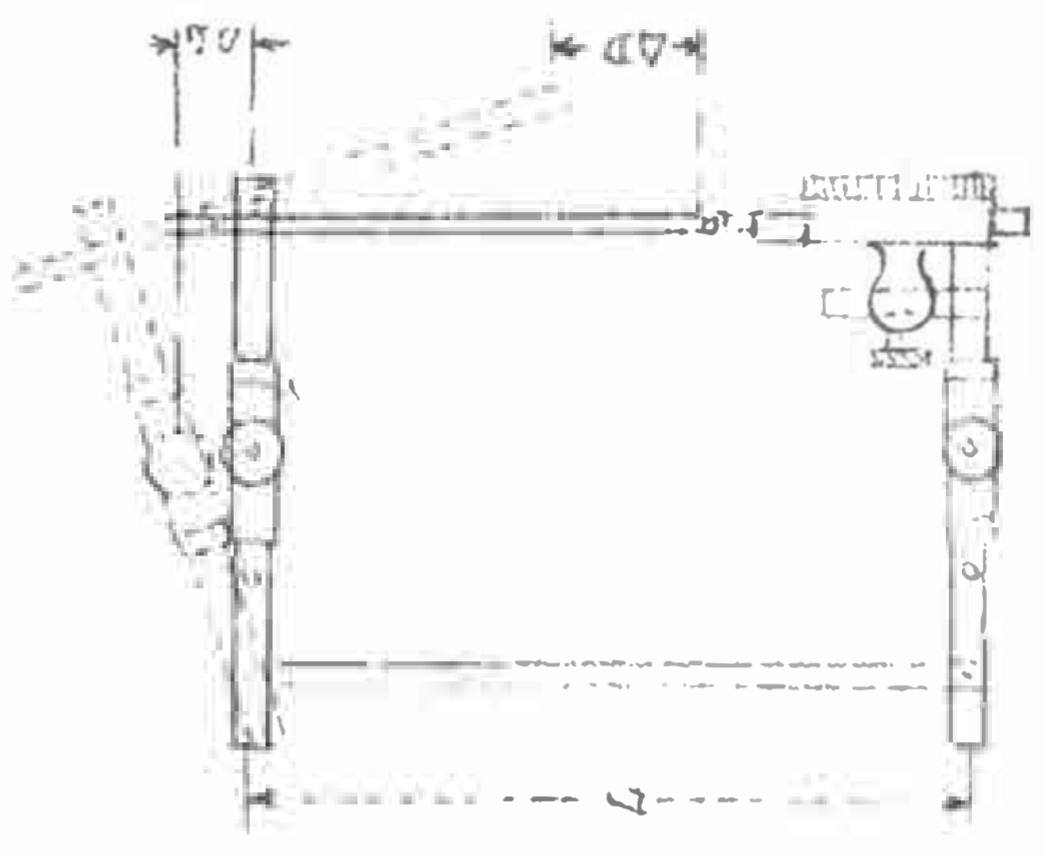
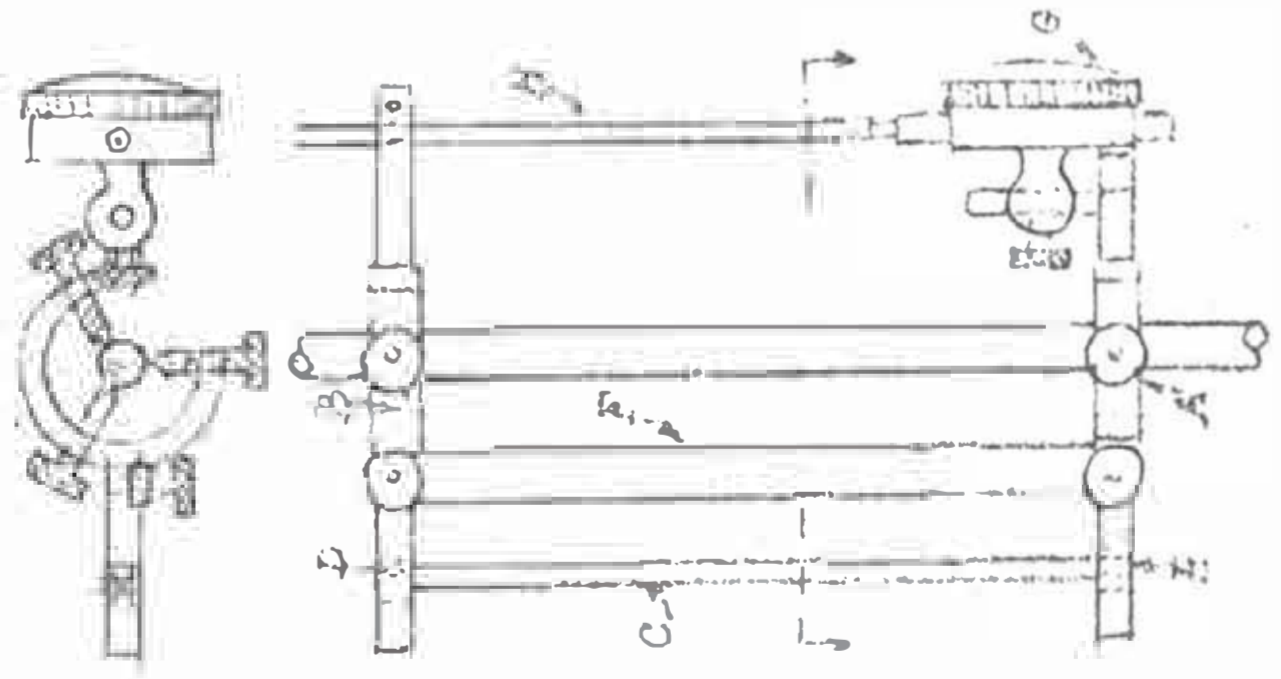


figura 4

Fig 4.

## DETERMINACION DE ESFUERZOS EN ELEMENTOS

### ESTRUCTURALES

Para la evaluación de los esfuerzos en un punto de un elemento estructural no se ha encontrado aún un dispositivo aceptable. Los empleados usualmente sirven para medir únicamente los esfuerzos realizados. Para lo cual se encuentra previamente, la curva de esfuerzo-deformación del material que es estudiado. Basándose en la cual, al conocer las deformaciones, se pueden obtener los esfuerzos.

Tal cosa, sin embargo, solo es posible en determinados materiales como los aceros, en que los valores y constantes elásticas son bastantes conocidas y se estiman con un pequeñísimo error. Pero en otros, como los concretos en los que hay gran amplitud en los valores de los módulos de Young y Poisson, por efecto de la variedad de mezclas es imposible asumir un valor promedio pues daría un alto porcentaje de error. No hay así otra posibilidad que el realizar pruebas suplementarias, que no siempre conducen a buen fin.

Sucede así, porque en el diseño de elementos se estudia fundamentalmente los esfuerzos juzgando la seguridad de los mismos en función del esfuerzo máximo, lo que obliga a traducir las deformaciones en esfuerzos.

En la valuación de los esfuerzos se tropieza en primer término

con la intervención de múltiples variables, como son los cambios de temperatura, la inercia de las partes móviles del deformómetro, o la acción retardadora de la muestra. Por otra parte cabe también considerar la intervención, sujeta a error, del operador. Todo ello influido en mayor o menor grado por el tipo de deformómetro usado.

Los esfuerzos son valorados, en función de las deformaciones observadas - previas las correcciones del caso - de acuerdo con el gráfico: esfuerzos - deformaciones correspondiente al material.

En el caso de esfuerzos axiales, propios de las vigas sin cargas concentradas, en columnas y armaduras, el esfuerzo se obtiene directamente del gráfico, si la deformación tiene la misma dirección que el esfuerzo.

Para esfuerzos bi-axiales o tri-axiales, como es el caso de las vigas junto a los puntos de carga, en las lozas y placas y en los recipientes sometidos a presión, la valuación es menos directa, dado que el esfuerzo en una misma dirección produce deformaciones en todas direcciones.

#### DISPOSITIVOS DE MEDICION

.. . . . .

Para medir deformaciones se utilizan deformómetros portátiles; inclusive de un tipo tal, que puede ser usado indistintamente como extensómetro o compresómetro en el laboratorio o para medir las variaciones de los elementos estructurales bajo carga.

Cabe señalar que si nos hemos referido exclusivamente a las deformaciones de elementos sometidos a esfuerzos mecánicos, también es posible utilizar estos mecanismos para encontrar deformaciones debidas a otras causas. Como lo son, en el campo del concreto la re-tractación o cambios de volumen de aglomerados.

Los dos tipos mas conocidos de estos deformómetros son los de multiplicación y medición directa. Los dos estan dotados de puntas cónicas, que sirven para ser insertados en pequeños huecos hechos en la muestra. En tal forma, un cambio de la distancia entre los huecos es indicado en el dial ya sea por el método directo o por el de la palanca multiplicadora.

Un ejemplo de un medidor de lectura directa es el Whittemore y uno de sistema de palancas lo podemos encontrar en los Barri y Olsen. Otros tipos que no emplean el sistema del dial son el medidor óptico de Tuckerman; el eléctrico de Carlson y el medidor magnético.

Para la medición de las deformaciones ocurridas en vigas se usan aparatos denominados deflectómetros, que consisten en una palanca simple de una relación 1:10. Y cuyo brazo corto es colocado sobre la muestra mientras el largo lo es a través de la escala. En todos los casos es necesario hacer una corrección que elimine la influencia del aplastamiento de la muestra o el asentamiento de los soportes. Por otra parte los esfuerzos se determinan de las deflexiones, en la misma forma que se obtenían de las deformaciones.

Los tipos de medidores libres presentan las siguientes ventajas:

- 1.- Facilitan el realizar varias mediciones sucesivas a lo largo de las muestras por no ser preciso dejarlo estacionario.
- 2.- Son economicos por eliminar gran parte del equipo instrumental.
- 3.- En los casos de observaciones a la intemperie al poder ser retirados, se evitan alteraciones y pérdidas.
- 4.- Existe mayor facilidad para la colocación de los elementos móviles que en los fijos.
- 5.- La medida de la deformación no está influenciada por otras deformaciones de la muestra en distintos lugares.



## VALORACION DE CARGAS

• • • • •

Para medir las cargas o fuerzas actuantes se puede utilizar un sistema de palancas, balanceando la carga desconocida con un peso dado o bien observando los desplazamientos producidos en una pieza elástica.

Un método de medición elástico es el del anillo de prueba, constituido por un cilindro, generalmente de acero, equipado con un micrómetro que indica las variaciones del diámetro bajo la acción de las cargas. El anillo se introduce en el sistema, en forma que la carga desconocida pase a través del mismo. Los anillos se calibran por medio de cargas determinadas.

Otros tipos de medidores de carga, se basan en el principio de que las resistencias eléctricas del carbón varían bajo presión. La barra de carbón consiste en un cartucho de carbón conectado en serie con una fuente de corriente y un elemento capaz de indicar las variaciones de la misma. La distribución está realizada en tal forma que la carga desconocida pase sobre el, determinando cambios de corrientes que pueden ser controlados.

En el estudio de las presiones estáticas y de impactos úsase la pila Kreuger; y en el de presiones de tierra y elementos granulares la pila Goldberck.

Un medio que elimina muchos factores adversos en el estudio de muros de contención y losas, consiste en una cinta de acero colocada entre dos placas de metal, con una calibración para medir la

resistencia a la fricción que se desarrolla entre la cinta y las placas; cuando la primera es apoyada y tensada por la presión variable de las placas.

Los cambios de humedad o de la posición relativa de los discos de estos elementos, origina alteraciones en los resultados.

Todos los tipos de medidores de carga, dependen de movimientos para la indicación de las mismas. En el caso de tratarse de estructuras estáticamente indeterminadas es necesario tomar en cuenta el movimiento del medidor de cargas, para evitar los consiguientes errores. En el caso de presiones ejercidas contra muros de contención, los pequeños movimientos generan diferencias entre una presión activa y otras estáticas, que es un poco mayor.

----- 000 -----

C A P I T U L O    I I I  
-----

ENSAYES DE COMPOSICION  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ANEXO III - 1 : - TABLAS DE  
COMPOSICION

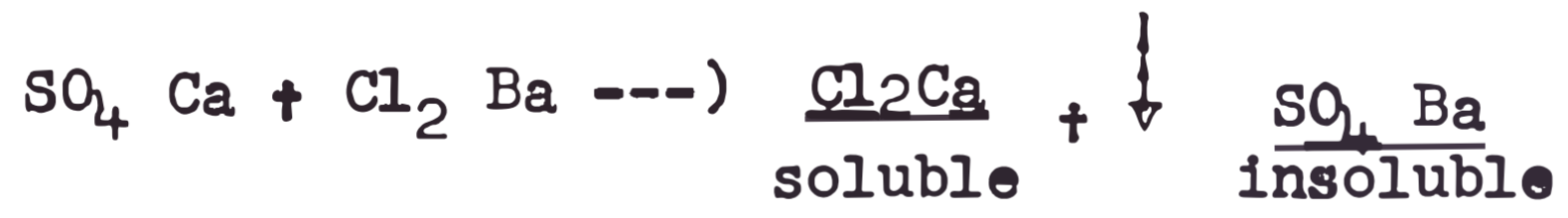
A Z U F R E  
 -----

Su existencia en el cemento se debe, al  $\text{SO}_4 \text{ Ca}$  (yeso) que se adiciona en el fraguado, registrándosele como  $\text{SH}_2$  ó bien como  $\text{S}_2\text{C}$ .

Para la determinación del primero se le precipita como  $\text{SO}_4 \text{ Ba}$ , filtrando el residuo insoluble en un medio ácido.

Un volumen de 250 cc. o más del líquido obtenido después del filtrado, se calienta hasta alcanzar su temperatura de ebullición.

Aparte se mide en una pipeta 10 cc. de  $\text{Cl}_2\text{Ba}$  en una solución al 10% previamente entibiada, se añade ésta gota a gota a la preparación anterior, agitando rápidamente por breves segundos. Se deja reposar la mezcla sobre una placa caliente de 3 a 4 horas, la cual favorece la completa precipitación del sulfato y la formación de cristales de tamaño no filtrable:



A continuación se procede a filtrar a través de papel muy compacto, decantando el líquido (utilícese papel Schleicher o el No. 2 Albet).

El precipitado se lava repetidas veces, con agua a  $100^\circ$ , antes y después de filtrar por decantación, dada la densidad y adherencia del compuesto. El líquido filtrado estará exento de enturbiamiento, lo cual obligaría a hacer una nueva determinación.

Finalmente en un crisol tarado se incinera el filtro y su contenido a  $1000^{\circ}\text{C}$  durante 65"; una vez frío el crisol, se pesa y el aumento de peso que acusa se multiplica por una constante: 34.29, obteniéndose así el porcentaje de azufre en el cemento.

Para análisis mas minuciosos, se separa la sílice del  $\text{SO}_4 \text{ Ba}$  calentando el crisol del platino, se deja enfriar y se le agrega unas gotas de agua, otras de  $\text{SO}_4 \text{ H}_2$  concentrado y 100 cc. de FH evaporando la sílice primero por calentamiento a baño maría y cuando el volumen del líquido es muy reducido, con llama directa muy pequeña para evitar proyecciones.

Se le puede echar trocitos de papel de filtro y todo junto se incinera y calcina.

#### Azufre de sulfuros.-

En un vaso de 150 cc. de capacidad se coloca un gramo del cemento, 20 cc. de agua de bromo y 50 cc. de agua destilada, se agita y desmenuzan los terroncillos, se tapa con un vidrio dejándolo así toda la noche para que el azufre de los sulfuros se oxide completamente en presencia del bromo.

Al día siguiente se agrega 10 cc. de  $\text{ClH}$  calentando y disolviendo al cemento y por medio de la ebullición se desaloja el bromo, pues éste ya ha cumplido su misión. Para comprobar la desocupación del bromo se emplea el papel de yoduro de almidón.

Debe filtrarse, para separar el residuo insoluble y la sílice que hubiese precipitado; luego después de lavar cuidadosamente con abundante agua caliente, se precipita el sulfato y se pesa el  $\text{SO}_4 \text{ Ba}$ : La diferencia entre el peso del sulfato de bario y el que arroja la determinación anterior, de los sulfatos, es el sulfato originado en la oxidación del azufre.

Multiplicando por 13.74 obtendremos el porcentaje de azufre  
(si se emplea el factor 30.9 tendremos el porcentaje de  $S_2Ca$ ).

. ----- .



## S I L I C E

\*\*\*\*\*

De todos los compuestos, la sílice tiene especial interés por su influencia en las resistencias mecánicas de morteros y hormigones, los demás compuestos parece que no actúan a excepción repetimos de los silicatos cálcicos.

El procedimiento para determinar el contenido de sílice consiste en la descomposición de los silicatos mediante el ClH y en su reducción SiO<sub>2</sub>:



En la disolución obtenida la sílice forma una pseudo solución de tipo gel, por lo cual se le debe evaporar a sequedad evitando así que el coloide se peptice al contacto con el agua o se haga reversible. La sílice se determina por pesada una vez separada de los otros elementos solubles por filtrado y calcinación.

Para una mayor perfección en el análisis se le volatiliza con ayuda del FH y su porcentaje se conoce por la pérdida de peso del compuesto.

Después de la segunda evaporación, se coloca el material en una estufa de aire por espacio de una hora, a la temperatura de 120°C; se le deja enfriar y se ejecuta los mismos pasos que se siguieron después de la primera evaporación.

Los dos filtros se colocan en un crisol de porcelana o de platino, cuyo peso es conocido, se le somete a la acción del calor de la llama; primero muy debil pues existe el peligro de que el vapor del agua contenida, arrastre consigo los finísimos polvos de sílice; y luego se va lentamente incrementando el calor hasta que el contenido esté casi blanco, en ese momento se eleva al máximo la temperatura por espacio de 20°, se le lleva al desecador y al cabo de media hora se pesa.

Deducido el peso del crisol y referido así el residuo sobre 100 se obtendrá el contenido de sílice en 100 gr. de cemento.

Para evitar una determinación errónea a causa de los óxidos absorbidos es necesario volatilizar la sílice utilizando para esto el ácido fluosilícico que se origina haciendo actuar sobre la sílice el FH en presencia del  $\text{SO}_4 \text{H}_2$  con ayuda del calor. El ácido sulfúrico es necesario porque evita la hidrólisis del fluosilícico que precipita sílice.

Al contenido del crisol previamente pesado, se adiciona gotas de agua para equilibrar las pérdidas producidas por la fuerte acción del FH y luego 4 a 5 gotas de  $\text{SO}_4 \text{H}_2$  ( $d = 1.84$ ) si el producto de la calcinación tiene gran cantidad de impurezas, lo que se conoce por la coloración bruna, se adiciona más ácido.

En seguida 10 a 15  $\text{cm}^3$ . de FH y se calienta al baño maría hasta su evaporación; al final solo queda  $\text{SO}_4 \text{H}_2$  y entonces se introducen tiras de papel de filtro que se sumergen en sus extremos, esto absorbe el líquido, acelera la evaporación y la

calcinación se hace sin proyectar el ácido (empléese hornos de mufla a  $1100^{\circ}\text{C}$  de temperatura). Así se transforman en óxidos los sulfatos de los metales que constituyen, impurezas en la sílice.

El crisol se lleva al desecador y se enfría y pesa, el peso  $P'$  se resta del anterior  $P$ :  $(P - P')$ .

Así obtenemos la sílice de los silicatos artificiales porque el cuarzo y arcilla sólo ceden ante repetidos ataques de  $\text{FH}$ .

Antes de finalizar la determinación debemos tener en cuenta que mejora sus resultados, el lavado cuidadoso de los precipitados a menos que se realice la volatilización.

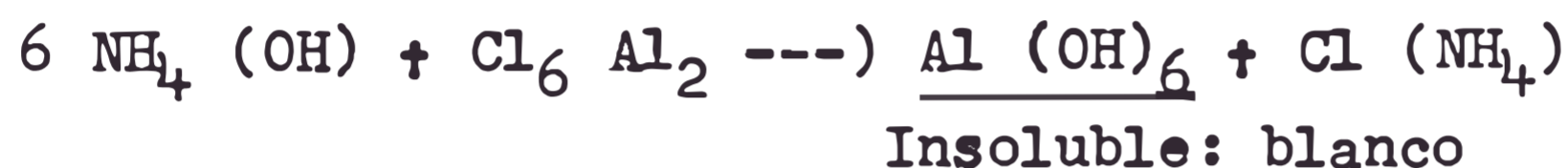
Los errores son por defecto de ahí que, entre los resultados de varias determinaciones se debe escoger siempre el más alto.

• ----- •

## HIERRO Y ALUMINIO

.....

Su separación es posterior a la del silicio y se fundamenta en la precipitación del ion hierro y aluminio por medio de hidróxido de amonio según las siguientes reacciones:



Esta reacción debe efectuarse en abundante proporción de amonio para que no precipite magnesio.



El gel del precipitado posee como tal gran poder absorbente, al acidificarlo pasan a la disolución el hierro y aluminio con iones extraños y precipitan en el nuevo gel que es poco adsorbente por lo cual las impurezas se reducen al mínimo.

Para llegar a esta conclusión:

El líquido del filtrado y lavado de sílice se calienta hasta obtener un volumen de 150 cm.<sup>3</sup> y se emplea el Br., si se ha efectuado

el calentamiento en crisol de platino, para poder oxidar el hierro; luego haciendo hervir el líquido desalojamos el agua de bromo.

Separado del calor se agrega el colorante rojo de metilo que es indicador del bromo (si persiste la coloración del reactivo es que el bromo ha sido desalojado); entonces se agrega amoníaco concentrado libre de anhídrido carbónico para que no precipite el óxido de calcio.

El rojo de metilo vira del rojo al amarillo según sea el grado de acidificación del medio por lo que se le debe adicionar gota a gota agitando la mezcla y suspendiendo al obtener el virage, ya que  $\text{Al}(\text{OH})_3$  es soluble a un PH de 8 ó más y el rojo de metilo vira a un PH de 6.5.

Continuando la ebullición, se deja aglutinar el precipitado; se retira del fuego y se alimenta, se filtra rápidamente y decanta y sobre el precipitado se vierte una solución al 10% de  $\text{NO}_3$  ( $\text{NH}_4$ ), se agita y decanta nuevamente.

Estas superaciones se repiten por segunda vez y en un frasco lavador se coloca la solución amoniaca caliente, se pasa el precipitado al filtro y el vaso que recibe el líquido y los lavados se reserva para posteriores determinaciones.

Bajo el embudo que contiene los hidróxidos :

$\text{Al}_2(\text{OH})_6$  ----) insoluble blanco

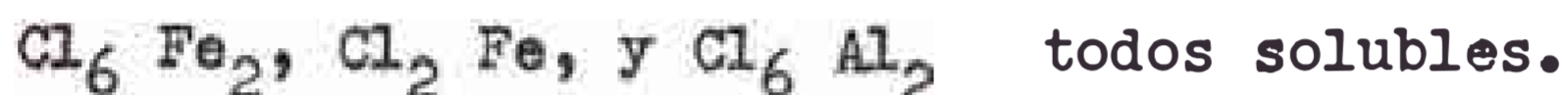
$\text{Fe}_2(\text{OH})_6$  ---) insoluble rojizo

se coloca el vaso de precipitados que aún conserva sus paredes untadas con vestigios del compuesto; se horada el filtro con un

agitador o varilla de vidrio y con ayuda del chorro de agua se hace resbalar al vaso el precipitado.

Se lava el filtro echando en los bordes la solución de un volumen de Cl H en tres volúmenes de H<sub>2</sub>O; destruyéndose así todo vestigio de precipitado retenido en el filtro, aún más, se lava éste con agua caliente y se le tira.

A continuación en este vaso en que está disuelto casi el precipitado y que contiene el agua del lavado del filtro se incorpora 5 cm. de Cl H disuelto en volumen de agua, que originará:



Se diluye todo a 100 c.c. y se reprecipita con ayuda de NH<sub>4</sub> (OH), el fierro y el aluminio dando como se indicó en las dos primeras ecuaciones Fe (OH)<sub>3</sub> y Al(OH)<sub>3</sub> que se separan por filtración y luego por calcinación se secan y transforman en :



que se pesan y dosifican en conjunto.

Para ello, los precipitados se filtran en un crisol tarado de porcelana y se calcina el filtro primero con llama pequeña y cuando el carbón ha desaparecido, se emplea el sollete durante 30 minutos hasta deshidratar la alumina:



Conviene advertir que si se calcina en horno eléctrico de mufla se actúa como en el caso de la sílice, para que el hierro se oxide totalmente al contacto con el óxido del aire, al extraer crisol para depositarlo en el desecador, cuando la temperatura es de 900 - 1000°C.

Se deja transcurrir unos 20' y frio se pesa el crisol:  
el exceso sobre la tara indica la suma del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y el  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
que multiplicados por 200 dá el porcentaje de estos óxidos  
en el cemento.

• ----- •

## C A L

-----

La importancia de su existencia en los cementos se deduce del hecho de ser factor determinante en las propiedades mecánicas, dosificación y cocción del aglomerante.

Su apreciación se realiza al estado de óxido o de sulfato. Si se trata de conocer el tanto por ciento de cal libre (no combinado) primero se le solubiliza en glicerol anhidro; luego se mide el grado de alcalinidad con el oxalato amónico.

Previa separación de fierro y aluminio se acidifica el líquido con ClH concentrado en presencia de rojo demetilo, así se descomponen los carbonatos de calcio y magnesio que suelen formarse por la gran alcalinidad del medio, en presencia del anhídrido carbónico del aire durante las filtraciones:



El líquido se concentra hasta un volumen de 250 cc. y se le adiciona un gramo de oxalato de amonio según las siguientes reacciones:





El oxalato de amonio cristalizado se pulveriza agitando para disolverla, si empieza a precipitarse se le adiciona mas ácido para que redissuelva, porque la precipitación debe ser lenta y a temperatura de ebullición.

El oxalato puede agregarse en solución a 5% , pero no es muy soluble y cristaliza precipitando el calcio en forma incompleta.

Continuando la experiencia se calienta hasta su ebullición, luego se separa agregándole gotas de rojo de metilo,  $\text{NH}_3$  concentrado,  $\text{CO}_2$  (anhidrido carbónico no debe contener esta mezcla). Se agita hasta obtener el viraje al amarillo del indicador; nuevamente se calienta hasta la ebullición durante 20 minutos para transformar en cristalino el precipitado de oxalato de calcio formado cuando se alcalinizó.

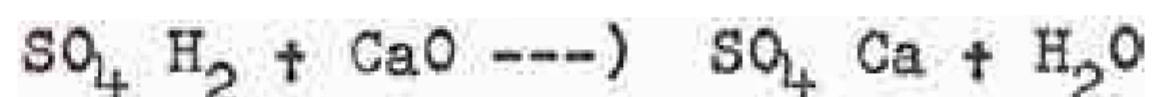
El compuesto se agita frecuentemente y después se pone a sedimentar, posteriormente se filtra y decanta el líquido claro, no dejando pasar ninguna partícula sólida. A ésta se le separa en un vaso adicionándole 50 cc. de agua, agitando hasta que se desmenuce y lave, sedimentando y decantando el líquido de este vaso; con ayuda del frasco lavador se traslada al precipitado al filtro, sobre éste se le lava repetidas veces con agua destilada hasta obtener un volumen de 125 cc.

Es imprescindible determinar el volumen del líquido con el que se lava porque 100 cc. de agua a  $18^\circ \text{C}$  disuelven 0.6 mg. de oxalato y en esos líquidos se determina la magnesia.

El filtro con el oxalato se pasa a un crisol previamente tarado, de platino, porque si el precipitado se funde hay que redissolverlo y esta operación no es dable en un crisol de porcelana por ejemplo.

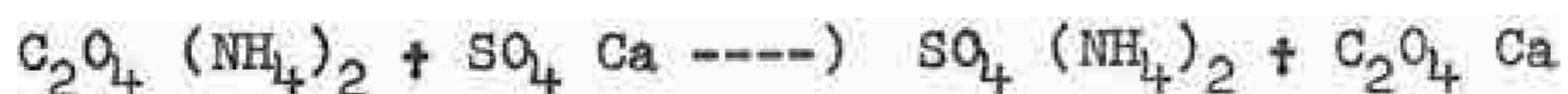
s Se incinera y calcina en el soplete por 10 minutos y después frío se pesa. De este modo el oxalato se transforma en óxido, que tiene la propiedad de carbonatarse fácilmente con el aire, por eso para pesarlo hay que tener la precaución de disponer el crisol en un pesa-sustancias, cuyo tapón ajuste perfectamente y en el otro platillo, otro frasco para evitar el error por la corriente de aire.

Para salvar este inconveniente se agrega en el crisol frío gotas de ácido sulfúrico fumante y se calienta hasta que no de humo blanco se calcina y pesa:



Finalmente se pesa el calcio como sulfato y habrá que multiplicar por  $0.4119 \times 200 = 82.38$  lo que nos dá la cantidad de CaO contenida en 100 gramos de cemento.

Las reacciones efectuadas son las siguientes:



. ----- .

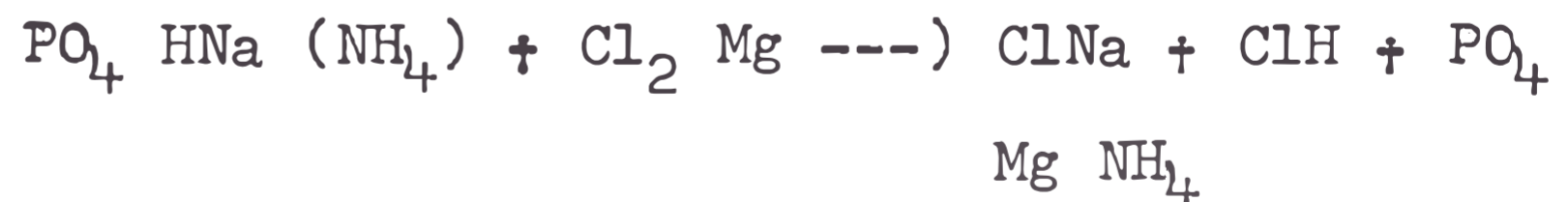
## M A G N E S I A

\*\*\*\*\*

La determinación del contenido de Magnesia en los cementos adquiere especial importancia pues un porcentaje mayor que el 5% propicia cambios de volumen perjudiciales. Por otra parte, la determinación misma es delicada dado que se presenta en forma de fosfato amónico magnésico que como se sabe tiene propiedades adherentes e insolubles que dificultan la marcha de la prueba.

El método empleado por las normas para la obtención del porcentaje de magnesia es el de precipitar el ion magnésico al estado de fosfato para luego separarlo por procedimientos de filtración y lavado transformándolo luego por calcinación, en pirofosfato para dar el porcentaje en Mn O libre.

Se procede con el residuo obtenido de la determinación de la cal. elemento líquido que se acidula con ácido clorhídrico concentrándose hasta un volumen de 150 cc. Se obtiene así la siguiente reacción:



Enfriada la disolución ácida se procede a agregar 10 cc. de una solución al 10% de sulfato diamónico, lo que provoca el viraje del rojo de metilo se lleva el conjunto a un vaso agitador, si es posible uno con motor eléctrico, para que la agitación para que la agitación sea enérgica y continuada. A fin de producir el precipitado se le añade gota a gota, amoniaco concentrado,

continuándose la agitación por lo menos unos 15 minutos más. Se enfría el vaso luego convenientemente cubierto con una luna de reloj, unas 24 horas; con lo que se consigue un precipitado completo. Se decanta el líquido luego de sucesivos lavados de los cristales en solución de amoníaco, filtrándoseles, hasta consumir 100 cc. de líquido más o menos. El filtro y los cristales se coloca en un crisol de porcelana, cuyo peso es conocido y de calcina hasta reducir el papel de filtro a cenizas; frío se pesa y se reduce el peso del crisol obteniéndose el peso del precipitado el cual se multiplica por  $0.3621 \times 200 = 72.42$ , lo que nos dá el peso del MgO que está contenido en 100 g. de cemento originando:



• ----- •

## MATERIAS VOLATILES

---

El cemento posee una gran avidez por el agua, lo cual debe en parte al óxido cálcico que contiene al estado de cal viva y al yeso deshidratado por la elevación de temperaturas que sufre.

Al absorber el agua, especialmente la del ambiente se hidrata fijando el anhídrido carbónico del aire sobre sus compuestos alcalinos originando carbonatos.

El agua, el gas carbónico y la materia orgánica dejada por los envases o los compuestos agregados para mejorar el cemento, forman la llamada pérdida al fuego o pérdida por calcinación, porque son elementos que se eliminan por la acción de la energía calórica.

La apreciación de estos compuestos se funda en la pérdida de peso que experimenta determinada cantidad de cemento sometida a  $x^{\circ}$  de temperatura en un tiempo dado.

La abundancia de sulfuros en el cemento obliga a aplicar una técnica que excluya el error producido por la oxidación que el oxígeno de la atmósfera crea:

En un crisol de porcelana o mejor aún de platino, se coloca un gramo de cemento desecado, se tapa y calienta suavemente pocos minutos para desalojar el aire, sin que al salir arras-

tre las materias volátiles, luego se eleva rápidamente la temperatura a 1000°C durante 15' y se deja enfriar para pesarlo.

Este tratamiento se debe repetir hasta que se consiga constancia en el peso luego se multiplica por 100 la diferencia del peso lo que nos indica las pérdidas por calcinación o lo que es lo mismo el contenido en volátiles del cemento.

Es por lo tanto recomendable el uso de horno eléctrico de mufla, dado que el mechero desprende gases y hay que evitar que penetre al crisol (para esto póngasele dentro de un depósito de cartón de amianto).

Para evitar las oxidaciones del azufre, se procederá como sigue:

En un gramo de cemento primero se determina el tanto por ciento de sulfatos por el método acostumbrado y en otro gramo la pérdida al fuego en crisol de platino y sobre esto se determina el SO<sub>3</sub>; si el nuevo valor es superior al anterior se deberá indudablemente a la oxidación que adultera el peso.



si multiplicamos por 0.5994 la diferencia entre el contenido de SO<sub>3</sub> arrojado por las dos determinaciones, obtenemos el peso del oxígeno fijado; el cual hemos de sumarlo a la pérdida por calcinación para tener el valor real de la misma.

. ----- .

## OXIDO DE FIERRO

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Es importante conocer el porcentaje de óxido de fierro en los cementos porque su reacción ante agentes químicos, su entonación térmica etc. depende de la existencia de dicho elemento y del óxido aluminico.

Dada la coexistencia de estos óxidos se determina el % del aluminio restando de la valoración del conjunto el valor hallado para el Fe. y éste se determina reduciéndolo a Fe O con ayuda del bicromato de K (oxidante) y la difenilamina como indicador interno.

Para ello, a un gramo de cemento en un vaso de 225 cc. se le adiciona 40 cc. de agua caliente y con un agitador, se desmenuzan los gránulos. Se incorpora luego 15 cc. de ClH y se calienta primero en un baño maría hasta que disuelva, luego en el bunsen hasta que empiece a hervir, llegado este momento se agrega gotas de cloruro estañoso en solución que reduce el  $Fe_2 O_3$  lo cual se conoce porque el color amarillento del líquido, (debido a los iones fierro) palidece hasta desaparecer y entonces por precaución se le añade 2 gotas mas. Con lo cual termina esta reacción.

Cuando el vaso está frío se le añade primero, cloruro estañoso hasta que el líquido muestre una opalinidad 2º 15 cc. de mezcla fosfosulfúrica que pierde coloración a medida que la oxidación del fierro avanza; 3º gotas de la disolución sulfúrica de difenil amina que forma un compuesto azul con el  $Cr_2 O_7 K_2$  indicando así el fin de la oxidación.

Se diluye en 150 cc. de agua fría, el compuesto anterior y se realiza la volumetría de la oxidación añadiendo solución de bicromato de potasio gota a gota agitando fuertemente. La operación termina con la aparición de un tinte violáceo que no se acentúa al añadir más bicromato.

Al multiplicar por 0.3 992 los centímetros gastados se obtiene el porcentaje de  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ . El  $\text{Al}_2 \text{O}_3$  se halla por diferencia.

• ----- •



## ANALISIS ESPECTROGRAFICO

\*\*\*\*\*

La nueva técnica experimental basada en el método espectrográfico se ha aplicado con buenos resultados al análisis cuantitativo de los componentes del cemento y especialmente para aquellos que tienen bajas concentraciones por su gran precisión. La ventaja principal de este procedimiento se encuentra en la rapidez de operación pues, por ejemplo, con el método de Helz se puede determinar por duplicado ocho elementos de 16 muestras en un día de labor del operador.

El método consiste en el análisis mediante un espectroscópico de los rayos de luz que salen de un foco luminoso adecuado que contiene los elementos a determinarse. Este manantial produce una serie de líneas características de los elementos de él, cuyo conjunto se denomina espectro; la intensidad de las líneas depende de la concentración del elemento a determinarse. Como ésta es conocida en un determinado foco, se establece la relación entre concentración e intensidades, con la cual es posible determinar en general cuantitativamente los elementos de un foco desconocido.

El procedimiento es el siguiente: 1° Se procede a mezclar la muestra con una sal que contenga determinado elemento en concentración definida su espectro hará el oficio de patrón de comparación de las intensidades relativas; algunas veces es conveniente prender las muestras (mezclas) del algún cuerpo que desempeña el papel de compensador con grafito a fin de exponerlas a un arco de

chispa. Se toma una placa fotográfica de la luz de esta fuente, se obtiene en esta forma un conjunto de líneas oscuras y claras, mediante un microfotómetro se mide la oscuridad de las líneas en la placa ya revelada. Se compara la intensidad de estas con las del elemento patrón, usándose para calcular una curva obtenida de una placa patrón en la que se deduce un factor definido como el logaritmo de la intensidad relativa de las dos líneas. De esta relación empírica se determina la concentración del elemento que tratábamos de determinar.

Helz ha publicado un método espectrográfico para la determinación en el cemento Portland de su contenido de potasio, sodio y litio, así como también en mezclas crudas de cemento. El procedimiento es el siguiente:

Haciendo uso de un arco eléctrico de carbón con corriente continua, se determina el contenido de potasio o sodio (para el litio el método varía ligeramente), mezclando el cemento con un mineral base que contenga Ag, y luego de pulverizarla se coloca en una oquedad de una pequeña barra de grafito. Al exponerlos al arco, se estudia la región roja del espectro para el litio se usa junto con la mezcla de cemento: grafito y carbonato de estroncio, estudiándose la coloración violeta del espectro.

Para el cálculo en la curva obtenida de la placa patrón se usan las líneas Na - 8194 Å; K - 7698,98 Å i Li - 3232,61 Å. El procedimiento es moroso, requiere para los primeros unas cuatro horas y para el litio 6 horas por lo menos.

El procedimiento se ha perfeccionado para reducir al mínimo los errores por interferencia de elementos extraños, por la desigualdad de evaporación del álcali y otros elementos, desigual distribución en el arco de la intensidad del espectro etc. Es difícil interpretar numéricamente la exactitud del método espectrográfico, pero se ha comprobado a través de 41 análisis de muestras de cemento Portland, por el método químico y por el que nos ocupa que los resultados espectrográficos diferían de los resultados químicos en un valor despreciable de 0.06% de la muestra.

Continuando las investigaciones, encaminadas a perfeccionar aún más el método espectrográfico, Helz y Scribner, encontraron un método para la determinación de ocho elementos en el cemento; simultáneamente. A saber: Na, K, Li, Mn, Ti, Mg, Fe, y Al. Establecieron que la forma mejor de preparar la muestra para la determinación era mezclándola con grafito y óxido de cobalto en determinadas proporciones, comprimiéndola en una pastilla lisa, de unos 12 milímetros de diámetro por tres de espesor que pesen alrededor de un gramo; se preparan en un molde especial. El oficio del grafito es el de producir una lenta calcinación y el de cobalto el de patrón interno para la comparación de las intensidades relativas del espectro. Señalan que es mejor hacer uso de corriente alterna o de diversas características en lugar de la continua recomendada en el método general. Como electrodo inferior se usa la pastilla y como superior una barra de grafito de cabeza redondeada.

Se ha observado que la determinación del potasio, produce un

espectro que interfiere con el de sodio, pero se salva esta dificultad cuando la concentración de  $K_2O$  está entre uno o dos por ciento. Luego siempre es necesario añadir a todas las muestras 0.7 % de  $K_2O$ , para luego deducir esta cantidad de los cálculos finales.

El porcentaje de error en los análisis espectrográfico es independiente de la concentración, en cambio en el análisis es constante el error absoluto. Es por eso que los métodos químicos se recomiendan para altas concentraciones, dando mejores resultados. El método espectrográfico como ya dijimos dan resultados más precisos.

## ANÁLISIS POLAROGRAFICO

El método polarográfico para determinación de los elementos componentes del cemento, es empleado unicamente con fines de investigación. Este análisis constituye solo un método dentro del análisis químico, y está basado, en la interpretación de las curvas que se obtienen, llevando los valores de voltaje e intensidad a un sistema de coordenadas, cuando se electrolizan soluciones de sustancias reductoras u oxidantes, en una pila; que tiene una particularidad: uno de los electrodos está constituido por mercurio que gotea a través de un tubo capilar finísimo. De las curvas mencionadas es fácil determinar: la naturaleza y concentración de las sustancias reductoras u oxidantes presentes en la solución.

Ford aplicó el análisis polarográfico a la determinación del alúmina en el cemento, de la siguiente manera: partiendo del modo general, es decir restando de la cantidad de óxido férrico, determinada volumétricamente, del total de óxidos que se obtuvieron al tratar la muestra de cemento con un reductor enérgico, tal es el hidróxido amónico. Pero este procedimiento presenta errores debido a la presencia de otros compuestos, tales como el  $P_2O_5$ ,  $Ti O_2$ .

Antes de electrolizar la solución hay que tomar precauciones a fin de mantenerla en una acidez de un pH de  $3.50 \pm 0.05$ , para evitar que la sílice se gelatinice. Ahora bien, con un pH mayor que el señalado existe el peligro de que la alúmina se separe en

forma de hidróxido. Se debe tener en cuenta, para suprimirlos, la existencia de manganeso y fósforo, pues influye en la exactitud de los resultados.

Mediante la ecuación:

$$\% \text{Al}_2 \text{O}_3 = \frac{h_1}{2 h_2 - h_1} \cdot \frac{100 C_1}{C_2}$$

se obtienen cuantitativamente el contenido de alúmina, relacionando los valores de los polarogramas con los de las curvas obtenidas de las mismas muestras pero en las que se conoce el contenido de alúmina, en la cual:

$h_1$  = altura en mm. de la curva de la muestra.

$h_2$  = altura en mm. de la curva de la muestra + Al patrón

$C_1$  = Concentración en g por ml de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en el patrón.

$C_2$  = Concentración en g por ml de cemento en la muestra.

• ----- •

CONDICIONES QUIMICAS DE CEMENTO PORTLAND.-

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Oxido de magnesio (mgO), tan- to por ciento máximo .....	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0
Anhídrico sulfúrico (SO <sub>3</sub> ), tanto por ciento máximo ....	2.0 <sup>c</sup>	2.0	2.5 <sup>c</sup>	2.0	2.0
Pérdida al fuego, tanto por ciento máximo .....	3.0	3.0	3.0	2.3	3.0
Resíduo insoluble, tanto por ciento máximo .....	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Sílice (SiO <sub>2</sub> ), tanto por cien to mínimo .....	...	21.0	...	...	24.0
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), tanto por cien to máximo .....	...	6.0	...	...	4.0
Oxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), tanto por ciento máximo .....	...	6.0	...	6.5	4.0
Relación de la Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> al Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ...	0.7 a 2.0	...	...	...	0.7 a 2.0
Silicato tricálcico (3CaO. SiO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup> tanto por ciento máxi mo .....	...	50	...	35	...
Silicato bicálcico (2CaO.SiO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup> , tanto por ciento mínimo ....	...	.....	...	40	...
Aluminato tricálcico (3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>b</sup> tanto por ciento máximo .....	...	8	15	7	5

COMPOSICIONES TIPICAS DE DIVERSOS CEMENTOS

	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> %	Pérdida al fuego %	Insol. %
Portland Tipo I .....	21.3	6.0	2.7	63.2	2.9	1.8	1.3	0.2
Portland Tipo II .....	22.3	4.7	4.3	63.1	2.5	1.7	0.8	0.1
Portland Tipo III ...	20.4	5.9	3.1	64.3	2.0	2.3	1.2	0.2
Portland Tipo IV .....	24.3	4.3	4.1	62.2	1.8	1.9	0.9	0.2
Portland Tipo V .....	25.0	3.4	2.8	64.1	1.9	1.6	0.9	0.2
Portland blanco .....	25.5	5.9	0.6	65.0	1.1	0.1	n.d.	n.d.
Natural .....	27.8	5.5	4.3	35.6	2.2	0.5	4.1	n.d.
Aluminoso .....	5.3	39.8	14.6	33.5	1.3	0.1	0	4.8
Trass 30/70 .....	22.3	8.3	2.5	46.8	1.9	1.8	3.4	9.5
Puzolánico .....	26.0	6.9	3.6	52.3	4.2	1.8	4.8	9.4
Trass 50/50 .....	25.1	8.9	3.3	35.3	1.2	1.1	5.8	15.9
Gaize .....	26.5	7.0	3.0	43.0	1.0	1.0	2.0	16.5
Eisenportland .....	23.5	8.5	1.7	57.0	3.3	2.0	n.d.	n.d.
Hochofen .....	31.3	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	13.5	47.2	2.2	0.7	n.d.	n.d.
Metallurgique de fer	26.0	8.0	3.0	58.0	2.5	1.0	1.5	n.d.
Metallurgique de laitier	29.0	15.5	1.5	48.0	2.5	2.0	0.5	n.d.
Ferrari .....	22.9	3.5	5.5	63.8	1.3	2.1	n.d.	n.d.



COMPOSICION DE MATERIALES PUZOLANICOS

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Pérdida al fuego
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Tierra de San- torin .....	63.2	13.2	4.9	4.0	2.1	2.6	3.9	0.7	4.9
Trass renano ..	55.2	16.4	4.6	2.6	1.3	5.0	4.3	0.1	10.1
Pumicita .....	72.3	13.3	1.4	0.7	0.4	5.4	1.6	tr.	4.2
Gaize calcinado	83.9	8.3	3.2	2.4	1.0	n.d.	n.d.	0.7	0.4
Arcilla calcina <u>da</u> da .....	58.2	18.4	9.3	3.3	3.9	3.1	0.8	1.1	1.6
Pizarra calcina <u>da</u> nada .....	51.7	22.4	11.2	4.3	1.1	2.5	1.2	2.1	3.2
Escorias de al- tos hornos ...	33.9	13.1	1.7	45.3	2.0	n.d.	n.d.	tr.	n.d.

COMPOSICION DE LA FASE POTENCIAL DE LOS CEMENTOS TIPO

( valores medios )

	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	$CaSO_4$	MgO	CaO libre
	%	%	%	%	%	%	%
Tipo I .....	45	27	11	8	3.1	2.9	0.5
Tipo II .....	44	31	5	13	2.8	2.5	0.4
Tipo III .....	53	19	11	9	4.0	2.0	0.7
Tipo IV .....	28	49	4	12	3.2	1.8	0.2
Tipo V .....	38	43	4	9	2.7	1.9	0.5

CAPITULO IV  
████████

ENSAYES DE CONSTITUCION



El vacío que deja los estudios químicos en la determinación de la constitución de los aglomerantes y su compuesto, llevó a los primeros investigadores de estos materiales, a estudiar bajo el microscopio no solamente las materias extrañas, fácilmente localizadas por cualquier proceso de rutina, sino las características y tipos como se combinan los elementos que entran en la composición.

Fué Henry Le Chatalier, el gran precursor, quien también en este campo inició los primeros ensayos publicando en 1882 el resumen de sus trabajos. Ellos se basaban en la observación de láminas delgadas de clinker. Encontró dos constituyentes principales. Uno de ellos en gran abundancia. Que aparecía formado por cristales sin color de secciones transversales cuadradas o hexagonales y de bordes claros. Su doble refracción era muy débil. Otro componente aparecía con un color oscuro y una escala cromática que variaba del rojo amarillento al marrón verdoso; sin contornos cristalinos claros y de doble refracción más diferenciada que la anterior. También observó secciones cristalinas semejantes a las descritas, pero con distinto color y carentes de transparencia. Localizó igualmente unos pequeños cristales que ofrecía colores de polarización. Finalmente enunció la existencia de otras formas indiferenciadas.

Conjuntamente en el tiempo, aunque distanciado por lo atrasado de las comunicaciones, el investigador A. E. Tornebohm trabajó con un método similar llegando así mismo a conclusiones semejantes. Tornebohm denominó los cinco compuestos con los nombres de "alita", "celita", "belita", "felita" y residuo isotrópico.

Sin embargo ambos científicos llegaron a interpretaciones diferentes al plantear la constitución química de los indicados elementos.

Posteriormente, hasta nuestros días, numerosos investigadores han estudiado basados en la misma técnica petrográfica la constitución de los clinkers y de los cementos hidratados sacando interesantes conclusiones sobre este último fenómeno. También han contado con el auxilio del microscopio electrónico, haciendo uso de la técnica de la difracción.

A continuación hemos de estudiar separadamente cada uno de los puntos planteados.

## EL MICROSCOPIO EN EL ESTUDIO DEL CLINKER

---

Con el microscopio se advierten deficiencias que pasan desapercibidas al análisis químico del clinker. Con su empleo se puede precisar la inadecuada mezcla inicial o la carencia de una trituración conveniente. Así mismo la cocción uniforme se puede relacionar con la igualdad de los cristales y el enfriamiento por el tamaño de los mismos. Con el análisis microscópico se puede

reconocer la calidad del dosaje de los materiales que ingresan al horno, la conveniencia de la temperatura sostenida, el proceso de cocción y el tipo de enfriamiento del clinker.

### El ensayo.-

Son tres los procesos más empleados para la investigación de los clinker por el microscopio.

1.- Utilizando las propiedades ópticas de los cristales; pulverizando el clinker y siguiendo la marcha característica en cristalografía. Cabe recordar que este material puede considerarse como una roca ígnea artificial.

Para determinar diversos índices se usan generalmente las siguientes mezclas:

Para índices entre 2.05 y 2.75	mezclas de azufre y selenio
" " <del>mayores</del> de 1.74	soluciones de azufre y yoduro de metileno en fósforo.

El proceso consiste en unir el elemento pulverizado con las mezclas efectuadas según las curvas de composición standard. Luego se funde el todo formando una delgada película y realizando luego la determinación.

2.- Por secciones delgadas que se obtienen mediante esmerilado; de un espesor promedio igual a 20 micras. Las que se colocan sobre una resina que absorbe las irregularidades liberando así la muestra. Luego de pulimentar se ataca la superficie. Se puede usar un iluminador unido al microscopio.

3.- Secciones delgadas pulimentadas con carburo de silicio, esmeril o alcohol anhidro. El método más usual en la actualidad es el de sumergir el clinker triturado dentro de una pequeña capsula con una resina durante dos o tres horas. La capsula se introduce luego en un horno elevando la temperatura a 80° durante quince horas después de lo cual se eleva aún más la temperatura llegando así a los 100° , conservando la muestra en esa forma por siete horas más. Rota la capsula se procede al esmerilado usando al efecto carburo de silicio y agua sobre una rueda de pulir. Refinando luego con esmeril y alcohol. La pulimentación se realiza sobre un disco rotatorio. Luego se inicia la acción de los diversos reactivos.

#### Los componentes.-

Los componentes del clinker, tal como se conocen ahora, guardan gran relación con los que fueran señalado por los primeros investigadores.

La "alita" de Tornebohm está clasificada como el silicato tricálcico. Se presenta con una estructura por capas fácilmente identificable en las microfotografías. Las secciones de interferencia no guardan ninguna unexialidad y presentan cristales oblicuos al eje óptico, mostrando un cambio de ángulo del interior al exterior del cristal. El problema de la "alita" ha suscitado por largo tiempo apasionantes controversias hasta la tercera década de este siglo.

El segundo constituyente conocido como "belita" o "felita" tiene forma granular, redondeada, con estrías. Es el silicato bi-



cálcico. Según la disposición de las estrías se distinguen cinco tipos en este constituyente. La "belita-1" de una estructura surcada con estrías en dos direcciones. La forma dos que presenta juntas todas las estrías; siendo el tipo menos común. La "belita-3" que aparece en forma de grano irregulares agrietados a todo su largo.

El tercer constituyente ó "celita" tiene el aspecto de agregado de forma irregular o de cristales prismáticos. Los cristales aumentan de tamaño cuando el enfriamiento es lento.

La cal libre aparece en forma de granos redondeados mucho de los cuales están incrustados en cristales de silicato o aluminato tricálcico. Igualmente la magnesia, en forma de óxido se reconoce en los constituyentes intersticiales siendo una de las últimas fases de cristalización.

El material intersticial dentro del cual aparecen los cristales de silicato tricálcico y bicálcico, se compone principalmente de fases líquidas a la temperatura de clinkerización. Se han observado tres tipos: uno rectangular, uno prismático y otro amorfo.

## ESTUDIO MICROSCÓPICO DE LAS PASTAS HIDRATADAS

/ Las mismas técnicas empleadas en el estudio de los clinkers se han usado para el estudio de las pastas hidratadas de cemento. La confección de láminas delgadas del material endurecido presenta lógicamente variados inconvenientes. También se ha aplicado la luz reflejada sobre secciones pulimentadas.

Se ha determinado que la pasta de cemento endurecida tiene tres componentes esenciales: granos sin hidratar, hidróxido cálcico cristalino y un gel amorfo.

Las fotografías tomadas en la investigación con tal técnica muestran la disminución gradual en tamaño y cantidad de las partículas de cemento, a medida que las muestras envejecen. En cementos finamente molidos, con área de superficie alrededor de 2600, muy poco materia no-hidratada queda después de 7 días, para continuar la hidratación. La cantidad que queda es menor del 1% en las muestras examinadas. En cementos con una área de superficie de 1800, queda alrededor de 15% de cemento no-hidratado después de 28 días de almacenaje. De tal modo en cementos no muy finamente molidos, queda material no-hidratado después de 28 días para seguir con el procedimiento de endurecimiento quitando el agua del gel para hacerlo más y más resistente al agua, mientras siga envejeciendo.

Un examen del material no-hidratado que queda después de 28 días, muestra la presencia de silicato tricálcico y bicálcico y

materia intersticial. No hay evidencia microscópica del encausamiento del agua en el interior de partículas de cemento para hidratar selectivamente algún constituyente especial. La hidratación parece proceder de la reducción gradual en el tamaño de las partículas, como función de la superficie expuesta.

El silicato tricálcico indudablemente reacciona con agua más rápidamente que el silicato bicálcico si se exponen superficies iguales. Las fotografías muestran también que parte de la materia intersticial del cemento reacciona con agua más lentamente que cualquier de los dos silicatos.

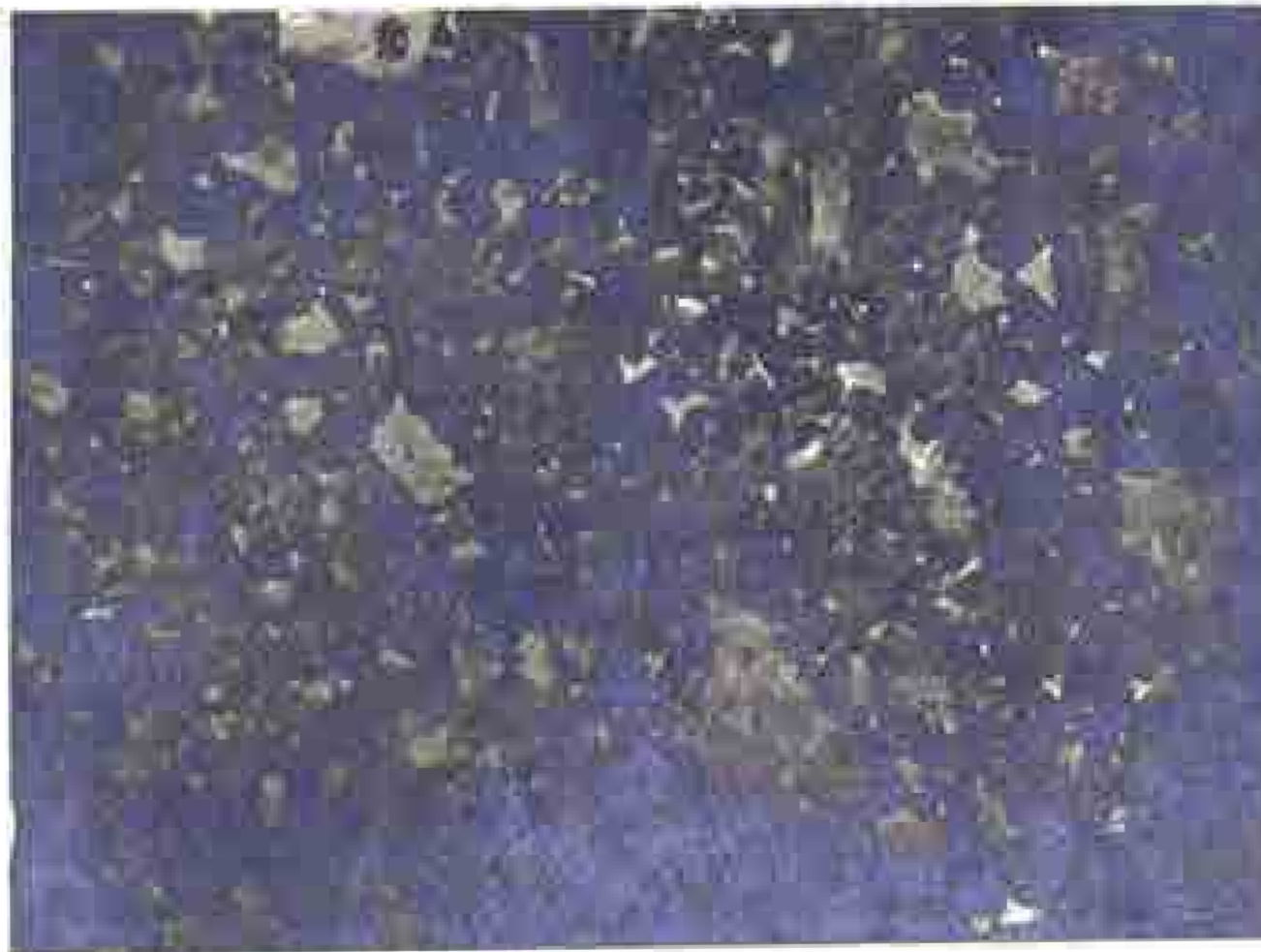
En los cementos examinados en detalle la cantidad de  $\text{Ca(OH)}_2$  liberado a los 28 días se calcula de 10-15%. Esta cantidad varía indudablemente con la composición del cemento, la cantidad de agua mezclada, etc.

Estos estudios demuestran en primer lugar, que los métodos metalográficos pueden ser usados con éxito en la investigación de la estructura de los cementos hidratados.

Las conclusiones son necesariamente limitadas, porque el método ha tenido una aplicación y un desarrollo muy reducido en el campo de los hidratos de cemento. El método metalográfico no es aplicable sólo al examen de muestras nítidas, pues puede ser usado casi igualmente para el examen de morteros y concretos. En este campo, su aplicación será de valor ilimitado en problemas concernientes la naturaleza de la desintegración de concretos en aguas saladas o alcalinas, la desintegración de morteros bajo hielos y deshielos repetidos, el efecto de los álcalis sobre los agregados, y otros problemas relacionados con la durabilidad del concreto.



.—Una pasta de cemento hidratada durante veintiocho días, mostrando cristales de  $C_3S$  sin hidratar, otros de  $C_2S$  parcialmente hidratados y material intersticial sin hidratar.  $\times 900$ . (*Brownmiller.*)



.—Una pasta de cemento hidratada durante veintiocho días, después de haber sido atacada para poner de manifiesto los cristales de  $Ca(OH)_2$ , que aparecen como manchas oscuras.  $\times 220$ . (*Brownmiller.*)

## ESTUDIO DE LAS PASTAS HIDRATADAS CON EL MICROS- COPIO ELECTRONICO

En los últimos años, el microscopio electrónico se ha convertido en un instrumento de gran valor para el examen de las pastas hidratadas de cemento. Con él se pueden conseguir ampliaciones de objetos pequeñísimos, que nunca se hubieran conseguido por otras fuentes. Es así práctico el conseguir ampliaciones directas de 25,000 diámetros; en cuanto a su poder resolutivo es acrecentado en ampliaciones pequeñas siendo mayor en una escala entre 1000 y 2000 diámetros.

El microscopio electrónico sustituye las ondas luminosas por un conjunto de rayos electrónicos que pasan a travez de un campo magnético de gran intensidad. Lo que se realiza necesariamente en el vacío, para impedir la absorción de los electrones por el aire. El enfoque se realiza variando la corriente en la bobina del objetivo. Los aumentos se obtienen variando la corriente en la bobina del proyector. Las muestras ya disueltas en un volátil con material orgánico capaz de producir la película. Al evaporarse el disolvente se realiza la observación.

Sin embargo no todo son ventajas en este método. Es conocido que las sustancias opacas a los electrones -caso del cemento- producen microfotografías de sombras, cosa que se puede apreciar en el grabado adjunto. Por lo que unicamente en el caso de cristales delgados y sin superposiciones se puede realizar una observación óptima. Por otra parte la adaptación de la técnica electrónica al campo de la investigación del cemento no ha concluido pues, subsisten aún numerosos inconvenientes. Es por eso que las

conclusiones que se derivan de la investigación con su técnica, incluyendo las que presentamos a continuación, no pueden ser consideradas como definitivas.

#### Técnica con el microscopio electrónico.-

En la observación en el microscopio electrónico, es considerablemente más difícil conseguir una capa suficientemente dispersa, por medio del aire de la muestra que por una suspensión líquida. Por la cual se utiliza generalmente este último método de trabajo. El medio de dispersión habitual es así el agua, aunque se pueden emplear otros líquidos. Se mezcla una pequeña cantidad del sólido - de 0.5 á 0.75 gr.- con más o menos 10 cc. de agua destilada, recientemente hervida, y se deja descansar por períodos variados de tiempo. La muestra se esparce en una capa ligera sobre una película de colodio soportada por una pantalla de acero inoxidable de 200 mallas, y de un diámetro de 1/8 pulgadas, para su observación en el microscopio electrónico. Un alambre con un lazo de 1/8 de pulgada en su extremidad se introduce en el frasco conteniendo la solución, y la gotita de líquido adherida al alambre es transferida a la película por contacto. Se deja evaporar el agua, colocándolo por algunos minutos en un recipiente cerrado o en un desecador, y luego se coloca la muestra sobre el soporte y se inserta en el microscopio, tomados de muestras en frascos de vidrio, los cuales no fueron agitados, y de lo que parece ser el líquido flotante. Así, es posible, que no hubo partículas en el líquido, y que los cristales observados en el microscopio son el resultado de la cristalización que tuvo lugar durante la evapora-

ción. En algunos casos se agitaron el agua y el sedimento del tubo de prueba, y se tomó una muestra turbia, pero la mayoría de las muestras así observadas contenían un material demasiado denso para permitir la observación. Sin embargo, en aquellos casos donde se pudo observar estas muestras, no se encontró diferencias entre la forma de cristales de las muestras agitadas y las no-agitadas. Es posible que el movimiento Browniano, o termoagitación mantiene en suspensión las partículas más finas resultantes de la hidratación del producto, y que estuvieron presentes en forma de partículas cuando se colocaron sobre la pantalla. La evaporación del agua deja naturalmente cierto residuo sólido, el cual puede unirse a los cristales ya presentes, formar nuevos cristales, o dar un depósito de fondo de material más o menos amorfo.

### ESTUDIOS CON EL MICROSCOPIO ELECTRONICO

#### La constitución.-

Los cristales formados por la hidratación é hidrólisis de las mezclas de cemento Portland en agua, con la subsiguiente evaporación del agua, durante la preparación de la muestra, han sido examinados, con el resultado siguiente:

El yeso forma en todos los casos cristales de tipos monoclinicos.

Aunque el hidróxido de calcio da esferas como producto principal, se observan con frecuencia una estructura fibrosa o en forma de aguja.

El carbonato de calcio forma losas rómbicas, las cuales se

adhieren la una a la otra, como se puede juzgar por los productos de la carbonación del hidróxido de calcio.

El silicato dicálcico en un principio se hidrata para formar losas rómbicas que se adhieren para formar agregados en forma de acordeón. Más tarde se encuentran esferulitas amorfas.

El silicato tricálcico se hidrata para formar los mismos productos que el silicato bicálcico en adición al hidróxido de calcio.

El aluminato tricálcico que puede contener pequeñas cantidades del compuesto mono- y di-cálcico, y cal, da losas rómbicas, láminas delgadas hexagonales, que semejan caolín, y esferulitas. En algunos casos se han observado agujas y estriás pero la contaminación del sulfato puede ser responsable de este tercer tipo de cristales.

La alumino-ferita tetracálcica se descompone después de varias horas para formar los mismos productos que el aluminato tricálcico, más un fondo de ferrita, y posiblemente hidróxido de calcio. La muestra de hidratación de 3 horas da una estructura en cadena inestable que no se encuentra en otra muestra.

La mezcla del yeso con aluminato tricálcico y con aluminoferrita tetracálcica produce pesadas estriás. Algunas fracturas de estas estriás indican que pueden ser vacías con paredes fibrosas.

Tanto el silicato dicálcico y el aluminato tricálcico hidrolizan o cambian después de algunos días de hidratación en una cantidad bastante grande de agua, para producir esferulitas que parecen similares al hidróxido de calcio.



Aunque el carbonato de calcio, el hidrato de silicato dicálcico y un producto de la hidratación por el aluminato tricálcico forman todos lozas rómbicas semejantes, los autores los consideran cristales diferentes.

Con la posible excepción del yeso y de las delgadas láminas hexagonales formadas en la muestra de aluminato tricálcico, los cementos portland muestran todas las formas de cristales que han sido observadas en los compuestos puros y en las mezclas, pero nada más que éstas.

La cristalización que desarrollamos puede ser algo diferente de aquella en la cual hay un mínimo de agua, y en la cual el material es gelatinoso. Sin embargo, cuando se las considera sobre la base del equilibrio de fase, las muestras utilizadas contuvieron siempre un exceso del material original, para mantener la solución en estado de saturación. La cristalización proviene generalmente de una solución saturada, y por lo tanto las fases de equilibrio deberían ser idénticas. A pesar del exceso de agua, o de la hidratación parcial que es resultado del uso de una cantidad mínima de agua para la disolución del material original. Sin embargo, una amplia dispersión de las muestras hará necesaria una dispersión diluida.

De lo expuesto se desprende que todas las sustancias muestran formas geométricas o cristalinas, con excepción del depósito de ferrita y el material se semeja al hidróxido de calcio. El ma-

terial amorfo formado por el silicato tricálcico, silicato dicálcico y aluminato tricálcico después de períodos largos, semeja al hidróxido de calcio, pero podría ser las formas coloidales del silicato y el aluminato. Si estas esferulitas son la forma final del silicato dicálcico y del aluminato tricálcico, la teoría coloidal de fraguado se vuelve más digna de ser creída. Sin embargo, en este caso el hidrato de aluminato tricálcico debería ser considerado con un contenido variable de agua, antes que con 6 moléculas de agua.

Por otra parte si estos resultados pueden ser relacionados con las reacciones del cemento portland que ocurren en las proporciones ordinarias de agua-cemento, bien podría concluirse que el endurecimiento del concreto se debe atribuir a una abundancia de cristales, en las formas de estrías, agujas, y fibras, mezcladas y unidas por la masa amorfa. Además su fuerza puede ser dada por las laminaciones y las grandes fuerzas de superficie de numerosos cristales delgados y en forma de láminas.

.....  
• ----- •

**Figure 17. Tricalcium Aluminate Hydrated 2 Hours ( $\times 21,000$ )**



**Figure 18. Tricalcium Aluminate Hydrated 18 Hours ( $\times 13,500$ )**



**Figure 19. Tricalcium Aluminate Hydrated 18 Hours ( $\times 13,000$ )**



**Figure 20. Tricalcium Aluminate Hydrated 10 Days ( $\times 10,500$ )**



**Figure 21. Tricalcium Aluminate Hydrated 10 Days ( $\times 16,500$ )**



**Figure 22. Tricalcium Aluminate Hydrated 10 Days and Agitated Constantly ( $\times 8000$ )**

Fig. 19.

## L A D I F R A C C I O N

\*\*\*\*\*

Este método de investigación tiene gran importancia pues descubre la estructura cristalina de los cementos, en la cual, como se sabe, se encuentra la respuesta a muchos de los interrogantes planteados en la industria. En ayuda de los métodos microscópicos, la difracción, proporciona los medios para identificar las soluciones cristalinas del clinker, con los espacios entre planos y la intensidad de las líneas de los diagramas. Esta idea puede ser reforzada si se considera que la identificación de un compuesto cristalino por medios microscópicos requiere la medida de propiedades ópticas lo que no siempre es posible en el cemento pues, tiene cristales muy divididos o rodeados de vidrio.

La difracción se basa en que cuando un material finamente pulverizado se somete a la acción de los rayos X y luego se fotografía el espectro resultante, se obtiene una serie de líneas en determinadas posiciones, características para cada compuesto cristalino.

Al analizar un material es necesario reconocer, por su posición e intensidad, las líneas de difracción de un material puro. Por lo que es siempre necesario definir las características de todos los posibles componentes. En el caso del clinker y cemento Portland este estudio se ha desarrollado en forma completa. Tal como se puede apreciar en el anexo a este capítulo.

La medida de la intensidad de las líneas se realiza visualmente. Los espacios interplanares se miden con una escala especial. Los ángulos de difracción se obtienen a partir del radio conocido de las películas y de las distancias medidas desde la posición del rayo no desviado.

#### EL MICROSCOPIO ELECTRONICO Y LA DIFRACCION.-

Este método tiene en ventaja sobre el anterior el permitir la selección de las partículas individuales en el material por estudiar. Secciones finas pueden ser montadas en forma de fotografiar los esquemas de difracción sin interferencias. Por otra parte puede ser también de gran utilidad, por la brevedad de exposición, en el estudio de las reacciones de hidratación.

• ----- •

**ANEXO II.- 1 - TABLAS DE DIFRACCION**  
\*\*\*\*\*

DIAGRAMAS DE DIFRACCION DE RAYOS X DE LOS COMPONENTES  
DEL CLINKER Y DE SUS COMPUESTOS . -

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> <sup>-α</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2.77 s	3.32 ss	3.49 m	2.82 s	2.86 m	2.43 w	2.69 ss
2.40 ss	2.45 w	2.56 s	2.69 ss	2.75 m	2.01 m	2.51 ss
1.700ss	2.28 w	2.38 m	2.52 s	2.57ww	1.483ss	2.20 m
1.450 s	2.12 w	2.09 s	2.42 s	2.45 s	1.266ss	1.837 ss
1.388 s	1.975w	1.740 s	2.37 m	2.33 m	1.243 m	1.690 ss
1.201 m	1.815 s	1.603ss	2.25 s	2.25 m	1.212 s	1.593 m
1.101 m	1.665 w	1.510 w	2.14 s	2.03 s	1.049 m	1.482 s
1.074 s	1.540 m	1.402 m	2.03 s	1.908 w	0.963 w	1.448 s
0.979 s	1.452ww	1.374 s	1.936 s	1.800w	0.939 s	1.344 ww
0.923 m	1.415ww	1.234 s	1.834 m	1.624ww	0.856 s	1.307 m
0.848 w	1.378 s	1.191ww	1.743 w	1.541 m	0.806 w	1.255 m
0.811 m	1.286 w	1.149ww	1.653 m	1.486 w	0.741 m	1.224 w
0.799 m	1.255 w	1.122 ww	1.594 s	1.447 w	0.698 m	1.186 m
0.757 m	1.228 w	1.100 w	1.569 s	1.388 s	0.662 m	1.161 m
0.723 m	1.199 w	1.078 w	1.484 m		0.631 m	1.136 m
0.693 ww	1.183 w	1.042 m	1.415 s		0.580 m	1.101 m
0.672 w	1.154 w	0.995 m	1.393 ss		0.559 m	1.052 m
0.666 w	1.081 w	0.993 ww	1.344 s			1.037 ww
0.641 w	1.044 ww	0.904 w	1.241 m			0.987 w
0.625 w	1.016 ww	0.854 w	1.208 w			0.960 m
0.582 w	0.991 ww	0.843 ww	1.170 ww			0.952 m
0.565 w	0.961 ww	0.828 w	1.153 ww			0.944 w
0.553 w	0.916 ww	0.806 ww	1.132 ww			0.907 w
0.549 ww	0.896 ww	0.796 w	1.050 w			0.876 m
0.535 ww	0.815 ww	0.761 ww	1.019 w			0.853 w
0.525 ww	0.791 ww	0.719 ww	0.992 w			0.844 m
0.522 ww		0.686 ww	0.967 w			0.838 m
0.510 ww		0.662 ww				0.805 w
		0.637 ww				0.760 m
		0.630 ww				
		0.616 ww				
		0.600 ww				
		0.578 ww				
		0.564 ww				

$C_3S$	$C_2S-\infty$	$C_2S-$	$C_2S-$	$C_3A$	$C_5A_3$	$KC_{23}S_{12}$
3.02s	2.81ss	3.80 w	4.31w	4.07m	3.77m	2.75ssb
2.940w	2.70ss	3.37 w	3.80w	3.32w	3.18m	2.63 w
2.770ss	2.218m	3.03wb	3.35w	3.03w	2.98 s	2.29 w
2.730ss	1.945s	2.870w	3.00s	2.83	2.67ss	2.240w
2.600s	1.749w	2.780ss	2.88w	2.77w	2.55 m	2.185 m
2.435ww	1.579m	2.730ss	2.74ss	2.69ss	2.44 s	2.043 m
2.320m	1.559m	2.610s	2.61w	2.57ww	2.34 m	1.959 s
2.178s	1.470m	2.540w	2.52w	2.46ww	2.180 s	1.805 w
1.975m	1.350m	2.440m	2.45w	2.400w	2.055 w	1.789 w
1.932m	1.217w	2.400m	2.33w	2.375w	1.943 s	1.717 w
1.825w	1.164w	2.278m	2.19w	2.270w	1.906 w	1.632 ww
1.762s		2.182s	2.04w	2.200m	1.846 w	1.593 m
1.627s		2.080w	1.970w	2.135ww	1.800ww	1.484ww
1.532mb		2.040w	1.905s	2.085w	1.764 w	1.417ww
1.487s		2.020w	1.800m	2.033w	1.728 m	1.370 wb
1.458 w		1.980m	1.752m	1.981w	1.694 w	
1.390ww		1.895mb	1.690w	1.947w	1.660 s	
1.198w		1.800m	1.630m	1.905s	1.629 m	
1.162wb		1.755w	1.523w	1.821w	1.599 s	
1.132wb		1.700wb	1.490w	1.785ww	1.544 w	
1.090 wb		1.632w	1.472w	1.731m	1.520 m	
1.020wwb		1.610w	1.440w	1.693ww	1.493 w	
		1.575ww	1.405w	1.669ww	1.472 m	
		1.548ww	1.355w	1.640w	1.390 s	
		1.528w	1.255w	1.611w	1.353 ww	
		1.482w	1.235w	1.554ss	1.336 w	
		1.447ww	1.160w	1.512ww	1.305 m	
		1.415w	1.135m	1.486w	1.290 ww	
		1.393ww	1.095w	1.449w	1.274 w	
		1.370w	1.013w	1.426ww	1.260 w	
			0.960w	1.404w	1.234 w	
			0.895w	1.360w	1.207 w	
			0.830w	1.354s	1.187 ww	
				1.315ww	1.171 w	
				1.262ww	1.140 ww	
				1.231w	1.110 m	
				1.204s	1.091 w	
				1.165w	1.084 w	
				1.155ww	1.066 w	
				1.099w	1.057 w	
				1.053ww	1.048 ww	
				1.034ww	1.031 w	
				1.017s	1.017 w	
				0.998ww	0.989 ww	
				0.966ww	0.968 ww	
				0.897m	0.927 w	
				0.850ww	0.916 ww	
				0.811ww	0.900 ww	
				0.777ww	0.890 w	
				0.746ww	0.857 ww	
				0.726ww	0.848 ww	
				0.694ww		
				0.652ww		
				0.620ww		



MA	MF	C <sub>2</sub> F	C <sub>4</sub> AF	IKA	NA	NC <sub>8</sub> A <sub>3</sub>
2.84 s	2.95 m	2.69ss	2.77 s	3.07 ww	2.94 s	3.37 w
2.43ss	2.52ss	2.07 w	2.63 ss	2.72 ss	2.68 s	3.03 w
2.02ss	2.17m	1.940ss	2.54 ww	2.59 w	2.60 ss	2.68 ss
1.644m	1.706m	1.840 s	2.43 ww	2.48 w	2.55 ss	2.60 w
1.551ss	1.606s	1.740 w	2.19 m	2.395 w	2.38 w	2.53 w
1.423ss	1.476ss	1.655 w	2.15 m	2.315 m	2.22 ww	2.41 w
1.362 w	1.322w	1.585 s	2.03 s	2.215 w	2.145 w	2.37 w
1.274 w	1.274w	1.558 m	1.921 ss	2.000 w	1.983ww	2.20 s
1.231 m	1.116w	1.523 m	1.853 m	1.918 m	1.950 m	2.10 w
1.166 m	1.089m	1.475 w	1.808 s	1.567 s	1.869 m	2.03 w
1.131 w	1.044w	1.330 m	1.728 m	1.488 ww	1.805 w	1.915 s
1.079 m	0.965w	1.170 m	1.572 s	1.348 m	1.762 m	1.888 s
1.050 s	0.876w	1.140 w	1.532 s	1.214 s	1.599 s	1.840 ww
1.008 w	0.853w	1.087 w	1.492 m	1.109 w	1.523 w	1.797 ww
0.949 w	0.806w	1.010 w	1.448 m	1.025 m	1.497 s	1.746 w
0.930 m		0.973 w	1.415 m	0.906 w	1.471 w	1.692 wb
0.901 m		0.945ww	1.385 m	0.860 m	1.458 s	1.628 w
0.844 m		0.894ww	1.357 m	0.820 w	1.415 m	1.558 ss
0.822 s		0.871ww	1.339 m	0.754 w	1.362 s	1.492 w
0.780 m			1.317 s		1.302 w	1.347 m
0.712 w			1.207 s		1.283 w	1.235 w
0.647 w			1.154 m		1.176ww	1.210 m
0.636 w			1.130 m		1.119 m	1.103 w
0.615 w			1.098 m		1.065ww	1.101 w
			1.074 m		1.048 m	1.055 w
			1.039 ww		1.028ww	1.019 mb
			1.002 s		1.010 w	0.899 w
			0.981 ww		0.980ww	
			0.966 w		0.975ww	
					0.955 w	
					0.918ww	
					0.910ww	
					0.880ww	
					0.805ww	
					0.782ww	
					0.762ww	

DIAGRAMAS DE DIFRACCION DE RAYOS X DE LOS PRODUCTOS DE  
HIDRATACION DEL CEMENTO . -

$\text{Ca}(\text{OH})_2$	CSH	Afwillita $\text{C}_2\text{S}_2\text{H}_3$	$\text{C}_6\text{S}_4\text{H}_3$	Hillebrandita $\text{C}_2\text{SH}$
3.11 m	6.13 ww	6.5 s	4.30 m	12.6 s
2.62 ss	4.52 w	5.06 m	3.68 w	4.77 m
1.930 s	4.24 w	4.68 w	3.45 w	4.05 ww
1.795 ss	3.80 ww	4.18 w	3.39 ww	3.52 ww
1.685 m	3.58 w	3.76 ww	3.22 m	3.34 m
1.555 w	3.21 m	3.17 ss	3.10 ss	3.01 m
1.480 m	3.01 ss	3.05 ww	2.98 w	2.92 ss
1.455 m	2.78 m	2.85 ss	2.94 ww	2.83 ww
1.312 m	2.50 m	2.74 s	2.86 w	2.75 ww
1.175 ww	2.23 s	2.66 w	2.73 w	2.68 ww
1.144 m	2.116ww	2.59 w	2.64 w	2.62 ww
1.128 w	2.013 w	2.44 ww	2.58 w	2.45 ww
1.601 m	1.893 s	2.36 m	2.253 s	2.373 m
1.038 w	1.868ww	2.83 ww	2.066 s	2.247 m
1.013 w	1.808ww	2.275ww	2.034 w	2.056 w
0.954 w	1.772 m	2.159 m	1.987 ww	1.963 m
0.898 w	1.632ww	2.065ww	1.943 m	1.928 w
0.883 ww	1.601 w	2.026 w	1.897 ww	1.864 m
0.861 ww		1.988 w	1.833 w	1.812 m
0.848 ww		1.955 m	1.792 w	1.747 w
0.814 ww		1.924 w	1.756 w	
0.790 ww		1.868 w	1.699 s	
0.760 ww		1.808 m		
0.739 ww		1.782 m		
0.711 ww		1.735ww		
0.684 ww		1.705 w		
0.670 ww		1.679 w		
0.654 ww		1.629 w		
0.618 ww		1.606 m		
0.595 ww		1.596 m		
0.582 ww		1.564 w		

$C_2SH$   
Preparación (B)  
n = 1.60

$C_2SH$   
Preparación (C)  
n = 1.64

$C_{10}S_5H_6$   
Preparación  
(A)

$C_6S_2H$   
Prepara-  
ción(D)

$C_2SH_4$

4.83 w  
4.26 m  
3.55 w  
3.38 w  
3.28 w  
3.05 s  
2.93 ss  
2.42 ww  
2.40 w  
2.24 w  
2.07 w  
1.963 m  
1.875 m  
1.819 m  
1.637 w

4.22 w  
3.82 ww  
3.04 ss  
2.84 m  
2.70 s  
2.47 m  
3.35 w  
1.897 s  
1.850 w  
1.799 m  
1.732 w  
1.656 m  
1.540 w  
1.264 m  
1.170 w  
1.156 w

5.33 ww  
4.18 s  
3.91 w  
3.53 m  
3.27 s  
3.05 ww  
2.89 m  
2.80 m  
2.72 w  
2.66 w  
2.59 w  
2.51 ww  
2.41 s  
2.32 ww  
2.24 w  
2.15 w  
2.05 wb  
1.98 ww  
1.950 w  
1.915 m  
1.833 w  
1.780 s  
1.730 m  
1.706 m  
1.649 s

6.64 w  
4.63 w  
4.24 w  
3.79 w  
3.39 ww  
3.30 ww  
3.23 ww  
3.06 s  
2.96 m  
2.85 s  
2.81 ss  
2.71 s  
2.607 m  
2.535 s  
2.455 w  
2.404 ww  
2.349 ww  
2.275 s  
2.22 m  
2.169 w  
2.140 m  
1.987 m  
1.951 ww  
1.928 ww  
1.901 ww  
1.738 w  
1.708 m  
1.670 w  
1.634 m  
1.421 w  
1.460 w  
1.270 m

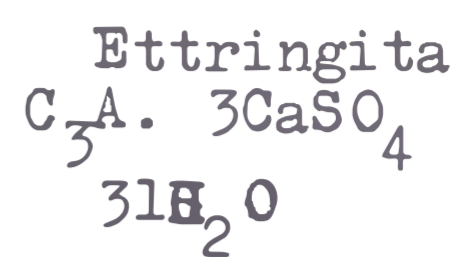
3.02ss  
2.77 w  
2.46 w  
2.29 w  
2.09 m  
1.92 w  
1.87 w  
1.82 w  
1.65 w  
1.58 w  
1.52 w

$C_3SH_2$ 

AH

Gibbsita  
 $AH_3^-$ Bayerita  
 $AH_3^-oc$  $C_3AH_6$   
isométrico

8.8 m	6.0 ss	4.83 ss	4.82 ss	5.13 s
3.32 m	3.14 ss	4.35 s	4.37 s	4.45 s
3.03 m	2.81 ww	3.24 m	3.20 s	3.36 s
2.91 ss	2.34 ss	3.30 m	2.68 ww	3.14 s
2.83 m	1.978 w	3.20 m	2.46 m	2.814 ss
2.47 w	1.850 ss	3.12 w	2.37 w	2.68 ww
2.17 ww	1.765 w	2.84 ww	2.23 ss	2.57 w
2.088 m	1.655 m	2.73 ww	2.08 ww	2.47 m
2.026 ww	1.523 m	2.66 ww	1.99 ww	2.30 ss
1.996 w	1.445 s	2.46 s	1.73 s	2.04 ss
1.879 s	1.382 m	2.43 ww	1.65 ww	1.99 ww
1.769 s	1.307 s	2.39 s	1.61 ww	1.815 w
1.696 m	1.210 w	2.34 ww	1.565 w	1.742
1.667 ww	1.175 w	2.29 w	1.46 m	1.710 w
1.632 w	1.156 w	2.25 m	1.395 w	1.679 s
1.573 m	1.131 w	2.16 m	1.340 m	1.595 m
1.506 w	1.110 ww	2.08 ww	1.285 ww	1.572 m
1.438 w	1.050 ww	2.04 s	1.265 ww	1.484 w
1.366 w	1.018 ww	1.99 s		1.407 s
		1.96 ww		1.372 m
		1.91 m		1.342 m
		1.80 s		1.298 w
		1.745 s		1.283 w
		1.680 s		1.244 w
		1.650 w		1.199 m
		1.630 ww		1.167 m
		1.590 w		1.148 m
		1.570 w		1.120 m
		1.555 ww		1.086 w
		1.530 ww		1.048 w
		1.505 ww		1.020 m
		1.485 ww		
		1.455 s		
		1.445 m		
		1.410 m		
		1.398 m		
		1.377 w		
		1.360 w		
		1.327 w		
		1.313 m		
		1.295 ww		
		1.270 ww		
		1.262 ww		
		1.250 ww		



5.20 m  
4.54 s  
3.40 w  
3.19 s  
2.85 s  
2.72 ww  
2.60 m  
2.50 ww  
2.326 m  
2.069 m  
1.988 w  
1.881 ww  
1.801 ww  
1.766 m  
1.728 w  
1.702 ss  
1.615 ww  
1.590 w  
1.500 w  
1.425 m  
1.391 ww

2.86 s  
2.70 w  
2.47 ss  
2.31 w  
2.14 w  
1.970 ww  
1.865 m  
1.655 ss  
1.622 ww  
1.532 ww  
1.430 m  
1.370 w  
1.080 m

10.6 ss  
5.3 s  
3.55 m  
2.87 s  
2.69 w  
2.54 w  
2.48 m  
2.11 w  
1.955 w  
1.835 w  
1.667 m  
1.591 w  
1.443 m

8.2 ss  
4.1 m  
3.9 m  
2.9 m  
2.73 w  
2.64 ww  
2.55 ww  
2.45 m  
2.37 w  
2.31 ww  
2.24 m  
2.06 w  
2.000 w  
1.951 ww  
1.766 w  
1.670 m  
1.637 w  
1.554 ww  
1.500 ww  
1.475 ww  
1.400 w

9.3 s  
7.23 w  
5.66 m  
5.02 w  
4.68 w  
4.26 ww  
3.92 m  
3.03 m  
2.81 m  
2.57 m  
2.226 m  
2.155 w  
1.967 ww  
1.850 w  
1.673 w  
1.586 ww  
1.547 w  
1.515 ww

C A P I T U L O    V  
\*\*\*\*\*

ENSAYES FISICOS



LA FRAGUA  
—————



## F R A G U A

» ««««««««««

Al reaccionar el cemento con el agua la pasta formada pasa mas o menos lentamente, del estado plástico o fluido inicial a uno aparentemente sólido. Cuando alcanza este último estado se dice que el cemento ha fraguado. El término fragua designa así; el hecho que la pasta adquiriera una dureza relativa. Al efecto se usan los términos "fraguado inicial" y "fraguado final" para definir en forma convencional la aparición y el término del proceso de solidificación.

• ----- •

Es necesario distinguir los términos "fraguado" y "endurecimiento" dada la posibilidad de que sean confundidos por su misma característica de convencionalidad. Como fragua, se define la pérdida de la plasticidad de la pasta. Mientras que con endurecimiento se quiere definir la posibilidad de la pasta o sus compuestos para efectos resistentes. Un cemento de fragua rápida no tiene por que adquirir una gran resistencia iniciales, tienen una fragua similar a la normal en los portland corrientes. Igualmente es necesario distinguir los agentes que activan la fragua de los que causan un endurecimiento rápido. Mas aún no se tiene en cuenta que en determinadas oportunidades ambos coinciden en la composición de un mismo producto comercial.

• ----- •

## TEORIAS SOBRE LA FRAGUA

La investigación sobre la naturaleza del fenómeno del fraguado en los aglomerantes se inició con los trabajos de Lavoisier quien en 1887 decía refiriéndose al yeso:

"si el yeso privado de su agua, por calentamiento, se trata  
"nuevamente con agua, la toma con avidez, produciéndose una  
"cristalización rápida e irregular, en forma que los pequeños  
"cristales así formados se entrelazan íntimamente dando por  
"resultado una masa sumamente dura.

Algo más de cien años después, Henry Le Chatelier, al estudiar los cementos, partió de la base enunciada, superándola en cuanto estimaba que la simple razón que los cristales estuvieran en contacto; no explicaba el fenómeno de endurecimiento de los cementos.

Le Chatelier consideraba que la cristalización tiene su origen en soluciones sobresaturadas que son el resultado de diferencias notables entre la solubilidad de las sales anhidras y las hidratadas. Esta reacción se realizaba plenamente pues suponía que al separarse el hidrato la solución quedaba sin saturarse -con respecto al material anhidro- por lo que continuaría disolviéndose mayor cantidad de este último. En esta forma la velocidad de fraguado podría determinarse por el grado de saturación alcanzado. En esta forma las sales mas solubles serían las primeras en disolverse acelerando el fra-

guado. Se dió así la responsabilidad del fraguado al aluminato tricálcico hidratado correspondiendo el posterior endurecimiento a la aparición del silicato cálcico hidratado. Finalmente se dejaba sentado que la resistencia final de un conglomerado cristalino estaba dado por la cohesión característica del material considerado.

Dicho con otras palabras la teoría de Le Chatelier explicaba la fragua como la solución en agua de una sal total -anhidra- o parcialmente hidratada que reacciona formando un hidrato mas elevado que se precipita -por su menor solubilidad- desarrollándose una solución sobreaturada. Durante la precipitación se forman cristales muy pequeños, generalmente alargados que se entrelazan según sus cualidades con mas o menos cohesión.

El científico alemán Michaelis desarrolló durante medio centuria hasta dar término a fines de la primera década de este siglo una teoría de la fragua de los cementos, sustentada en numerosos ensayos y estudios. En ella se planteaba que el endurecimiento del cemento combinado con el agua se debía a la formación de elementos coloidales.

Michaelis suponía que el agua y el cemento reaccionaban en dos formas: disolviéndose inicialmente la cal, los sulfatos, etc. lo que originaba la precipitación de los elementos cristalinos, como lo son el aluminato cálcico y el hidróxido cálcico. Este producto cristalino toma cierta dureza pero puede ser ablandada por el agua del medio ambiente. Y la segunda reacción sería: la solución saturada que rodea

los gránulos de cemento se coagula, formándose  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  un gel de sílice gelatinosa que absorbe el agua superficial de la pasta endureciéndose paulatinamente. Esto es posible pues el agua de cal con una concentración determinada actúa sobre los silicatos de cal formando el silicato cálcico hidratado de difícil solubilidad que constituye el gel que se introduce en los poros del cemento. Este gel blando inicialmente se endurece gracias a la succión del agua por los gránulos del cemento.

• ----- •

## NUEVAS TEORIAS

Las teorías de la cristalización y de la coagulación debida a Le Chatelier y Michaelis presidieron los debates muchos años, hasta el presente. Pues los investigadores que posteriormente a ellos se ocuparon de la fragua del cemento tomaron sus ideas como base.

Sin embargo aparentemente la diferencia entre ambas está en la falta de acuerdo sobre el significado de algunos términos. Ello lo demuestra tal vez claramente la aguda intensión de Le Chatelier al decir: "La gente elude definir lo que se llama coloide, pero parecen tomar la palabra en el sentido de un cuerpo capaz de endurecerse. Y entonces la explicación cae en esto: los cementos se endurecen porque tienen la propiedad de endurecerse." Sin embargo no por eso dejaba de reconocer la existencia, en un principio de la hidratación, de elementos coloidales.

Un investigador fuertemente influenciado por los trabajos de Michaelis, el alemán Kuhl, admite la simultaneidad en la aparición de elementos cristalinos y coloidales. Esta última orientación se ha hecho común y adquiere categoría por el concenso casi unánime de los estudios de Baykoff presentados en la Academia Francesa de Ciencias en 1926, en la que consideraba el fenómeno de la fragua en los términos.

"En una etapa los elementos solubles saturan el líquido seguida por otra en la cual los productos que reaccionan químicamente pasan a la etapa coloidal iniciándose así el fraguado y finalmente un periodo en el cual los geles se transforman en un compuesto cristalino".

Sin embargo, modernas ideas a la luz de investigaciones recientes tratan de explicar el proceso de la fragua del cemento. Entre ellas cabe señalar la llamada de la hidratación selectiva, que parte de las experiencias de Bogue y Lerch. Se establece en ellas que la causa del inicio del fraguado de las pastas reside en la formación del aluminato y del silicato tri-cálcico. El primero produciría el conocido fraguado relámpago que siempre está acompañado de desprendimiento de calor y solo sería posible cuando el aluminato estaba en alta proporción o no existía ningún retardador. En caso contrario actuaría el silicato tricálcico que necesita de horas para hidratarse, en la forma normal y sin elevación de temperatura.

Así mismo se ha demostrado que además de la composición química existen muchos otros factores que influyen el comportamiento de los cementos, en su fragua y en el endurecimiento. Ellos son el tratamiento del clinker y las composiciones de fase. Se sabe que los compuestos del fierro y alúmina -según la velocidad de enfriamiento- pueden tomar formas cristalinas o vítreas que presentan características de hidratación marcadamente diferentes.

Finalmente en el año de 1945 el investigador sueco Heydin ha desarrollado su teoría de la coagulación mutua, según la cual el cemento reacciona con el agua formando una solución de compuestos anhidros para luego precipitarse los productos de hidratación menos solubles. Sobre estos fenómenos influía notablemente las concentra-

ciones de los otros iones de la solución. Coincidió pues con los primeros investigadores. En el desarrollo de su teoría se preocupó mayormente de explicar la no coagulación de los silicatos por la solución del aluminato, incidiendo en el hecho de la reducción de la actividad de los iones del aluminato en soluciones con sulfatos.

• ----- •



## FALSO FRAGUADO

Se da el nombre de fraguado falso al fenómeno por el cual la pasta de cemento adquiere en forma rápida una cierta dureza, sin desprendimiento de calor, diferenciándose así del fraguado rápido originado por el aluminato tricálcico del que hablamos anteriormente. Caracterízase además que la pasta así fraguada al volverse a mezclar nuevamente sin añadir mas agua, vuelve a adquirir su primitiva plasticidad endureciendo luego sin perder sus posibilidades resistentes.

La causa de este fenómeno está en la fabricación misma del cemento, cuando en los molinos muy calientes se deshidrata parcialmente el yeso produciéndose así el semidrato o yeso cocido. El que por su velocidad de solución más rápida que la del aluminato tricálcico fragua produciendo una aparente rigidez en la pasta.

• ----- •

## VELOCIDAD DE FRAGUADO

De producirse el cemento portland sin la adición de otras sustancias que las necesarias para su fabricación según propósitos de hidraulicidad y resistencia, el producto resultante sería de fragua tan rápida que imposibilitaría el realizar construcciones con aglomerante. Esta cuestión abligó a los fabricantes, desde el uso extensivo de los hornos rotatorios, a buscar un procedimiento que eliminará tal defecto, ampliando el tiempo de fragua.

Uno de los primeros productos empleados, por razones de economía y facilidad de empleo, fué el yeso cocido adicionándolo en un porcentaje de 3% de la cantidad de clinker. Siendo molidos conjuntamente. Se conoce, sin embargo, que cada tipo de cemento requiere la adición de un porcentaje definido, de acuerdo con su composición y grado de finura. De no cumplirse este requisito es imposible obtener todos los resultados óptimos de un cemento pero si se sobrepasa el porcentaje señalado inicialmente se obtienen resultados desfavorables.

En algunos trabajos de ingeniería, bajo la acción de elementos adversos, para defender el concreto o mortero hidráulico del ataque de los mismos, es aconsejable el buscar una fragua rápida. Tal aceleración se obtiene generalmente mediante la adición de

productos especiales en el momento de la mezcla. Con este propósito es empleado el Cloruro de Calcio  $\text{Ca Cl}_2$  y eventualmente el cloruro sódico  $\text{NaCl}$ .

Se especifica generalmente que el cemento debe fraguar entre la hora y las diez horas.

• ----- •

VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DURANTE EL FRAGUADO DE DOS CEMENTOS ARTIFICIALES DE LAS MISMAS CARACTERÍSTICAS DONDE UNO PRESENTA EL FENÓMENO DE UN FALSO FRAGUADO

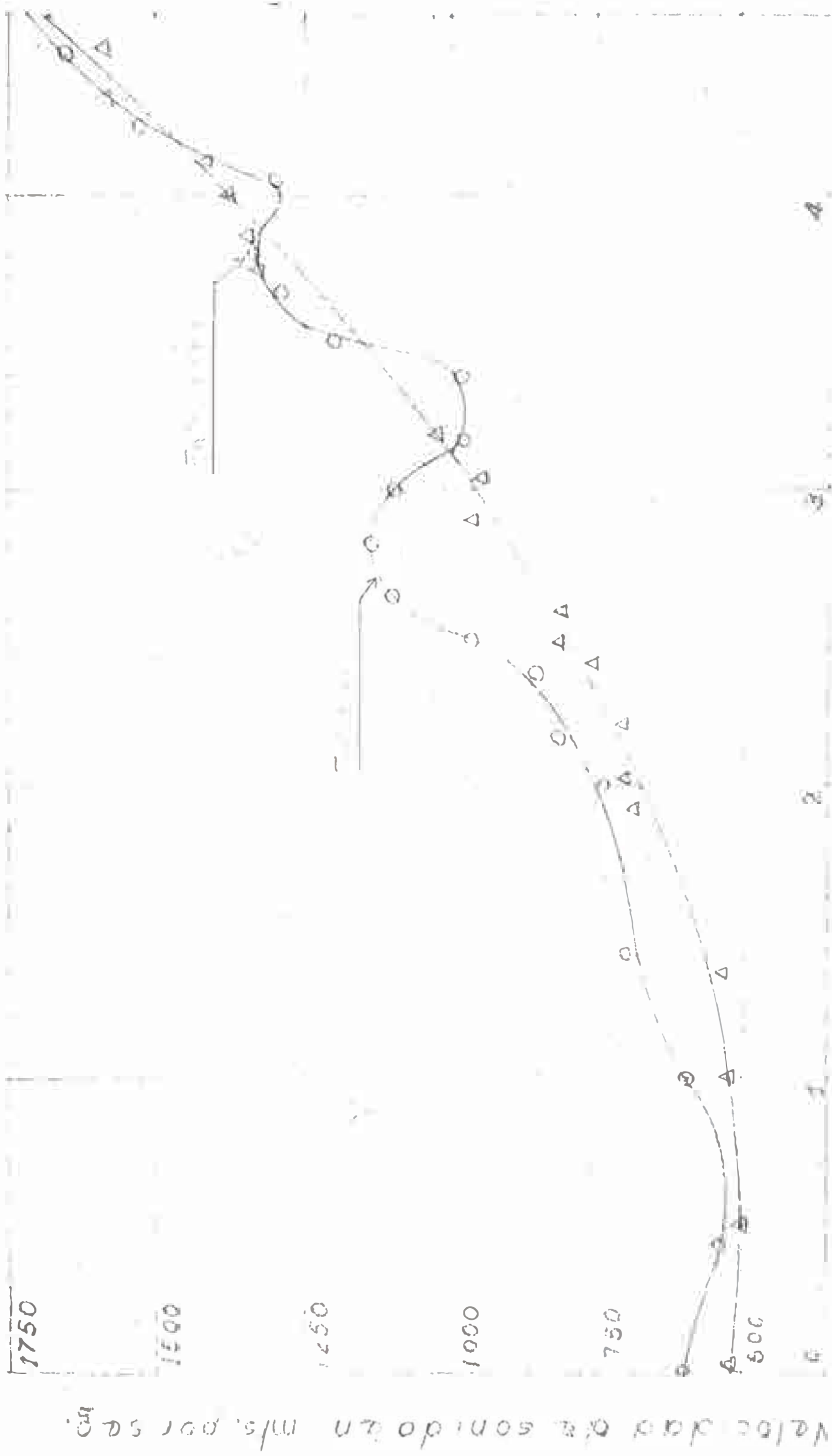


Fig. 7

## DETERMINACIONES NORMALIZADAS



### ENSAYES NORMALIZADOS

Para determinar la iniciación y término de la fragua de las pastas de cemento las normas de todos los países recomiendan el empleo de los aparatos de Vicat y Gillmore. Siendo el primero mas usado en Norte América mientras en segundo lo es en Europa.

Estos aparatos son bastantes simples y de fácil uso. Ambos determinan las características de la fragua de la pasta según sea su oposición a la penetración de una aguja sometida a cierta presión. Ello es pues convencional.

La aguja de Vicat consiste en una barra cilíndrica que termina en una aguja removible, que se desliza en una corredera vertical. Estando provista de un curso que se mueve sobre una escala graduada, para indicar la penetración en la pasta.

El molde que contiene la pasta tiene la forma de un anillo o tronco de cono hueco y se coloca debajo de la aguja.

Las características son las siguientes:

Peso de la barra cilíndrica	300	0.5	gramos	(0.661	lb	8)
Diámetro	"	"	1.0005	cm.	(0.394	0.002 in)

Diámetro de la aguja	1	0.05	mm.	(0.039	0.002	in)
Diámetro interior del anillo superior	6	0.3	cm.	(2.36	0.12	in)
Diámetro interior del anillo inferior	7	0.3	cm.	(2.75	0.12	in)
Altura del tronco de cono		0.1	cm.	(1.57	0.04	in)

La escala graduada deberá ser comparada con una escala standard presentando una máxima diferencia de 0.1 mm. y una desviación también máxima de 0.25 mm. en cualquier punto de la misma.

La marcha del ensayo es la siguiente: Se mezclan unos 500 grs. de cemento con la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta en consistencia normal. Al efecto se puede colocar el aglomerante en forma de un monton cónico con un crater en el centro sobre una superficie no absorbente donde se amasará. El agua se vierte en 30 segundos en el crater tapándolo convenientemente y en otros 30 segundos se deja que el agua sea absorbida por el cemento. Luego se llena el molde, sin dejar huecos y sin hacer presión. El molde se coloca sobre una placa de vidrio y bajo la aguja.

Se considera que la fragua se inicia cuando la aguja llega a 5 mm., por encima del fondo. La fragua termina cuando la aguja no penetra en la pasta. Al realizar las observaciones se dejará la aguja suave y libre 30 segundos sobre la pasta.

El aparato de Gillmore consta de un par de agujas. Una de las cuales determina el fraguado inicial y la otra el final. Sus características son las siguientes:

Aguja inicial:

Peso: 1/4 Lb. 8 grains (113.4 0.5 gr.)  
Diámetro : 1/12 0.002 in (2.12 0.05 mm.)

Aguja final:

Peso: 1 lb. 8 (453 0.5 gr.)  
Diámetro: 1/24 0.002 in (1.06 0.05 mm)

La pasta se fabrica en forma similar que para la experiencia de Vicat, terminando el amasado en forma de una galleta de 1/2" de espesor. La fragua iníciase o termina cuando las agujas respectivas no penetran en la pasta.

Es necesario tomar determinadas precauciones en la marcha de los ensayos descritos. Es fundamental, entre otras cosas, el establecer la forma de curado. Pues los moldes pueden ser conservados en el aire o guardarse en una cámara de humedad. Igualmente precisase establecer un control exacto de los tiempos. En ningún caso debe dejarse la aguja sobre la perforación anterior, para lo cual se moverá convenientemente la plaquita de vidrio.

## METODO MECANICO

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Con el objeto de superar los imponderables propios de la labor del operador de la tradicional aguja de Vicat, se utiliza actualmente un aparato, de funcionamiento totalmente mecánico, basado en el mismo principio.

A intervalos regulares cuatro agujas de 1 mm. de sección son bajadas suavemente en forma automática, bajo una carga de 300 gramos, sobre muestras de mortero contenidas en cuatro receptáculos, Volviendo luego a su posición primitiva. El camino de la aguja dentro del receptáculo es marcado en una hoja de papel que rodea un tambor que gira después de cada penetración, marcándose así cada una de ellas en forma sucesiva en un diagrama profundidad-tiempo.

Así mismo, como los módulos reposan sobre una placa de vidrio, ésta sufre también regularmente, una rotación al mismo tiempo que un movimiento de traslación lateral de manera que los puntos de penetración de la aguja en el mortero forman una espiral. Merced a tal disposición el mortero siempre presentará una zona virgen a la penetración de la aguja.

En el aparato se prevee que la aguja inicie su recorrido a unos 10 mm. del borde para evitar los errores provenientes del endurecimiento prematuro de la periferia. El intervalo de penetración de la aguja es graduado a voluntad. Generalmente el máximo de penetraciones es de 145.



Por otra parte cuéntase con un dispositivo para medir la consistencia conveniente del mortero, colocado a un lado del aparato, que consiste en un punson o barra cilíndrica de 10 mm. de diámetro y de un peso de 300 gramos. El que desciende gradual y lentamente sobre un molde que ha de ser llenado con el mortero, marcando la penetración sobre un escala graduada gracias a un curso montado sobre la barra.

El aparato descrito está provisto de un pequeño motor eléctrico que funciona a velocidad constante. Trabajando con corriente continua o corriente alternativa monofásica.

Las ventajas del aparato descrito son numerosas a ojos vistas. Podemos ennumerarlas en el siguiente orden:

- 1.- El aparato mecánico permite el realizar simultáneamente cuatro pruebas en forma automática.
- 2.- Los ensayos se efectúan en forma precisa sin la influencia de la acción del operador.
- 3.- Los resultados se representan en forma clara y exacta.
- 4.- El aparato funciona automáticamente, lo que se traduce en economía de mano de obra.

5.- El ensaye puede comenzar inmediatamente de colocar el mortero en el primer receptáculo.

6.- Los receptáculos se adaptan a cualquier especificación.

• ----- •

## METODOS DE INVESTIGACION

\*\*\*\*\*

### LA CONDUCTIBILIDAD ELECTRIC A

\*\*\*\*\*

Entre los métodos de investigación del fraguado de las pastas de cemento ocupa relieve lugar el debido al investigador japonés Shimizu quién utilizó el cambio de conductibilidad eléctrica para determinar el desarrollo del fraguado.

En la exposición de sus estudios, realizada en el año de 1928, Shimizu describió el aparato empleado en los mismos. Estaba constituido por un tubo de cristal de 2 cm. de diámetro por 25 cm. de longitud; un termostato de agua que mantenía constante la temperatura y un puente de Kohlraush para medir intensidades. El procedimiento era sencillo. La pasta de cemento se introducía en el fondo del tubo y luego se insertaba en su masa otro tubo delgado que encerraba alambres de plomo unidos a los electrodos de platino.

El proceso del fraguado en distintos tipos de cementos marcaba un aumento inicial de conductibilidad en periodo de 30 minutos, seguido luego por un lento retroceso de conductibilidad durante tres o cuatro horas. Se identificó así la iniciación y término de este periodo con el de la fragua. Al término del cual

se producía bruscamente un retroceso de la conductibilidad, que luego progresaba paulatinamente, durante días.

Este método de investigación fué el primero en emplearse para plantear la teoría de la hidratación selectiva que reseñáramos en párrafos anteriores.

#### EL CALOR DE FRAGUA.-

Los primeros en estudiar el fraguado de las pastas de cemento investigando los cambios de temperatura que tienen lugar en las mismas fueron Bogue y Lerch en el año de 1933. Usaron al efecto recipientes de lata que contenían la pasta los que luego eran introducidos en termos guardados en estufas a temperatura constante de 20 grados. Un potenciómetro registrador, conectado por pares térmicos, anotaba los cambios en un tiempo de 24 horas.

Este procedimiento ha sido superado tendiendo a eliminar los diversos factores que pueden llevar a error. Modernos aparatos permiten precisar los cambios y alteraciones térmicas con exactitud.

Este método fueron también empleados, como el anterior, para estudiar la teoría de la hidratación selectiva y sus autores sacaron interesantes conclusiones sobre los efectos del yeso en el control del fragua.

De los resultados experimentales publicados por diversos investigadores y laboratorios se obtienen las siguientes conclusio-

nes: En la gráfica, representativa de la temperatura de la pasta, en el tiempo se nota dirección inicial de la curva en que la temperatura crece en forma suave y casi imperceptible, correspondiendo al período anterior al inicio de la fragua. Luego la temperatura asciende rápidamente, adquiriendo su máximo a las tres horas aproximadamente; debiéndose esto, al proceso del fraguado. En este punto termina el fenómeno indicado iniciándose el del endurecimiento. La curva respectiva es imprecisa, por factores diversos, ascendiendo lentamente.

#### LA AUSCULTACION.-

Los métodos descritos anteriormente para la investigación de la fragua comprenden únicamente el estudio del fenómeno en las pastas puras. Quedaba pues por conocer el desarrollo de la fragua en concretos diversos y también su correlación con la fragua del cemento. Estas cuestiones pudieron ser resueltas gracias al empleo del método de la auscultación en la determinación de la fragua de pastas puras y concretos.

Al efecto se realizaron observaciones simultáneas de la velocidad del sonido y de la fragua, por la aguja de Vicat. Los resultados se llevaron a expresarse en curvas. Se notó así que, en coordenadas logarítmicas, se marcaban netamente los cambios de direcciones de la velocidad del sonido, correspondiendo exactamente dichos puntos con el inicio y fin de la fragua obtenidas por el método clásico.

Al examinar la curva de velocidad del sonido -también en coordenadas logarítmicas- en concretos, se notaba también dos cambios

bruscos y definidos que indudablemente correspondían al principio y fin de la fragua, aunque en la diferencia hasta de 60 minutos con posterioridad a la aparición del mismo fenómeno en los cementos. Lógicamente la velocidad del sonido era por el contrario, mayor en los concretos.

Este método debe sin duda alguna perfeccionarse antes de alcanzar la generalización que le corresponde. Las múltiples ventajas que ofrece serán en esa forma explotadas mediante el empleo de aparatos compactos, y de fácil manejo.

Inicialmente la investigación obtiene provecho estudiando la fragua en diferentes cementos y ampliará el conocimiento de diversos factores que intervienen en la misma.

.....  
• ----- •

# VELOCIDAD DEL SONIDO EN FUNCION DEL FRAGUADO DEL CEMENTO

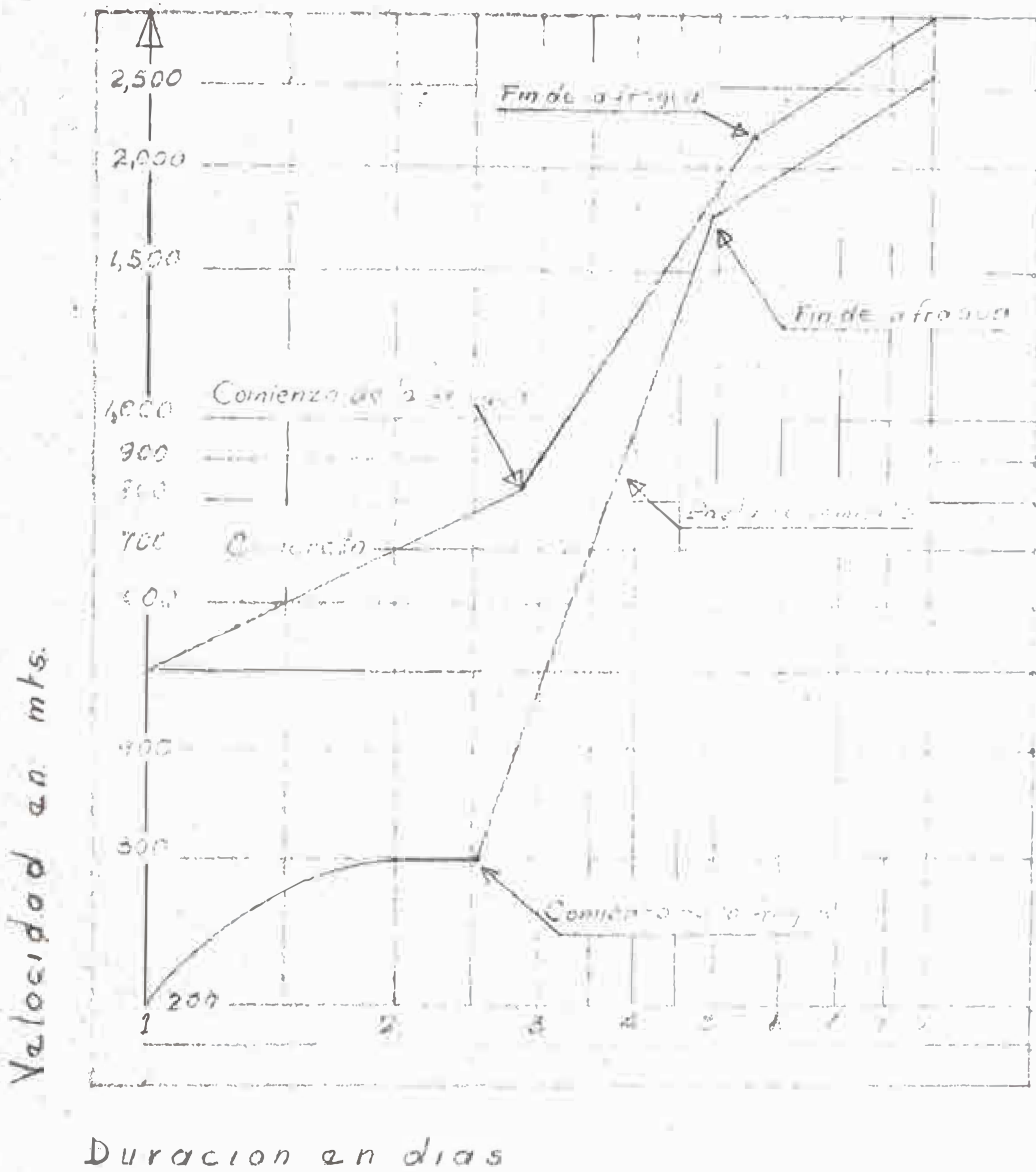


Fig. B

**LA FINURA DEL CEMENTO**



## LA FINURA DEL CEMENTO



Para comprender mejor la importancia de la finura del cemento, es necesario recordar las condiciones necesarias para su mezcla con los agregados. Sabemos que el concreto o el mortero están constituidos por esqueletos de agregados que deben estar totalmente cubiertos por una película de pasta de cemento, la que también ha de llenar los vacíos que puede haber entre los inertes. En ese sentido, como el cemento es el material mas costoso de los que entran en la composición del aglomerado, es necesario buscar la mayor compacidad y la menor superficie específica de los agregados.

En lo referente al cemento es el factor de mayor importancia para las características del concreto, como son la resistencia, la permeabilidad, la retracción, etc. Para estudiar el efecto de la finura del cemento conviene determinar separadamente varios aspectos de la misma.

- .- El intervalo granulométrico y el grosor de los granos extremos.
- .- La superficie específica del cemento y el diámetro del grano medio.
- .- La repartición del cemento en grosor y porcentaje dentro del intervalo granulométrico.
- 4.- La cantidad de agua necesaria, para la hidratación, incluyendo la de los agregados.
- 5.- La naturaleza del cemento y en particular su PH
- 6.- La dispersión homogénea de un cemento.

Para definir las condiciones óptimas de composición de la pasta, hay que seguir el proceso hidratación ayudándonos para este fin, de la sucesión de las diversas fases, que aparecen en el microscopio electrónico. Al contacto del agua, se produce en la superficie de los granos una disolución de elementos anhidros; el pH del agua de contacto se modifica rápidamente, sube para los cementos básicos y baja para los cementos ácidos. Al mismo tiempo, por la difusión en la fase acuosa se puede notar, un gradiente de concentración salina. En el medio saturado cerca del grano, los hidratos formados menos solubles, dan una solución sobre saturada inestable en este medio los cristales se forman y proliferan en vez de crecer, se reúnen en agujas o cintas y forman alrededor de los granos un efecto de fortificación que se va angostando e impide la difusión de nuevos elementos disueltos. No solamente la concentración dicha baja al exterior sino que el gradiente de concentración también baja y, si la cantidad de agua es suficiente, la configuración anterior puede modificarse al mismo tiempo que los nuevos cristalinicos.

Sea como fuere, si el grano es bastante fino, la disolución puede proseguirse íntegramente; si el grano es grueso se impide la difusión de los elementos disueltos, dando lugar a cristalizaciones secundarias. Lo que conduce al paro progresivo de la disolución y de la hidratación del grano progresivo del cemento.

Si el grano de cemento es muy fino o si la cantidad de agua es excesiva, puede producirse una lixiviación o cristalización con modificación de la naturaleza del hidrato y cambio del sistema cristalino, cuando este nuevo hidrato es el elemento estable-

en la face continua en razón de la variación de pH del cual este es objeto.

En fin, en los numerosos intervalos no saturados donde llegan gérmenes microcristalinos provenientes de las partes sobre saturadas en las cercanías de los granos se produce un inflamamiento progresivo de estos micro-cristales que dan cristales no observables en el microscopio electrónico pero si en el microscopio óptico.

En fin el concreto debe conservar, antes y después del fraguado el mínimo de agua compatible con la hidratación de los componentes anhidros del cemento, que es variable con la naturaleza de este cemento: este mínimo es por ejemplo mayor para el cemento aluminioso que para el Portland; de igual manera para el cemento expansivo y el cemento con retractación compensada; esta particularidad es mas a-  
centuada en el caso del empleo de un cemento sobresulfatado.

La cantidad necesaria del agua para la hidratación es además naturaleza idéntica al cemento, una función creciente de la finura del cemento, el porcentaje de materia activa, utilizada efectivamente, creciendo con esta finura.

La retención del agua esta' en función de la fineza de los cementos. Si llamamos S a la superficie específica y D al diámetro medio del espesor de la película de agua absorbida. La cantidad absorbida por gramo de cemento será:  $q = e S$

y en función del grano medio, en el sistema CGS, será:

$$q = \frac{e}{R}$$

Por otra parte el valor de  $e$  no es independiente de  $R$ . De acuerdo con la teoría de Rebloul el espesor de las capas de absorción es función de la profundidad de ataque.

Del desarrollo de los conceptos precedentes se puede establecer que:

1.- El agua retenida por absorción es directamente proporcional a la superficie específica del cemento.

2.- El agua retenida por los capilares y no absorbida es mantenida en la masa por una presión proporcional a la superficie específica. Finalmente se puede concluir afirmando que la mayor finura del cemento protege al concreto de los efectos del ambiente exterior, de acuerdo con la aplicación de la Ley de Lord Kelvin, al proteger la evaporación del agua capilar.

Sin embargo, pese a la bondad de la finura en los cementos el llegar a superficies específicas causa trastornos en algunos tipos de obras, por excesivo calor de hidratación, retracción o fraguado por humedad ambiente. Por esas razones ya no se lleva hoy a finuras excesivas. Incluyendo a los fabricantes europeos, iniciadores de tal tendencia.

## DETERMINACION DE LA FINURA POR PERMEABILIDAD

\* \* \* \* \*

Para la determinación de la superficie específica del cemento, se practica la medida de la permeabilidad de acuerdo con la relación que entre ésta y porosidad establecieron Kozeny y Carman. Se parte del hecho de que "a través" de un polvo de porosidad conocida, el gasto del fluido que lo atraviesa, está en función directa del frotamiento es decir, de la viscosidad del fluido, y de la superficie de los canales de paso.

Basándose en estos principios se ha proyectado un aparato sumamente sencillo denominado permeabilímetro que permite la determinación de la finura del cemento en la forma más rápida, precisa y económica de cuantas se conoce. Su inventor es Mr. Raymond L. Blaine, quién pensó inicialmente fabricar un aparato de uso comparativo con valores obtenidos de superficie específica Wagner. Sin embargo, su gran utilidad ha hecho que se fabriquen en escala comercial y en distintos tipos.

Como se ha dicho mas adelante, teóricamente parte de la ecuación de Kozeny.

### FUNDAMENTOS TEORICOS DEL METODO DEL PERMEABILIMETRO.-

Sabemos que el radio medio hidráulico se obtiene del cociente de dividir el área de la sección entre el perímetro mojado por el fluido llamando a dicho radio medio con la letra  $m$  se tendrá:

$$m = \frac{\text{Area de la sección}}{\text{Perímetro mojado por el fluido}}$$

para el caso de un calibre uniforme se tendrá:

$$m = \frac{\text{Volumen del fluido}}{\text{Superficie bañada por el fluido}}$$

En el desarrollo de la ecuación Kozeny, Carman, proponen considerar como un conjunto de canales paralelos a la capa de materia pulverulenta, y que el volumen, se asimile a la porosidad de la capa.

Llamando E a la porosidad de un  $\text{cm}^3$  de la capa, su superficie será:

$$S_p = A_s (1 - E)$$

donde es el área superficial en  $\text{cm}^3$ ; o bien:

$$S_p = e S_e (1 - E) \quad (1)$$

en el cual:

e = representa el peso específico del sólido pulverulento

$S_e$  = representa la superficie específica en  $\text{cm}^2/\text{gr}$ .

E = representa la porosidad.

En estas condiciones se tendrá: (2)

$$m = \frac{E}{e S_e (1 - E)}$$

Poiseuille, dá la siguiente fórmula para calcular la velocidad de un fluido a través de un canal:

$$v_d = \frac{m^2 P_g}{K_o N L_d} \quad (3)$$

en la cual:

$v_d$  = Velocidad de derrame del fluido

$m$  = Radio hidráulico medio

$P$  = Presión

$K_o$  = Factor dependiente de la forma del canal

$L_d$  = Camino realmente recorrido por el fluido

$N$  = Viscosidad del fluido.

La viscosidad real no se ha medido en la práctica, dada su imposibilidad, se considera una velocidad normal, llamada  $V_a$

$$v_a = v_d E \frac{L}{L_d} \quad (4)$$

Sustituyendo este valor en la igualdad (3)

se tiene:

$$v_a = \frac{m^2 P}{K_o N L} \left( \frac{L}{L_d} \right)^2 \quad (5)$$

reemplazamos  $m$  por su valor:

$$v_a = \frac{E^3}{(1-E)^2} \frac{P}{K_o N L} \left( \frac{L}{L_d} \right)^2 \frac{1}{S_e^2} e^2 \quad (6)$$

llamemos

$$K = K_o \left( \frac{L_d}{L} \right)^2$$

se obtiene:

$$v_a = \frac{E^2}{(1-E)^2} \frac{P}{K N L_i S_e} e^2 \quad (7)$$

## APARATO DE BLAINE

SE 00000 00000000 01

Descripción.- El permeabilímetro consiste en un mecanismo, capaz de extraer una cierta cantidad de aire a través de una capa de cemento, de porosidad conocida, luego el número de las partículas que la atraviesa será una función del tamaño de las mismas y determinará el gasto de aire, consta de:

Célula de Permeabilidad.- Llamado también depósito de polvo, consiste en un cilindro rígido de  $1.27 \pm 10$  cm. de diámetro interior de vidrio resistente o acero inoxidable. El fondo de la célula se adapta a una de las ramas del tubo en U. Un reborde de la célula de  $\frac{1}{2}$  a 1 mm. de soporte a un disco metálico perforado.

Disco.- Es de metal inoxidable de 0.9 mm. de espesor posee 30 perforaciones de 1 mm. de diámetro, distribuidos en forma pareja, en su superficie.

Embolo.- Se adapta al interior de la celda de permeabilidad con una luz de 0.1 mm, su fondo es recto y perpendicular al eje del aparato, posee un escape para el aire. El tope del émbolo, al ajustar con el tope de la célula deja un espacio libre de  $1.5 \pm 0.1$  cm. que hace el papel de cámara de aire.

Papel de Filtro.- Es del mismo diámetro que el interior de la célula y corresponde al tipo I grado B, de acuerdo a las Normas Federales para el papel.

Monómetro.-En un tubo en forma de U, de vidrio resistente, de 9 mm. de diámetro; el extremo de una de sus ramas se adapta her-



méticamente a la célula de permeabilidad; esta rama está provista de una salida tubular que sirve para hacer el vacío en ella, mediante una pesa de goma.

El tubo de vidrio tiene cuatro señales de enrase, todas en la misma columna: la primera inferior sirve para nivelar el líquido las 2as. y 3ras. para medir la permeabilidad y la última, señala hasta donde debe subir el líquido para provocar la depresión. Las distancias entre ellas serán, enumeradas en el mismo orden; 4 cm.; 5.5 y 1.5 cm; desde el vértice inferior hasta la primera señal: unos 15 cm.

Líquido Manométrico.- Se utiliza en este aparato, un líquido no volátil, no higroscópico, y de poca densidad, como el dibutilftalato.

Cronómetro.- Es preciso que el cronómetro sea eficiente, de rápido arranque y parada, con una exactitud, lo mas grande posible.

## TECNICA DEL ENSAYE



Para efectuar una determinación se procede en la siguiente forma.

Se pesan cuidadosamente 2.8 grs. de cemento; se separa del aparato, la celda de permeabilidad, se chequea la colocación del papel de filtro que debe tener el tamaño preciso, pues si es mas pequeño deja pasar las partículas y si es grande se dobla y dá lugar a resultados erróneos.

Sobre este papel de filtro y mediante un embudo se pone el cemento, cuidando que no se pierda una sola partícula, se cubre todo con otro papel de filtro, (con las cualidades enunciadas) y si es posible se coloca con el ajustador.

Se coloca luego el ajustador hasta que se ponga en contacto completamente con la celda de permeabilidad, el cemento queda encerrado así, entre el disco agujereado y el ajustador, ocupando un volumen alrededor de 1.83 cc. Todo el conjunto anterior se acopla al extremo del tubo en **U**, herméticamente, como ya se dijo, a fin de evitar el paso del aire.

Se hace el vacío para que el líquido suba hasta la primera señal superior del envase, se cierra la llave y se mide el tiempo que transcurre (con un cronómetro) en el paso del líquido por la 2ª y 3ª señal, como este movimiento es tan rápido es conveniente repetir el experimento una 2ª vez; volviendo a succionar el aire y cerrando luego la llave, si esta segunda medida de

tiempo coincide con la primera, se dá por terminado el experimento y se obtendrá la superficie mediante la fórmula siguiente:

$$S_w^2 = K \sqrt{T}$$

$S_w$  = superficie

$T$  = tiempo

$K$  = constante

Determinación de  $K$ .-

Es indispensable usar el mismo aparato, la misma calidad de líquido, filtro etc; solo en estas condiciones es posible determinar la constante:

Se pesan exactamente 2.8 gr. de cemento de permeabilidad y superficie específica conocidas, de la fórmula anterior se despeja el valor de :

$$K = \frac{S_w^2}{\sqrt{T}}$$

• ----- •

EL CALOR DE HIDRATACION

## CALOR DE HIDRATACION . -

\*\*\*\*\*

Durante el fraguado y endurecimiento de los cementos se producen variadas reacciones que dan lugar a un fuerte desprendimiento de calor. Este fenómeno que pasa desapercibido en la estructuras de ingeniería, en que los elementos de concreto no tienen mayor volumen, adquiere gran vigencia en las obras de concreto en grandes masas, como son los represamientos, cimentaciones, etc. Ello se debe a que el gran volumen imposibilita la radiación del calor que al ser conservado produce cambios de volumen de gran importancia. Por otra parte, en las construcciones en zonas de temperatura muy baja, el calor de hidratación constituye una protección para el correcto desarrollo del fraguado, al impedir el congelamiento de la mezcla.

La explicación y magnitud del calor de hidratación han sido expuestos después de numerosos estudios en función de todas las variables.

Se conoce así, que el calor de hidratación, se debe a los calores de disolución propios de los compuestos anhidros del cemento y a los cambios térmicos producidos por la precipitación de los hidratos.

Bogue, en el año de 1934 realizó un estudio al respecto. Mezclando separadamente los compuestos con agua hasta su total hidratación; que corresponde a calores de solución constantes. La suma

algebraica de esos valores es el calor de hidratación completa del cemento. Fruto de tales investigaciones son los siguientes valores en calorías gramo.

Aluminato tricálcico	207	±	3
Silicato tricálcico	120	±	3
Ferro Aluminato Tretacálcico	100	±	3
Silicato Bi cálcico	62	±	3
Oxido de Magnesia	203		
Oxido de Calcio	278.9		

En 1932 y 1933 Woods, Steinour y Starke, publicaron en la revista Eng. New Record el resultado de sus investigaciones en ese sentido. Por ellas convenían en que el cemento Portland desarrolla calor durante los seis primeros meses del proceso de endurecimiento; Aunque la mayor cantidad de calor se desarrollaba en los tres primeros días. Por otra parte la velocidad de liberación estaba en función de la constitución química del cemento. Sus trabajos están condensados en la siguiente tabla, en función del tiempo de hidratación, expresando las calorías cedidas por cada compuesto de 1 gr. de cemento:

COMPUESTOS	3 días	28 días	1 año
Aluminato tricálcico	1.70 ± 0.2	2.02 ± 0.20	2.00 ± 0.12
Silicato tricálcico	0.983 ± 0.054	1.142 ± 0.054	1.362 ± 0.033
Ferro aluminato tetra cálcico .....	0.29 ± 0.18	0.48 ± 0.18	0.30 ± 0.11
Silicato bicálcico	0.195 ± 0.46	0.436 ± 0.045	0.621 ± 0.28
<b>O X I D O S</b>			
Oxido de calcio	+ 3.40	+ 3.31	+ 3.64
Oxido sílicico	- 5.79	- 4.93	- 5.01
Sexquióxido de Al	- 1.1	- 0.1	- 0.7
Sexquióxido de hierro	- 3.2	- 3.1	- 3.8

Al tratar de definir el efecto de las numerosas variables que pueden incidir en el ensaye del calor de hidratación de una pasta, los investigadores Carlson y Forbrich (Industrias, Ingeniería Química Analítica 1938) determinaron el valor de la relación agua-cemento, de la temperatura ambiente y otras.

Así, la influencia de la relación A/C y de la temperatura ambiente fué expresada en la siguiente tabla:

Temperatura C	A/C 0.25 caloría/gr.	A/C 0.60 Caloría/gr.
21	0.265	0.380
32	0.277	0.408
43	0.303	0.455
54	0.340	0.505
65	0.400	0.580

La relación agua-cemento, a una misma temperatura, presentaba el siguiente efecto:

A/C	3 días cal/gr.	7 días cal/gr.	28 días cal/gr.
0.30	45.7	58.3	74.3
0.40	49.2	61.8	82.9
0.50	52.3	69.8	91.4

Finalmente la influencia de la temperatura de curado, independientemente -relación A/C de 0.40- era la siguiente:



Temperatura C	3 días cal/gr.	7 días cal/gr.	28 días cal/gr.
4.4	29.5	43.5	78.4
23.3	52.4	72.4	90.8
40.0	72.3	80.3	93.1

Estos valores son interesantes de conocer y su importancia está mas que en su valores numéricos en los porcentajes de aumento que determinan o en las curvas o ecuaciones que con ellos se pudo establecer.

Para un estudio mas preciso de las condiciones del ambiente se han reproducido fielmente en recipientes especiales que contenían muestras de concreto de diversas dimensiones. Llegándose así a establecer el cemento mas conveniente para determinado tipo de obra. La primera experiencia de tal tipo se debe a los ingenieros de la Estación experimental de la Construcción de Inglaterra.

#### CALORIMETROS.-

Para realizar los ensayos tendientes a encontrar el calor de hidratación del cemento se utilizan dos tipos de calorímetros: el de paletas y el adiabático.

El calorímetro de paletas utiliza muestra de cemento puro y usa de las paletas para expulsar el calor y evitar así las temperaturas elevadas. La velocidad de expulsión del calor se

determina por la medición de las diferencias de temperatura de la muestra y el borde de las paletas metálicas. Cuando el calor liberado por la muestra es de una intensidad constante, se puede determinar fácilmente el total expulsado. La cantidad de calor que queda en la muestra es despreciada generalmente por su pequeña magnitud.

El calorímetro adiabático consiste generalmente en un frasco Dewar que tiene fijo un agitador, un termómetro de resistencia y un tubo de ensaye. El conjunto, para los efectos de la determinación se introduce en un recipiente impermeable que se sumerge en un baño de agua a temperatura constante. El agitador se mueve desde arriba a velocidad constante. La muestra se mantiene por debajo de superficie del disolvente en un tubo que tiene un tapón inferior. Con un puente de Mueller se mide la resistencia del termómetro.

. . . . .  
• ----- •

## ENSAYE NORMAL

\*\*\*\*\*

El método standard de prueba propuesto por el A.S.T.M., para la determinación del calor e hidratación del cemento mide el calor de las soluciones del cemento seco y de una solución parcialmente hidratada durante 7 ó 28 días, obteniendo luego de la diferencia de esos valores el calor de hidratación para el periodo respectivo de tiempo.

El aparato standard se compone de los siguientes elementos

1.- Calorímetro.- Se compondrá de una botella de vacío, de boca ancha, con tapón de corcho mantenida en un recipiente suficientemente insulado, para mantener la botella en posición y protegerla de las fluctuaciones de temperatura no deseadas. Dicha botella será recubierta al interior con un material resistente al ácido hidrofúrico, tal como resina, parafina etc.; el cual debe conservarse intacto.

2.- Recipiente aislante.- Este recipiente deberá tener una capa aislante de algodón de 1" de grosor, cubriendo los lados y el fondo del frasco de vacío, de tal manera que permita sacarlo fácilmente.

3.- Termómetro diferencial.- El termómetro diferencial ajustable será de tipo Beckmann, y tendrá una amplitud de 6C. Se graduará de tal modo que el límite superior coincida con la tempera-

tura. La parte inferior del termómetro debe ser protegida convenientemente del ácido.

4.- Agitador.- Será de vidrio con un baño que resista al ácido fluorídrico, o de un material plástico inerte, y en lo posible, debe llegar al fondo del calorímetro. Este batidor será accionado por un motor de velocidad constante.

#### Capacidad de calor del aparato.-

Es necesario para llegar al resultado propuesto, conocer la capacidad de calor del aparato, lo que se realiza en la siguiente forma:

Se determina la capacidad de calor del sistema, es decir el número de calorías necesarias para levantar la temperatura del calorímetro y de su contenido en 1°C; midiendo el aumento correcto de temperatura obtenido por la disolución de 7 g. de ZnO en la mezcla de ácido.

Se transfiere dentro de la botella de vacío, aproximadamente 400 g. del 2.00 N HNO<sub>3</sub>, el cual ha sido enfriado hasta alcanzar la temperatura indicada por la parte inferior del termómetro Beckmann, se añade 8.0 ml. de HF (48%), pesar y añadir una cantidad adicional de 2.00 N HNO<sub>3</sub> suficiente para llevar el peso total de la solución de 425.0 gr. Luego se reúne el calorímetro y se prende el motor de agitación. Se debe cuidar de que la cuchilla de agitación no toque el termómetro los costados o el fondo de la botella,

o el corcho. La parte inferior del tallo del embudo se extenderá aprox.  $1/4$  de pulgada por encima del nivel del líquido. El final superior del bulbo del termómetro de Beckmann estará por lo menos  $1\ 1/2$  pulgada debajo de la superficie del líquido y se colocará a una misma profundidad en todas las determinaciones. Después de un período de agitación inicial de por lo menos 15 mm. para permitir a la temperatura del sistema uniformizarse, se observa y se apunta la temperatura hasta para cada 0.001 C. y se anota el tiempo. Después de un período preliminar de por lo menos 5 mm. de observa y se nota de nuevo la temperatura con toda exactitud, se toma el tiempo e inmediatamente se introduce el ZnO preparado a través del embudo, de manera regular. Se echa todo el ZnO que pueda quedar prendido al embudo con la ayuda de un pequeño cepillo de pelo de camello.

Se lee la temperatura cada minuto durante los 5 primeros minutos; luego se lee hasta cada 0.001 C. todos los 5 minutos hasta obtener un cambio de temperatura constante y regular. Cuando los cambios de temperatura de 3 lecturas consecutivas a intervalos de 5 mn. no difieren por más de 0.001 C. de su promedio expresado hasta el último 0.001 C., la proporción del cambio de temperatura puede considerarse constante. Estos 3 o más intervalos sucesivos de 5 mn. incluyen el período final de proporcionamiento. El período de tiempo comprendido desde el comienzo de la introducción del ZnO hasta el punto constante del cambio de temperatura se llama el período de solución y no debe du-

rar más de 30 mn. Se deshechan las determinaciones en las cuales el tiempo combinado de solución y de periodo final de proporcionamiento pasa de los 60 mns.

Para corregir el calor de agitamiento y las pérdidas termal-les dentro o fuera del calorímetro, se calcula el alza corregido de temperatura del siguiente modo:

$$R = R_o - V_r T_x + K (O_x T_x - O_r T_x)$$

donde:

- R = Incremento de temperatura corregida en grados centígrados
- R<sub>o</sub> = Incremento de temperatura observada, en grados "
- V<sub>r</sub> = Cambio de temperatura durante el período final de observaciones, en gr. C con 5 minutos de intervalo expresado algebraicamente.
- T<sub>x</sub> = Número de intervalos de cinco minutos en el período de solución.
- K = Constante irradiación en grados C. en cada 5' y por grado de temperatura de diferencia y
- O<sub>x</sub> y O<sub>r</sub> = Temperatura promedio del calorímetro durante la solución y el período de observación respectivamente.

Calcular la constante de escape K, como sigue:

$$K = \frac{V_a - V_r}{O_r - O_a}$$

donde:  $V_a$  y  $\theta_a$  = relación de cambio de temperatura en 5 minutos y la temperatura promedio respectivamente, durante el período de observación preliminar.

Calcular el producto  $O_x T_x$ , como sigue:

$$O_x T_x = 0.1\theta_1 + 0.2 (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + 3 \theta_5) + \theta_{10} + \dots + 0.50 \theta_n$$

donde:  $\theta$  = Temperatura del calorímetro y los subfijos indican el tiempo en el cual la temperatura fué registrada,  $\theta_1$ ,  $\theta_n$  = Temperatura inicial y final, respectivamente del período de solución.

(i) Calcular la cantidad de adsorción del calor del calorímetro y del contenido, como sigue (Nota 2)

$$C = \frac{(256.1 + 0.1 (30 - t) + .12 (T - t))}{R}$$

donde:

- $C$  = Capacidad de calor en calorías por grado centígrado.
- $W$  = Peso de óxido de Zinc en gramos.
- $t$  = Temperatura final del calorímetro en grados centígrados ( $\theta_n$  + temperatura en grados centígrados en la cual la lectura del termómetro Buckmann es cero).
- $T$  = Temperatura en grados C del ZnO (temperatura ambiente) cuando se introduce en el calorímetro y
- $R$  = Incremento corregido de temp. en grados centg.

La capacidad de calor del ZnO es 0.12 calorías gramo. El calor necesario para elevar el ZnO a la temperatura final del calorímetro, debe ser incluido en la solución efectiva de la solución térmica.

Si más de una traza de ZnO se encuentra adherida a los bordes de la chimenea del calorímetro o en la trampa del mismo, cuando se abre el calorímetro, la prueba se debe rechazar.

Redeterminar la capacidad de calor en los siguientes tiempos:

- 1) Cuando el termómetro de Buckmann se gradúa de nuevo.
- 2) Cuando se dá una nueva mano al termómetro, batidor o recipiente
- 3) Cuando un nuevo termómetro, batidor o recipiente se pone en servicio.
- 4) Cuando se pone un nuevo baño de ácido y
- 5) En otras oportunidades, cuando de acuerdo al criterio del operador la medida es reindicada.

Cálculo del calor de hidratación.-

Inmediatamente antes de mezclar la pasta de cemento, debe procurarse que su temperatura y la del agua esté en la relación  $23 \pm 1.7$  C. Se mezclan 150 gr. de cemento, con 60 ml. de agua destilada, agitándolo vivamente la mezcla, por procedimientos mecánicos. Colocándose porciones representativas en frascos de vidrio, que se sellan y colocan verticalmente hasta el momento de la prueba.



Para la preparación de la muestra parcialmente hidratada para la prueba del calor de solución, después de un tiempo especificado se saca uno de los frascos, durante un período de 15 mn. se agita esta muestra, que está parcialmente hidratada, se rompe y saca del vidrio; se muele rápidamente, a fin de que pase a través de un tamiz N° 30. Colocándosela con las debidas precauciones en una botella para pesar, evitando exponerla al aire.

Para determinar el calor de solución de la muestra de cemento seco se sigue un procedimiento calorímetro, descrito para la determinación de capacidad de calor, usándose una muestra de 3 gr. de cemento seco, en vez del ZnO. Se hace la prueba del calor de solución del cemento seco, un momento antes de la prueba anterior.

Para obtener el calor de solución de la muestra parcialmente hidratada por el procedimiento calorimétrico, se sigue el método anteriormente descrito, pero con una muestra de 4.18 gr.

En el momento de pesar la muestra calorimétrica, se procede a pesar una cantidad igual en un crisol de platino, para conocer la pérdida por ignición.

Calor de solución del cemento seco.- Se determina el calor de agitación, y la corrección de pérdida termal y se aplican estas correcciones a la elevación de temperatura, en un procedimiento análogo a la determinación de la capacidad de calor.

También se debe corregir el valor del calor de solución, si la temperatura calorimétrica final, es diferente de la temperatura de la muestra calorimétrica, al iniciarse la prueba.

Calor de solución de la muestra parcialmente hidratada.- Se calcula de manera análoga, a la determinación del calor para el cemento seco, pero se hace la siguiente corrección:

En vista de que a cada aumento de 1° C de temperatura corresponde una disminución aprox. 0.3 cal. por g. en el calor de la solución, se deberá añadir 0.3 por cada grado de diferencia, cuando la temperatura de la prueba del calor de solución de la muestra parcialmente hidratada, pase de la temperatura de la determinación del cemento seco.

También se corregirá el valor del calor de solución, si la temperatura calorimétrica final de la prueba, es diferente a la de la muestra calorimétrica, al ser introducido. La corrección es de 0.4 cal. por gramo de cemento prendido.

El calor de solución de la muestra hidratada parcialmente es:

$$H_2 = \frac{R \cdot C}{W_1} - 0.4 (T - t_h) - 0.3 (t_d - t_h)$$

$H_2$  = Calor de solución de la muestra parcialmente hidratada, en caloría - gramo.

$R, C, W_1$  T y  $t_d$  = Los mismos valores dados anteriormente.

$t_h$  = Temperatura calorimétrica final.

LA RETRACCION

\*\*\*\*\*

## R E T R A C T A C I O N



La retractación de las pastas de cemento y de los concretos es un fenómeno de singular importancia en la construcción. Su investigación, iniciada desde fines del pasado siglo, ha tropezado constantemente con las numerosas variables que ocurren a su aparición. Sin embargo el ingeniero precisa tener el conocimiento del porque de su desarrollo y de sus características, para poder influir racionalmente en el comportamiento de la estructura.

El ingeniero Frances A. Considere, a fines del siglo pasado estableció los siguientes principios:

- 1.- Los cementos puros conservados en agua aumentan de tamaño en unos dos milímetros por metro mientras que los conservados en aire se contraen en la misma longitud.
- 2.- La retractación de las pastas de cemento, de los morteros y de los concretos estan en función del dosaje del primero. Decreciendo cuando el dosaje disminuye. Se puede estimar que para morteros de 600 Kg. de cemento es
- 3.- La amplitud de la retractación decrece cuando se trata de concreto armado. En condiciones de igualdad un concreto armado con una área de acero del 6% de la sección tiene una retractación de un valor de  $1/4$  ó  $1/5$  del concreto simple.

Estos ensayos realizados en condiciones técnicas deficientes, han sido continuados en forma sistemática tratando de abarcar se-

paradamente a cada uno de los factores que intervienen en su desarrollo.

Uno de los estudios mas completos, debidos a M. Lucas, realizados en los Laboratorios de la Escuela Nacional de Puentes y Calzadas de París, permitió el llegar a las siguientes conclusiones:

- 1.- Que la retracción de los cementos es un fenómeno particular de los mismos, netamente diferenciado de las retracciones térmicas, que a causa de bajas temperaturas, se producen en otros cuerpos.
- 2.- La retracción se produce en los cementos, en los morteros y en los concretos, pero la causa en los tres casos, reside en el comportamiento del cemento. Sin embargo en los aglomerados ocurren causas adicionales, como son la granulometría o la cantidad de agua en la mezcla.
- 3.- Para comprender mejor la naturaleza de la retracción es conveniente aislar el fenómeno de todos los problemas relativos que pueden causar confusión, como son la inestabilidad de volumen; el volumen real y aparentes en la fragua, en el endurecimiento o posteriormente a este, etc.

Con relación al último punto expuesto es conveniente recalcar que la retracción higrométrica de los cementos no debe ser confundida con los fenómenos expuestos. El cemento fraguado no es únicamente un conjunto de cristales cuyo volumen aparente experimenta

un aumento debido a la estructura adquirida, sino un pseudo-sólido o sólido capilar cuyo volumen aparente experimenta el efecto de las fuerzas de  $\gamma$  y de tensión superficial de igual manera que una arcilla que se contrae al perder agua o se hincha al adquirirla. Ello se debe a la presión capilar del agua en los poros del cemento que establece un estado de distensión del material coherente hasta que las reacciones debidas al hinchamiento equilibran las presiones capilares. Es bien sabido que estas últimas disminuyen con el aumento del radio medio de los poros en el momento de la distensión. Así pues, cuando el agua capilar se evapora por la superficie del concreto se produce en él una retracción

De lo expuesto se pueden desarrollar teóricamente los siguientes principios:

Que la retracción está en función directa de la cantidad de agua embebida en la materia, la que es función directa del estado higrométrico del medio ambiente.

La retracción es igualmente función de la temperatura del material y de la temperatura ambiente, pues ésta influye sobre la tensión del vapor.

Haciendo una recapitulación de todos los estudios realizados anteriormente, R. L'Hemite y J.J. Grieu, en el periodo comprendido entre los años 1948-1952, realizaron numerosos ensayos con objeto de conocer ampliamente el fenómeno de la retracción en las pastas de cemento y en los concretos. El resumen de sus investigaciones, publicados por los Annales del Instituto du Batiment et des Travaux Publics, es el siguiente:

La pérdida de agua de un cemento o de un concreto responde a la ley de Fourier que establece la pérdida de calor de un sólido a temperatura uniforme.

La retracción de un cemento es función del agua evaporada y un coeficiente dependiente del estado de hidratación del cemento. Coeficiente que es variable en el tiempo.

La retracción de un concreto , para una misma granulometría es proporcional al dosaje del cemento y al valor de su retracción en pasta dura. Aumentando en razón directa con la cantidad de agua usada en la mezcla.

La adición a la mezcla de aceleradores de fragua del tipo del cloruro de calcio, aumentan considerablemente la magnitud de las retracciones. Dicho acrecentamiento no se realiza si el agente incorporado no es mayor en peso que el 2% de cemento.

La fisuración es un fenómeno superficial que se presenta con un cierto grado de evaporación y retracción.

Si se hace un análisis de todas las conclusiones obtenidas por los investigadores mencionados, se nota un tácito acuerdo en ciertos puntos que se pueden considerar como fundamentales. Sin embargo, tal como se dijo, los ensayos no han terminado, pues, es necesario estudiar diversos puntos variables como son los cementos de distinta constitución y clinkers sometidos a variados procedimientos de molienda, la influencia de nuevos elementos químicos que se adicionan al concreto, los factores de higrometría propios de cada lugar, etc.

. ----- .



## LA TECNICA DE ENSAYE

---

Como se ha planteado anteriormente la retractsión de los concretos es función de numerosas variables, entre las que destacan las sollicitaciones mecánicas, la temperatura, la tensión del vapor de curado, etc. Si bien la primera causa -sollicitación mecánica- es estudiada como deformaciones bajo carga, las otras deben de investigarse separadamente para definir sus respectivas contribuciones al fenómeno. En ese sentido el método ha de establecer una constante con variaciones del valor de las otras, ó visiversa o también combinación de valores de ambas.

La regulación de temperaturas comprendidas entre los 0°C y los 50° C es bastante fácil así como mantenerla constante. En el caso de la tensión del vapor la cuestión es muy diferente, pues, inclusive hay cierta dificultad para realizar su medición. Varios dispositivos han sido ideados para suplir esta deficiencia. Entre ellos se puede mencionar un sistema automático donde un sincrónómetro con contactos eléctricos gobierna un Sin embargo tiene los incónvenientes de la dificultad para reglarlo, su delicadeza y la inercia que introduce factores de error. Otro método, mas viable en la práctica es el de conservar la probeta en recintos cerrados donde la atmósfera esté en equilibrio con una solución de vapor determinada. Recomendándose al efecto, el uso de una sal como una solución saturada de nitrato de amonio que corresponde a una tensión de vapor de 60° C.

Establecida la reproducción de las condiciones exteriores es necesario contemplar el desarrollo del ensaye para prevenir la intervención de errores fortuitos. Para ello debe asegurarse la condición de equilibrio entre el sistema formado por la probeta y el medio. Cuando la probeta es de mucho espesor su capa exterior se pone en equilibrio antes que la parte central, produciéndose tensiones internas que complican el estudio de la deformación del material. Por esa causa se ha establecido en todas las normas, que las probetas tengan la menor sección transversal posible. Las normas del ASTM establecen una sección de 2" y una longitud de 11".

Los aparatos usados para la medición de la retractación son variados. El más común es el del tipo Palmer. El procedimiento es sumamente simple. Al centro de las secciones cuadradas extremas de la probeta se fijan dos cortas varas metálicas terminadas en un cono de punta esférica de 1 mm. de sección. La colocación se realiza obviamente en el momento de llenar los moldes con la pasta. Luego la probeta es colocada sobre un banco en forma que una de sus extremidades esté en contacto con un plano fijo mientras la otra lo está con un movil, cuyas variaciones son medidas por un tornillo micrométrico. La influencia de la temperatura se valora por las variaciones de longitud de una barra de invar en las mismas condiciones.

Para medir la retractación se utiliza un banco micrométrico compuesto generalmente por dos microscopios del tipo usado en metrología. Con ellos se efectúa la medida sobre placas de metal

sujetas a los extremos de la probeta en las que se realiza un pequeño trazo indicador. La medida realizada es comparada con una barra de invar.

Otro sistema de gran perfección es el basado en el principio de la cuerda aislante. Como se sabe, un alambre tenso tiene una frecuencia propia de una vibración transversal variable, según sea la tensión longitudinal. Por eso, si se cuenta con tablas apropiadas, se conoce el coeficiente de elasticidad del alambre y el movimiento relativo de los puntos de sujeción, se puede determinar la tensión.

Para posibilitar la colocación del alambre en la probeta se colocan a través de la misma barras metálicas cuadradas a unos 10 centímetros de separación. En las extremidades de las barras se colocan los alambres mediante pinzas. A determinada distancia se montan electroimanes que son unidos al sistema amplificador de medida.

• ----- •

LA PERMEABILIDAD

\*\*\*

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

La permeabilidad de un concreto es un factor de interés para todo proyectista. Además de los casos en que el concreto ha de ser altamente impermeable, como son los tanques, revestimientos de obras hidráulicas, tuberías etc., siempre es conveniente un mínimo de permeabilidad pues, así se garantiza una mayor duración a cualquier estructura.

La permeabilidad se caracteriza por la facilidad para que un material sea atravesado por un fluido - agua o aire - bajo la influencia de una diferencia de presión entre sus caras. Impermeabilidad, a su vez, será la propiedad opuesta.

Si deseáramos conocer la cantidad de agua que atraviesa un elemento de sección y espesor igual a la unidad, en una unidad de tiempo y bajo una carga también unitaria. Llamando  $K$  a la cantidad de agua que lo atraviesa desde una altura  $H$  en toda la sección  $S$ , podremos emplear la relación:

$$Q = \frac{K H}{S}$$

Los concretos son generalmente permeables por el exceso de agua de mezcla que es necesario introducir para lograr su fácil acomodación en las formas. En esa condición los granulos de la mezcla se asientan por acción de la fuerza de la gravedad impeliendo al agua hacia arriba. Por ese movimiento se producen una serie de canales, de número incalculable, que tienen contacto con la cara superior del elemento. Formándose así una vasta e intrincada red, que con el tiempo y un curado racional va disminuyendo de espesor, por acción de la hidratación del cemento.

Cuando la red de capilares es muy fina la circulación de líquido es casi despreciable.

El diámetro pequeño de los conductos capilares se obtiene con un cemento de gran superficie específica y un bajo doseje en la mezcla. Sin embargo, pese a lo dicho, una red capilar excesivamente fina propicia

también la capilaridad pues, el líquido en contacto con el concreto penetra en el mismo a una velocidad directamente proporcional a la finura de los capilares.

Aun que permeabilidad es distinto de capilaridad, por este último fenómeno también se produce la penetración de un cuerpo por un líquido, pero sin presión exterior. Por ello muchas veces al referirse al primero se cubre de lo concerniente a la capilaridad.

### E N S A Y O S.

En la Universidad de Wisconsin, los ingenieros Withey y Wiepking realizaron numerosos estudios para determinar la permeabilidad de mezclas de variada fluidéz en condiciones constantes de curado de humedad, y de presión de 40 lb/2 durante 30 horas. Obteniendo las siguientes conclusiones:

- 1.- La permeabilidad de los concretos crece con el aumento de la relación  $A/C$
- 2.- Las condiciones de curado en una atmósfera húmeda favorecen en alto grado la impermeabilidad del material.
- 3.- El período mínimo de fraguado se encuentra entre los 14 y 28 días, según las condiciones planteadas, y a una temperatura de 60 grados Fahrenheit.
- 4.- El fraguado en aire seco, pese al criterio general, es más perjudicial para la impermeabilidad que para la resistencia.
- 5.- Las mezclas de poca cantidad de cemento, así como las secciones delgadas requieren de períodos de curado húmedo más largos que las convenientes a mezclas ricas o de gran sección.
- 6.- Si después de desencofrar, es poco práctico el mantenimiento de la humedad, es preferible no retirar las formas, evitando así la posible evaporación del agua desde las superficies libres.

# PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

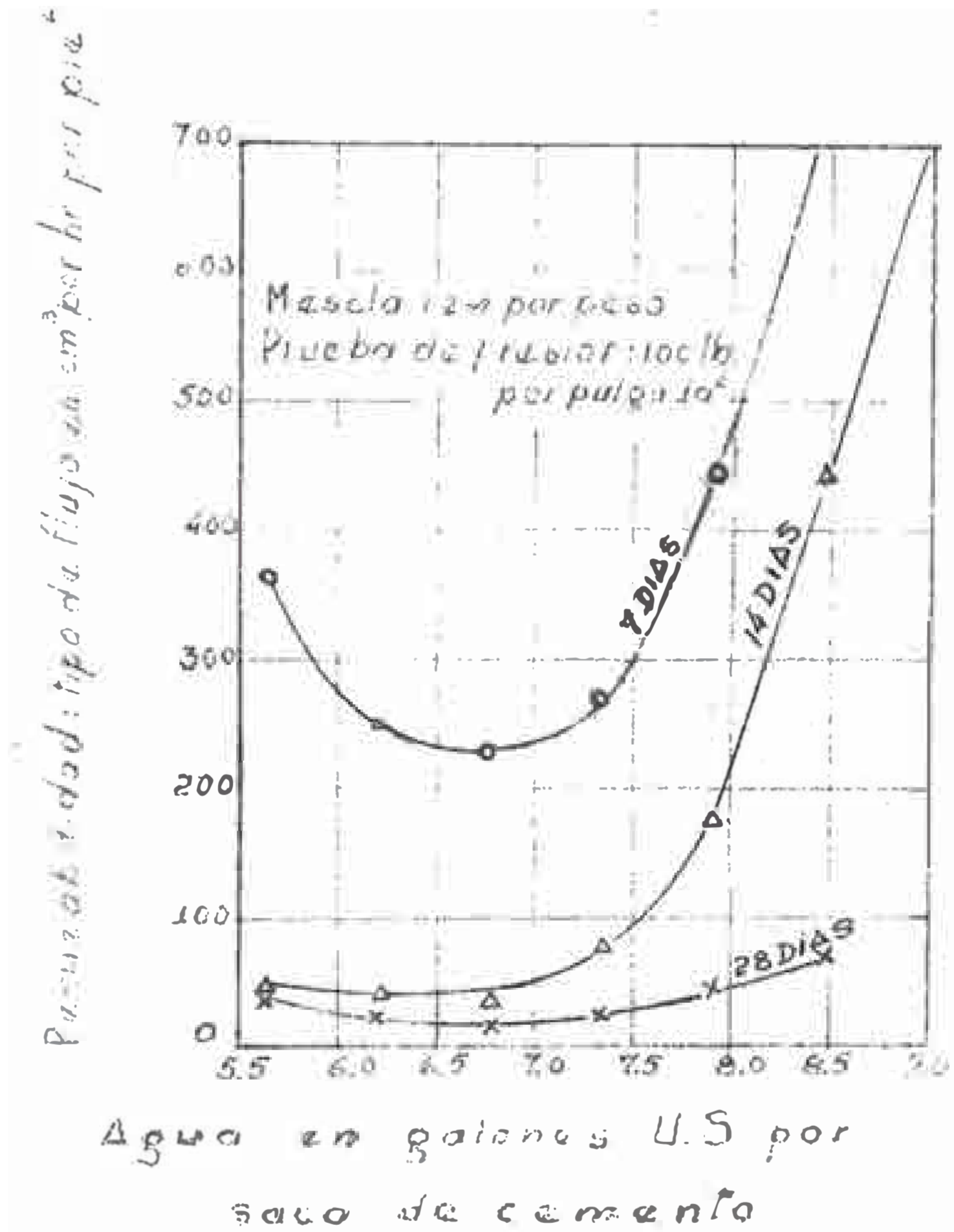


Fig. 12.

El gráfico de la figura contiene la curva promedio de todos los ensayos efectuados, indicando la permeabilidad en  $\text{cm}^3$  por hora y por pie cuadrado para un concreto del mismo dosaje de material, pero con distinta relación agua-cemento.

En el Departamento de Investigación Científica e Industrial de la ciudad de Londres, se realizaron también en forma sistemática variados estudios sobre permeabilidad. Un resumen de parte de los mismos está en la curva de la figura . En ella se dan valores promedios de permeabilidad de concretos de proporción 1:2:4, de relación agua-cemento variables, sometidos a una presión de 100 libras por pulgada cuadrada. El interés está en los diferentes valores obtenidos para distintos tiempos de hidratación y en el desarrollo de las curvas correspondientes.

De una observación detenida de las mismas se puede plantear las siguientes cuestiones:

- 1.- En las mezclas de 28 días con 8.3 galones de agua por saco de cemento, hay tres veces la permeabilidad obtenida en las mezclas de 6.7 galones.
- 2.- En las mezclas examinadas a los 7 y 14 días la permeabilidad es mucho mayor.
- 3.- Que para cada concreto - de determinado cemento, tipo de agregados y dosaje de agua - existe una cantidad máxima de agua dentro de la cual se puede obtener una máxima impermeabilidad. En el gráfico sería la tangente horizontal a todas las curvas que corresponde a un mismo valor de 6.5 galones por saco de cemento.

Las son el resultado de las investigaciones que sobre el efecto de la relación agua cemento, grado curado, efecto de las mixturas y características del cemento, realizó la Portland Cement Association. Las conclusiones que se obtienen de su estudio son las mismas que las reseñadas anteriormente. De la misma manera, en el gráfico N debido a investigaciones realizadas por el Laboratorio de trabajo Publicos de París, se tiene la misma coincidencia. Ello es



la explicación práctica de la teoría de Fraysinet, expuesta en el capítulo correspondiente.

De las experiencias expuestas se puede deducir que para obtener la impermeabilidad del concreto es recomendable observar las siguientes recomendaciones:

- 1.- El uso de cementos de finura conveniente, de superficie específica elevada.
- 2.- El empleo de agregados sin gran porcentaje de finos y de una buena compacidad.
- 3.- El buscar el menor dosaje de agua compatible con las condiciones de puesta en obra.
- 4.- Un curado efectivo que evite la retractación.

Estas direcciones han de ser también la de los ensayos tendientes a solucionar el problema de la impermeabilidad de las mezclas endurecidas.

## T E C N I C A.

El aparato empleado generalmente para la medición de la permeabilidad del concreto consiste en una serie de tubos de acero en los cuales se coloca un cilindro lleno del concreto de una altura igual al diámetro; para los concretos de piedras ordinarias se toma, generalmente  $H = D = 20$  cm, para los concretos de agregado grueso, como el utilizado en las represas, se tiene una altura superior a 30 cm. El pegado se hace generalmente con brea o con una pasta elástica plástica, sobre el cual el agua o el líquido utilizado no tiene acción.

El tubo así dispuesto se coloca en posición vertical, la parte superior está obstruida con un cubierto herméticamente que deja solo un canal que permite aplicar sobre la cara superior del cilindro de ensayo, una presión de líquido de vapor determinado. En la parte inferior del tubo se fija un embudo ancho que permite recoger en un vaso graduado el líquido que ha atravesado el bloque de concreto. La medida del volumen del líquido se hace a intervalos regulares para poder trazar el diagrama dando la cantidad  $K$  en función del tiempo  $t$ .

La figura dá un ejemplo de diagrama de permeabilidad.

No es siempre posible de construir para un concreto cualquiera, una probeta cilíndrica voluminosa; por lo que puede ser útil en algunos casos, tomar medidas de permeabilidad sobre los concretos ya ejecutados. Se puede tallar cilindros de la dimensión requerida, pero es un trabajo difícil y costoso que es mejor evitar cuando no se pide un ensayo de mucha precisión.

**LA TRABAJABILIDAD**  
**XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX**

## T R A B A J A B I L I D A D

• • • • •

Definición.- Esta importante propiedad del concreto, conocida como trabajabilidad, o "Workability" o docilidad, designa dos estimables condiciones de él como son: a).- La ausencia de segregaciones durante el transporte y vaciado y b).- La posibilidad de colocarse fácilmente en obra.

Bajo este término se comprenden así dos propiedades que podemos considerar diferentes, aunque en la práctica son confundidas. La primera de ellas es la plasticidad que es función del contenido de agregados finos, inferiores a 0.1 mm. de diámetro. La otra es la fluidez, que depende del dosaje de agua.

Hay un número de factores que afectan la trabajabilidad; tales como: el cemento, el agua, los agregados, en los cuales hay que considerar: la gradación y la forma, tiempo de mezcla y otros componentes que se le añaden para facilitar su colocación y manipuleo.

Salta a la vista que dado el número y calidad de factores involucrados, no es posible derivar una relación matemática entre la trabajabilidad y estos últimos.

No siempre la mezcla más trabajable, es la más resistente y la más económica, sin embargo la trabajabilidad debe ser con-

siderada, antes que la economía.

El cemento es un material extremadamente fino, pasando del 85% al 100%, por la criba N° 200 al aumentar la fineza de la trituración se mejora hasta cierto límite la trabajabilidad del concreto. Aumentando la cantidad de cemento usado en el concreto, también se consigue un aumento de su trabajabilidad.

Efecto de Agua.- Para la mezcla y materiales dados, la trabajabilidad puede variar dentro de estrechos límites cambiando la cantidad de agua; una cierta cantidad de agua es necesaria para hacer la mezcla densa y fuerte, lo mismo que para que se acomode pero si ésta se aumenta, la mezcla deja de ser trabajable.

Efecto de Agregados.- La gradación y forma del agregado, tienen influencia en el problema de la trabajabilidad. A veces, se necesita variar la gradación para suplir efectos de forma.

La gradación de un agregado, dá la proporción de los varios tamaños de partículas. El agregado se usa con pasta de cemento, para bajar el costo; el mejor desde este punto de vista, es el que extiende más la pasta de cemento. Se debe llegar a un acuerdo entre la trabajabilidad y la cantidad de concreto producido.

Respecto a la forma, podemos decir que prácticamente todos los trabajos de investigación en concreto, se han realizado con arena, como agregado fino y cascajo como agregado grueso y por consiguiente muchos de nuestros conocimientos se afirman, en el

supuesto de que todas las partículas son redondas. Pero la piedra partida se usa casi siempre como agregado grueso, el problema consiste en determinar cual es mejor. La piedra redonda produce un concreto más trabajable, a igualdad de gradación.

Efecto de mezcla.- El propósito de mezclar el concreto, es asegurar una distribución uniforme de la pasta de cemento, a través del agregado. Aunque hay especificaciones definidas para tiempo de mezclas, se puede decir que a mayor tiempo de mezcla, mayor trabajabilidad.

Efecto de los otros componentes.- Ciertos componentes se incluyen a veces en el concreto, con el propósito de mejorar la trabajabilidad, algunos de los cuales son materiales extremadamente finos, que adicionados en forma correcta dan excelentes resultados; unos dan un cemento mas uniforme, otros mas docil etc.

#### MEDIDA DE LA TRABAJABILIDAD.-

Se han desarrollado varios métodos para medir la trabajabilidad, uno de los cuales es el aparato producido en el Bureau de Patrones de los EE. UU., que consiste en determinar, la energía necesaria para introducir una barra de 11 pulg. en el concreto.

Otro método comunmente usado para determinar la trabajabilidad es el del Cono de Abrams o "slump test" al medirse el grado de descenso, por su propio peso de un tronco de cono de concreto,

vaciado dentro del molde que es retirado.

Aparato.- Está hecho de plancha galvanizada, moldeada en la forma de un tronco de cono con 8" en la base y 4" en la parte superior, y con una altura de 12"; debiendo estar las dos bases (abiertas) situadas paralelamente y en ángulo recto con el eje del cono.

La muestra.- La mezcla debe tomarse, de la misma mezcladora, y en caso de mezcla ya hecha del vehículo que la transporta. Y debe ser representativa de la carga, haciendo pasar repetidas veces una pala por el chorro del concreto al hacerse la descarga; transportándola al sitio de moldeo de ésta, removiéndola antes, para evitar la segregación.

Procedimiento.- El molde humedecido, debe colocarse sobre una mesa impermeable, y también húmeda. De la muestra de concreto obtenida se llena el molde en tres capas, mas o menos iguales; distribuido en forma simétrica dando ligeros golpecitos para ello. Cada capa debe compactarse con 25 golpes de una varilla de  $5/8$  de 24" de largo. Se saca el molde cuidadosamente hacia arriba y se mide la disgregación del concreto, determinando la diferencia de altura entre el molde y el estado final de la muestra.

Para la medida de la trabajabilidad de los morteros, y excepcionalmente de las arenas, se usa del aparato conocido bajo el nombre de Meza de Sacudidas, que es un elemento plano de 70 cm. de diámetro que mediante un mecanismo especial sufre sacudidas verticales sobre ella se coloca un tronco de cono hueco, de 20 cms.

base superior, 30 cm. de base inferior y 15 cm. de altura.

El ingeniero francés J. Faury a propuesto otros métodos para determinar la trabajabilidad o docilidad del concreto.

En el primero, propicia el paso del concreto a través de una rejilla constituida por barras de fierro, de una separación fácil de regular, usando para la compactación un pisón deformado por tres fierros redondos.

Propone además otra determinación, usando un cubo relleno con concreto, sobre el cual se deja caer repetidas veces y desde una altura determinada un pisón especial, estudiándose los huecos formados.

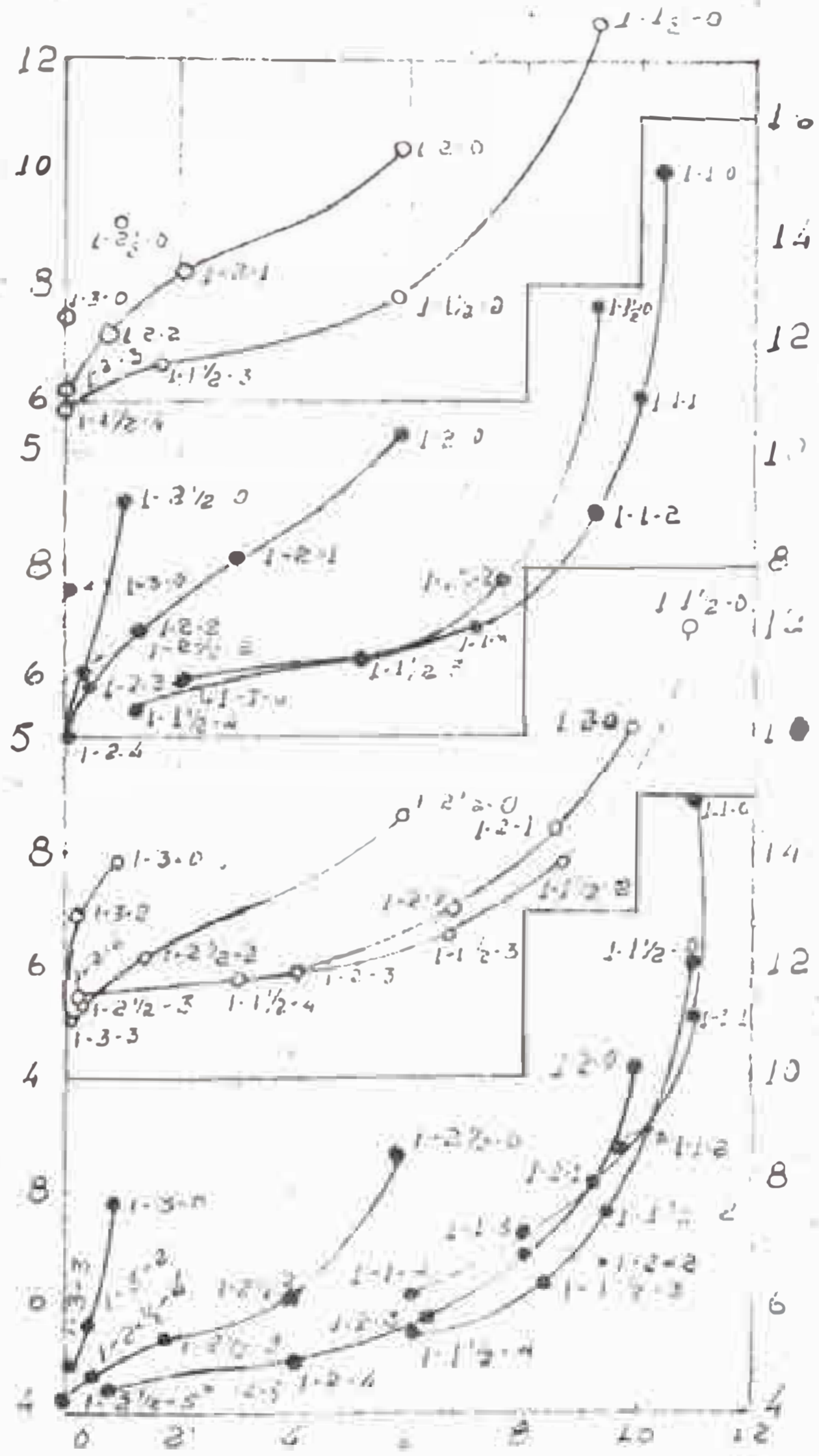
Recomienda así mismo el uso del primer método para concretos con alto dosaje de agua y el otro para concretos secos.

Finalmente en España se ha generalizado el uso del aparato denominado docilímetro, sin semejanza alguna con los métodos expuestos. En Inglaterra, se ha propuesto y aceptado como norma la determinación del tipo de forma como un concreto pasa por un juego de conos y cilindros.



# RELACION DE LA MEZCLA $\frac{1}{2}$ Y ACENTAMIENTO

Sacos de cemento por yarda<sup>3</sup> de concreto.



Acementamiento en pulgarias

Fig. 16

C A P I T U L O   V I

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

**ENSAYES MECANICOS**

**1988 0000000000 000**

TEORIA DEL ENDURECIMIENTO . -  
.....

El comportamiento mecánico de los compuestos del cemento así como el de las pastas hidratadas es hoy el resultado de un proceso conocido.

Una de las teorías que ha dado mas luz sobre este punto es la de M.E. Fraysinet quién basándose en ella, descubrió las posibilidades del concreto pretencionado y explicó científicamente la vibración y otras técnicas.

Al hablar en un capítulo anterior sobre el proceso del endurecimiento de las pastas de cemento adelantamos algo sobre la moderna teoría relativa a los pseudosolios, por la que se establece:

Que la resistencia de la pasta hidratada es proporcional al volumen del cemento hidratado dividido por la suma de dicho volumen mas el agua sin combinar. Considerando el cemento hidratado como la suma del cemento mas el agua sin hidratar.

Que la resistencia es proporcional al área de la superficie interfacial por la unidad de volumen de la pasta.

En el desarrollo previo, a la obtención de estas conclusiones, se ha llegado al conocimiento de la constitución y la propiedad de los concretos, explicándose así claramente el fenómeno del endurecimiento, de las deformaciones, y otras mas.

.....  
• ----- •

## 1.- Los Pseudo-Sólidos:

Fraysinet distingue a los pseudo-sólidos de los sólidos verdaderos, por sus propiedades mecánicas diferentes, debidas a su constitución. Define así los primeros como "aquellos cuerpos con apariencia exterior de sólidos, pero con una red interior de poros muy finos conteniendo agua y aire".

Es fácil explicarse que en esos espacios interiores se originan fenómenos superficiales y capilares ocasionados por los fluidos que encierran.

Sea un pseudo-sólido con parte de sus vacíos llenos por un fluido o vapor con una tensión  $eH_t$  siendo  $e$  el estado higrométrico y  $H_t$  la tensión del fluido a una temperatura  $g$ . En él se llegará a un estado de equilibrio cuando todos los huecos de tamaño menor que  $D_e$  el grosor de los vacíos en los que tiene lugar la posición de equilibrio del menisco, para el indicado estado  $e$  de higrometría del cuerpo. Lo que se expresa en el gráfico

Se puede usar así las ecuaciones llamadas de Lord Kelvin sobre las relaciones de la presión del vapor y la curvatura superficial, siendo esta función de la graduación del tamaño de

los vacíos existentes y de la capacidad de cada tamaño de poro. De acuerdo con ella el líquido contenido en los espacios menores que  $D_e$  tendrá un volumen total  $W_e$  sometido a la tensión  $t$ .

En el caso del agua y aire tendremos:

$$T_e = 1300 \log w_{ep} \cdot \frac{1}{e} = \frac{2A}{D}$$

de acuerdo con la ecuación de los gases perfectos.

Si  $e$  tiende hacia la unidad,  $D$  tiende al infinito y  $t$  hacia cero.

La expresión de La place establece la tensión superficial de un líquido limitado por un menisco de diámetro  $D_e$  y siendo el valor de la constante capilar tal como  $A$ :

$$D_e = \frac{2A}{T_e} = \frac{2A}{1300 \log w_{ep} \frac{1}{e}}$$

Las tensiones  $t$  determinan en el cuerpo un sistema de fuerzas similar al que ocasionaría esfuerzo triple isótropo.

$$\delta_e = T_e w_e$$

Este sistema da lugar a una deformación isótropa.

$$d_e = \frac{\delta_e}{E} = 1300 \log w_{ep} \cdot \frac{1}{e} \times \frac{W_e}{E}$$

Siendo el módulo de elasticidad del concreto tal como  $E$ , el módulo elástico verdadero, después de un tiempo considerable de aplicación de la carga será:

$$E_v = \frac{E}{2}$$

## 2.- Las deformaciones:

La existencia del esfuerzo triple, isótropo, que denomináre - mos , da a los pseudo-sólidos propiedades diferentes a las de los sólidos compactos, las que se manifiestan principalmente en la variación de sus dimensiones. Ellas dependen, a diferencia de los metales por ejemplo, de una serie de factores tales como el módulo de elasticidad del esqueleto sólido, del correspondiente al líquido -considerándolos aislados- del estado hogrométrico del cuerpo, del de la atmósfera, de la velocidad de variación de la temperatura y otras condiciones mas.

Así, pues el módulo de Young, el coeficiente de Poisson y las resistencias mecánicas de los pseudo-sólidos, tienen límites muy alejados a un campo de variación muy extenso. Dependen, por otra parte, de factores independientes de la fuerzas exteriores.

La presencia del agua y del aire, en los intersticios del concreto endurecido disminuye su deformación bajo carga. Cuando éstas son instantáneas el módulo de Young adquiere un valor superior al módulo que tendría el cuerpo verdadero sin la intervención de los efectos capilares. En el transcurso del tiempo este módulo aparente disminuye hasta llegar a ser igual al verdadero .

Cuando el concreto es sometido a cargas de compresión, éste se deforma elásticamente en forma instantánea, proporcionalmente a las cargas, sino son excesivas, y recuperando su forma primitiva. Luego se produce una deformación lenta y progresiva, que en

síntesis puede considerarse como una retractación, por el estado higrométrico aumentando por la acción de la compresión. Esta deformación que podríamos llamar diferida es la que produce una deformación final o total que es igual a la que habría experimentado el pseudo-sólido con esfuerzos capilares nulos.

### 3.- Las resistencias mecánicas.-

Los fenómenos de la retractación que hemos estudiado, y los esfuerzos por ellos producidos, influyen directamente en el comportamiento mecánico del concreto, Ellos se manifiestan según el trabajo que efectuaría un zuncho, por lo que, cuando no son excesivos aumentan las resistencias compresivas.

En los ensayos realizados por Pierre Brice, se comprobó que un triple esfuerzo de compresión moderado, actuando sobre una muestra de concreto aumentaba la resistencia compresiva del mismo en unas seis veces mas. Pero el esfuerzo a la tracción -generalmente menor pero en función del anterior- tenía un aumento de 0.9.

Se ha demostrado también que cuando se comprime la muestra a gran velocidad, muy rapidamente, se obtienen resistencias mayores que las que se podrían obtener con una marcha del ensaye a velocidad normal.

Ello se debe a que el agua contenido en los vacíos del concreto, ante la rápida compresión, actúa como un sólido por efecto de la viscosidad.



En general todo aquello que actúa sobre las tensiones capilares del concreto, actúa también sobre su resistencia. Así pues:

La elevación de temperatura disminuye la resistencia al aumentar el estado higrométrico.

La inmersión del concreto en agua durante largo tiempo puede anular los esfuerzos de retractación, que dejaran de actuar provechosamente sobre la resistencia del concreto.

#### 4.- Endurecimiento y Compacidad:

En los vacíos del concreto, como sabemos existe cierta cantidad de agua que actuando sobre el cemento va solidificándose en forma progresiva, al volverse mas y mas viscosa. Esta transformación se realiza con una serie de fenomenos capilares, que son mas fuertes, como menor son las dimensiones de los huecos, es decir, como mayor es la compacidad del concreto.

Para tener una compacidad ideal, llamando  $V_r$  al volumen real,  $V_a$  al volumen aparente total, necesitaríamos:

$$C = \frac{V_r}{V_a} - 1$$

es decir que ambos valores fueran iguales. Es decir que el volumen de los hidratos formados fuera igual al de los anhidros disueltos, mas el volumen de agua existente al terminar el apisonado de la puesta en obra y el volumen de las burbujas de aire.

Considerando:

$V_a$  = volumen del agua de fraguado

$V_a$  = volumen de aire

$V_c$  = volumen total del cemento

$K$  = fracción de  $v_c$  que ha entrado en combinación en el momento elegido.

$a$  = El aumento concerniente a las sales hidratadas en relación con las sales anhidras que las forman.

$C$  = la compactidad.

$V_d$  = el volumen final, aparente, del volumen inicial igual a la unidad

$V_{a1}$  = cantidad de agua necesaria para el fraguado de un volumen de cemento igual a la unidad.

Encontramos:

Volumen de los hidratos.

$$K V_c (1 + a)$$

Volumen de los huecos que quedan después del fraguado:

$$V_n = v_a + v'_a + K v_c (1 + a) = V_a + V'_a - K v_c a$$

Luego:

$$1 - C = \frac{\left( \frac{V_a + v'_a}{K v_c} - a \right) K v_c}{V_a}$$

pero  $\frac{V_a}{K v_c}$  es por lo menos igual a  $v_{a1}$

Y como al fraguar se experimenta cierta contracción:

$$V_{a1} > a$$

es decir:

$$\frac{V_a}{K v_c} > a$$

El valor 1-C no será nulo, de acuerdo a lo anterior aunque lo fuera el volumen de huecos y el del agua fuera igual al necesario para la fragua del volumen  $k v_c$  de cemento.

Así pues la compacidad ideal de que habláramos anteriormente no se puede dar en la práctica con el cemento.

Para un mismo valor de la compacidad antes del fraguado, las resistencias mecánicas y la compacidad final serán mayores como mayor sea  $a$ .

El coeficiente  $k$ , por otra parte, nulo al iniciarse el fraguado, aumentará con éste. siendo en los casos más favorables inferior a la unidad.

Cabe considerar finalmente la intervención preponderantes de los siguientes factores:

$$\frac{V}{a} \frac{V}{K v_c} \text{ y } \frac{V}{a} \frac{V'}{v_c} \text{ ó } \frac{V}{a} \frac{V'}{K v_c} \text{ y } \frac{V}{a} \frac{V'}{v_c}$$

##### 5.- Fraguado, retractación y tratamientos posteriores:

En la iniciación del fraguado existe en el concreto fresco huecos llenos por aire y agua. En su desarrollo el volumen de huecos secos tiende a aumentar. Por eso, cuando el agua se pone en estado de tensión en los vacíos que ocupa por la formación de los hidratos, se desarrolla una retractación, que podremos llamar de fraguado. Esta retractación, que podremos llamar de fraguado. Esta retractación es inversamente proporcional a la cantidad de agua que queda libre después del fraguado.

Por esa razón los concretos mas compactos, con poca agua de mezcla, los que experimentan mayores retracciones.

La humedad a que se somete un concreto durante su fragua impide la evaporación del agua retenida y propicia su adsorción por hidratación. Por lo tanto disminuye su retracción.

Por el contrario la carencia de agua durante el fraguado aumenta la retracción porque se forman vacíos en el momento de la hidratación.

Finalmente cabe decir que el concreto seco se disgrega en el momento del fraguado, sin que el riego superficial del mismo pueda tener ninguna influencia, pues solo se limita a mantener en forma favorable el estado higrométrico de la superficie.

----- 0o0 -----

# PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS CONCRETOS

## - PROPIEDADES MECANICAS -

### COMPRESION.-

Las cargas de compresión al actuar sobre el concreto simple lo deforman produciendo una contracción longitudinal en el sentido de los esfuerzos y una expansión transversal en sentido perpendicular a las cargas.

Bajo cargas no muy elevadas se constata que esas deformaciones son proporcionales a su intensidad. Así, llamando R a la relación existente entre la carga a que se somete un elemento y la sección del mismo, se pueden obtener las relaciones clásicas:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{R}{E_c} \quad \text{y} \quad \frac{\Delta l'}{l} = n \frac{R}{E_b}$$

considerando que  $E_c$  es el módulo de Young o coeficiente de elasticidad del concreto, y n el coeficiente de Poisson.

#### 1.- Módulo de Young:

Como expresáramos anteriormente el módulo de Young se puede definir como: la relación entre la tensión unitaria que experimenta el material y la deformación unitaria que dicha tensión produce.

En el concreto  $E_c$  es sumamente variable. Sus límites son muy distantes, siendo generalmente el menor de  $75.000 \text{ Kg./cm.}^2$  y el superior de  $700.000 \text{ Kg./cm.}^2$ . El primero se dá en los concretos pobres, que son altamente deformables mientras que el segundo corresponde a concretos de alta resistencia; como son los diseñados especialmente o el de la fabricación de los pre-comprimidos. Sin embargo, para los concretos corrientes la relación se encuentra entre límites mas estrechos como son  $150.000 \text{ Kg./cm.}^2$  y  $300.000 \text{ Kg./cm.}^2$

Las variaciones entre los límites señalados se pueden deber a variados factores, que a continuación enunciaremos escuetamente.

A).- Que el concreto sea mas compacto y resistente. Pues se ha comprobado experimentalmente que a mayores resistencias mecánicas del concreto mayor es su módulo de elasticidad.

$$E_c = 600.000 \frac{R}{225 + R}$$

según lo cual para una  $R = 250 \text{ Kg./cm.}^2$  tenemos un  $E_c = 280.000 \text{ Kg./cm.}^2$

El Instituto Americano de Concreto supone una relación lineal que no exacta, que expresa como

$$E_c = 1.000 R$$

B).- Que el concreto sea de mayor edad. Debido a la mayor influencia de las reacciones químicas del endurecimiento que aumentan la resistencia. De acuerdo con los ensayos de Camus  $E_d$  es una función lineal del logaritmo del tiempo, que se estabiliza a los 1500 días.

Así se puede establecer la siguiente relación:

$$E_d = E_6 \left( 1 + 0.30 \log \frac{d}{6} \right) \quad E_d = E_c \text{ a las } n \text{ días}$$

$$E_6 = E_c \text{ a los } 6 \text{ días.}$$

Para los distintos valores de  $d$  tenemos:

$d$	6	30	270	420	1440	1500
$E_d$	1	1.21	1.49	1.56	1.72	1.73

C).- De acuerdo con la calidad del concreto. Según los estudios de A. Mesnager, la calidad del cemento tiene directa influencia sobre el valor de  $E_c$ . Después de sistemáticos ensayos estableció tres grupos siguientes:

Concretos de cemento Portland	$E_c$ 200.000 a 260.000 Kg/cm. <sup>2</sup>
" " " "	220.000 a 250.000 " "
(alta resistencia inicial)	
" " Fundido	300.000 a 400.000 " "

D).- Que las fuerzas aplicadas sean débiles.

Le Camus ha desarrollado, después de numerosos ensayos, la tabla que exponemos:

R	40	80	120	160	200	Kg/cm. <sup>2</sup>
E <sub>c</sub>	400.000	380.000	350.000	328.000	306.000	Kg/cm. <sup>2</sup>

E).- Que el ambiente de conservación del elemento sean mas húmedo. Pues aumenta su rigidez en un 15% a 25%.

F).- Según el método de medida utilizado. Se ha encontrado variaciones, en mas o en menos del 10% al 15% de acuerdo con el procedimiento y el material seguido para realizar las determinaciones.

## 2.- Coefficiente de Poisson:

Las experiencias de la Comisión Francesa de 1906, fijaron para el coeficiente de Poisson el valor de  $N = 0.30$ . Posteriores valores dados por diversos investigadores son menores.

L' Hermitte distingue dos coeficientes de Poisson: Uno elástico. He expresado por la relación entre la deformación transversal y longitudinal reversibles y el otro  $N_t$  o coeficiente total, que se expresa como la relación entre la dilatación transversal y el acortamiento total. Elástica más plástica.

Los valores medio que pueden ser supuestos, según el mismo ingeniero son:

$$N_e = 0.13 \quad N_t = 0.11$$



Por otra parte, L' Camus, en ensayos posteriores, estableció resultados algo diferentes, según ellos; los valores varían entre:

mínimo	N	Máximo	promedio	valor probables
0.13	Ne	0.22	0.18	
0.10	Nt	0.18	0.15	0.17

El valor de N puede también ser deducido de la fórmula general de la elasticidad.

$$C = \frac{E}{2(1 + N)}$$

y si consideramos que  $E = 360.000 \text{ Kg./cm.}^2$ , que  $C = 132.000 \text{ Kg/cm.}^2$  resultará  $N = 0.37$ .

Sin embargo se puede considerar este valor como muy elevado, pues esta forma de obtención es poco exacta para cualquier material.

Prot en unos estudios sobre ensayos de cementos, publicados en Abril de 1947 explicó las dificultades inherentes a la medición del valor de coeficiente Poisson. Demostró así que había un factor de imprecisión de un 20 ó 25%, en mas o en menos.

El mismo autor, en una serie de 25 probetas encontró:

3 probetas que no presentaban hinchamiento sino en 1 cara

3 probetas que no presentan ninguna alteración.

13 probetas con una fase cóncava y otra convexa.

Por otra parte tiene también influencia en estas variaciones la forma en que se realiza el ensaye. En el caso de que el esfuerzo se verifique normal a la dirección del apisonado, el valor de N puede aumentar hasta en un 20%.

### T R A C C I O N

Siendo el concreto un material sumamente frágil, la ruptura ante sollicitaciones de tracción se produce rápidamente. El alargamiento que experimenta el concreto es también bastante pobre. Así, para un concreto de una edad de tres meses, y de un dosaje de 300 Kg. de cemento portland es aproximadamente de 8/100.000. Se puede deducir que el valor del alargamiento plástico, que se produce a partir del momento en que es nulo el alargamiento elástico, que se produce a partir del momento en que es nulo el alargamiento elástico, debe ser inferior a 8/100.000, ó 0.08 por metro.

El módulo de elasticidad longitudinal del concreto es de 200.000 Kg/cm.<sup>2</sup> en consecuencia, si el alargamiento es únicamente elástico hasta un momento inmediato a la ruptura, se puede escribir la fórmula:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{l}{E} \times \frac{E}{S}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{12}{200.000} \times \frac{6}{100.000}$$

Como el alargamiento es de  $8/100.000$  comprobamos que es  $2/100.000$  ó  $1/3$  mayor que el valor obtenido, que podemos suponer con razón se debe al alargamiento plástico anterior a la ruptura.

Se puede decir así que:

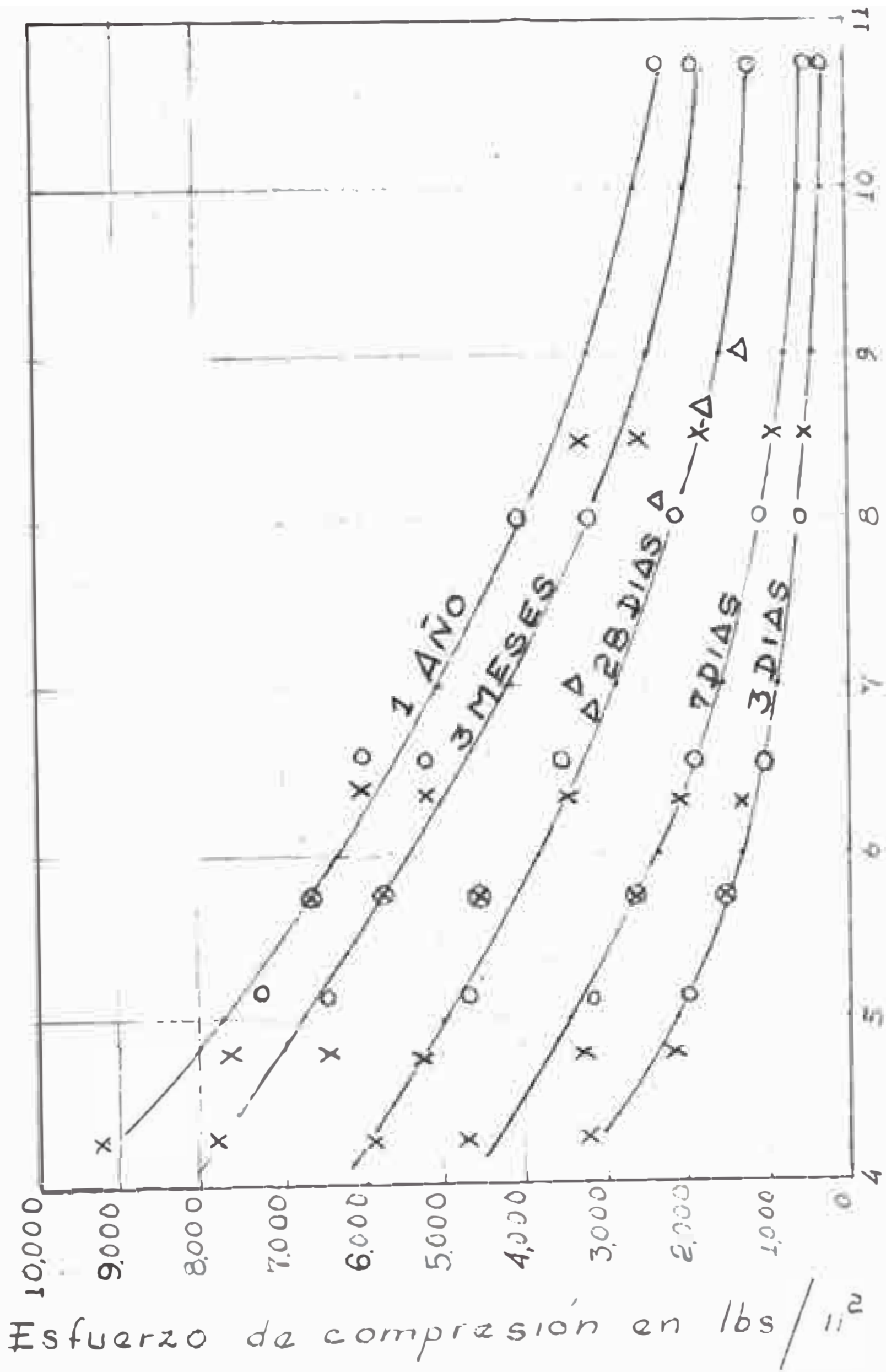
$$\frac{2}{100.000} \quad \frac{L}{L} \quad \frac{8}{100.000}$$

Al dibujar el diagrama de tracción del concreto se puede estimar el alargamiento plástico como  $3/100.000^e$  aproximadamente.

En ensayos realizados el año de 1939 en el Laboratorio de la Escuela Nacional de Puentes y Calzadas de París se demostró que los cementos naturales que tienen una mayor posibilidad de adaptación a las sollicitaciones exteriores de tensión, por lo que se fisuran con menor facilidad.

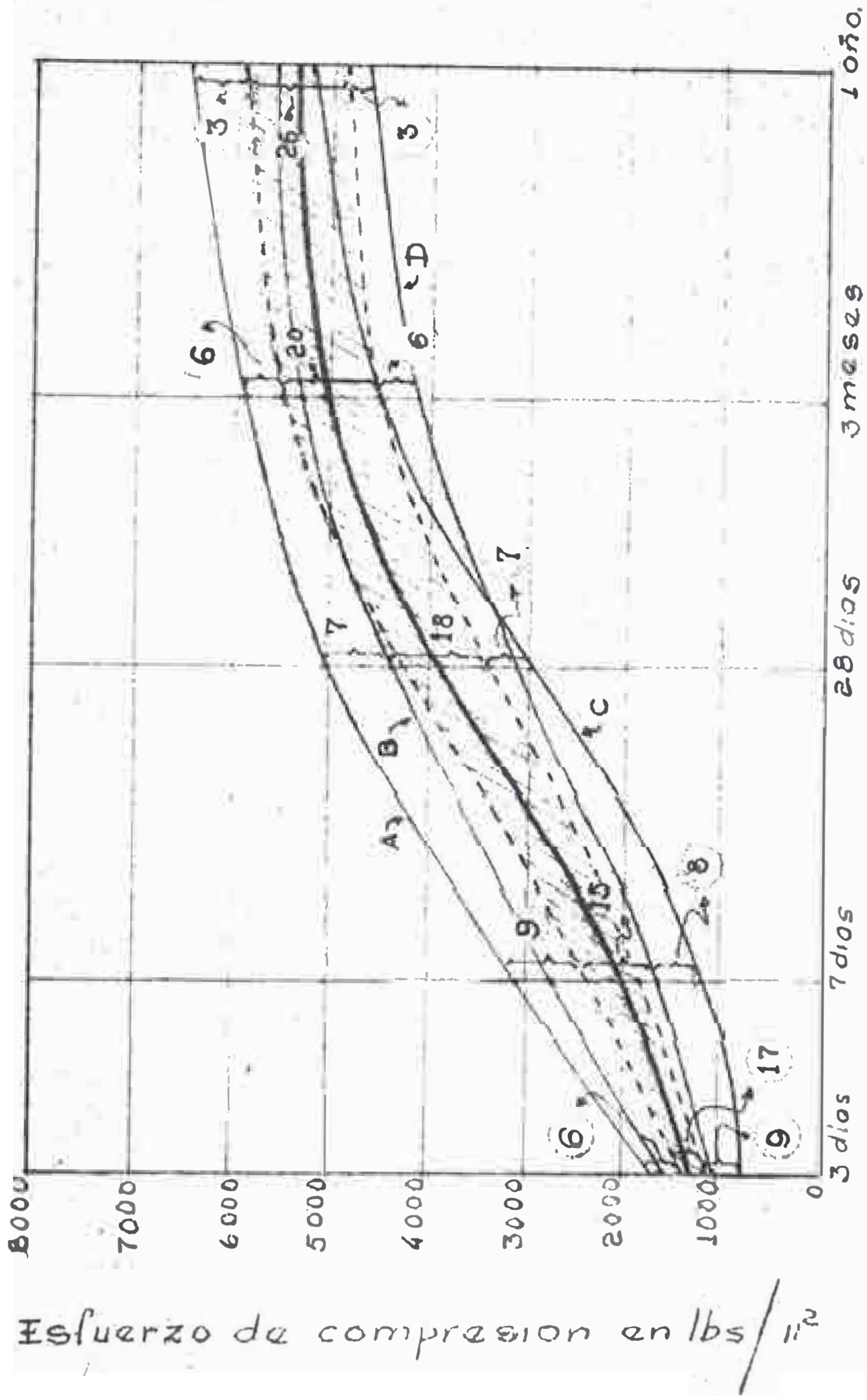
• ----- •

# INFLUENCIA DE LA EDAD EN LA RESISTENCIA COMPRESIVA



Agua en Galones U.S. por saco de cemento.

# EFECTO DE LA EDAD EN 32 CEMENTOS



Edad de la muestra

# INFLUENCIA DEL MEDIO DE CONSERVACION SOBRE EL ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO

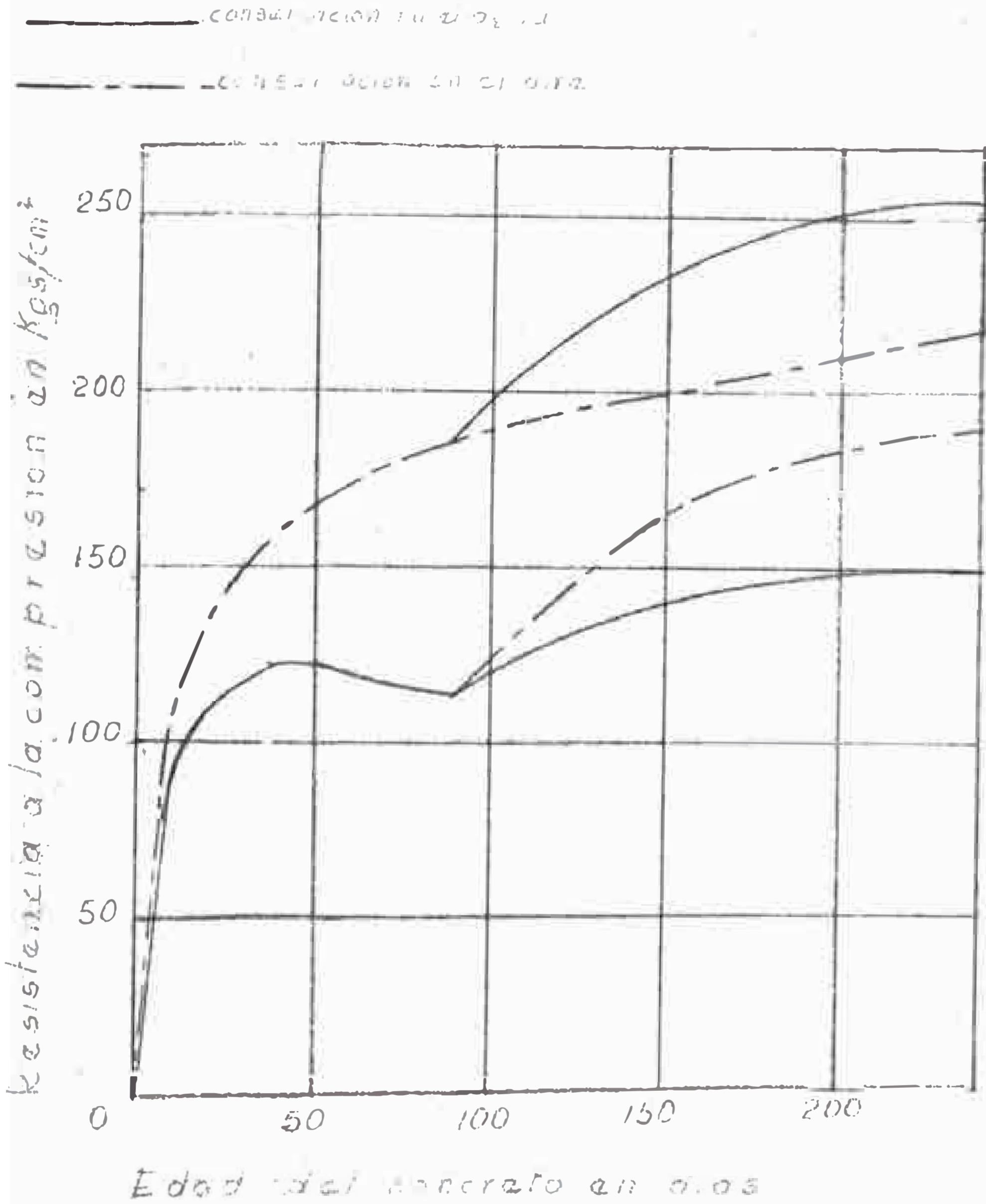
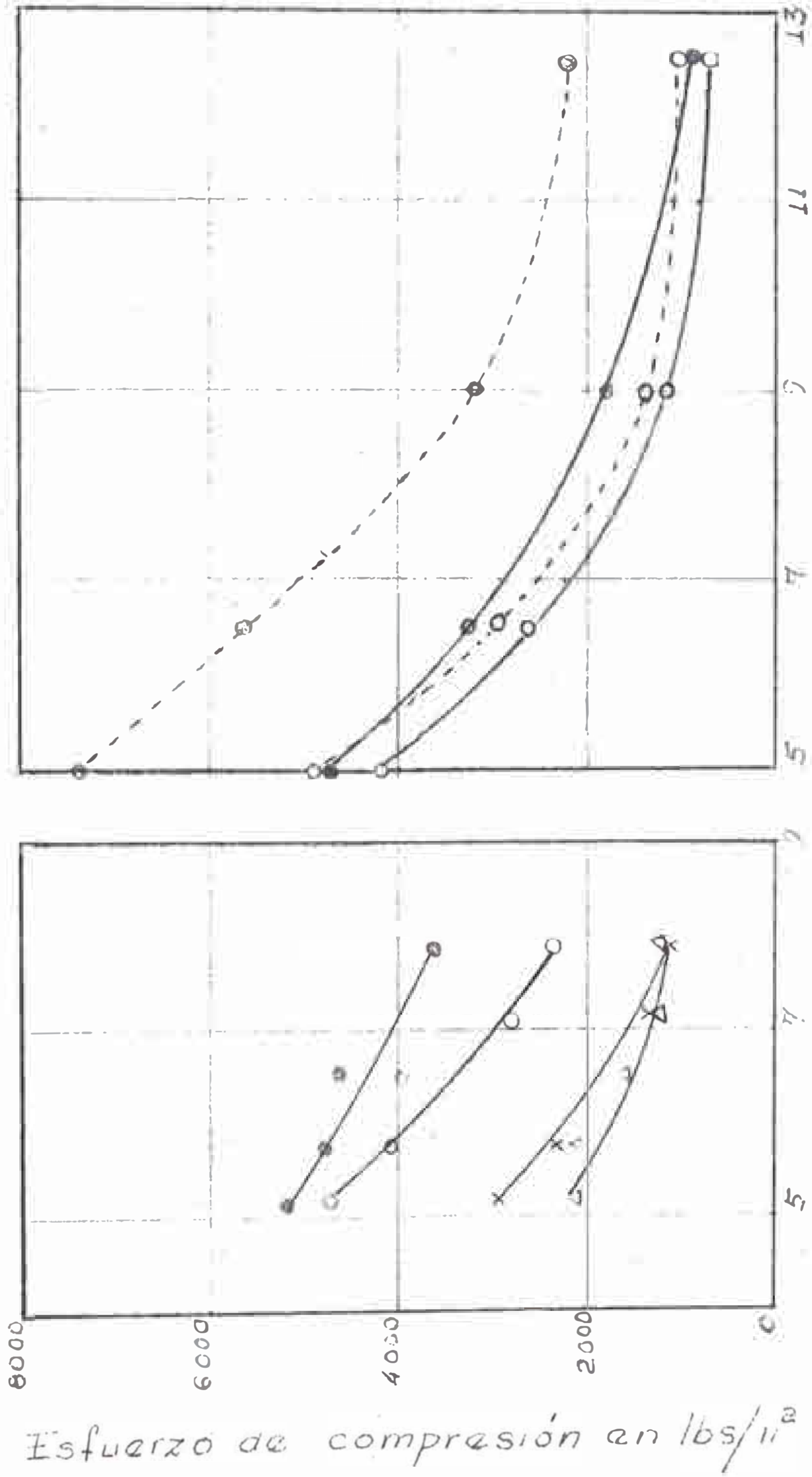


Fig 20

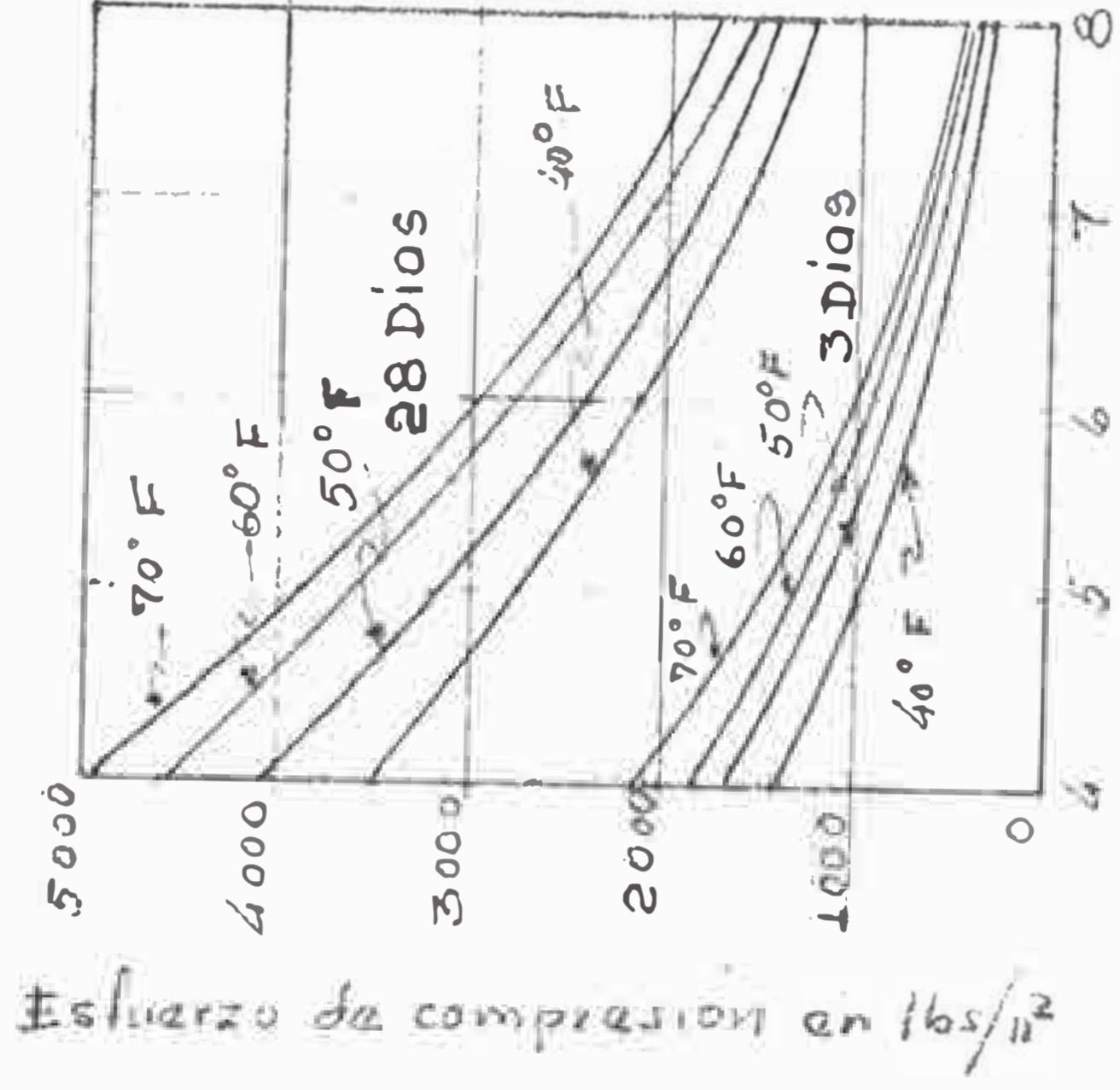
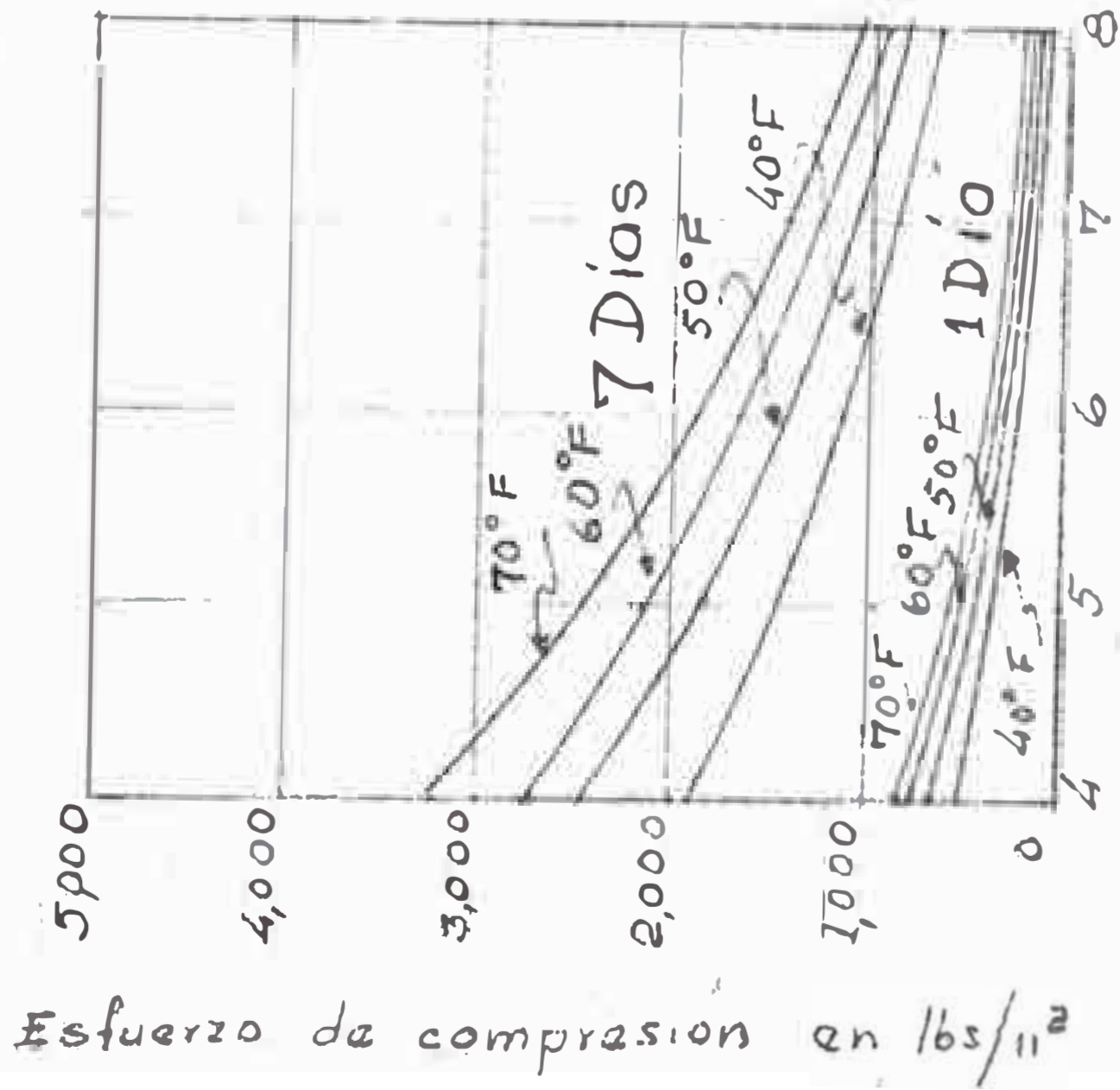
INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CURADO



Agua en galones U.S. por saco de cemento.

Agua en galones U.S. por saco de cemento.

# INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE CURADO



Agua en galones U.S. por saco de cemento.



LA COMPRESION . -

.. .. .

## LA COMPRESION

\*\*\*\*\*

La Resistencia del concreto a la compresión es la que generalmente sirve de base para los cálculos así como para la comprobación de las cualidades de resistencia mecánica de los aglomerados.

Las pruebas, al no poderse realizar en obras sobre los elementos mismos- dado el costo que alcanzarían- se realizan así sobre muestras del material tomado en estado fresco.

Este método no ofrece sin duda gran exactitud, pues, numerosos factores tienen directa influencia sobre la magnitud de los resultados.

Las normas de todos los países se han agrupado en dos tendencias; que divergen en el tipo de la probeta- cubo o cilindro- y en la forma de compactación -picado o apisonado-.

A continuación hablaremos brevemente sobre los principales factores que ejercen algún efecto en esta prueba.

\*\*\*\*\* 000 \*\*\*\*\*

## EL NUMERO DE MUESTRAS

Si un número  $n$  de probetas son ensayadas a compresión, en tiempos iguales se tendrá para cada una, una resistencia  $R_{1/n} R_{2/n} \dots R_{n/n}$

y si las ordenamos de mayor a menor se tendrá:

$$R_{1/n} \quad R_{2/n} \quad R_{3/n} \quad R_{4/n} \quad \dots \quad R_{n/n}$$

Sería muy lógico suponer para  $R_m$  (resistencia media) un valor tal como:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_{i/n}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{i/n}$$

ó sea que simplemente la resistencia media sería un promedio de las resistencias. Sin embargo en esta fórmula, si bien intervienen todas las resistencias, no considera la dispersión factor del cual depende en gran parte el coeficiente de seguridad del material. Se observa que para un aumento en el valor dispersivo, de las cargas de rotura de un concreto se produce una elevación del coeficiente de seguridad y que en cambio para un aumento de la  $R_m$ , el valor de dicho coeficiente se reduce.

Para cada  $R_m$  se tiene un valor de  $d$  (dispersión).

A fin de evitar esta diversidad de criterios se puede referir el coeficiente de seguridad a una resistencia característica  $R_c$ , lo que elimina la dispersión, implícitamente introducida a través de la mencionada resistencia específica.

$$R_c = \phi (R_m, d)$$

siendo:

$$d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{R_{m_i}}{R_i/n} - 1 \right)^2}$$

Planteado en esta forma el problema es hasta hoy casi imposible llegar a una solución rigurosa, tal es: encontrar para cada pareja de valores  $R_m$  y  $d$  un mismo valor de  $R_c$ .

Lo que obliga a estudiar la variación de la dispersión mediante un método aproximado, obteniéndose así, partiendo de valores arbitrarios, siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{2}{\sqrt{A}} \int_0^A e^{-n^2/dn} - d^n \right]$$

siendo

$$A = \frac{1}{(d + 0.95) \sqrt{2}}$$

Para distintos valores de  $d$  los valores de esta probabilidad son:

$d = 0.1$	-----	$P = 0.15$ aprox.	$\frac{1}{6}$
$d = 0.2$	-----	$P = 0.19$ aprox.	$\frac{1}{5}$
$d = 0.2$	-----	$P = 0.21$ aprox.	$\frac{1}{5}$

La pequeña variación de esta probabilidad alrededor del valor  $\frac{1}{6}$ , conduce a que en la práctica se pueda definir  $R_c$ , como aquella carga unitaria que goza de la propiedad, de que una probeta se rompa con carga inferior a  $R_c$ . La fórmula para seis ensayos será:

$$R_c = \frac{R \frac{4}{6} + R \frac{5}{6} + R \frac{6}{6} - \frac{R \frac{1}{6} + R \frac{2}{6} + R \frac{3}{6}}{10}}{2.7}$$

Y de un modo general si fueran tres las probetas se tendría:

$$R \frac{1}{3} \quad R \frac{2}{3} \quad R \frac{3}{3}$$

$$R_c = \frac{0.95}{0.95 + d} R_m$$

$$R_m = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n R \frac{i}{3}$$

$$d = \sqrt{\frac{1}{3} - \sum_{i=1}^n \left( \frac{R_m}{R \frac{i}{m}} - 1 \right)^2}$$

## INFLUENCIA DE LA RELACION ALTURA DIAMETRO

SE CORTA CON UN CILINDRO DE ACERO

Generalmente se emplean probetas cúbicas y cilíndricas. Ambas dan valores diferentes para un mismo material preparado y tratado en idéntica forma. Teóricamente ello se explica pues, al comprimir la fuerza no se distribuye uniformemente sobre la sección -caso ideal- dado que por efecto natural del rozamiento entre la platina de la máquina y la cara de la probeta impide la expansión lateral, propia de la compresión, en dichas zonas, Hecho que afecta la resistencia de la muestra ensayada, como se comprueba observando el tipo de rotura clásica, es decir falla el material, en las caras laterales, mientras resisten las caras de contacto.

Se ha observado en efecto, para el concreto como para otros sólidos que la ruptura tenía lugar por resbalamiento a lo largo de uno o varios planos haciendo un ángulo  $\alpha$  con la dirección del esfuerzo. Cuando la altura  $h' = \frac{d}{\text{tg}.\alpha}$  es más grande que la altura  $h$  de la pieza, el plano de ruptura corta de todas maneras las caras de apoyo y el resbalamiento no puede tener lugar; el tratamiento en tre las caras y el platillo interviene, dependiendo de éste, la carga de ruptura. Al contrario cuando  $h$  es mayor que  $h'$  se produce el resbalamiento. Para los concretos el ángulo alfa es generalmente cerca de  $60^\circ$  lo que dá  $h'$

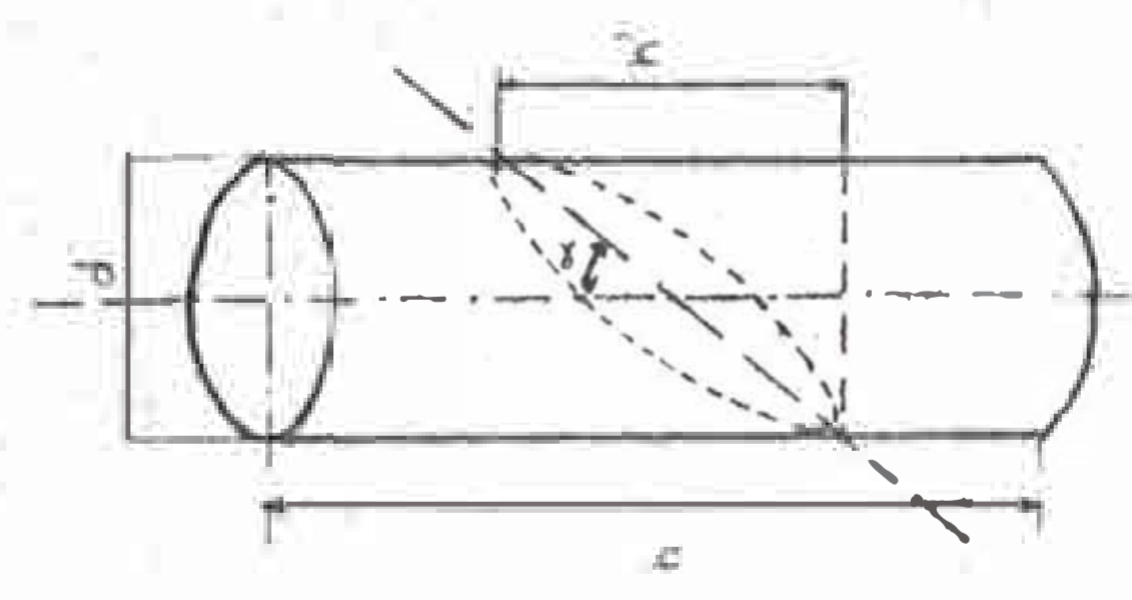
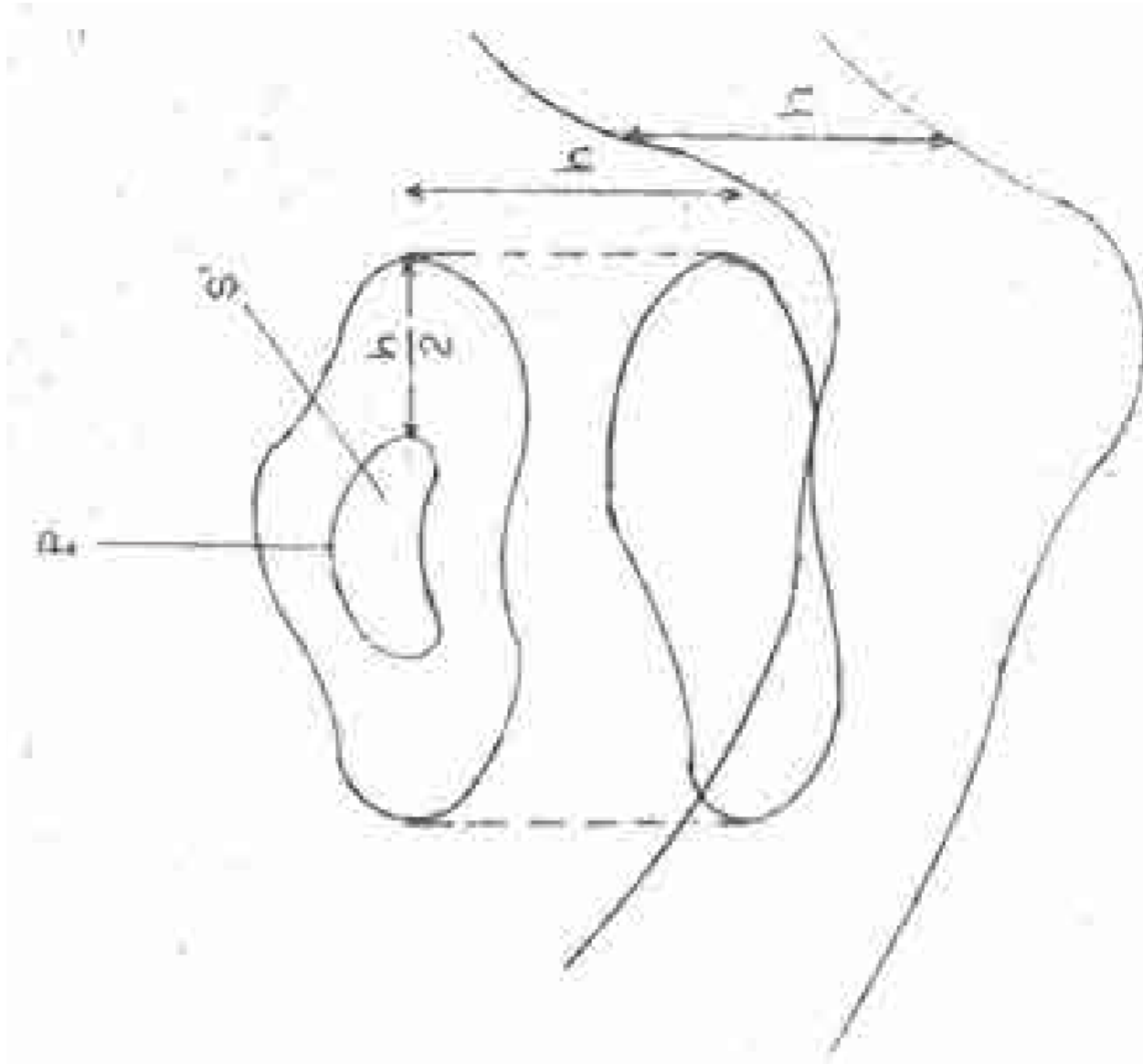
$2d$  y justifica la parte horizontal de la curva, que parte de la abscisa 2 en la figura

La letra R que caracteriza la resistencia a la ruptura para  $h' \neq 2d$  es pues aquella por la cual la ruptura se produce en las condiciones definidas por la teoría. La consideraremos como la cifra de resistencia intrínseca a la compresión.

Se ha tratado igualmente de reducir la acción del rozamiento recubriendo las faces en contacto con diferentes materiales. Se ha usado parafina, consiguiendo reducir la carga de rotura y obtener formas de ésta, racionales. Igualmente en Europa es muy usado el sistema de interponer entre la probeta y las platinas de la máquina un cartón de 3 mm. de grosor, perfectamente seco de dimensiones superiores a la muestra.

Finalmente puesto que no se pudo suprimir la causa del error, se trató de resolver la situación, haciéndolo tan constante como fuera posible. El conocimiento de la cifra obtenida gracias a una medición hecha en condiciones definidas y el conocimiento de la corrección a hacer en esta medida, pueden dar al constructor enseñanzas largamente suficientes para la práctica en el taller.

.....  
• ----- •





# INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PROBETA

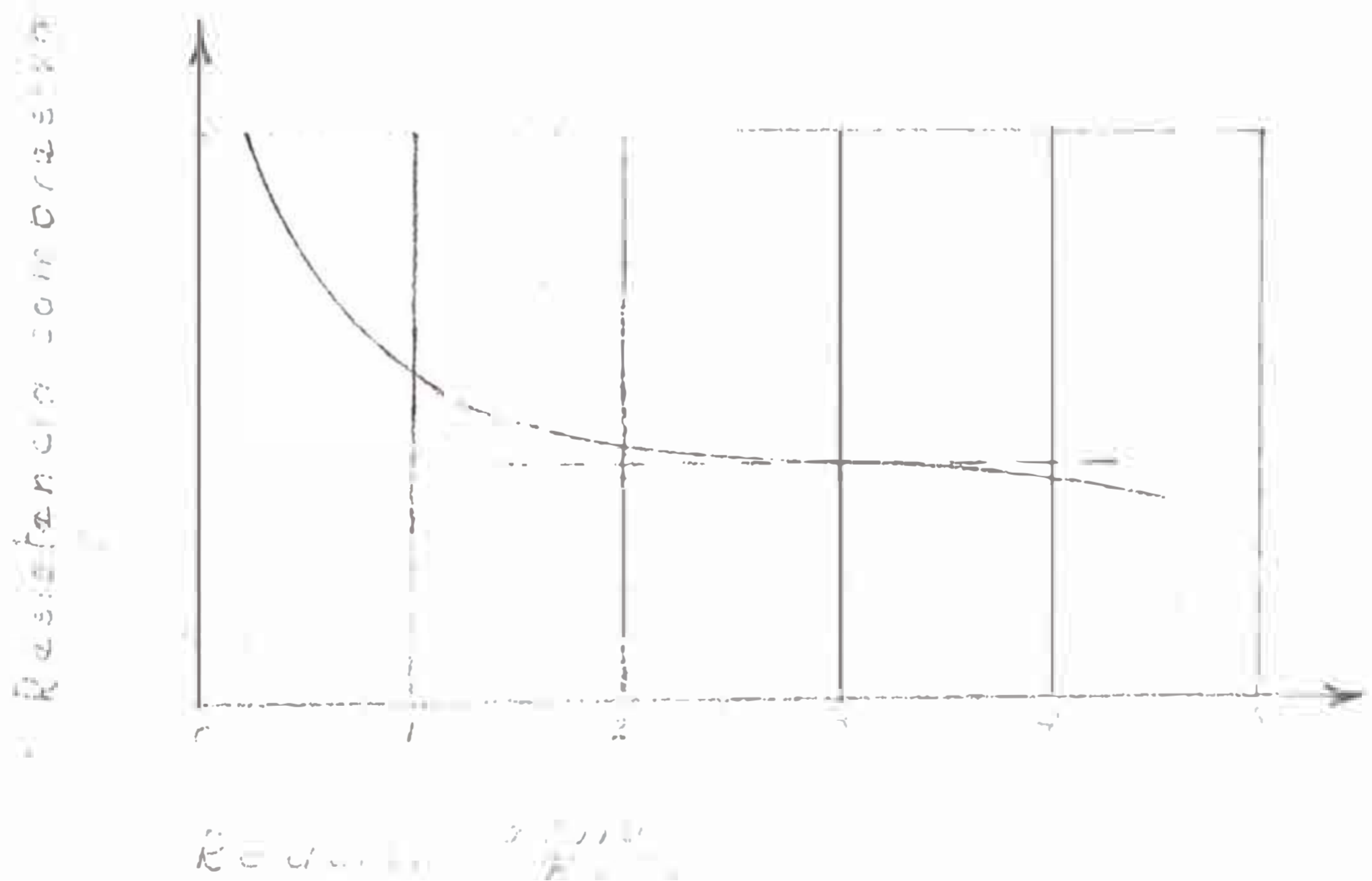
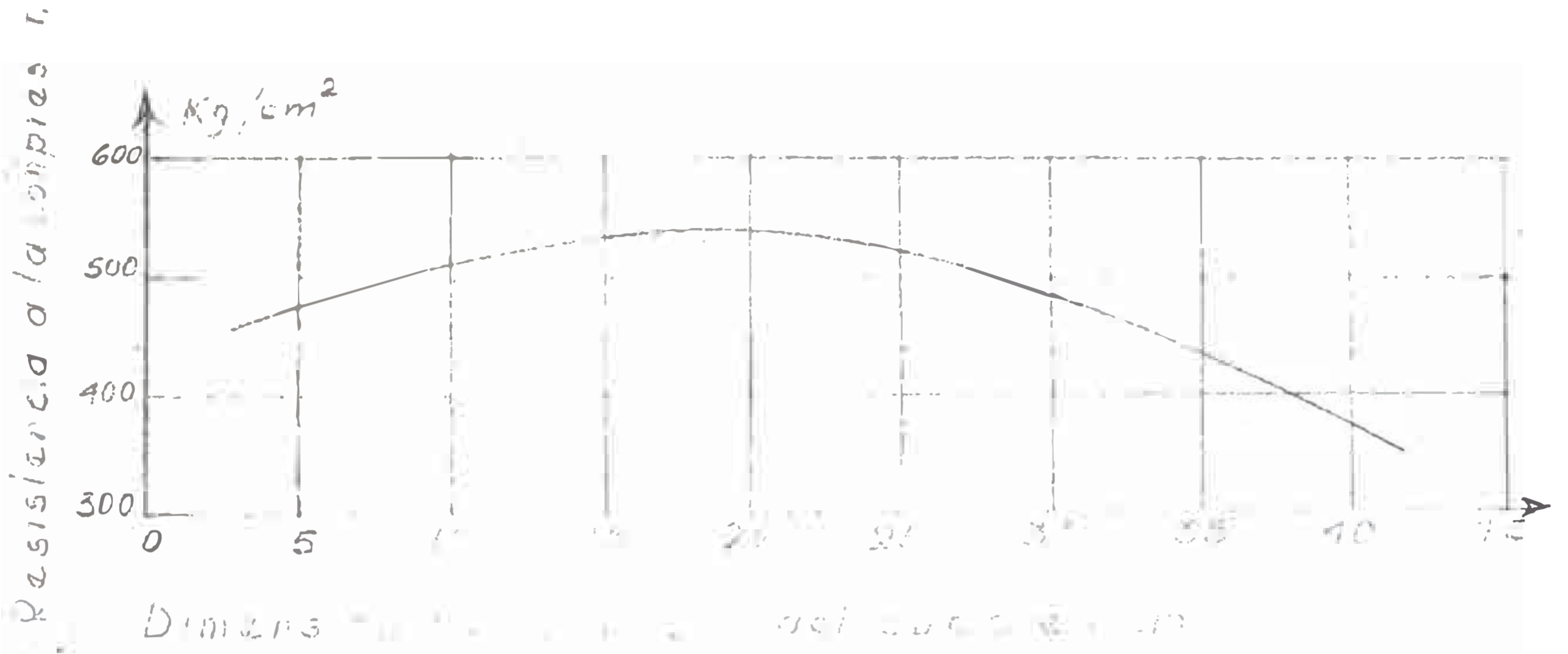


Fig 24

## RELACION ENTRE LAS PROBETAS CUBICAS Y CILINDRICAS

\*\*\*\*\*

Con el objeto de encontrar una relación que ligara los dos tipos de ensayo, se han realizado y se continúan realizando diversas experiencias.

Los ensayos correspondientes han de ser numerosos para dar mayor exactitud en los coeficientes y cubrir todas las particularidades que se presenten en el caso de los aglomerantes, en razón de: la relación agua-cemento, tipos de cementos, clases de áridos trabajabilidad y plasticidad; curado.

De los ensayos efectuados podemos mencionar los de Gonerman publicados en el año de 1925, con probetas de forma cúbica, cilíndrica y prismática, de dimensiones variables y con concretos de distintas dosificaciones y consistencia. Llegó así a fórmulas de tipo lineal cuyos coeficientes variado con la edad de la probeta. Posteriormente, en Viena, en el año de 1933 el austriaco Empeger repitió los mismos ensayos con diversidad de cementos, estudiando los resultados en conjunto, con los antes mencionados. Formuló así una relación de segundo grado en función de la forma de la probeta, con coeficientes constantes gracias a la calidad de los cementos empleados. En la misma ciudad y en 1938, Gyengo repitió las experiencias variando los áridos, sin precisar su influencia. Dió así una fórmula de primer grado en función de la forma de la probeta.

En el año de 1945, se realizaron continuos ensayos en el Laboratorio Central de Madrid, con áridos de distinto tipo llegando a fórmulas lineales en las que los coeficientes estaban en función del tipo de agregado.

Para agregados silíceos propusieron:

$$R = 0.82 \times R' - 21.2$$

y para los de piedra y caliza y arena silícea:

$$R = 0.67 \times R' - 17$$

Por otra parte l' Hermitte a propuesto una relación del tipo siguiente:

$$\frac{R_c \text{ cilindro}}{R_c \text{ cubo}} = 0.76 + 0.20 \log. \frac{(R_c \text{ cubo})}{200}$$

.....  
• ----- •

EFECTO DEL TAMANO DEL CILINDRO DE PRUEBA EN LA

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Tamaño del cilindro en pulgadas.	2 por 4	3 por 6	6 por 12	8 por 16	12 por 24	18 por 36	24 por 48	30 por 72
Resistencia relativa	108	106	100	96	92	86	84	82

FACTORES DE CORRECCION PARA CILINDROS DE CONCRETO

PARA UNA LONGITUD NO STANDARD

Relación Longitud - Diámetro	1.75	1.50	1.25	1.10	1.00	0.75	0.50
Factor de multiplicación	0.98	0.96	0.94	0.90	0.85	0.70	0.50

## RELACION ENTRE EL DIAMETRO DEL AGREGADO Y LA PROBETA

Para que la resistencia de las muestras de concreto, sometidas a compresión en las máquinas de prueba, pueda servir de índice de la calidad del mismo así como del elemento con el que se construye es preciso que las condiciones de puesta en el molde sean iguales. En ese sentido el efecto pared o de repulsión de los granulos de agregado por las paredes del recipiente o encofrado ha de ser el mismo en ambos casos. Es decir, el radio medio de los elementos fabricados debe ser igual al de las probetas de ensaye.

Conocemos que el radio medio se obtiene de la relación:

$$R = \frac{\text{Volumen a llenar}}{\text{Superficie del elemento}}$$

El tamaño máximo del agregado "D" debe cumplir, por otra parte la siguiente relación:

$$0.8 < \frac{D}{R} < 1$$

Aplicándolo al caso de los cilindros normales de prueba ASTM usados para agregados menores de 2" tenemos:

$$R_m = \frac{2\pi R^2 h}{2\pi R (R + 2h)} = \frac{R h}{R + 2h}$$

Considerando las dimensiones de 15 x 30 obtenemos un valor de  $R_m = 45$  y podemos así obtener el diámetro máximo de los agregados:  
 $D = 45 \times 1 = 45\text{mm}.$

## INFLUENCIA DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LA MUESTRA

El estado de la superficie de las probetas tiene mucha importancia sobre la resistencia del concreto a la rotura. Se estima que si las faces son rectificadas convenientemente la carga de rotura aumenta en un 20%. Mr. Buisón del Laboratorio Veritas ha constatado que probetas de un mismo concreto que se rompían con 315 kilos al ser rectificadas aumentaban su resistencia a 360 Kg/cm.<sup>2</sup>.

Es recomendable el rectificar las faces en el Laboratorio haciendo uso de un cemento de endurecimiento rápido. Sin embargo se han propuesto diversas formas de rectificación, con mayor o menor efecto según se puede apreciar en el cuadro correspondiente.

### FORMA DE FABRICACION.-

Ultimamente mucho se ha debatido sobre la forma correcta de llenar las probetas de concreto. Sin embargo, lo más racional parece ser, que estas sean llenadas en forma lo más idéntica posible a las condiciones reales de puesta en obra.

En los EE. UU. y ultimamente en Inglaterra se han hecho estudios con probetas vibradas, haciendo uso de mesas o de vibradores de aguja delgados. Este procedimiento puede ser recomendable para concretos vibrados, superficialmente o con pervibrador respectivamente. Pero es indispensable el estudiar la similitud en los aspectos de radio de acción del vibrador, amplitud de vibración y duración de la misma. En otra forma los resultados no solamente pueden ser desiguales sino también contraproducentes.

La compactación por pisón no es muy recomendable por no identificarse con la realidad de las obras. Con un apisonado enérgico bajo una presión elevada se contribuye en mucho en aumentar la resistencia del concreto. Si tal cosa no se realiza en el trabajo los resultados del laboratorio serán erróneos.

Finalmente cabe decir que el sistema normalizado de picado, con un fierro redondo, si es conveniente para los morteros ricos en arena, no lo es para los que tienen un alto porcentaje de piedra, pues propicia formas de colocación que dejan vacíos.

• ----- •

EFEECTO, TAMAÑO Y FORMA DE ESPECIMEN SOBRE LA RESISTENCIA A LA

COMPRESION DEL CONCRETO

Tipo de muestra	Diámetro pulgadas	Longitud pulgadas	Relación entre long.y diám.	Resistencia relativa en porcentaje, com- parada con un cilindro de 6 x 12 pulgs.
	6	3	0.5	178
	6	6	1.0	115
	6	9	1.5	107
	6	12	2.0	100
Cilindro	6	15	2.5	97
	6	18	3.0	95
	6	24	4.0	90
	8	16	2.0	96
	6	12	2.0	93
Prisma	8	16	2.0	91
	6	6	1.0	113
Cubo	8	8	1.0	115



## EFECTOS DE LAS CONDICIONES DE LOS EXTREMOS ANTES DE PONERLE

### CUBIERTAS SOBRE LA RESISTENCIA O COMPRESION

T I P O D E T A P A	3000 Lbs - Concreto	8000 Lbs - Concreto	8000 Lbs - Concreto		
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
a	100	99	102	99	93
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
b	97	98	94	101	89
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
c	88	90	93	75	56
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
d	97	85	88	88	34
Yeso de París	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!
	!	!	!	!	!

NOTA. -

L A F L E X I O N

.....

## EL ENSAYE A FLEXION

Los ensayos a flexión se han generalizado vastamente por ser factible deducir de ellos las resistencias a tracción de los aglomerados. En efecto como la resistencia a la compresión es, lo menos, diez veces superior a la tracción en los concretos, la ruptura de por flexión de una viga sin armar será una ruptura por tracción.

Este ensaye, propicaido por Feret, se realiza como índice de la resistencia de tracción de cementos utilizando probetas de mortero rotas por una máquina de Michaelis modificada. En Suiza está así normalizado. Los departamentos de Caminos de diferentes estados de Norte América han construído máquinas fáciles de manejar y transportar, entre ellas destacan las de la Comisión de Caminos del Estado de Iowa y la de la División de Caminos del Estado de Illinois.

El obtener los resultados de la prueba en esas máquinas es sumamente fácil. En la máquina de Illinois, desarrollando una ecuación del momento tenemos la resistencia a la tracción como  $R_t = \frac{611}{d^3}$  siendo  $l$  la longitud,  $P$  la carga aplicada y  $d$  la dimensión de la sección. En la máquina de Iowa por su distribución dicho valor es muy practico pues  $R_t = P$ .

En Francia el profesor Coquot, estableció la relación experimental  $\frac{3.6 M_r}{b^3}$  en la que  $M_r$  es el momento flexor que provoca la ruptura y  $\frac{b^3}{3.6}$  es el módulo de la sección

cuadrada de lado b.

Al aplicar este Módulo Coquot considero que si bien en cuerpos que se encuentran dentro del dominio elástico el módulo de la sección cuadrada es de  $\frac{b^3}{6}$  en los cuerpos que se comportan como plásticos este factor causa determinado error. Por eso, después de estudios experimentales propuso la relación anterior, aprobada por las normas de la AFNOR.

En general la resistencia a la flexión se calcula como carga de rotura que es la tensión de tracción de la fibra más alejada del plano de aplicación de las cargas. Utilizando al efecto la fórmula clásica de flexión simple.

Cabe recordar que estos valores no son reales pues dicha fórmula se basa en la hipótesis de Bernuelli por la que la sección plana antes de la flexión continúa siéndolo después de la deformación y en la ley de Hooke por la que las tensiones varían en forma proporcional a las deformaciones. Condiciones estas que no se cumplen en un material como el concreto. Se puede estimar así que el valor obtenido por este método puede llegar a duplicar la resistencia real del concreto.

## INFLUENCIA DE LAS DIMENSIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL.-

Las dimensiones de la sección transversal de la probeta de ensaye tiene directa influencia en la exactitud de los resultados logrados. De numerosos estudios se puede colegir:

- 1.- Que en probetas de mayor sección transversal es también mayor la influencia de la retractación y las tensiones iniciales por lo que en los resultados las resistencias serán menores que lo que debían.
- 2.- Que a mayor sección transversal es también mayor el tiempo en que se manifiesta en el núcleo la acción de las sollicitaciones exteriores.
- 3.- No debe ser olvidado el efecto pared de los agregados y la superficie de la probeta, debiéndose así relacionar ambos factores evitándose secciones muy pequeñas para determinados diámetros de agregado.
- 4.- La homogeneidad que estudiaríamos en el caso del ensaye de compresión se manifiesta también en este caso de acuerdo con el tamaño de la sección transversal. Por lo que es necesario desechar dimensiones extremas.

En el Bureau of Public Roads de los Estados Unidos se han realizado numerosos ensayos llegándose a las siguientes conclusiones; A) Que las vigas de 15 cm. de sección cuadrada se adaptan mejor para ensayos de concreto con agregados de 2 cm. pues las

mismas dan resultados menos concordantes con áridos de mayor tamaño. B) Que en vigas de 20 cm. de sección cuadrada se obtienen mayores diferencias sobre el promedio que en las vigas de 15 cm. C).- En las vigas de 15 y 20 cm. de profundidad en las que se aumentó el ancho, formando una sección rectangular, no se encontró mejoramiento de los distintos valores con respecto al promedio. D) Es conveniente que la sección cuadrada de la probeta tenga una longitud de por lo menos tres veces el mayor tamaño del agregado.

#### EFEECTO DEL TIPO DE CARGA:

Las probetas para el ensaye a flexión se prueban en forma de viga. Pueden ser así cargadas en distintas formas. Como viga empotrada cargada en un extremo; como viga apoyada en los extremos con una carga actuando en el centro; como viga apoyada en los extremos y con dos cargas aplicadas en los tercios de la luz.

Se han realizado numerosos estudios, desde todos los ángulos desde los que se puede enfocar el problema de determinar la forma de carga mas apropiada. Entre ellos destacan los realizados por la Asociación de Cemento Portland de los Estados Unidos. En ellos se examinaron numerosos ensayos realizados con los tres tipos de carga. Se obtuvo como conclusión que las vigas empotradas cargadas en un extremo y las apoyadas en sus dos extremos con una carga central, ofrecían los mismos resultados. Mientras que la apoyada en sus extremos cargada en los tercios de la luz daba resultados algo mas

bajos. Esto se explicaba fácilmente si consideramos en primer lugar que en este caso la rotura se producía en la sección mas débil dado que el momento flexor máximo es constante en el tercio central de la viga y la resistencia de la misma varía a lo largo de su longitud. Además como bien se sabe en la parte central se origina una tensión adicional por la acción de los apoyos ante la deformación de la muestra bajo la acción de la carga.

Se ha estudiado también estos factores con el auxilio de modelos transparentes y de la luz polarizada. Se ha podido apreciar de esa manera en forma clara la distribución de esfuerzos y la magnitud de los mismos dejando claramente establecido que la carga central produce una tensión máxima de 0.843 de la calculada mientras que con cargas en los tercios se obtiene un valor de 0.936. De esta manera la tensión real de una viga cargada en los tercios será 1.11 la de una viga, igualmente calculada pero cargada en el centro.

Modernos estudios basados en métodos estadísticos realizados por el investigador norteamericano John Tucker y publicados en el año de 1941 por el Journal del ASTM ratificaron ampliamente las conclusiones que hemos expuesto anteriormente.

El ASTM propuso en el año de 1934 el método de prueba por el que la carga se aplicaba al centro de la luz. Sin embargo, luego de las investigaciones que hemos reseñado, en el libro de 1942

establecía en forma definitiva el ensaye con dos cargas en los tercios de la luz. En Francia se emplean probetas empotradas en los extremos con una carga central. Otros países, incluyendo a los que siguen el método de Illinois, usan distintos sistemas. Por ello cabe señalar la necesidad de uniformar en escala internacional este tipo de prueba. En un primer paso a tal objetivo, la Asociación Internacional de Laboratorios ha propuesto la generalización de ensayes.

#### EL FACTOR FABRICACION.-

Al considerar la fabricación de la muestra hemos de estudiar separadamente 1) la mezcla de los componentes en la revolvedora y 2) la puesta del concreto fresco en el molde.

Ingenieros Austrialianos han estudiado detenidamente el efecto del tiempo de duración de la mezcla y el de la forma de introducir los materiales en la máquina. Definieron así que las resistencias aumentaban conjuntamente con el tiempo que permanecían los materiales revolviéndose en la concretera, siempre dentro de un límite racional. Pero la novedad de su investigaciones estaba indudablemente en la determinación de que las mejores resistencias a la tracción, se obtenían al introducir en la mezcladora primeramente los finos, luego el árido grueso y finalmente el agua. Del gráfico que obtuvieran y que publicamos como No.      en el lugar correspondiente, se nota el aumento apreciable de resistencia sobre otros tipos de mezclas. Sin embargo el método austrialiano propuesto es poco prác-



tico dada la posibilidad de que los finos se adhieran a las paredes de la máquina y otros factores; los que pueden ser superados del estudio de la máquina en sí misma y de sus órganos de revolución.

En lo referente a la puesta en el molde del concreto es necesario recordar lo dicho con respecto a la compresión. No se conoce otro estudio al respecto que el original de Teller quién utilizó el picado con varilla, con paleta y con pisón. Recomendando por su uniformidad, promedios de resistencia y facilidad de manejo los dos primeros. El ASTM recomienda la colocación del concreto en dos capas iguales apisonadas por 50 golpes de varilla por pie cuadrado. Golpeando con la paleta las caras laterales y nivelando la superior que luego es aliada con una talocha de corcho.

#### INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE APLICACION DE LAS CARGAS.-

La velocidad de aplicación de la carga sobre la probeta de concreto ensayada a flexión tiene determinada influencia sobre la resistencia efectiva del mismo. De la misma manera que influye en otros tipos de sollicitaciones mecánicas.

En estudios realizados por el americano Teller se determinó que la carga **ideal** era la de 14 Kg./cm.<sup>2</sup> por minuto. Si bien no se encontraron mayores variaciones al aumentar hasta de tres a cinco veces la velocidad de la carga en los tres primeros cuartos del ensaye. Sin embargo dicho valor debe ser considerado como límite.

El ASTM determina una velocidad de carga de 150 libras por pulgada cuadrada por minuto equivalente a  $10.5 \text{ Kg./cm.}^2$  por minuto. Autrozando mayores velocidades en la primera mitad del ensaye.

En el laboratorio de caminos del estado de Illinois se encontró que aumentando cuatro veces la velocidad de aplicación de la carga la resistencia de las probetas aumentaban un mínimo del 20%.

#### EFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE.-

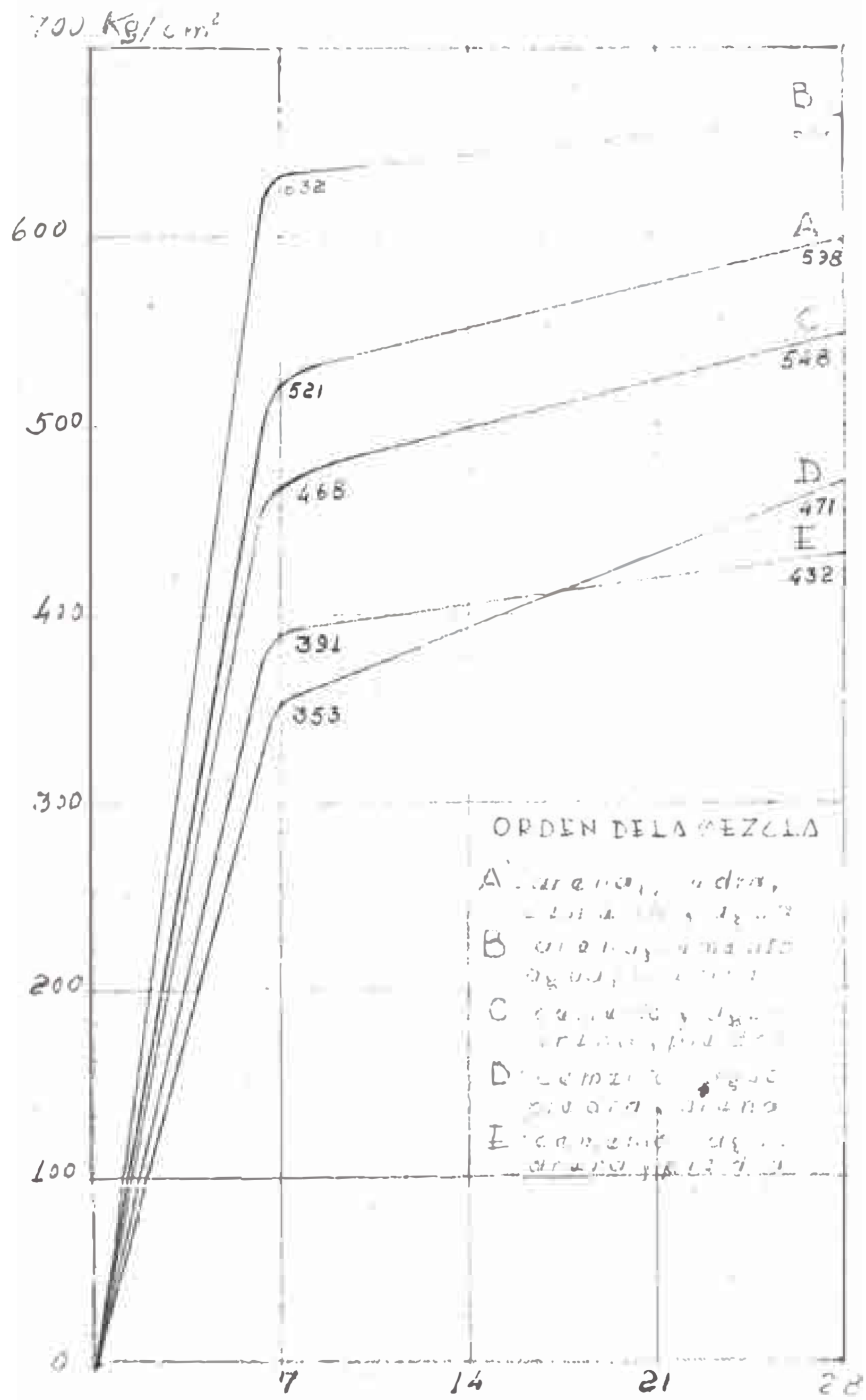
La temperatura tiene también directa influencia en el resultado del ensaye a flexión de las probetas de concreto. Al efecto los profesores de la Universidad de Texas: Parkinson, Finch y Roff estudiando el efecto de la temperatura en las resistencias mecánicas de los cementos establecieron, sobre muestras de mortero 1:2, que a los 14 días la carga de rotura de una probeta ensayada a la temperatura de  $38^{\circ}$  disminuía en un 20% que si era rota en una temperatura  $17^{\circ}\text{C}$  menor.

La influencia de la humedad de la muestra es también de gran importancia, pues, además de su influencia en la correcta hidratación del cemento evita la formación de pequeños esfuerzos de tracción en la superficie. Los que aparecen generalmente

cuando la superficie de la muestra se seca, mientras en su interior guarda cierta humedad, causando una disminución en la resistencia. Por ello se recomienda que vigas secas, sean conservadas en humedad un mínimo de 48 horas antes de la prueba.

• ----- •

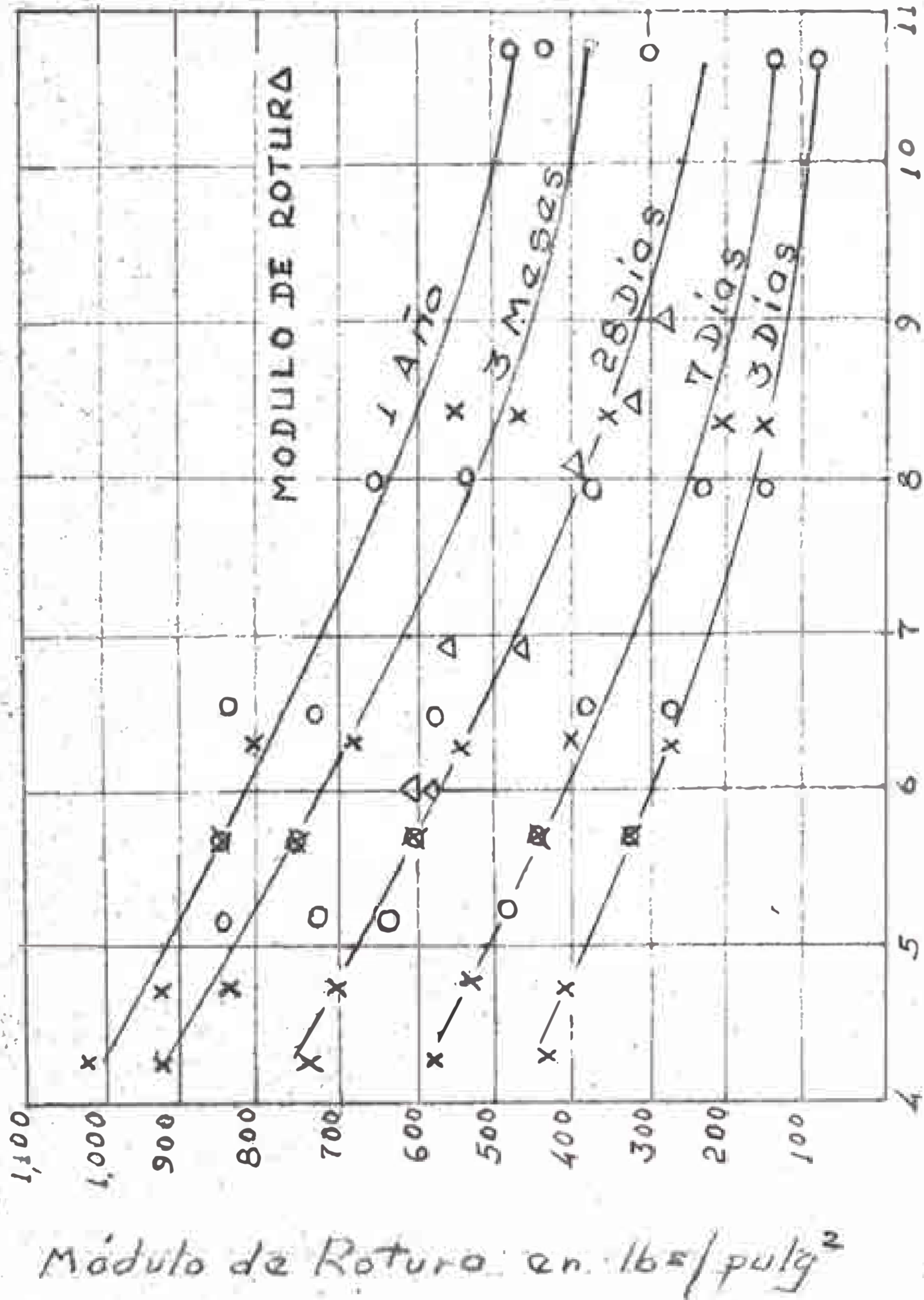
# INFLUENCIA DEL ORDEN DE MEZCLA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCION



Laboratorios Rocca Limitado en Malabar

Fig. 26

EFEECTO DE LA RELACION % EN LA RESISTENCIA A LA FLEXION



Agua en galones U.S. por saca de cemento

ESTUDIO DE LA RELACION COMPRESION FLEXO-TRACCION

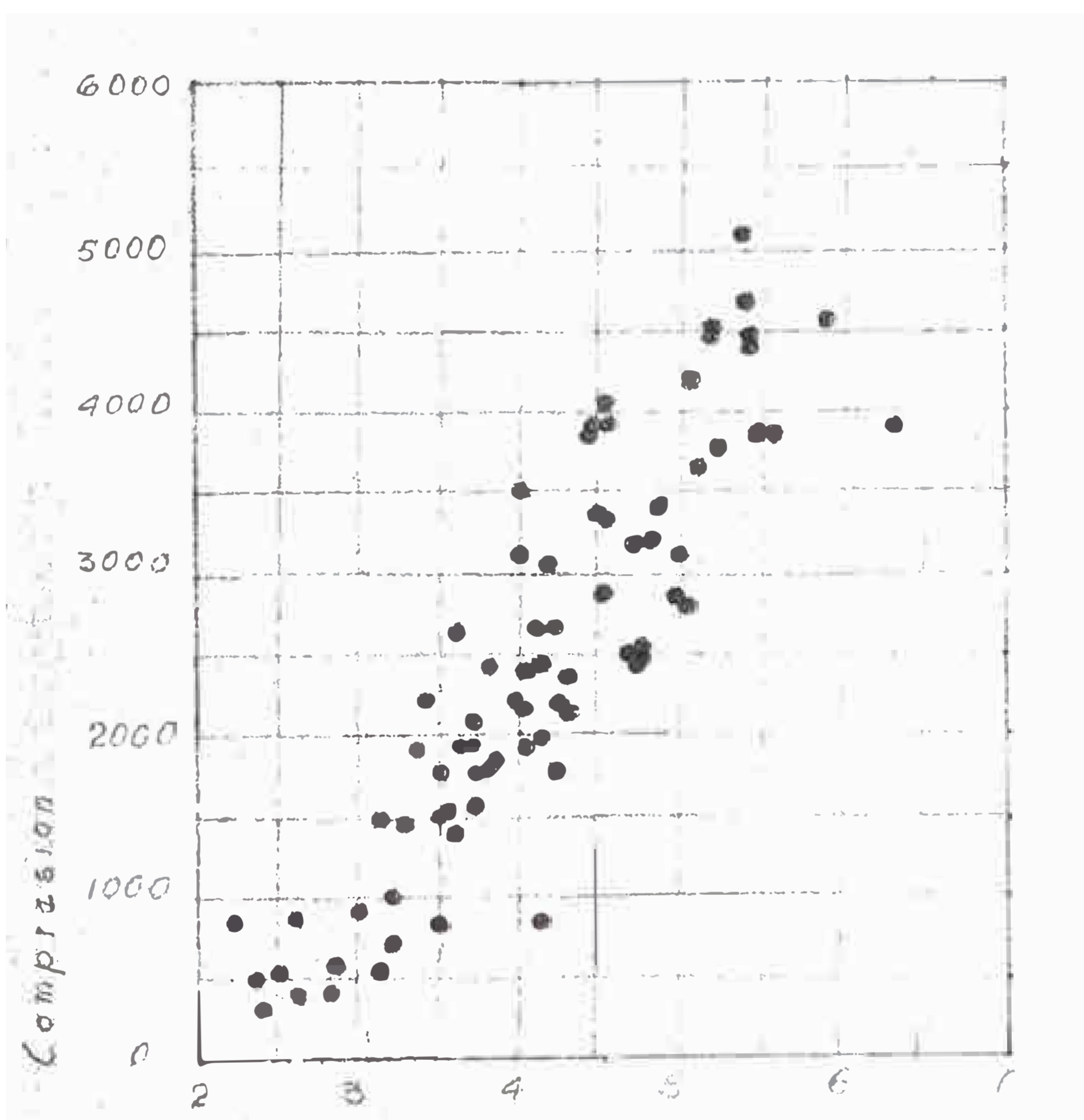


Fig 28

LA TRACCION

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

## EL ENSAYE DE TRACCION EN LAS PASTAS

\*\*\*\*\*

Durante muchos años el ensaye a tracción del mortero de cemento ha sido un índice característico de la bondad del aglomerante y de los concretos que con él se fabricaban. Este ensayo, casi desde los inicios de la industria de la cal hidráulica, fué realizado usando probetas de forma de ocho, que eran aprisionadas por dos abrazaderas que trasmitían la tensión de la máquina. Este método, en actual uso en muchos países, no refleja las verdaderas condiciones resistentes de las pastas ni guarda tampoco relación con la de los concretos. Se puede decir así que luego de una larga etapa de confrontación -en la que no fue desterrado por las desventajas e incertidumbres propias de su opositor: el método de la flexo-tracción- ha de dejar paso hoy al método brasilero de compresión diametral de los cilindros. Proceso racional, que como se desprende de las tablas Nos. se ajusta mejor a las condiciones reales de trabajo.



## ESTUDIO DE LA PROBETA CLASICA



En el año de 1895 el investigador frances M. Durand-Claye publicó en Annales des Ponts et Chaussées un estudio analítico de la repartición de tensiones en la briqueta de tracción. En él se consideraba un prototipo de la misma, tal como se representa en la figura.

Los puntos denominados como M y N donde se aplican las fuerzas exteriores, por la acción de las mismas se desplazan hasta los puntos M' y N' en el mismo sentido vertical en que se manifiestan las cargas, en relación con el eje fijo AB. Por la deformación de la muestra las líneas originales NB, NC y NA pasan a ocupar el lugar de las marcadas como N'B, N'C y N'A. Las fuerzas a lo largo de esas líneas son proporcionales a las deformaciones: N' B-NB; N'C - NC; y N' A-NA respectivamente. Relaciones similares se presentan en todas las líneas trazadas desde M. Las fuerzas totales en los puntos A, C y B son así la suma de las componentes verticales de las fuerzas en cada punto, levantadas

desde los puntos exteriores a los dos puntos de aplicación M y N.

Denominamos como  $a$ ,  $b$  y  $d$  a los tres ángulos formados respectivamente por las tres líneas trazadas desde  $N'$  a B, C, y A con la vertical.

La prolongación de las líneas ND, NB, NC, NA por el desplazamiento  $NN'$  es como  $l$ ,  $\cos a$ ,  $\cos b$  y  $\cos d$  respectivamente. Siendo la prolongación proporcional de estas líneas la prolongación total dividida entre la longitud de la línea. De esta manera la prolongación proporcional de estas líneas será como  $l \cdot \cos^2 d$ ;  $\cos^2 b$  y  $\cos^2 a$  respectivamente.

Pero siendo la fuerza proporcional a la prolongación las fuerzas a lo largo de las líneas NB, NC y NA son como los cuadrados de los cosenos de los ángulos que forman con la vertical. Las componentes verticales de estas fuerzas, que son respectivamente iguales a las fuerzas inclinadas dentro del coseno del ángulo, producidas por la acción de la fuerza externa aplicada en N en los puntos B, C y A son el una para el otro como  $l$ ;  $\cos^2 a$ ;  $\cos^2 b$ ;  $\cos^2 a'$ , respectivamente.

La fuerza total en cada uno de esos puntos es sin embargo la suma de las dos fuerzas levantadas desde la fuerza externa en M y N. Así pues se puede deducir que si se representa por  $R$  la intensidad total de las fuerzas verticales en A ó B y por  $r_0$  la intensidad total de las fuerzas verticales en C podemos escribir:

$$\frac{R}{r_0} = \frac{-\cos^3 a + \cos^3 a'}{2 \cos^3 b} \quad (A)$$

La ley de distribución de la fuerza sobre la sección AB, obtenida de la ecuación (A) se acerca bastante a la de una parábola, partiendo de esta suposición y como el área de la porción exterior del rectángulo, incluyendo el segmento parabólico, es un tercio de la del rectángulo, obtendremos el siguiente valor para la fuerza media sobre la sección:

$$\bar{r} = \frac{P}{s} = r_0 + \frac{1}{3} (R - r_0) = \frac{1 + 2 \frac{r_0}{R}}{3} R \quad (B)$$

En la fórmula anterior P es la fuerza total de la briqueta, s : su área seccional. En el caso de la briqueta de tipo europeo y americana los valores de  $\frac{R}{r_0}$  de la ecuación (A) son respectivamente iguales a 2.04 y 2.12 y los valores de la fuerza máxima R de la ecuación (B) serán 1.52 r y 1.54 r.

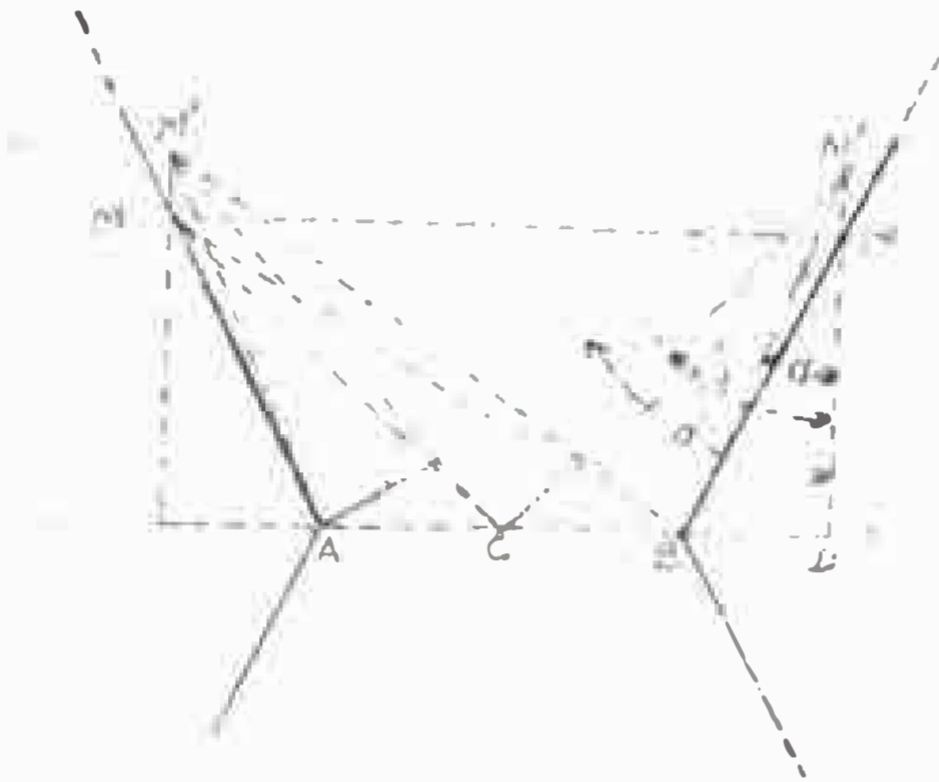
En el año de 1913 E. G. Coker publicó en el Proc. International Assoc. form. Testing Materials un estudio de la probeta de cemento usada para los ensayos de tracción, estudiándola bajo el aspecto de unapieza extendida con un cambio brusco de sección. Como en la mayoría de las investigaciones de este tipo hubo de agotar largos procesos de experimentación llegando a la conclusión que la fatiga máxima se produce en los puntos extremos donde la sección es mas reducida y que dicha fatiga es 1.75 veces la fatiga me

media sobre toda la sección .

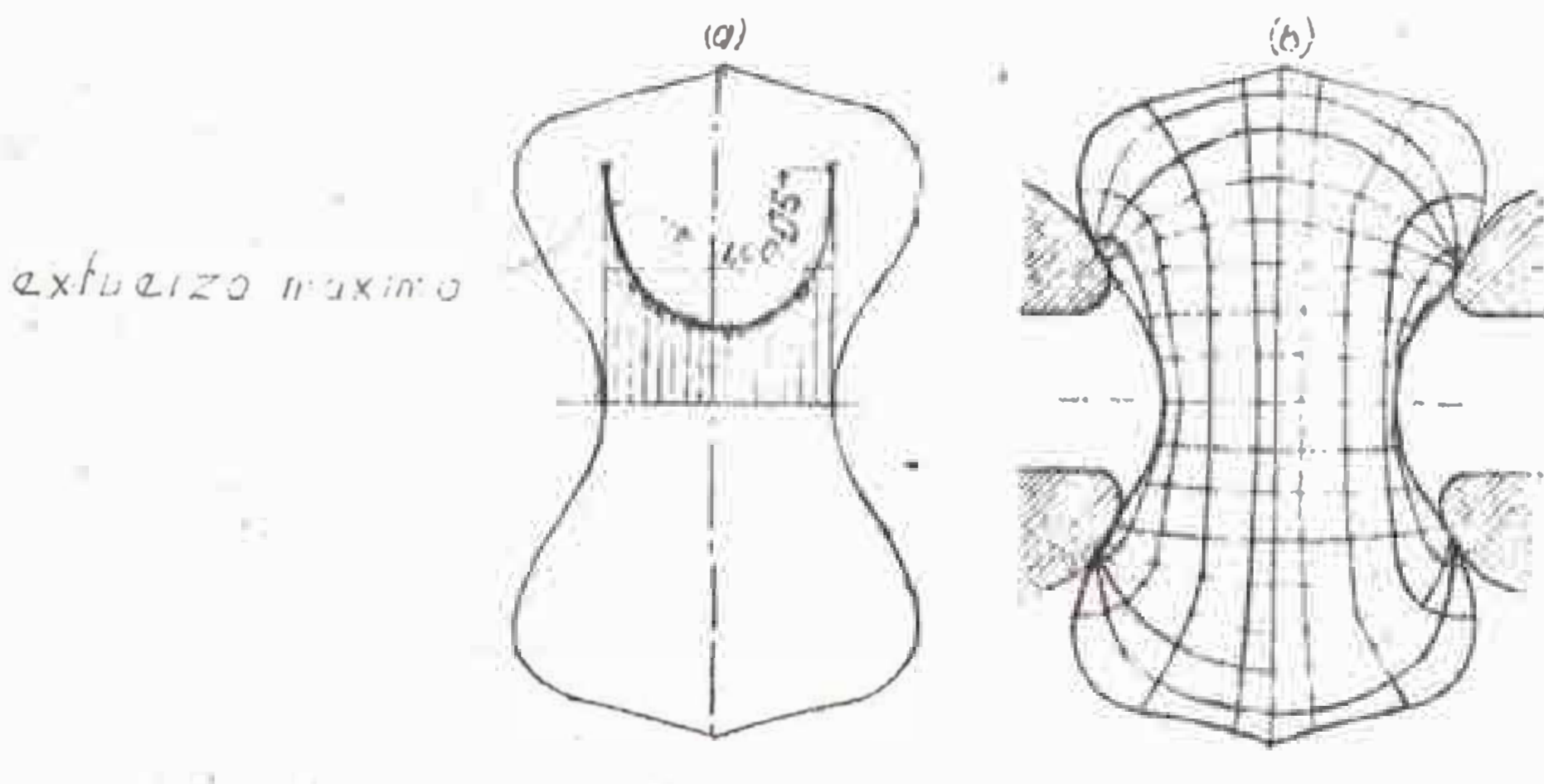
Con el desarrollo de los métodos de la fotoelasticimetría y su empleo fructífero en el estudio de la medida y distribución de fatigas con deformaciones paralelas a un plano, se ha llegado a obtener un conocimiento claro sobre el trabajo de las diferentes probetas - ocho para el ensayo a la tracción. Utilizando modelos de material transparente iguales al ocho conocido y produciendo en ellos la misma forma de sollicitación se ha precisado la diferencia de tensiones principales en la sección reducida así como las líneas isostáticas. Se determinó igualmente que en las briquetas de tipo inglés o frances, de fuerte curvatura y reducción de su parte central, la tensión principal se produce sobre la sección delgada. Un esquema de lo expuesto está en el gráfico No

• ----- •

# ESTUDIO DE LA PROBETA CLASICA DE TRACCION



## FOTOELASTICIMETRO: PROBETA INGLESA DE TRACCION



- a) Diferencia de tensiones principales en la sección reducida
- b) Líneas isostáticas

Fig 28

# INFLUENCIA DE LOS FACTORES INTRINSECOS

\*\*\*\*\*

## DE LAS MUESTRAS

\*\*\*\*\*

### - La Plasticidad. -

En la última década del pasado siglo, la Comisión Francesa de Normalización determinó, que al usar morteros secos se obtenían resultados que no correspondían al verdadero comportamiento del aglomerante. Propiciando así, en consecuencia, el uso de morteros plásticos con arena normal de amplia granulometría.

Posteriormente en el año de 1944, Granville y Reid, pertenecientes al Comité de Cemento del A.S.T.M., encontraron que la resistencia a la tracción de un mortero con una relación agua-cemento de 0.32 se alejaba en mucho de la resistencia del concreto con el fabricado. En ese sentido recomendaron el uso de morteros de mayor plasticidad, con relación agua-cemento igual a 0.50.

Anticipándose a las anteriores conclusiones, las normas del DIN del año de 1942, establecía para el mortero una relación agua-cemento de 0.60, sustituyendo la especificación del año de 1932 que señalaba una relación A/C igual a 0.32. De la misma manera recomendaba el empleo de arena de variada granulometría.

Las normas del ASTM del año de 1949 relacionan la cantidad de agua que debe intervenir en la mezcla del mortero con la necesaria para obtener un mortero de consistencia normal con el mé-

todo de la aguja, por la siguiente fórmula:

$$y = \frac{2}{3} \frac{P}{n l} K$$

Siendo:  $y$  el porcentaje requerida por el mortero;  $P$  el porcentaje de agua requerido para confeccionar un mortero de consistencia normal;  $n$  el número de partes de arena por una de cemento, en peso; finalmente  $K$  es una constante, que para el caso de la arena normal de Ottawa es de 6.5.-

#### LA FORMA DE CONTACTO.-

La superficie de apoyo o contacto de los clips con la muestra no debe ser reducida y entre ellos tampoco han de formar un ángulo lo suficientemente grande para impedir que se genere en los puntos de contacto fuerzas de compresión laterales fuertes que con las de tensión produzcan la falla de la muestra en ese plano. Por ello se recomienda que formen un ángulo de 90°. Por otra parte las cuatro superficies de apoyo han de ser planas.

#### LA REDUCCION DE SECCION.-

Para propiciar la ruptura en la sección delgada es conveniente reducirla convenientemente mediante curvas suaves y darle a la probeta una longitud tal que la permita alejarse de los planos de apoyo para de esta manera obtener una distribución uniforme de los esfuerzos. Impidiéndose así la ruptura en los extremos de

la sección delgada, por desigualdad del efecto de las sollicitaciones.

#### FORMA DE SUJECION.-

Es sumamente importante que los clips de agarre se encuentren en una posición central exacta. Si  $h$  es el ancho de la probeta y  $a$  es la excentricidad del esfuerzo, el porcentaje de incremento en la fuerza a partir de esta causa estará dada por la relación  $\frac{6a}{h}$ . Así, si una briqueta de cemento de una pulgada de espesores coloca en los clips 0.01 pulgada, fuera de su centro su carga de rotura se reducirá en un 6%. Ensayes realizados hace muchos años en el Instituto Tecnológico de Massachusetts han demostrado que por un desplazamiento de 1/16" disminuía la fuerza de tensión en un 15 ó 20 por ciento.

#### COMPACTACION.-

Finalmente cabe considerar la forma de fabricación de la probeta. En Europa es recomendado un proceso de compactación por el golpe de pesados mecánicos mientras en los Estados Unidos se realiza simplemente a mano. Es indudable que en la primera forma se gana una mayor resistencia del aglomerante, como se desprende de los estudios de Fraysinett al respecto.



## LA RESISTENCIA A LA TRACCION DEL CONCRETO

---

La resistencia a la tracción de cementos y concretos es una de las mas características de esos materiales Sin embargo por la dificultad de determinarla en el laboratorio, ha sido dejada relativamente de lado en la tecnología de ensaye de los aglomerantes y sus compuestos. Ello ha causado consecuentemente un acentuado descuido de la tendencia de buscar un material de gran resistencia a la tracción para abocarse unicamente en lograr los mejores resultados a la compresión. De esta manera, se conspira inconcientemente contra la durabilidad del concreto, aumentando por otra parte su fragilidad. Lossier ha comprobado estudiando resultados estadísticos de ensayos realizados en Francia en un período de 20 años que si bien la resistencia a la compresión había aumentado en un 70%, la de tracción solo había crecido en un 30%.

El comportamiento del concreto ante cualquier sollicitación mecánica está en directa relación con su resistencia a la tracción. Kiene y Bonatz precisan que la destrucción del material, sea por compresión, tracción o cortadura se produce por una "separación" de sus partes entre si -de las partículas de orden molecular- es decir por pasar el límite de tracción. Las resistencias del concreto pueden reducirse pues, en último lugar a la resistencia de tracción.

La ruptura por compresión de una probeta de ensaye se produce por sobrepasarce el límite de resistencia a la tracción del concreto

por la expansión transversal. Si el concreto es poroso, bajo la compresión se produce un desplazamiento interior de las partes sólidas a los huecos, es decir una separación por rebasarse el límite de tracción. Finalmente la resistencia del material depende de la movilidad de las partículas en un orden molecular.

En el cálculo de concreto armado se supone que el concreto absorbe únicamente los esfuerzos de compresión mientras que los de tracción corren a cargo de la armadura. En la práctica tal situación es otra. Cuando la sección del elemento es solicitada con esfuerzos de tensión superiores a los que puede resistir el concreto simple, se produce agrietamientos en el mismo, la mayoría de las veces en escala microscópica. Tal fisuración es la causa de la destrucción prematura de las estructuras. Caso similar ocurre en el concreto simple cuando trabaja esencialmente a tracción como es el de los pavimentos, en los que la distribución de tensiones es mas complicada. Por efectos del ambiente sobre el concreto, como retractaciones etc; por acción de las sobrecargas; por influencia de la calidad de la explanación etc.

Todas estas consideraciones que indican la importancia de obtener en los concretos altas resistencias a la tracción pueden concretarse en lossiguientes puntos:

- 1.- Tiene efecto directo sobre la seguridad de la estructura; por su capacidad de adherencia con el acero y su resistencia a los esfuerzos cortantes.

2.- La resistencia a la tracción está ligada directamente con la durabilidad del concreto pues es índice de la resistencia a la disgregación, causada por agentes exteriores.

3.- Protege a la armadura del concreto armado, pues las bajas resistencias propician la formación de grietas por las que es atacado el acero, al penetrar diversos agentes destructores.

• ----- •

## TECNICAS EN EL ENSAYE A TRACCION PURA DE CONCRETOS.

El ensaye de tracción pura en los concretos no ha pasado aun de su etapa experimental. Antes de la aparición del llamado método brasilero, era sumamente costoso y complicado este tipo de ensaye. En efecto las probetas eran normalmente de grandes dimensiones y en consecuencia las máquinas relativamente enormes. Por otra parte todos los procesos pecaban de un complicado formalismo que lógicamente introducía una serie de posibilidades de errar.

Los métodos seguidos en tal no han tenido asi la virtud de generalizarse. Quedando reducido su empleo a una reducida area geográfica y aun a un solo laboratorio. Entre ellos hemos de mencionar: El método francés debido a L'Hermitte hace uso de cilindros de concreto ensanchados en las bases en forma conveniente para ser sujetas por cabezas que trasmiten la carga de tracción; sin efecto de excentricidad, giro, ni esfuerzo secundario alguno. Otro método es el de las probetas cilindricas de 42 cm x 10 cm a las que se aplica la carga en los extremos por medio de barras en forma de resorte embebidas en mortero rico.

El método brasilero de tracción, por compresión diametral de un cilindro, parece ser el mas indicado para lograr una aceptación general. Tiene en efecto, todas las ventajas que en los otros métodos son grandes inconvenientes. Habiendo sido aprobado en el año 1943 por el Congreso de la Asociación Brasilera de Normalización a propuesta de su creador Ingeniero Fernando Luiz Lobo Carneiro, es desde el pasado año, recomendado por la Asociación Internacional de Laboratorios. En las paginas siguientes hemos de hacer un análisis del mismo.

DISTRIBUCION DE TENSIONES EN UN CILINDRO SOMETIDO A LA  
COMPRESION DIAMETRAL

El estudio de la distribución de tensiones dentro de una placa circular bajo la acción de dos fuerzas diametralmente opuestas -estado plano de tensión- ó dentro de un cilindro bajo la acción de fuerzas de compresión distribuídas a lo largo de las dos generatrices, a lo largo del mismo plano diametral -estado plano de deformación- fué estudiado originalmente por Herts y Timoshenko.

Se puede obtener las tensiones de un punto cualquiera por la suma de las tres componentes; las tensiones producidas por una fuerza que se produce sobre un semi plano, radiado alrededor de los puntos de aplicación de dos fuerzas de compresión diametral o contorno circular y distribuídas uniformemente. Esas tensiones tienen como valor:

$$\frac{2}{D} \quad \frac{P}{D L}$$

Siendo: P la fuerza total de compresión; D el diámetro y L la longitud del cilindro.

Como resultado de tal demostración, a todo lo largo del plano diametral sobre el cual se encuentran las generatrices donde actúa la compresión, las tensiones normales de tracción distribuídas uniformemente y e iguales a

$$F_1 = \frac{2 P}{\pi D L}$$

En un punto cualquiera de dicho plano diametral toda otra tensión principal es una tensión de compresión que tiene como valor:

$$F_2 = \frac{2 P}{\pi D L} \left( 1 - \frac{1}{r D} - \frac{1}{1 - r/D} \right)$$

Esta tensión aumenta a partir del centro y tiene como valor:

la medida que se realiza en la proximidad de las generatrices de contacto tiene un valor de

En la realidad el contacto no se realiza a lo largo de una generatriz sino entre una banda de la probeta y las planas de la máquina, de ancho "a". En esa forma se produce una perturbación de las tensiones que puede localizarse en la vecindad de las zonas de contacto. El valor máximo de la tensión principal de compresión será:

Las fórmulas que nos dan las tensiones a todo lo largo

del plano diametral son:

$$F_1 = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL} \left( 1 - \frac{D}{2a} (\varnothing - \text{sen } \varnothing) \right)$$

$$F_2 = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL} \left( 1 - \frac{D}{2a} (\varnothing + \text{sen } \varnothing) \right) \cdot \frac{1}{1 - r/D}$$

$$\varnothing = 2 \arcsin \frac{a}{r} \quad \text{Tg } \frac{a}{2r}$$

Como el ancho de la banda de contacto es muy reducido, se verifica que a lo largo de la superficie del plano diametral, las tensiones normales de tracción son uniformemente distribuidas y tienen un valor

$$\frac{2}{\pi} \frac{P}{DL}$$

Estos resultados son válidos hasta el momento de la ruptura. Bien que entonces no se encuentran dentro del dominio de la teoría de la elasticidad. Ya que en efecto la distribución de tensiones de tracción, es desde los comienzos uniforme y las tensiones de compresión en el momento de la ruptura son bastante pequeñas. Excepción hecha de la zona vecina a las bandas.

## TEORIA DE LA RUPTURA

La teoría de ruptura que traduce mejor los fenómenos propios del caso del concreto es una combinación de la teoría de la mas grande tensión principal de tracción con la teoría del frotamiento interno que desarrollará Coulomb.

Esto, y dentro un dominio dentro del cual, pese la coexistencia de una tensión principal de compresión la ruptura se ve verifica siempre por separación, según un plano normal a la tensión principal de tracción, y al momento que esta tensión igua la la resistencia a la tracción del concreto. La tensión principal de compresión del concreto puede llegar a un valor igual á 5 veces la tensión principal de tracción; sin tener por ello al guna influencia sobre la ruptura. Dentro de este dominio se ve verifica la teoría de la más grande tensión principal de tracción.

Los cilindros de materiales ductiles como el acero donde de la resistencia a la tracción y a la compresión son iguales, al ser sometidos a compresión diametral, se rompen por separa ción en la vecindad de las bandas de contacto.

Contrariamente a lo largo que psas en el caso anterior, en los cilindros de materiales frágiles como el concreto, en los que la resistencia a la tracción es menor que la resisten cia a la compresión, se rompen por efecto de las tensiones de tracción a todo lo largo del plano diametral donde se sitúan



las generatrices en contacto, y en el momento que las tensiones igualan la resistencia a la tracción del material. La superficie de ruptura está exactamente en el mismo plano. En la vecindad de las bandas de contacto existe un estado triple de tensión cuyas tres tensiones principales son de compresión; la tensión de valor intermedio es la paralela al eje del cilindro (estado plano de deformación). Como los valores de las tensiones de compresión son poco elevados, la ruptura no se traduce en este lugar por resbalamiento (como se puede verificar en el gráfico de Mohr). Estas consideraciones constituyen la base teórica del nuevo método propuesto.

En el nuevo método, como se expresa, se coloca entre las platinas de la máquina de compresión, la probeta cilíndrica de concreto ó mortero, con el objeto de someterla a compresión diametral.

Como habitualmente las generatrices no son rectas perfectas, es conveniente interponer reglas de madera de una sección cuadrada de lado igual a  $0.1 D$  y de longitud igual a la de la probeta.

La fuerza de compresión debe aplicarse en forma gradual hasta llegar a la ruptura, que se produce en forma brusca. La resistencia a la tracción del concreto es así calculada por la fórmula:

$$\frac{2}{\pi} \frac{P}{D L}$$

en la cual

**P** es la carga de ruptura.

**D** es el diámetro de la probeta.

**L** es la longitud de la probeta.

## CONCLUSIONES SOBRE EL ENSAYE DE TRACCION.- METODO BRASILEIRO

De los estudios realizados por el Ing<sup>o</sup> Aguinaldo Barcellos del Instituto Nacional de Tecnología del Brasil y por un ingeniero japonés Tsuneo Akazawa se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- 1) La resistencia a la tracción aumenta con la edad del concreto y con la relación cemento-agua; como en el caso de la compresión.
- 2) La resistencia a la tracción puede ser relacionada en forma definida con la de compresión según:

$$R_t = 0.339 R_c^{0.735} \quad (\text{Barcellos})$$

$$\frac{R_t}{R_c} = 2^{(x-4)} \quad (\text{Azakawa})$$

siendo x la relación agua/cemento

- 3) La resistencia a la tracción de morteros es un índice de la resistencia del concreto fabricado con el mismo cemento. Según la expresión:

$$\frac{R_t \text{ mortero}}{R_t \text{ concreto}} = \frac{4.95}{11.7^x}$$

Estos puntos bastan para indicar la importancia de este método, que enriqueciéndose con la experiencia, parece ha de

ser el más práctico y seguro para la determinación de las resistencias del concreto ante sollicitaciones mecánicas de tracción.

----- 000 -----

TABLA I

		Diámetro máximo 4,8 mm (mortero)					
		Relación agua / cemento					
		0,45		0,65		0,85	
edad en d	ca	Compresión Kg/cm2.	Tracción Kg/cm2.	Compresión Kg/cm2.	Tracción Kg/cm2.	Compresión Kg/cm2.	Tracción Kg/cm2.
dias		212	22,1	132	12,3	68	7,1
		217	22,2	141	12,2	68	5,9
		204	21,0	133	12,4	71	7,4
		181	21,8	124	11,6	71	7,3
		243	16,8	116	11,1	67	6,5
		272	19,6	120	12,3	62	6,6
		249	24,0	129	13,1	57	7,2
		229	21,4	113	12,5	57	7,1
		238	25,4	114	12,0	59	6,9
		260	16,7	113	10,8	57	6,9
		266	16,7	113	9,2	64	7,1
		240	21,4	115	9,3	61	7,6
	Pro- medio		234	20,8	122	11,6	63,5
1 s		324	22,0	179	11,2	136	10,1
		332	24,0	176	12,7	133	10,6
		316	23,0	168	11,1	127	10,4
		318	30,0	182	12,5	117	12,0
		377	28,0	190	--	122	11,8
		324	20,0	182	12,3	122	11,0
		377	28,7	--	14,9	120	12,7
		340	25,8	162	15,1	-	13,7
		363	29,5	196	17,6	124	13,0
		346	24,8	172	18,2	119	12,6
		307	26,5	176	16,5	120	--
	324	22,6	179	15,9	124	13,2	
Pro- medio		337	25,4	179	14,4	124	11,9

TABLA II

Diámetro máximo 19 mm.

Relación agua/cemento

edad por días	0,45		0,65		0,85		
	Compresión Kg/cm <sup>2</sup> .	Tracción Kg/cm <sup>2</sup>	Compresión Kg/cm <sup>2</sup> .	Tracción Kg/cm <sup>2</sup>	Compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Tracción Kg/cm <sup>2</sup>	
7 días	278	22,2	187	14,2	102	10,7	
	277	19,6	170	14,8	95	9,7	
	288	21,2	164	14,3	98	9,7	
	-	19,1	192	14,6	99	8,2	
	294	20,4	170	14,7	91	10,3	
	310	22,1	175	14,8	99	9,9	
	282	23,5	162	-	102	10,2	
	282	20,0	167	14,0	102	10,3	
	280	19,5	164	14,5	106	10,9	
	285	19,9	172	15,6	97	11,4	
	280	24,0	167	15,9	104	9,7	
	288	23,4	167	12,9	113	10,2	
	Pro- medio	288	21,3	171	14,6	101	10,1
	8 días	360	30,8	232	21,6	156	13,1
		370	27,8	232	-	155	13,0
-		27,4	238	19,6	147	13,9	
405			235	22,0	135	13,7	
384		30,2	242	21,2	127	12,3	
396		27,9	254	18,9	133	13,9	
393		28,3	232	20,8	152	13,0	
390		26,0	230	18,8	155	12,6	
400		31,3	252	21,2	155	11,2	
376		31,6	209	18,1	141	12,3	
373		24,6	211	16,6	142	13,1	
379			214	16,1	146	12,8	
Pro- medio	384	28,6	232	19,5	146	12,9	

TABLA III

Diámetro máximo 38 mm.

Relación agua/cemento

edad en días	0,45		0,65		0,85		
	Compresión Kg/cm2.	Tracción Kg/cm2	Compresión Kg/cm2.	Tracción Kg/cm2	Compresión Kg/cm2.	Tracción Kg/cm2	
7 días	885	24,5	175	14,6	124	11,3	
	283	23,2	170	16,7	122	13,0	
	254	19,6	174	14,8	119	10,9	
	302	20,5	172	14,6	122	11,5	
	285	21,6	181	15,8	119	12,0	
	298	22,8	161	14,6	121	12,6	
	229	24,2	172	15,2	116	11,5	
	265	20,0	182	14,6	121	11,7	
	246	22,4	172	15,9	120	11,9	
	271	22,1	184	15,6	108	11,2	
	277	21,7	187	15,6	103	-	
	284	-	189	14,8	-	10,4	
	Pro- medio	272	22,1	176	15,3	113	11,6
	28 días	297	24,0	251	21,8	181	17,8
353		28,7	264	20,5	181	16,1	
367		33,9	271	19,6	185	14,9	
320		27,7	267	21,5	168	16,9	
380		33,5	260	22,9	178	12,0	
370		29,8	265	20,6	170	14,1	
393		23,8	206	20,3	158	13,7	
392		21,7	206	20,4	153	11,1	
385		28,2	223	21,5	153	13,0	
393		25,3	253	17,5	141	13,1	
373		27,7	252	21,1	144	14,6	
381		24,4	252	19,4	141	15,2	
Pro- medio	368	27,4	247	20,6	163	14,4	

## ENSAYES DE FATIGA

Si el trabajo a la fatiga del concreto, no se presenta en forma grave en todas las estructuras con el proyectadas, esta siempre vigente en mayor ó menor grado. Por otra parte, en las cimentaciones y elementos de protección de determinada maquinaria, en los puentes y otros, su efecto es muy importante.

Sin embargo los ensayos de fatiga no son de rutina en ningún laboratorio y sólo se practican en escala experimental.

M. Prot, ingeniero francés, ha propuesto la utilización de un dispositivo de flexión rotativa, similar al usado en el ensayo de metales. Se han construido así provetas troncocónicas cargadas en sus extremidades y que giran a una elevada velocidad.

El ensayo de Prot nos permite valorizar el límite de fatiga en tracción de una manera incierta, puesto que no conocemos la distribución de las tensiones sobre un diámetro, y estamos obligados, para calcular la tensión máxima, hacer una hipótesis sobre la repartición de las rajaduras en la sección. El concreto siendo, como sabemos, un cuerpo con gran capacidad de relajación, es muy sensible al efecto del aumento de tensión, cuya influencia en el caso del ensayo de flexión rotativa de los metales es también conocida.

Los ensayos del profesor Graf de Stuttgart y las me



didadas localizadas por L'Hermitte tratan sobre la fatiga en compresión repetidas. Esos ensayos han sido efectuados sobre pruebas cilíndricas con cabezas de 9 cm. de diámetro, situadas entre los dos platillos de un pulsador.

Se ha constado que existía en compresión un límite de fatiga bien marcado, comprendido para los concretos estudiados entre los  $\frac{2}{3}$  y los  $\frac{3}{4}$  del límite de ruptura estática a velocidad normal. Además la medida de las deformaciones muestra un aumento del módulo aparente de elasticidad con el tiempo cuando los esfuerzos son inferiores al límite de fatiga y una disminución del mismo módulo hasta la ruptura cuando los esfuerzos son superiores a este límite.

El concreto, como todos los demás sólidos, se adapta a los esfuerzos repetidos de débil amplitud y tiende hacia un estado más estable de resistencia más elevado. Por contrario se rompe lentamente cuando los esfuerzos son superiores a un límite bien definido.

----- 0o0 -----

## ENSAYO BAJO CARGA CONSTANTE

Esta clase de ensayos han sido hechos por un reducido número de experimentadores FABER, DAVIS, GRANDVILLE, FREYSSINET, DUTRON, cada uno de estos ha constatado que las deformaciones se producían según una curva exponencial idéntica á la observada en el mismo caso para todas las otras categorías de sólidos y para los metales en particular. Se puede igualmente definir, para el concreto, un límite de adaptación en tracción y en compresión. Este límite parece ser semejante al límite de ruptura estático medido para una velocidad de carga normal (muy probablemente superior a los 2/3 del límite R así establecido). Finalmente se ha constatado que la familia de curvas de adaptación correspondiente a una serie de cargas unitarias obtenidas por un concreto determinado, dependía íntimamente del medio y de la temperatura de conservación del concreto, de tal manera que un concreto perfectamente seco, sometido a una presión de 60 kg./cm<sup>2</sup>, dá en 900 días (según DUTRON) una disminución de  $5 \times 10^{-5}$  para la conservación al aire seco (40 á 50% de humedad).

Algunos autores consideran que esta diferencia es debida únicamente al hecho de que a la adaptación plástica se suma la influencia de la retractación del cemento. La retractación, nulo ó de signo negativo en el agua explicaría porqué se observa en este caso deformaciones mínimas. Tal

es el aviso de los experimentadores Anglo-Sajones, pero no el de M. Freyssinet que considera que la retractación y la deformación plástica son un solo y mismo fenómeno.

Todo depende del equilibrio termodinámico que se realiza lentamente entre la presión aplicada, la tensión interna del agua de las películas capilares y la tensión de vapor del medio ambiente. Son las experiencias realizadas en Plougastel las que han llevado a este constructor a establecer la teoría capilar de los cimientos, que ha sido expuesta anteriormente.

Las más recientes experiencias de Dutron en Bruselas y de Lucas, en "Laboratorio de los Puentes y calzadas de París", nos conducen a escribir que el vacío y la deformación plástica constituyen dos fenómenos distintos, presentando muchas analogías en su desarrollo y dependiendo del estado hidrométrico del medio. Tienen además el uno sobre el otro repercusiones importantes.

La retractación es un fenómeno parcialmente irreversible para un concreto joven mientras que la deformación plástica es casi irreversible. Cuando las condiciones de conservación son variables, son las primeras que tienen la más grande influencia proporcionalmente al tiempo.

En la deformación plástica de un concreto es necesario ver la resultante de la acción capilar, que es tanto más efectiva cuanto más joven es el concreto y que disminuye con el tiempo:

\_\_\_\_\_de la deformación plástica propia de los granos del  
\_\_\_\_\_de la cristalización llenando lentamente los con-  
tactos sólido-líquido-sólido, mediante contactos directos sólido-sólido, mucho más rígidos.

En otras palabras hay que considerar el concreto como un sólido cuya capacidad de relajación aumenta con la cantidad de agua capilar. Esta última es una función de la edad y del medio de conservación. Está dotada con relación a esta última variable de una histéresis que crece rápidamente cuando la edad aumenta. Además la deformación total es la resultante de la deformación plástica y del vacío que depende de las mismas variables.

----- 000 -----

## RESISTENCIA AL IMPACTO

Poco se ha investigado sobre la resistencia del concreto al impacto. Ello se debe principalmente al hecho de no contar con métodos apropiados ni con la maquinaria debida. El ideal, como muy bien lo ha expresado M. L'Hermitte sería el poder llevar la resistencia al impacto de los concretos a una unidad física conocida, como la resistencia a la tracción ó a la compresión.

En la actualidad el método más empleado es el de dejar caer sobre un cilindro de concreto desde una altura determinada una masa de peso dado, hasta producir el rompimiento del mismo. La exactitud de este procedimiento no es muy grande pero puede ser empleado a título de comparación entre dos materiales diferentes.

Otro proceso recomendable puede ser el de determinar las condiciones de ruptura de una barra de concreto colocada sobre dos apoyos sometida al efecto del choque en su parte central. En este caso la ruptura está en función de la masa del elemento de impacto y disminuirá conforme aumenta la luz entre apoyos.

## RESISTENCIA DE CORTE.

La resistencia al cizallamiento es difícil de determinar en el concreto y solo se puede realizar en forma indirecta. De acuerdo con las ideas en boga, en el ensaye a metales se ha tratado de utilizar al efecto el ensaye a torción de una pieza cilíndrica. Las cabezas de la probeta se sujetan fuertemente mediante mandíbulas a las platinas de una máquina especialmente diseñada. Uno de los cabezales de la máquina es fijo y el otro móvil que es solicitado por una cupla de torción. Mediante un brazo unido de un pistón neumático. La ruptura acontece a lo largo de una superficie inclinada cortando la superficie del cilindro según una hélice variable.

Para calcular en cizallamiento máximo sobre la cara exterior es necesario basarse en la hipótesis relativa a la repartición de los cizallamientos en una sección.

En el caso más simple, de acuerdo con la teoría de la elasticidad, se tiene que el momento de torción correspondiente a la ruptura es aquel en que la repartición lineal tiene un cizallamiento tangencial máximo igual a  $T = \frac{16 M_t}{d^3}$

El cizallamiento máximo será así, de acuerdo con la teoría de la elasticidad, en su casonas simple de la repartición lineal donde el cizallamiento tangencial es máximo. Así pues  $T = \frac{16 M_t}{d^3}$  siendo  $M_t$  el momento de torción de ruptura.

Pero en estas condiciones da cálculo la relación entre el valor  $T$  y el de la resistencia a la tracción  $R$  esta entre 1.1 y 1.3, es decir es mayor que la unidad. Teóricamente, por el estudio del círculo de Mohr, sabemos que es imposible. Pues si construimos los círculos correspondientes a la compresión y la tracción para que la curva intrínseca sea tangente a ambos, el círculo de cizallamiento habrá de tener un radio menor que el de tracción. Es decir  $T < R$

Ello se debe tal vez a que la repartición de los esfuerzos no es lineal

Suponiendo ahora el otro caso de un cuerpo plástico se obtendría una repartición perfectamente rectangular y la expresión del cizallamiento sobre la fibra extrema sería  $T = \frac{12 Mt}{d^3}$  del valor de la relación anterior.

Así pues la relación entre T y R será menor que la unidad y estará en este caso entre 0.825 y 0.975. Se puede considerar que para las tensiones que preceden a la ruptura el concreto actúe como un cuerpo sumamente plástico permitiendo se adapte notablemente.

Sin embargo siempre será preferible determinar el valor de T por ensayos directos, Aunque en casos de medidas simples y rápidas se puede adoptar una relación con las resistencias conocidas de tracción o compresión. Ello puede realizarse gráficamente trazando el círculo de Mohr para estas dos sollicitaciones y luego la recta tangente a los mismos. Asimilando la curva intrínseca a esta recta. Luego se puede trazar el círculo de cizallamiento tangente también a la recta y medir su radio T. También puede hacerse una determinación mediante la formula  $T = \frac{R_t R_c}{R_t + R_c}$

Los valores de T así calculados, son los límites mínimos, varían en los concretos corrientes entre 0.066 y 0.09 de la resistencia a la compresión y entre 0.9 y 0.94 de la de tracción.

## SOLICITACIONES MULTIPLES

\*\*\*\*\*

Los ensayos relativos a la determinación del comportamiento del concreto, ante solicitaciones triples de compresión son muy difíciles de realizar. Ello se debe a la carencia de una maquinaria apropiada para producir dicho estado tansional en una muestra de concreto. Los ensayos realizados al respecto son así poco numerosos, y no pueden ser considerados como exhaustivos.

Los primeros ensayos fueron realizados por Mesnager y Considere, en el primer lustro del siglo, sirviendo de base para los estudios posteriores.

En general, todos los métodos coinciden en la descripción general que damos a continuación: La probeta de concreto, de forma cilíndrica, termina en cabezas ensanchadas rodeadas por un anillo de acero ubicándose en el cilindro de prueba, también de acero, que solo deja entre pieza y la parte inferior del cilindro un espacio anular.

Cuando se inicia el ensayo el espacio mencionado se llena con un líquido, que es mantenido a presión constante, la cual se trasmite a la parte central cilíndrica, ocasionando una sollicitación transversal uniforme, bajo una tensión longitudinal de: 
$$P = \frac{S_a}{S_c} \text{ Kg/cm.}^2$$
; siendo  $S_a$  y  $S_c$  las secciones anular y cilíndrica respectivamente. Luego se aplica sobre las cabezas unapresión longitudinal  $L$ . hasta producir la ruptura, teniendo  $L$ , en ese instante el valor expuesto anteriormente.



Considere en su comunicación a la Academia de Ciencias de París (1902) en la que exponía sus estudios sobre la materia con prismas de mortero de 30 cm. de diámetro y 80 cm. de altura, planteó la siguiente relación:

$$R = 1.5 r_b + 4.8 E$$

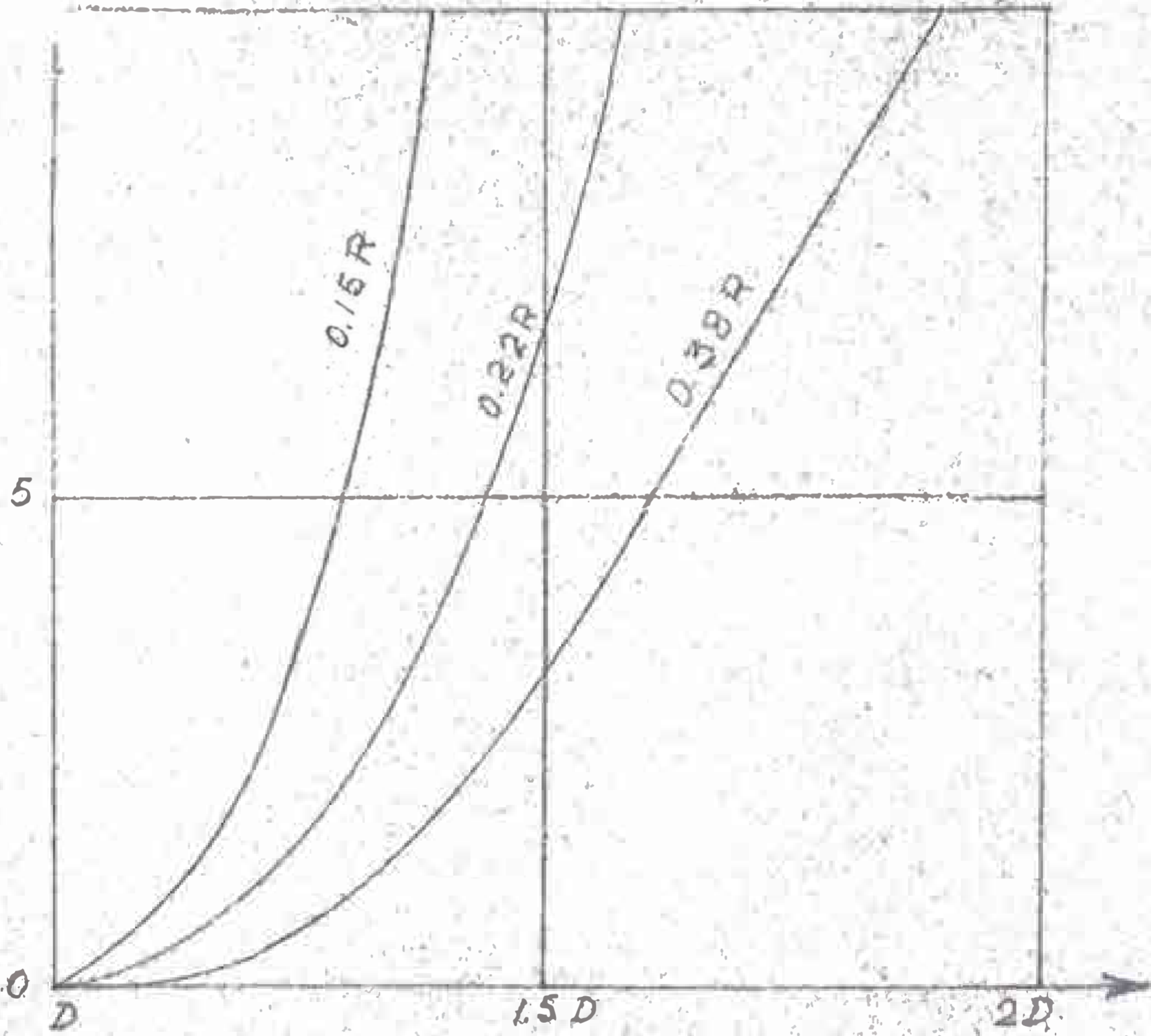
Sin embargo posteriormente se ha objetado tal ley, procediéndose además a estudiar el efecto de las cargas y el debido al rozamiento del sistema.

El profesor Ros de la Universidad de Zürich publicó los resultados de ensayos realizados de los cuales tomamos la siguiente tabla:

Naturaloza de los materiales	R	E	R - $\sigma_b$	K
Cemento puro	400 Kg/cm <sup>2</sup>	0	"	"
	545 "	45	145	3.67
	1455 "	355	1045	2.94
	2335 "	635	1945	3.08

En la misma fecha Richart, realizó estudio sobre cilindro de concreto, estudiando detenidamente el factor tratamiento y dió la siguiente ley:  $R = \sigma_b + 4.1 E$ .

# CARGAS REPETIDAS



Aumento de las deformaciones

# CARGAS REPETIDAS

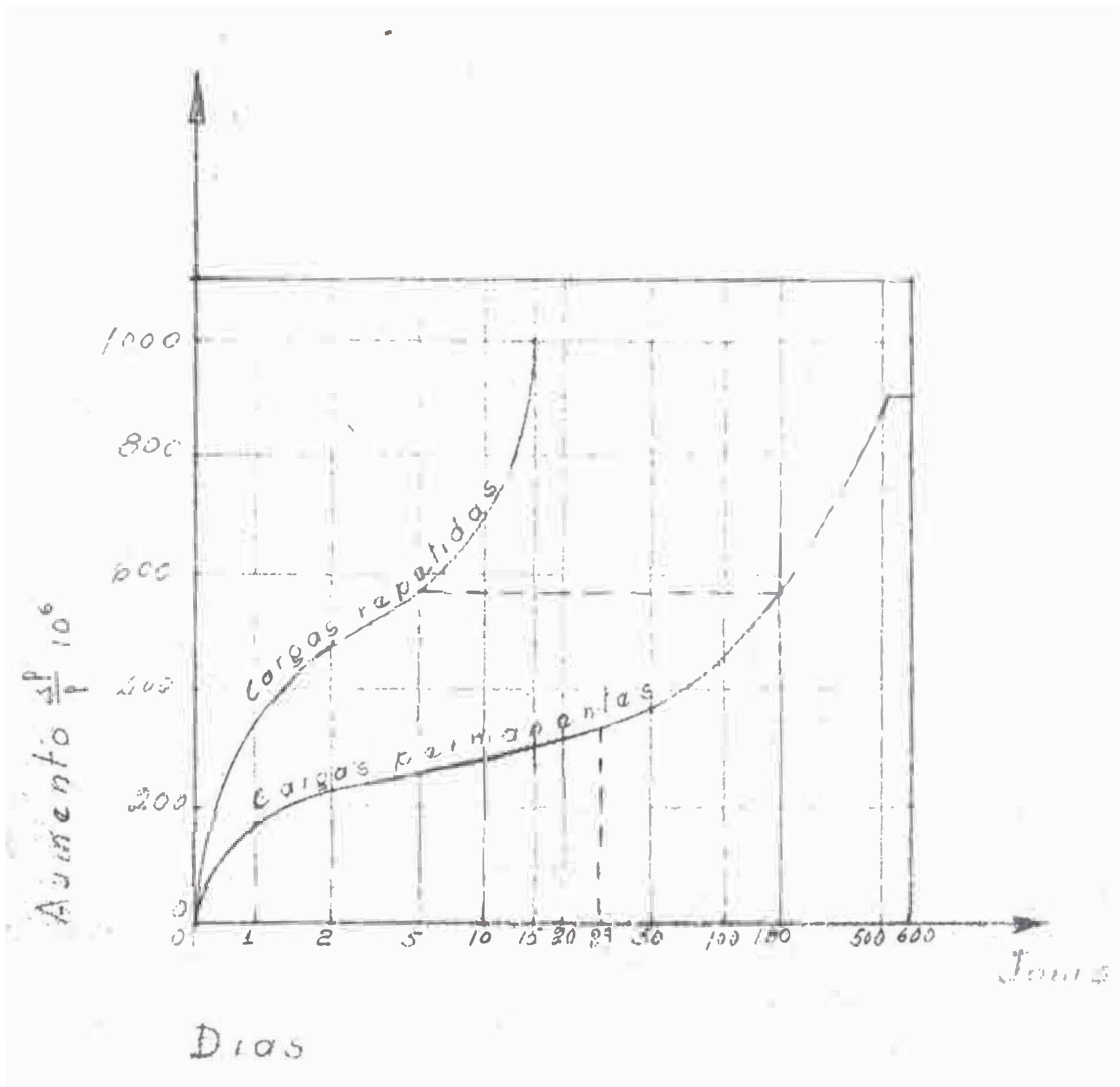


Fig 31

C A P I T U L O    V I I  
=====

**ANEXO I, AGREGADOS**  
**██ ██ ███ ██████**

## A G R E G A D O S



Definición: Llámase agregado, en el estudio de los materiales de construcción, a los materiales inertes que al unirse convenientemente con aglomerantes y agua el esqueleto de un conglomerado sólido llamado mortero o concreto.

Clasificación: Existen variadas clasificaciones de los agregados. Considerando su constitución misma, se pueden agrupar en minerales y orgánicos, en la forma expuesta en el siguiente cuadro:

### Agregados Minerales:

- a).- Obtenidos sin transformaciones previas (arenas, gravas, puzolanas, etc.)
- b).- Obtenidos por trituración o molienda (piedra partida, etc.)
- c).- Obtenidos como sub-producto de una operación industrial (escorias en sus diversas formas, ceniza, restos de ladrillos, esquistos cocidos, etc.)
- d).- Obtenidos por transformación térmica (expansión) de ciertos minerales (agregados ligeros expandidos, arcillas y esquistos expandidos, etc.)

### Agregados Orgánicos:

- e).- Fibras, aserrín, viruta de madera.

También son clasificados según su uso posible, estableciéndose así, verbigracia, agregados para concreto asfálticos, agregados para concretos ligeros, agregados para concreto armado, agregados para bloques prefabricados etc. Así mismo existe una clasificación atendiendo el peso específico, que los divide en agregados pesados cuyo prototipo son las arenas y piedras y los agregados ligeros que tienen un peso específico marcadamente inferior.

En las páginas siguientes estudiaremos los agregados considerados en los puntos a) y b) correspondientes a la clasificación de minerales, los que son usados para construcciones resistentes de aglomerantes y asfaltos. Ellos son los que comunmente explora, explota y usa en variados compuestos el ingeniero peruano. Conceptos menos exhaustivos sobre los otros -tan importantes como restos de ladrillos o fibras- se expondrán en capítulos pertinentes.

## AGREGADOS PARA CONCRETOS DE CEMENTO:

Para concretos destinados a formar elementos resistentes se usan agregados minerales constituidos por partículas de rocas, natural o artificialmente obtenidas, escorias y cenizas. En un principio no se estableció ninguna clasificación entre los mismos, salvo las que indicaban su procedencia como de altos hornos, de río, de mar o las establecidas por su origen como silicosas, calcáreas o escorias. A raíz de los estudios que sobre diseños de mezclas realizaron en 1905 Fuller y Thomson se generalizó la concepción del agregado fino o arena como la del material retenido por la malla de 1/4 de pulgada; iniciándose así la clasificación de agregados finos y gruesos. Con el progresivo conocimiento de las propiedades de los concretos se supo apreciar la necesidad de mantener y en muchos casos ampliar, tal tipo de clasificación. La Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, da las siguientes definiciones:

Agregado fino: Está constituido por arena natural o preparada por trituración de piedra, escoria de hornos o cascajo, así como otros materiales inertes de características similares, sujetos a la aprobación del ingeniero.

Agregado grueso: Debe consistir en piedra chancada, cascajo, escoria de hornos y otros materiales de características similares, así como combinaciones de los mismos, constituidos por pedazos de



ros, fuertes y durables, libres de capas adherentes y de acuerdo con las especificaciones correspondientes.

El ASTM clasifica los componentes de los dos grupos bajo las definiciones siguientes:

Arena: Es el material granulado fino -de diámetro menor de 1/4 de pulgada- resultante de la desintegración natural de las rocas o de la trituración de piedras provenientes de rocas deleznales.

Aclara así mismo que cuando el término arena no está acompañado de un adjetivo calificativo se refiere al producto de la desintegración natural de rocas silíceas o calcáreas. Debiéndose así distinguir la arena de la grava, del residuo de la piedra chancada o arena artificial y del residuo de la trituración de la escoria o arena de escoria.

Grava: Es el material granular grueso, mas grande que la arena, resultante de la erosión de las rocas por agentes naturales.

Grava chancada: Es el producto resultante de la trituración artificial de la grava, en la que cada fragmento resultante presenta cuando menos una cara producto de la fractura.

Piedra partida: Es el producto resultante de la trituración artificial de rocas o grandes piedras en el que todas sus caras son resultado de la operación de trituración.

Otros tipos de agregados son usados en determinadas condiciones y países; ellos son principalmente:

Escoria de altos hornos: Empleada en las regiones industriales de países siderúrgicos. No es objeccionable si presenta características de estabilidad. Sin embargo es recomendable usarla únicamente en construcciones de concreto simple.

Los límites que presentan los análisis químicos son los de la tabla siguiente:

	<u>Por ciento</u>
Sílice	32 á 48
Cal	17 á 45
Aluminio	8 á 20
Magnesia	1 á 12
Fierro	1 á 3
Sulfuros	0.5 á 2.5

La gravedad específica es aproximadamente de 2.3. El porcentaje de vacíos está entre 38 y 46. Su peso por pie cúbico varía alrededor de 70 libras, para granulometrías comprendidas entre la malla No. 4 y la 1 1/2 pulgadas.

Cenizas: Es un material obtenido como sub-producto del carbón bituminoso empleado en los calderos de vapor. Es fuerte, granular, poroso y liviano. Su peso es, aproximadamente, de 45 libras por pie cúbico. Se usa techados o pavimentos de edificios cuando no están sometidos a cargas, rozamientos y otros facto-

res adversos. Pero su mayor utilidad está en la fabricación de bloques para construcciones de albañilería.

Puzolanas: Constituyen uno de los materiales mas antiguos empleados para mejorar la calidad de los cementos. En principio, está constituido por una roca poco consolidada de fragmentos volcánicos consistentes en cuarzo, pumita, feldespatos, obsidiana, etc. Pero en la actualidad esta denominación abarca corrientemente a las tierras llamadas diatomeas y a otras excepcionalmente silíceas así como también a algunos productos artificiales del tipo de las pizarras y arcillas calcinadas.

Puede aceptarse la siguiente definición de Lea: Materiales silíceos que, aun no siendo aglomerantes por si mismos, contienen elementos que se combinan a la temperatura ordinaria, con la cal, en presencia del agua, para formar compuestos de solubilidad escasa y que poseen propiedades aglomerantes.

La puzolana ofrece las siguientes ventajas a los concretos:

- 1.- Neutraliza los álcalis del cemento y reduce la expansión.
- 2.- Permite la economía de cemento, pues este puede reducirse en la mitad del peso de material de puzolana empleada. Siendo la puzolana un material bastante barato.
- 3.- En mezclas pobres, de poco cemento, la puzolana permite una mayor trabajabilidad a la pasta.

El estudio de los problemas químicos fundamentales para las puzolanas está aún en estudio. Sin embargo es un material indispensable en todas las modernas obras hidráulicas. Con el avance de los conocimientos científicos en la referente a su comportamiento se ha de generalizar su uso.

#### CLASIFICACION POR PROCEDENCIA.-

Los agregados, de acuerdo con su procedencia, se pueden clasificar como: de mina, de mar, de río o artificiales. Cada uno de ellos presenta diferentes características de forma: textura, granulometría, etc. por lo que las normas y recomendaciones limitan su empleo.

El agregado de mina, esencialmente la arena, posee gran cantidad de elementos sumamente finos así como alto porcentaje de impurezas; sus granos son angulosos. Los agregados de mar, provenientes de las playas, son sumamente silicosos. Antes de usarlos es recomendable lavarlos. No son en nada recomendables pues las sales impiden la fragua del cemento. Por otra parte, las arenas de granos muy finos y uniformes -lo que causan el empleo excesivo de cemento. Por ser muy porosas y de gran capilaridad. Los agregados provenientes de río son limpios, sus granos redondeados y sin aristas vivas, su granulometría es amplia. Los agregados gruesos triturados han sido descritos en páginas anteriores. Las arenas artificiales tienen el defecto de ser muy finas, excesivamente angulosas y porosas. Por eso son poco usadas.

## CLASIFICACION SEGUN LA CONSTITUCION QUIMICA.-

Por su constitución química los agregados se pueden clasificar en dos grupos: áridos silíceos y áridos calcáreos.

Los primeros se deben a la disgregación de roca silíceas y pueden ser cuarzosos cuando sus granos están formados por sílice casi pura, y graníticos cuando están compuestos principalmente por feldespatos y mica.

Los agregados calizos tienen su origen en la descomposición de rocas calizas. Existen también agregados sílico-calizos que son mezcla de los anteriores en variadas proporciones.

Los áridos silíceos son los de mayor dureza y estabilidad química. En el caso de las arenas es recomendable el usarlos con exclusión de otros. Las graníticas no lo son tanto, pues son heterogéneas y algo alterables. Los agregados calizos solo deben ser usados si son duros y no deslesnables y únicamente en el tipo de gruesos.

## CLASIFICACIONES GRANULOMETRICAS.-

Si bien las clasificaciones de los agregados atendiendo a su composición química o a su procedencia nos indican con mas o menos precisión el comportamiento de los mismos ante la acción de los agentes naturales o su forma y textura, no sucede lo mismo con relación a su granulometría. Por otra parte la clasificación de áridos gruesos y finos es demasiado general y se adapta en la práctica a las nuevas teorías de dosificaciones de concretos, especialmente a las que consideran la inclusión de granulometrías discontinuas. Todo ello ha obligado la adopción de clasificaciones técnicas algunas de las cuales presentamos a continuación:

1.- Por el intervalo granulométrico.- Este es uno de los métodos mas simples. Consiste en indicar el tipo de agregado por los tamaños máximos y mínimos de sus granos. Sin embargo, para indicar en forma mas efectiva la concentración de los mismos en una zona vecina a cualquiera de los extremos, es recomendable señalar la superficie específica del agregado. En Alemania se ha adoptado este tipo de clasificación en la forma expuesta en el siguiente cuadro:

<u>Designación</u>	<u>Intervalo en mm.</u>	<u>Superficie:m<sup>2</sup>/Kg.</u>
K 00	0 - 0.06	90.6
K 0	0.06 - 0.09	32.0
K 1	0.09 - 0.2	15.0
K 2	0.2 - 0.6	5.5
K 3	0.6 - 0.2	1.75
K 4	2 - 7	0.51
K 5		0.15

Puede considerarse que la clasificación K-1 corresponde a la arena fina que la K-2 a la media y la K-3 a la gruesa.

2.- Características según el Módulo de Abrams y el intervalo granulométrico.- Esta clasificación está muy extendida y su uso generalizado por ser la base del diseño de mezclas de concreto según el método de Abrams. El intervalo y concentración granulométrica se obtiene haciendo uso de la serie de tamices TAYLER, cuyas mallas tienen las aberturas siguientes:

0.147 0.295 1.17 2.36 4.70 9.42 18.85 37.7 76.2

Relación que está en progresión geométrica. Se aduce en contra de su uso la carencia de una malla que indique la presencia del agregado fino pues, la mas tupida equivale a la malla No. 100 del ASTM. También se le reprocha la inexistencia del equivalente de la malla No. 80 del ASTM de 0.75 micron.

El módulo de finura es definido como: "Un factor empírico obtenido de la suma de los porcentajes totales de la muestra del árido, retenidas en cada una de las mallas de la serie especificada, dividiendo la suma entre 100".

El módulo de finura de un agregado compuesto de partículas finas y gruesas se obtiene de la relación:

$$M = r \cdot m_f + (1 - r) m_g$$

Considerando que:

- M Módulo de finura de conjunto.
- $m_f$  Módulo de finura del agregado fino.
- $m_g$  Módulo de finura del agregado grueso
- r Relación del volumen del agregado fino a la suma de los volúmenes de los agregados finos y gruesos.

### 3.- Características del agregado por el método de Halle Hazen.-

Este método parte de la definición del "Diámetro efectivo" que reduce supuestamente todos los granos del agregado a esferas de un diámetro igual al de las partículas, cuando el 10% en peso de la muestra tiene dimensiones menores.

Se menciona además la expresión de "coeficiente de no-uniformidad que es la relación entre el diámetro efectivo y el que corresponde al agregado que tiene, un 60% del grano mas pequeño y un 40% del mas grande del total de la muestra considerada.

Esta clasificación está muy generalizada en obras hidráulicas, corresponde a los siguientes términos.

<u>Clasificación</u>	Diámetro efectivo mm.
Arena muy fina	0.10
Arena fina	0.20
Arena media	0.30
Arena gruesa	0.40
Arena muy gruesa	0.50
Grava menuda	0.80



#### 4.- Clasificación por diagramas triangulares. Método de Feret.-

En sus estudios sobre morteros, Feret empleo el sistema de representaciones triangulares, que es un método claro y sencillo para el conocimiento de los morteros.

Considerando un triángulo equilátero de verticales G, M y F que corresponden a las denominaciones de arenas gruesas, medias y finas; un punto cualquiera, A, del interior del triángulo, Fig. 1, representa por su posición una determinada composición granulométrica medida por las fracciones de altura del triángulo, que representan las tres perpendiculares g, m, y f, trazadas desde A a cada uno de los tres lados con relación a la clase de árido, indicado por la letra del vértice opuesto.

Tenemos así que las rectas concurrentes en cada uno de los vértices g, M y F nos indican los lugares geométricos de los puntos en las relaciones  $m/f$ ,  $g/f$  y  $g/m$  sean constantes y las paralelas a cada uno de los lados, los correspondientes a valores fijos de cada una de la proporción m, g y f.

En la figura 2 se ha delimitado las zonas en que coinciden las arenas según su procedencia. Considerando al efecto la clasificación de Feret para agregados finos de concretos hidráulicos:

Finos:	de	0	á	0.5	mm.
Medios:	de	0.5	á	2.0	mm.
Gruesos:	de	2.0	á	5.0	mm.

Variaciones de la representación expuestas se obtienen con agregados de similares procedencias obtenidos en áreas distantes.

En el caso de tratarse de concretos asfálticos debe adoptarse por ser más apropiada, la clasificación del ASTM, que determina los siguientes límites granulométricos para los agregados:

finos:	de	0.074	á	0.177	mm.
medios:	de	0.177	á	0.42	mm.
gruesos:	de	0.42		2	mm.

En la figura No. 3 se ha incorporado una nueva ordenada, que es la compacidad del conjunto en determinadas proporciones de áridos finos, medios y gruesos, se observa así, que la menor compacidad se presenta en la zona en que el agregado fino tiene mínima o gran intervención. Por otra parte, se deduce fácilmente, que la mayor compacidad se obtiene con determinadas proporciones de agregados finos y gruesos, con escasa o nula intervención de los medianos.

Por ejemplo, el punto N de la figura representa una combinación de un 50% de granos finos; 20% de finos y 30% de gruesos siendo la compacidad de 58%.

El punto S representa una compacidad de 64% y corresponde a un 66% de granos gruesos, 34% de finos y 0% de medios.

FIG. 1

Arena artificial  
Arena de Rivera  
Arena Eólica  
Arena de aluvión o mina

FIG. 2

F = arena 0.0 á 0.5 mm.  
M = arena 0.5 á 2.0 mm.  
G = arena 2.0 á 5 mm.

FIG. 3

## CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS



### . - F O R M A - .

Considerando la relación existente entre el espesor y el grosor del agregado así como la de su longitud y grosor pueden clasificarse en elementos cúbicos, planos, largos de aguja y cinta.

En la práctica es importante de establecer correctamente la forma de los agregados, pues es un factor que juega un rol relevante en la bondad de los concretos, como se explicara mas adelante.

Las normas francesas de la AFNOR distingue tres tipos:

Agregados cúbicos.

Agregados en forma de placas.

Agregados en forma de aguja.

La mencionada norma considera la longitud como la mayor dimensión del agregado, el grosor como el diámetro mínimo de la malla que puede ser atravesada por el grano y el espesor como la distancia mínima de dos planos paralelos que encierran la parte media del agregado.

El Ministerio de Trabajos Públicos de Francia especifica que los agregados cúbicos deben cumplir la relación:

$$L + G \leq 6E$$

Para concretos de pavimentos y la de;

$$L + G \leq 4E$$

Para concretos asfálticos de granulometría continua.

Las normas Suizas especifican igualmente las tres formas de agregados anteriormente anunciadas. Determinan el circunscribir un paralelepípedo rectángulo al grano del agregado. Siendo la longitud (L), el grosor (G) y el espesor (E) del paralelepípedo los correspondientes del agregado. Teniendo siempre en cuenta que:

$$L \gg G \gg E$$

Las normas Suizas establecen similarmente, que el agregado cúbico ha de cumplir las siguientes relaciones:

$$\frac{L}{G} \leq 1.5$$

$$\frac{G}{E} \leq 1.5$$

Es fácil ver que las dos normas expuestas dan prescripciones equivalentes.

Se tiene en efecto que las reglas Suizas:

$$\frac{L}{G} = \frac{L}{G} \times \frac{G}{E}$$
$$\frac{L}{E} \leq 2.25$$
$$L + G \leq 3.15$$

En cuando a la denominación Francesa, prácticamente equivalente a:

$$\frac{L}{G} \leq 2$$
$$\frac{G}{E} \leq 2$$

Se tiene así en efecto las dos inigualdades:

$$\frac{L}{E} = \frac{L}{G} \cdot \frac{G}{E} \leq 4$$
$$L + G \leq E$$

En los casos de concretos de cemento las normas de la AFNOR establecen el concepto del coeficiente volumétrico con relación a un grano del agregado como a una masa diferenciada del mismo.

El coeficiente volumétrico de un grano es así definido como la relación existente entre el volumen  $v$  del mismo en  $\text{mm}^3$  y el de una esfera de diámetro  $N$  también en  $\text{mm}$ . circunscrita

al grano. Siendo así N la mayor separación entre dos planos tangentes al grano es decir su mas grande dimensión.

El coeficiente volumétrico será así:

$$c = \frac{v}{\frac{N^3}{6}}$$

Y el coeficiente volumétrico medio de un agregado compuesto por granos de variadas dimensiones - caso general - tales como N N N ..... de volúmenes  $v_1$   $v_2$   $v_3$  .....  $v$  se establecerá en la forma siguiente:

$$c = \frac{v_1 + v_2 + v + \dots + v_1}{\frac{(N^3 + N^3 + N^3 + \dots + N^3)}{6}}$$

Los coeficientes volumétricos de acuerdo con la forma de los agregados es:

Para agregados en forma de aguja del orden del 0.01

Para los de aspecto de placas de 0.05

Para los agregados cúbicos se acerca -sin sobrepasar nunca- al siendo el promedio de 0.40. Aunque mas generalmente se obtienen valores de 0.25 á 0.30.

Los coeficientes volumétricos mínimos exigidos por las normas indicadas no son muy severos, se refieren a tres tipos de concretos:

Tipo A; concretos armados o de resistencias mecánicas elevados 0.15

Tipo B; concretos impermeables, reservorios, tuberías, presas 0.15

Tipo C; concretos en masa, bloques, cimentaciones, etc. 0.12

Las exigencias de las normas sobre la forma de los agregados así como su rechazo de los de formas planas o alargadas tienen plena justificación. Para un mismo volumen de agregado presentan una mayor superficie específica exigiendo en consecuencia mayor cantidad de pasta de cemento. En áridos de granulometría continua, especialmente, a mayor cantidad de elementos chatos disminuye notablemente la compacidad. Se oponen también a la buena colocación del concreto fresco dentro de los fierros y moldes. Por otra parte existe siempre la incertidumbre de la efectiva orientación de las placas así como de su acomodación, al verter el concreto en las formas. Cuando necesariamente ha de usársele es preciso aumentar la proporción de arena, haciéndose así necesario aumentar la cantidad de agua y el dosaje de cemento, con perjuicio de la buena economía.

En el caso de concreto bituminoso, que ha de soportar esfuerzos, los agregados laminares generalmente se fraccionan presentando así nuevas caras libres que solo pueden ligarse en circunstancias muy favorables. Es por esto que este tipo de agregado es mas peligroso en los betunes calientes que en los preparados en frío, ya que estos últimos tienen adhesividad a la temperatura ambiente.

Son las rocas llamadas blandas las que al descomponerse dan mayor proporción de agregados planos y alargados en relación con las rocas duras y sobre todo que las rocas frágiles.



## ASPECTO SUPERFICIAL:

La textura o aspecto superficial de los agregados tiene gran importancia en el comportamiento de los concretos frescos y en la resistencia a la tracción y al rozamiento de los concretos endurecidos.

Aún cuando no se pueda definir con exactitud el grado de su influencia los agregados de superficie lisa dan concretos mas trabajables, por disminuir el coeficiente de rozamiento. Sin embargo, en algunas mezclas, determinan una menor resistencia a la tracción que los agregados de superficie angulosa y rugosa, debido a la menor adherencia que se produce en los primeros entre la pasta y el agregado.

Por estas consideraciones el Instituto Británico de Normalización ha clasificado a los agregados, según su granulometría, en seis tipos diferentes: Vitreo, liso, granuloso, mas o menos cristalino, cavernoso, y esponjoso o poroso.

En cuanto al uso preciso de un tipo para cada caso es a todas luces imposible el señalar normas rígidas. Ellas estarán siempre sujetas a múltiples factores: posibilidad de obtener uno o mas tipos de agregados, tipo de la obra, dosajes, economía, etc. Sin embargo se pueden establecer ciertas recomendaciones útiles.

Cuando se usa el tipo de agregado de aristas vivas y textura llamada rugosa, se ha de considerar un coeficiente de rozamiento elevado que conspira contra su fácil trabajabilidad, esta deficiencia ha de ser remediada con la intromisión en la mezcla, de un por-

centaje elevado de agregado fino. Pero este agregado fino tiene, como sabemos una mayor superficie específica que consiguientemente demandará la necesidad de aumentar el dosaje de agua de la mezcla, la experiencia demuestra que para lograr una misma consistencia cuando la cantidad de agua necesaria en combinaciones de agregados lisos es como 1 en las de agregados angulosos es de 1.25.

Se supone, por otra parte, que las superficies angulosas que dan una mayor adhesividad con la pasta de cemento, determinan a su vez mayores resistencias a la tracción y rozamiento. Dutron supone, seguido por Magnel, que a una misma resistencia compresiva la resistencia a la tracción de los concretos varía de:

$\frac{1}{10}$	á	$\frac{1}{15}$	para agregados lisos
y de			
$\frac{1}{15}$	á	$\frac{1}{20}$	para agregados angulosos

Es así para obras de concreto simple, especialmente las sometidas a la acción del desgaste o rozamiento o las que han de trabajar a la tracción, es conveniente usar agregados angulosos.

Sin embargo en concreto armado es necesario considerar:

- 1).- La poca manejabilidad de las mezclas de estos agregados.
- 2).- La necesidad de aumentar el porcentaje de finos- para que actúen mecánicamente disminuyendo el rozamiento- que origina a su vez una mayor superficie específica ávida de agua.

3).- En última instancia, las arenas angulosas, que para un mismo volumen ofrecen una mayor superficie específica. En consecuencia es recomendable usar materiales de textura superficial lisa.

En cuanto a los concretos bituminosos los agregados lisos son menos adhesivos.

#### CONTENIDO DE HUMEDAD:

La arena tiene la propiedad de absorber gran cantidad de agua, que en algunos casos llega al 25% de su peso, ello obliga a considerar el valor de este factor en forma previa a su uso. En las mezclas de concreto, la arena tiene una intervención en peso o volumen varias veces superior a la del cemento. De esa manera, en el caso de emplear una arena con gran contenido de humedad, variará notablemente la relación agua - cemento, perjudiciándose así la resistencia. Por otra parte la medida misma del agregado estará alterada por el mayor peso del agua retenida o por el factor esponjamiento de la arena húmeda en caso de un proporcionamiento por peso volumen respectivamente.

Es por eso que previamente a la utilización de los agregados, y muy especialmente de los finos, es preciso encontrar el contenido de humedad de los mismos. Ya mediante el empleo de aparatos apropiados o por el uso de tablas que dan directamente el contenido de agua libre de acuerdo con el peso de un volumen dado.

Bolomey ha estudiado la aplicación de la siguiente relación:

$$A = \frac{P}{d_1} \frac{N}{d_2}$$

Siendo:

A = el peso del agua retendida.

P = el peso en Kg. de los granos de diámetros d, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> etc.

d = d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> etc. los diámetros en milímetros de las cribas.

N = un coeficiente que varía entre 0.08 y 0.13 que:

para arena y grava de río está entre 0.09 y 0.10

Para arena y grava chancada entre 0.11 y 0.13.

La experiencia de la Asociación Americana de Cemento Portland dan las siguientes cifras promedio.

Cantidad aproximada de agua absorbida por agregados:

Arena	1.00 %	en peso
Piedra y rocas triturada caliza	1.00	
Granito y rocas volcánicas	0.5	
Areniscas porosas	7.00	
Agregados porosos y muy ligeros	25.00	

#### P O R O S I D A D

Como sabemos la porosidad volumétrica está definida por la fórmula:

$$\% P = \frac{P' - P}{P} \times 100$$

Siendo  $P'$  el peso del material embebido en agua.

$P$  el peso del producto seco.

$d$  el peso específico.

Si el agregado no es de tipo uniforme sino proveniente de diversas rocas con distinta porosidad suponiendo que  $x, y, z, w, \text{etc.}$  representan los porcentajes en peso en que intervienen cada una de ellas y  $p_x, p_y, p_z, \text{etc.}$ , las porosidades de las mismas, la porosidad del conjunto del agregado estará dada por la fórmula.

$$P = x p_x + y p_y + z p_z + \dots$$

Los límites máximos para la porosidad según las normas francesas son:

3 % para los concretos de baja permeabilidad.

5 % para los concretos de resistencias mecánicas elevadas.

10% para los concretos pobres o no armados.

La cuestión de la porosidad es altamente importante en los concretos corrientes donde el agua absorbida por los agregados es necesario descontarla del agua requerida para la mezcla. Las normas no prevén el uso de estos agregados para concretos ligeros. Pero en ese caso es necesario considerar el agua absorbida por los mismos, que es distinta del agua capilar, así como la particularidad de que los granos del cemento penetran muchas veces dentro de los poros en lugar de rodear a los granos.

Por otra parte cabe recordar que unamezcla de agregados muy porosos exige mayor cantidad de pasta de cemento lo que altera la economía de la obra.

#### IMPUREZAS:

Existen varios tipos de impurezas o materias extrañas no permisibles en los agregados. Algunas de ellas, como el barro que se adhiere a los granos, pueden ser eliminadas mediante un lavado. Otras pueden ser aceptadas si no pasan de determinado porcentaje del volumen total. Como es el caso de los Esquistos arcillosos, carbones, guijarros pequeños de arcilla, etc., o en el de las materias muy finas. Todas ellas están normalizadas, y están expuestas en el anexo correspondiente.

Los sulfuros y los sulfatos, como el yeso y la anhidrita producen la descomposición del cemento en el proceso de endurecimiento del concreto, es por ello que no se debe admitir un porcentaje en peso anhídrido sulfúrico ( $SO_3$ ) mayor que el 1.2%

Así mismo las materias orgánicas conspiran contra el endurecimiento del concreto pues los ácidos formados por los residuos vegetales se combinan con las sales alcalinas del cemento.

Hay también otro tipo de impurezas que es causa de expansiones excesivas de determinados concretos. Ellas se deben a las reacciones de los álcalis del cemento -óxidos de potasio y sodio- con agregados que tienen pizarra y sílex en proporción

superior al 15%. Como los cementos americanos son excesivamente ricos en álcalis, este fenómeno casi siempre está localizado en las zonas de su uso extensivo y es en ese país donde se ha producido una notable bibliografía al respecto.

Fué en el año de 1940 que el investigador norte americano Stanton, descubrió en California que ciertos cementos al mezclarse con áridos determinados presentaban expansiones notables: a pesar de que los mismos cementos con otros áridos o distintos cementos con los mismos áridos no originaban tal fenómeno. Se comprobó así, que esos agregados contenían hasta un 15% de pizarra y sílex, con alto contenido de cal y magnesia, y que los cementos que originaban las expansiones tenían todos más de 0.67 de álcalis, tanto el  $\text{Na}_2\text{O}$  como el  $\text{K}_2\text{O}$ .

Se ha estudiado detenidamente todos los factores que pueden intervenir en el proceso, se ha demostrado así la acción beneficiosa que resulta de agregar a la pasta materiales activos finamente pulverizados.

Se encontró también que las temperaturas elevadas durante el fraguado aceleraban y aumentaban las reacciones, mas aún cuando estaban sobre los  $40^\circ\text{C}$ .

Hansen ha establecido la hipótesis según la cual los hidróxidos alcalinos con la sílice del agregado producen silicatos alcalinos, cuyas uniones se asocian en complejos incapaces de difun-

dirse a través de la pasta endurecida de cemento. Esta pasta endurecida - semi permeable deja pasar el agua y las moléculas de los hidróxidos alcalinos pero no al complejo del silicato alcalino creándose una célula de presión osmótica. Estos silicatos formándose sobre la superficie de las partículas del árido arrastrarían a la pasta a formar también una bolsa de líquido, la que a su vez ejercería presión sobre la pasta que la rodeaba. El producto resultante de mayor volumen, y contraído a su espacio primitivo, ocasionaría una presión hidrostática que disgrega indudablemente la estructura de la pasta.

. ----- .



ENSAYES RELATIVOS A LOS AGREGADOS  
=====

## Obtención de las Muestras.-

Las muestras se pueden obtener de la planta de producción o del material depositado en la obra. En el primer caso es conveniente estudiar las facilidades de clasificación y el estado general de las instalaciones.

Es recomendable el obtener las muestras en el momento en que los carros son cargados desde los silos o rumas, obteniéndose de la sección transversal completa, del chorro de descarga. Previamente se deberá dejar descargar de 2 a 5 toneladas de material, para evitar tomar el producto de la segregación.

Cuando no es posible visitar la planta de chancado o selección y las muestras se toman en la obra misma se pueden obtener en el momento de descarga.

La cantidad de la muestra estará en función del volumen del material considerado, de las facilidades existentes y del tipo y condiciones del agregado.

El U. S. Bureau de Reclamation recomienda obtener muestras de 2 a 3 kilos que sean lo más representativas de la existencia del agregado. Buscándolas en el material húmedo, de ser posible, para evitar la segregación. Recomienda el uso de un tubo de acero de 5 cm. de diámetro y 1.80 mts. de largo; terminado en punta en un extremo y provisto de una empuñadura en el otro. A todo lo largo del tubo se practican aberturas, dejando enganchadas las pequeñas secciones de las mismas, en forma de branquias o agallas.

Se introduce el tubo en el montón, haciéndolo girar hasta que se encuentre lleno. Luego se le descarga y se repite la operación en toda la sección de la masa.

Las muestras obtenidas se pueden ensayar separadamente, cuando se quiere conocer las variaciones que se presentan en el material, tanto en calidad como en tamaño. Pero si se desea conocer las características generales de todo el agregado, deben ser mezcladas y luego reducidas por sucesivos cuarteos que formen una muestra representativa del árido a estudiarse.

Ensayes microscópicos, químicos y mineralógicos.- Los ensayes microscópicos se realizan sobre las arenas y ultra finos para determinar su forma y dimensiones. El análisis químico señala la composición exacta del agregado. Consiste generalmente en estudiar la insolubilidad en el ácido clorhídrico. El examen mineralógico demuestra la composición cristalina y la textura.

Estos análisis no figuran en las normas y especificaciones en uso. Se llevan a cabo eventualmente, con fines de investigación o de consulta. Sin embargo su importancia no debe ser desestimada.

Peso específico.- Es la relación entre los pesos de un mismo volumen de agregado y de agua. Esta determinación juega un importante papel en las dosificaciones de morteros y concretos. El ASTM especifica los métodos que reseñamos a continuación.

Arena: Se usa un recipiente de vidrio de forma especial, que recibe el nombre de frasco de Le Chatellier, el que se llena de agua hasta la graduación de 200 cc., luego se procede a introducir 500 gramos de agregado. Se cuidará de evitar que la arena se adhiera a las paredes no mojadas por el líquido. Así mismo se desaloja el aire contenido en la arena; para lo cual se puede inclinar el frasco haciendolo girar. Léese enseguida en el nivel del agua la graduación indicada por el nuevo volumen. El peso específico será así:

$$P_e = \frac{500}{V - 200}$$

Siendo V la lectura del nivel de agua.-

Se recomienda realizar dos ensayos, los que no deben variar en mas de 0.05. La muestra del material deberá ser de un kilo, eliminándose la mitad por cuarteo.

Piedra.- El método en lo general es semejante. Se usa, por razones obvias, un cilindro metálico.

Determinación de impurezas orgánicas en la arena.- Se obtendrá una muestra representativa de la arena de 500 gramos. En una probeta de vidrio graduada de 250 cm.<sup>3</sup> de capacidad se introduce la muestra del árido, añadiéndole una solución de sosa al 3% hasta llegar a los 150 cm.<sup>3</sup> Se agita vigorosamente la probeta tapada, dejándola luego en reposo por 24 horas.

En otra probeta se vierte una solución de sosa al 3% en cantidad de 97.5 cm.<sup>3</sup> y una de ácido tánico al 2% en 100% de alcohol, en una cantidad de 2.5 cm.<sup>3</sup>. Agitándose luego la probeta y dejándola durante 24 horas en reposo.

Después de ese lapso de tiempo se procede a comparar el color que presentan las dos soluciones. La coloración de la probeta con arena debe ser mas baja o igual a la de la solución que llamaremos tipo. En otro caso se estimará que el contenido de materia orgánica de la muestra es excesivo.

Peso unitario del agregado.- Esta es una importante determinación a efectuar en los agregados, que es básica para el diseño de las mezclas. No es posible obtener resultados exactos en este tipo de estudio dado el cúmulo de factores, algunos de ellos imponderables,

que en él intervienen. Podemos citar así: las diferencias por el proceso de operación manual de diversas personas. El efecto pared en relación con el tamaño del agregado y la superficie de las paredes de la vasija; los diversos tipos de enrase; la forma de verter el agregado; la compactación, etc.

En Europa no se compacta el agregado en ninguna forma para realizar esta determinación. En Alemania se recomendaba hace algún tiempo dejar caer el agregado libremente desde un tamiz, a una altura de 30 cm. de la vasija, enrazándola luego con una regla vertical. En Francia, en los últimos años, se ha estudiado exhaustivamente el problema, recomendándose así el eliminar la influencia del operador vertiendo el agregado desde un juego de conos de modelo especial, enrazando luego la vasija con una regla metálica de un borde de ataque de 45° con la superficie a enrazar y procediendo a esta operación en forma diagonal a la acción del cubo. Las dimensiones del recipiente deben estar de acuerdo con el tamaño máximo del agregado. En este sentido se plantea la relación:

$$d = d_0 \left( 1 - \frac{6 k D}{a} \right)$$

en la que  $d$  es la densidad aparente de un agregado de tamaño máximo  $D$  medida en un cubo de arista  $a$ . El valor de  $d_0$  es el de la densidad aparente del mismo agregado en un medio indefinido. El coeficiente  $k$  se puede suponer, sin introducir un error mayor del 1%, de un valor de 0.1.

En los Estados Unidos de Norte America, el ASTM, emplea un

recipiente cilíndrico de metal, cuyas dimensiones están de acuerdo con el tamaño del agregado. Según la tabla al pie.

Capacidad pies cúbicos	Diámetro interior	Altura	Tamaño máximo agregado pulgadas
1/10	6	6.1	1/2
1/2	10	11.0	1 1/2
1	14	11.23	

En el caso del agregado mas pequeño se vierte en tres capas, apisonando cada una de ellas 25 golpes de una varilla redonda de 3/4 de pulgada y de 18 pulgadas de longitud. Esta varilla se deja caer uniformemente sobre toda la superficie desde una altura de 1 pulgada.

Para el agregado mas grueso es suficiente compactarla con los dedos de la mano.

Ensaye de desgaste con la máquina de los Angeles.- Los ingenieros del Depto., de caminos de la ciudad de los Angeles, California, desarrollaron, hace mas de dos décadas, una máquina para determinar el desgaste de los agregados. Este aparato conocido como Máquina de Desgaste de los Angeles es usado en nuestro continente en forma mucho mas amplia que la máquina de Deval.

La máquina es un tambor cilíndrico de 28 pulgadas de diámetro y 20 pulgadas de longitud. Levantando longitudinalmente sobre su eje horizontal.

La muestra de piedra a ensayar tiene un peso de 5000 gramos. Conjuntamente se cargan en la máquina aproximadamente 5000 gramos de esferas de acero. El tambor se hace girar a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto.

La muestra de piedra o canto rodado a ensayar debe tener un peso de 5000 gramos. Y es introducida dentro de la máquina conjuntamente con seis o doce esferas de acero o fierro fundido de 1 7/8 de pulgada durante toda la prueba. El número de esferas depende de la graduación del elemento de prueba. El tambor gira a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. Después de 500 revoluciones el porcentaje de pérdida se determina, considerando como tal la porción que pasa la malla N° 12.

La máquina de abrasión de los Angeles se considera que tiene ciertas ventajas sobre la máquina de Deval: Mayor velocidad de operación; acción mas severa; acentuando así el agregado pobre; adaptabilidad para probar agregado natural o chancado; no le hace efecto las variaciones en volumen del elemento de prueba debido al peso específico. No existe efecto de amortiguamiento que causa el polvo. La prueba puede realizarse sobre el material listo para la obra.



## F I R M E Z A

\*\*\*\*

Denomínase firmeza a una de las más importantes cualidades del concreto, como es su capacidad para soportar, en buenas condiciones, los cambios atmosféricos, las variaciones de temperatura, las heladas y deshielos. Algunas rocas tienen condiciones óptimas para toda clase de ensayos y sin embargo al determinar su firmeza al intemperismo flaquean bruscamente. Para evitar la destrucción de las obras la carencia, en los agregados, de esta propiedad, se ha ideado varios ensayos que reproduzcan lo mas posible las condiciones reales; para estudiar así el comportamiento de las piedras y arenas.

Los métodos conocidos se pueden reunir en dos grupos bien diferenciados. A saber: 1) Los que se basan en la capacidad del material para resistir sin descomponerse períodos alternados de hielos y deshielos, y 2) Aquellos que emplean inmersiones periódicas en soluciones saturadas de sulfatos de sodio o magnesio con secados en un horno de 230° F. y secado en cinco o mas ciclos. El ASTM propone ensayos en este sentido.

En la prueba de las soluciones saturadas la desintegración se realiza por la formación de cristales durante los periodos de inmersión. La cantidad de sulfato de sodio que integra la solución varía grandemente, en función de la temperatura. Mientras tanto las soluciones de sulfato de magnesia no son afectadas. Hay discrepancias en la cuestión de cual de los dos métodos es mejor.

En el ensaye de congelación y deshielo se requiere un tiempo de operación mas largo, que en el método anterior. En este método es conveniente considerar que la inmersión de las probetas se realiza generalmente en condiciones normales de temperatura y presión, por lo que no todos los espacios huecos se llenan con agua. En caso de que así fuera, la muestra se desintegraría rápidamente, pues, como se sabe, el agua al congelarse adquiere mayor volumen y produciría numerosas micro-fracturas.

Determinación del porcentaje de arcilla y cieno.- Es también el porcentaje del material que pasa la malla N° 200. La muestra representativa del árido se tomará de acuerdo con la siguiente tabla, en función del tamaño máximo del mismo.

Malla número	Peso mínimo aprox. de la muestra en Kg.
N° 4	0.5
3/4"	2.5
1 1/2" o mas	5.0

Se cuidará que la muestra no esté influenciada por segregación u otros factores extraños.

El agregado seleccionado se deseca a una temperatura máxima de 110°C, hasta obtener un peso constante -admitiéndose variaciones del 0.02 por ciento. Luego se introduce en una vasija de dimensiones tales que le permitan contener la muestra y una cantidad de agua suficiente para cubrirla, así como posibilitar una vigorosa agitación. Estos pasos tienen el objeto de separar la arcilla y el lodo del agregado grueso. La agitación debe durar un mínimo de 15 sg. y luego se dejará sedimentando un tiempo igual. Se vierte después cuidadosamente el agua, haciéndola pasar por el tamiz N° 200, devolviendo al recipiente el material retenido en la misma. Esta operación se repite hasta obtener que el agua de desentación sea limpia, indicándose así ausencia de arcilla. Procédese enseguida a desecar al material y a pesarlo.

El porcentaje de arcilla y barro se obtendrá de la relación:

$$\% \text{ material fino} = \frac{\text{Pesada original} - \text{Peso muestra lavada}}{\text{Pesada original}} \times 100$$



Regular 7 - 9

Aceptable 9 - 11

Bueno 11 - 13

Muy bueno 13- 15

Excelente 15 ó más

Los límites extremos del coeficiente de Deval dan una gran amplitud de variación a los minerales, así tenemos:

Cuarzo 14 a 18

Granito 13 a 22

Porfirio 10 a 28

Calcáreas duras 13 a 24

Silico-calcáreas 13 a 21

## ENSAYES MECANICOS



La importancia de los ensayos mecánicos de los agregados se valua facilmente. Entre ellos los mas usuales son los de rozamiento o desgaste y los de compresión. De los primeros nos ocupamos en el acápite correspondiente, concretándonos aquí a tratar de las resistencias mecánicas de piedras y arenas al aplastamiento.

La resistencia de piedras y gravas es relacionada generalmente con el tipo de roca que la origina, salvo que por su reducido tamaño, formas de gravillas o arenas gruesas, puedan asimilarse a los ensayos de arenas.

Estos son de dos tipos según el esfuerzo que se aplique en forma dinámica, por choques repetidos de un pistón sobre la muestra contenida en un cilindro, ó estáticos, de simple compresión. En ambos el efecto es medido pasando la muestra de arena, antes y después del ensaye, por una serie de tamices. La diferencia de granulometría indicará la mayor o menor desintegración del material.

### Ensayos estáticos.-

Los ingenieros belgas Campus y Jacquemin utilizaron para efectuar estudios de compresión un cilindro de diámetro interior de 114 mm. y de una altura de 121 mm. El pistón era de 113 mm. El mortero se introducía en el cilindro con un peso de 500 grs., de arena, secándola previamente. El pistón funcionaba bajo la

acción de una prensa que ejercía sobre el mismo una presión creciente con una velocidad constante de 0 a 400 Kg./cm.<sup>2</sup> por minuto. La presión total ejercida era de 40 toneladas en un tiempo de cuatro minutos.

Los dos ingenieros mencionados propusieron un coeficiente de destrucción de las arenas de acuerdo con su comportamiento en este ensayo. Sin embargo, por la poca difusión del método no ha encontrado la aceptación que debiera tener.

A la luz de los resultados, se pueden obtener las conclusiones siguientes con referencia al comportamiento del agregado:

- 1.- A igualdad de naturaleza, superficie y forma, las arenas de granulometrías continuas tiene menos porcentaje de fragmentación que las de granulometría discontinua.
- 2.- El tamaño de los granos juega un importante rol en la resistencia, obteniéndose optimas ventajas con granulos finos.
- 3.- Las arenas de granos redondeados son mas resistentes que las que tienen formas planas o alargadas.
- 4.- La naturaleza de la roca de origen tiene también importancia pues, como es lógico, los granos mas sensibles son los de mayor fragmentación.

Los ensayos de compresión dinámica.-

Estos ensayes se realizan comunmente en un dispositivo similar al del ensaye estático, salvo en el pistón que se deja caer

10 veces desde una altura de 1 metro y con una carga de 50 Kg.

La cantidad en peso de la muestra es la misma que el ensaye anterior, así como la forma de medida, por porcentaje de fragmentación según ensaye granulométrico.

Así como en los ensayes estáticos el material mas fino obtiene mejores condiciones para resistir la sollicitación en estos ensayes la figura es la misma pero aumenta en general al doble el porcentaje obtenido anteriormente.



## Ensayes Normalizados.-

La Sociedad Americana de Ensaye de Materiales determina un tipo de ensaye para valorar la resistencia a la compresión de las arenas. Consiste en obtener la resistencia de tres cubos de 2 x 4 pulgadas de mortero de un cemento determinado y la arena por estudiar para compararla con la que ofrece, en los mismos cubos, un mortero del mismo cemento con arena normalizada. Este es pues, un índice comparativo. Generalmente se especifica que la resistencia de una arena no deba bajar del 95% de la obtenida con la arena tipo. Sin embargo tal taxativa debe estar siempre a criterio de una persona responsable ante cada caso definido.

### Análisis granulométrico.-

La granulometría de los áridos es medida por medio de análisis de cernimiento, utilizando una serie conocida de tamices. La muestra representativa es pasada al efecto por una serie de cernidores ordenados en forma decreciente, colocando el mas grande encima.

El procedimiento mas común consiste en pesar el material retenido en el tamiz mas grande y luego el del siguiente sumándolo al primero y así sucesivamente, hasta pesar el total del material. Este método se conoce como de análisis acumulativo. Los valores de cada tamiz son el total del porcentaje retenido y sustraído de 100.

Otra forma de procedimiento es el de determinar las fracciones entre cada dos tamices. Valores que se conocen como porcentajes fraccionados.

Los datos obtenidos pueden ser llevados a un gráfico, formando una curva de tamizado. Para lo cual los diámetros de las aberturas del tamiz se colocan a escala directa en las abscisas y los porcentajes que pasan en las ordenadas. Sin embargo en algunos casos se acostumbra poner los diámetros en escala logarítmica, generalmente cuando se usa la serie de tamices Tayler que tienen sus aberturas en progresión geométrica. En otros casos los porcentajes retenidos son colocados en el gráfico en lugar de los porcentajes que pasan.

La muestra ha de tener en peso los siguientes valores:

Para agregado fino:

Material que en un 95% pasa la malla 10 100 gramos

Material que en mas de un 90% pasa la malla  
Nº 4 y no mas de un 5% la malla 10 500 gramos

Para agregado grueso:

<u>Tamaño Máximo</u>	<u>Peso en gramos</u>
3/8 .....	1000
1/2 .....	2500
3/4 .....	5000
1 .....	10000
1-1/2 .....	15000
2 .....	20000
2-1/2 .....	25000
3 .....	30000
3 1/2 .....	25000

MALLAS.-

Existen numerosas series de Mallas, de distinta luz y relación entre tamices.

En la tabla siguiente damos las características de las mas conocidas así como su equivalencia.

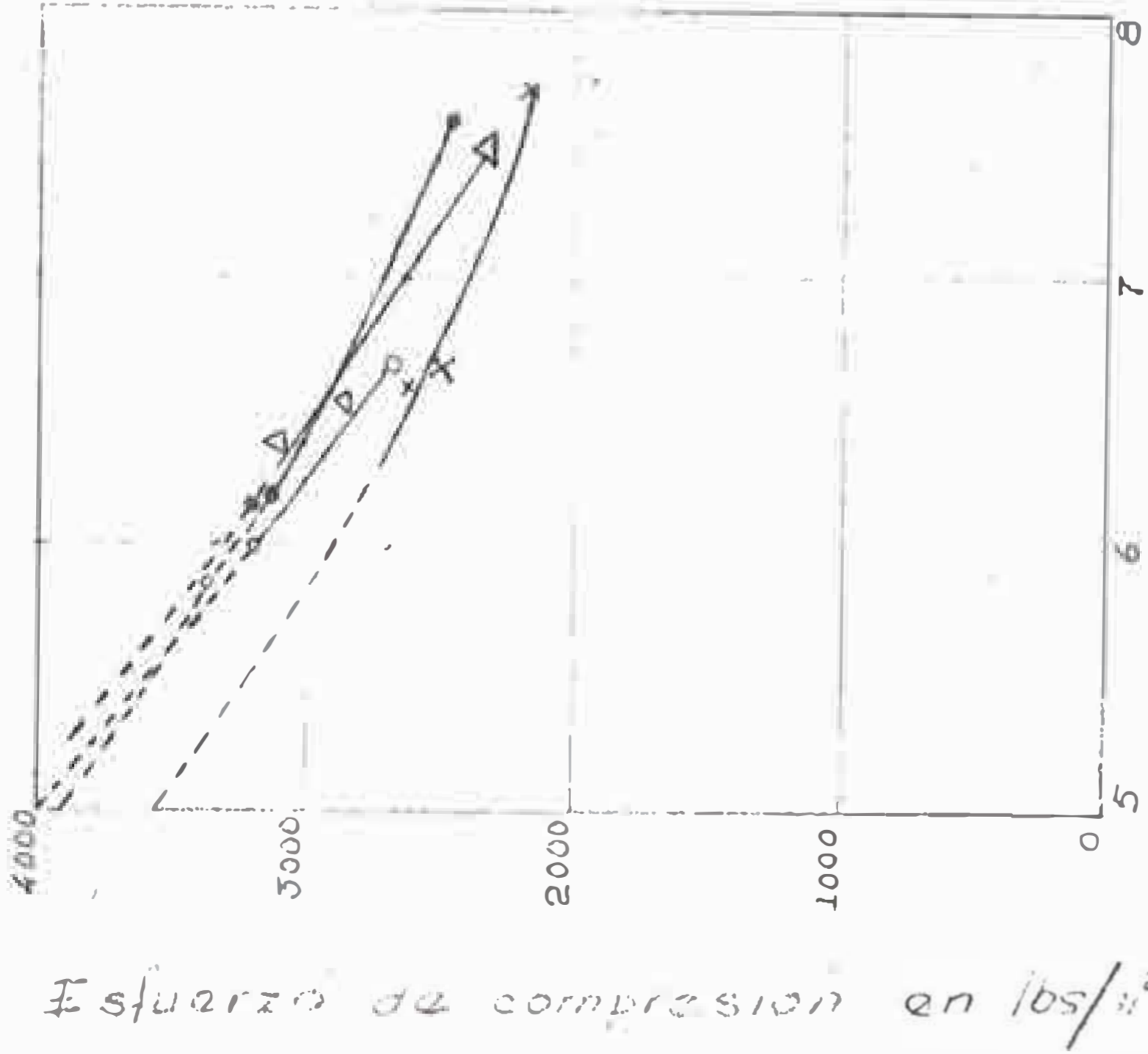
Dimensión interior de la malla de tamiz (mm)	Módulo Afnor x11-501	Número A.S.T.M. E. 1226	Número B.S.I.	Serie Tyler Standard	Número DIN 1170.71
0,855	"	"	18	"	"
1,00	31	18	"	"	n° 6
1,01	"	"	16	"	"
1,06	"	"	"	"	"
1,17	"	"	"	T (4)	"
1,19	"	16	"	"	"
1,20	"	"	14	"	"
1,25	32	"	"	"	"
1,27	"	"	"	"	"
1,41	"	14	"	"	"
1,60	33	"	"	"	"
1,68	"	12	10	"	"
2,00	34	10	"	"	2 mm
2,06	"	"	8	"	"
2,36	"	"	"	T (5)	"
2,38	"	8	"	"	"
2,42	"	"	7	"	"
2,50	35	"	"	"	"
2,54	"	"	"	"	"
2,83	"	7	"	"	"
2,88	"	"	6	"	"
3,00	"	"	"	"	3 mm
3,12	"	"	1/8"	"	"
3,15	36	"	"	"	"
3,36	#	6	"	"	"
4,00	37	5	"	"	"
4,70	"	"	"	(6)	"
4,76	"	4 ou 3/16"	"	"	"
5,00	38	"	"	"	5 mm
6,00	"	"	"	"	6 mm
6,25	"	"	1/4"	"	"
6,35	"	1/4"	"	"	"
7,937	"	5/16"	"	"	"

Dimensión interior de la malla de tamiz (mm)	Módulo Afnor x11-501	Número A.S.T.M. E. 1126	Número B.S.I.	Serie Tyler Standard	Número DIN 1170.71
--	----------------------	-------------------------	---------------	----------------------	--------------------

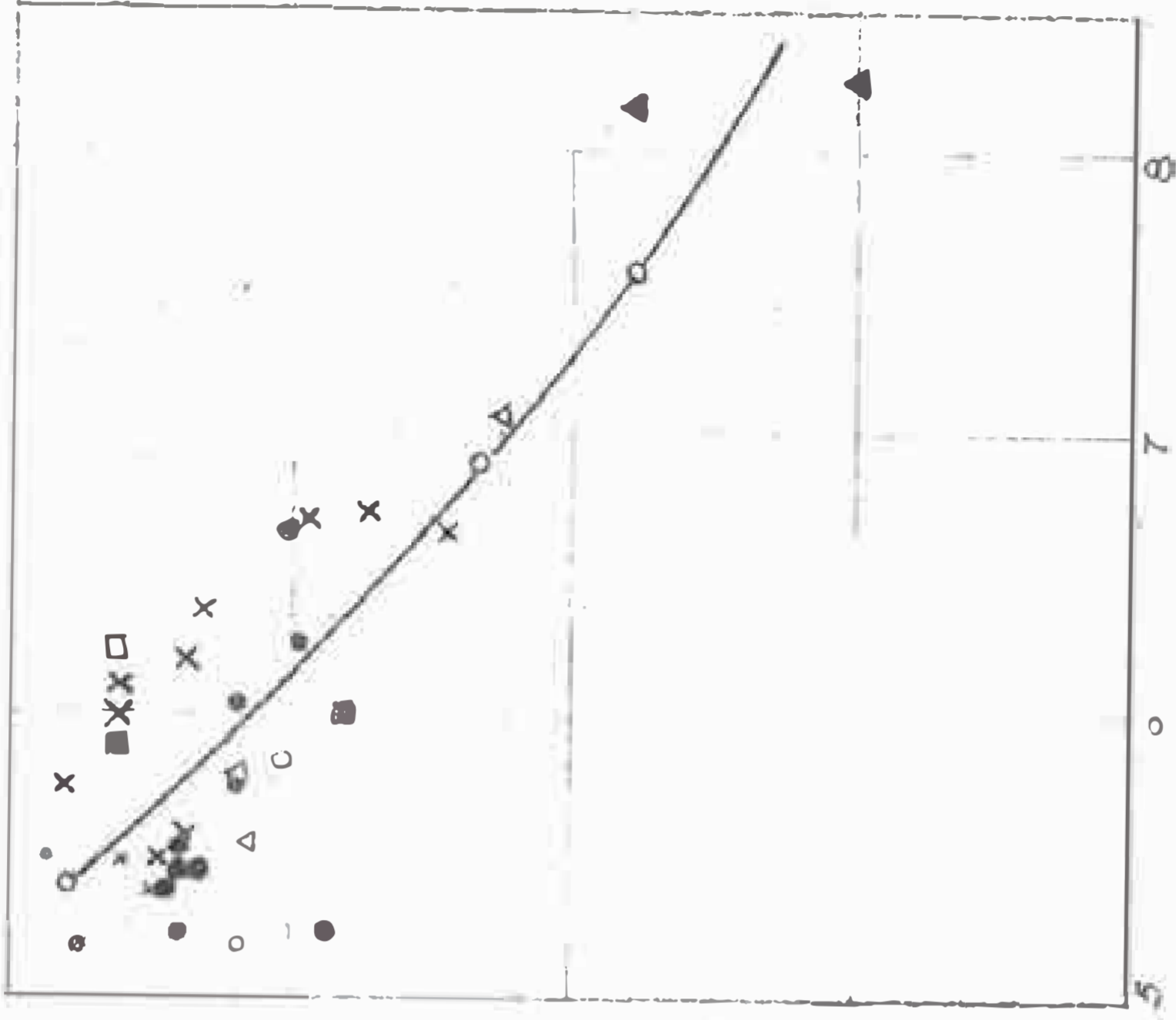
0,250	"	60	"	"	n° 24
0,251	"	"	60	"	"
0,254	"	"	"	"	"
0,295	"	"	52	T (2)	"
0,297	"	50	"	"	"
0,300	"	"	"	"	n° 20
0,315	26	"	"	"	"
0,318	"	"	"	"	"
0,350	"	45	"	"	"
0,354	"	"	44	"	"
0,360	"	"	"	"	"
0,380	"	"	"	"	n° 16
0,400	27	"	"	"	"
0,420	"	"	#	"	"
0,422	"	"	36	"	"
0,425	"	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	n° 14
0,500	28	25	30	"	"
0,589	"	"	"	"	"
0,590	"	30	"	T (3)	"
0,599	"	"	25	"	"
0,600	"	"	"	"	n° 10
0,630	29	"	"	"	"
0,636	"	"	"	"	"
0,700	"	"	22	"	"
0,710	"	25	"	"	"
0,750	"	"	"	"	n° 8
0,795	"	"	"	"	"
0,800	30	"	"	"	"
0,840	"	20	"	"	"

Dimensión interior de la malla de tamiz (mm)	Módulo Afnor x11-501	Número A.S.T.M. E. 1126	Número B.S.I.	Serie Tyler Standard	Número DIN 1170.71
0,040	17	"	"	"	"
0,044	"	325	"	"	"
0,050	18	"	"	"	"
0,053	"	270	"	"	"
0,060	"	"	"	"	n° 100
0,062	"	230	"	"	"
0,063	19	"	"	"	"
0,066	"	"	240	"	"
0,074	"	200	"	"	"
0,075	"	"	"	"	n° 80
0,076	"	"	200	"	"
0,080	20	"	"	"	"
0,084	"	"	"	"	"
0,088	"	170	"	"	"
0,090	"	"	"	"	n° 70
0,100	21	"	"	"	n° 60
0,105	"	140	150	"	"
0,125	22	120	120	"	"
0,140	"	"	"	"	"
0,147	"	"	"	F (1)	"
0,149	"	100	"	"	"
0,150	"	"	"	"	n° 40
0,152	"	"	100	"	"
0,160	23	"	"	"	"
0,177	"	80	"	"	n° 35
0,178	"	"	85	"	"
0,180	"	"	"	"	"
0,200	24	"	"	"	n° 30
0,210	"	70	"	"	"
0,211	"	"	72	"	"

EFEECTO DEL TIPO DE AGREGADO



Agua en galones U.S. por  
saco de cemento.



Agua en galones U.S. por  
saco de cemento.

Fig. 32.

## S U M A R I O

\*\*\*\*\*

CAPITULO I.- Esencia significado y Fines del Ensayo de Materiales.- La investigación - La docencia.- La normalización

CAPITULO II.- Máquinas de Ensaye - Sus tipos - Su rectificación - El equipo - La observación de los elementos.-

CAPITULO III.- Ensayes Químicos - Análisis espectrográficos - Análisis Polarográfico.- Tablas.

CAPITULO IV.- Ensaye de constitución.- El microscopio y el estudio del clinker y las pastas hidratadas. El microscopio electrónico.- La difracción.- Tablas.

CAPITULO V.- Ensayes físicos.- Finura.- Fragua.- Calor de hidratación.- Retracción.- Permeabilidad.- Trabajabilidad.

CAPITULO VI.- Ensayes mecánicos.- Compresión.- Tracción.- Flexión.- Torsión.- Impacto.- Cisallamiento.- Cargas repetidas.- Fatiga.- Solicitaciones múltiples.

CAPITULO VII.- Agregados.- Características.- Propiedades.- Ensayes.-

\*\*\*\*\* 000 \*\*\*\*\*



## B I B L I O G R A F I A

Traite de Matériaux de Construction.- Por M. Duriez.- Dunot.  
Paris. Textbook of the Materials of Engineering.- Por Herbert  
Moore.- Mc Graw Hill.

Materials of Construction.- Pulver,- Mc Graw - Hill.

The testing and the Inspection of Engineering Materials.-  
Davis- Troxell and Wiskocil.- Mc Graw Hill.

Química del Cemento Portland.- Bogue.- Dossat.

The Chemistry of Cement and Concrete.- F. M. Lea.- and C. H.

Le Béton.- J. Faury.- Dunot.-

L'Emploi rationnel des Agregats pour Béton.- Jean Pierre Levy. Batir.-  
Plain Concrete.- Edwar Bauer.- Mc. Graw-Hill.

Concreto Armado.- Fernando Moral.- Dossat.

Traite de Béton Arme.- A. Guerrin.- Dunot.-

L. Evolution et les incertitudes de la technique du béton.- L. Boudic.-  
Dunot.-

La Résistance du Béton et sa Mesure.- M. R. L' Hermitte.- A I B Y P.

Basic Principles of Concrete Makin.- Franklin R. Mc. Millan.- Mc.  
Mc. Graw-Hill.

Influences on concrete.- A. Kleinlogel.- Ungar.

Hormigón vibrado.- Barcelo.- Dossat.-

Les Bétons Légers.- Otto Graf.- Sidest.

Evolution du role des precontraintes dans les constructions et  
consequences de leur utilisation systematique.- M. Eugéne Freyssinet.

A resistencia do concreto a esforços combinados.- Telemaco Van  
Langendonck A B C P.

Handbook of Experimental Stress Analysis.- M. Hetenyi.- John  
Wiley and Sons.

Le Controle Ultrasonore des Materiaux.- Yvan OTS.- Charleroy Elec-  
tronique.-

Prontuario del Hormigón A. Hummel.- Palestra.

Qualité des Matériaux et Sécurité dans Le Batiment.- M. Ros.-  
A I T B.-

Materie, Construction et Resistance.- M. R. L'Hermitte.- P I T B.

Revistas.-

Cemento - Hormigón.-

Revista de Obras Públicas.-

Boletín R J L E M

Boletín A C I

A S T M

Travaux

Engineering New Records

Batir.-