

Hormigón premezclado

Juan Pablo Covarrubias T.

Profesor. Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

RESUMEN: Se presentan alcances generales relativos al hormigón premezclado, seguido por un análisis de algunos aspectos técnicos relevantes de este material.

I. INTRODUCCIÓN

El hormigón premezclado se inició en Chile el año 1961, con la colocación del primer hormigón premezclado en la Villa El Dorado. Esta industria ha ido creciendo y actualmente integran la Asociación Chilena de Empresas Productoras de Hormigón, ACHEPH, cinco empresas, con prestación de servicios en diferentes puntos del país. Estas empresas son:

- Ready Mix
- Pétreos
- Transex
- Premix
- CMT

La entrega de hormigón premezclado es actualmente de aproximadamente 1.000.000 de m³ al año. Un 16% del cemento producido es consumido por esta industria. El crecimiento de esta industria en comparación al crecimiento de otros materiales de construcción se muestra en la Figura 1.

El hormigón premezclado es un material de construcción muy especial. Es el único material que es fabricado bajo condiciones industriales y vendido en un estado semiterminado, y que luego, el comprador debe encargarse de transportarlo dentro de la faena, colocarlo y compactarlo, para obtener el producto final requerido por la especificación. Esto hace que haya dos empresas involucradas en la calidad final de este material. Una obra de hormigón satisfactoria depende de la buena colaboración de las dos partes involucradas. Cuando ocurren dificultades en la obra, éstas generalmente se deben a una falta de comunicación, entendimiento y cooperación entre el que especifica, el comprador y el suministrador.

El que especifica es responsable de preparar una especificación para el hormigón que defina claramente sus requerimientos para la estructura. Esta especificación debería incluir: resistencia, nivel de confianza, y si es necesario, otras características tales como la dosis máxima y mínima de cemento, impermeabilidad, resistencia a sulfatos, etc, y también los métodos de ensayo y las acciones a tomar en caso de que no se cumpla con las especificaciones.

El comprador es responsable de proporcionar al proveedor los detalles completos del hormigón requerido para la obra. Esto incluye todas las características que debe cumplir el hormigón para su buen transporte, colocación y compactación en obra. Esta información debe incluir tamaño máximo del árido, trabajabilidad del hormigón, características de la especificación y forma de transporte. Debe también dar facilidades para la recepción de los camiones mixer y es el responsable de transportar, colocar y compactar el hormigón en forma apropiada. La nueva norma sobre hormigón premezclado, en estudio, entrega una descripción de la información que el comprador debe entregar al proveedor cuando consulte y contrate el hormigón.

El suministrador es responsable de entregar un hormigón que satisfaga las especificaciones y de la producción y entrega del hormigón de acuerdo a contrato, es también responsable del tiempo trabajable y del aspecto físico del hormigón.

Para una buena faena utilizando hormigón premezclado debe haber confianza, entre las partes, de que cada una está tratando de actuar de la mejor forma posible para que no existan problemas en la obra. Este debe ser el fin de todos los profesionales que actúan interna o externamente en una obra de construcción.

II. DEFINICIÓN

Se entenderá como hormigón premezclado al que es suministrado con camiones mixer por una empresa cuyo giro es fabricar hormigón, a otra empresa que lo transporta dentro de la obra y lo coloca. La empresa que suministra el hormigón aplica su propia tecnología y es responsable de la calidad potencial del hormigón.

Revista Ingeniería de Construcción, N°8, Enero Junio, 1990

Este último punto, sobre la responsabilidad de la empresa suministradora en la calidad potencial del hormigón, es muy importante. Se ha detectado que en obras en que se contrata los servicios de una empresa de premezclado, aunque el contrato especifica esta responsabilidad, en el hecho, la empresa compradora o propietario tiende a ejercer un control e intervención que no le corresponde. Esto se produce principalmente en obras grandes en que uno o todos los componentes del hormigón son adquiridos por la empresa compradora y entregados a la empresa suministradora de hormigón por el contratista, lo que se produce por contratos de suministro negociados durante el estudio de la propuesta. Esto induce a la empresa contratista a entregar la dosificación de los hormigones, terminando la empresa suministradora de hormigón premezclado como un simple revolvedor, sin ninguna otra responsabilidad que la de entregar un hormigón con una temperatura y una trabajabilidad determinada.

Es conveniente aprovechar la tecnología y personal especializado con que cuentan las empresas de hormigón premezclado y no interferir con procedimientos como los discutidos. Esto no quiere decir que no haya que controlar la buena ejecución de los hormigones entregados por la empresa suministradora.

III. LA INDUSTRIA DE HORMIGÓN PREMEZCLADO EN CHILE

Es importante conocer el volumen y las potencialidades de la industria del hormigón premezclado en nuestro país.

3.1 Número de plantas de hormigón premezclado

Se ofrece hormigón premezclado en planta central en las siguientes localidades:

- Santiago con 10 plantas
- Valparaíso con 3 plantas
- Concepción con 2 plantas
- Rancagua con 2 plantas
- Antofagasta con 1 planta
- Temuco con 1 planta
- Los Angeles con 1 planta

Además se está entregando hormigón premezclado en obras importantes como las plantas de celulosa de Arauco, Nacimiento y Mininco, minas como El teniente, La Escondida, La Coipa, entre otras. Por otro lado, existen en el país aproximadamente 200 camiones betonera con un costo de US \$100.000 cada uno.

3.1 Servicios ofrecidos por las empresas de hormigón premezclado

3.1.1 Hormigón premezclado de planta central

La principal actividad de las empresas de hormigón premezclado es la entrega de hormigón en ciudades. El hormigón se prepara en plantas y se entrega a las obras en camiones betonera. Este tipo de servicio pretende eliminar o reducir la fabricación de hormigón en faena.

3.1.2 Plantas en obras distantes de planta central

Existe el servicio en que las empresas de hormigón premezclado instalan plantas especiales para obras puntuales que se encuentran alejadas de localidades con plantas centrales. Este servicio puede contemplar la instalación de plantas de áridos. Esta es una actividad que puede ser conveniente para las empresas en estas circunstancias. En estos casos se aprovecha el know-how de las empresas especializadas, y es en esta situación cuando hay que cuidar el problema de responsabilidades en los contratos.

IV. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN PREMEZCLADO

El hormigón premezclado presenta un conjunto de ventajas y desventajas que son importantes de considerar. Estas se discuten en detalle a continuación.

4.1 Ventajas del hormigón premezclado

4.1.1 Producción con buena tecnología

a) Personal especializado.

Esta es una ventaja importante del hormigón premezclado. Una de las mayores dificultades en la fabricación de hormigones es el contar con personal que sepa de esta tecnología, y le permita a la empresa adaptarse a las variaciones que permanentemente tienen los materiales componentes del hormigón y las necesidades de la obra. Una empresa de hormigón premezclado, por ser su única labor preparar hormigones, tiene la oportunidad de seleccionar y formar a su personal en forma mucho más profesional

Revista Ingeniería de Construcción, N°8, Enero Junio, 1990

que cualquier empresa que fabrica su hormigón en faena, a menos que lo ejecute en forma constante y cuente con un personal preparado y permanente en la empresa.

b) Calidad de equipos.

Para las empresas de hormigón premezclado es muy importante la calidad de los equipos con que prepara el hormigón. La precisión de los equipos les permite ajustar las dosificaciones en forma más estricta, permitiéndoles economías, que pueden ser importantes, en el costo del producto.

4.1.2 Buen control

a) Materias primas.

Las plantas de hormigón premezclado tratan de mantener la calidad de sus materias primas lo más homogénea posible. Para esto tienen un control de calidad permanente de ellas. Esto les permite mantener constantes o variar sus dosificaciones de acuerdo a las variaciones que experimentan sus materias primas, logrando dispersiones menores en la calidad del hormigón. Esto lo pueden lograr gracias a los grandes volúmenes que utilizan, lo que les permite influir en los proveedores para que ellos les suministren un material homogéneo. Cuando el hormigón se fabrica en obra, no existe una seguridad de que los áridos sean homogéneos en su calidad. Esto ocurre especialmente con las arenas en épocas de mucha construcción. El abastecimiento que llega a obra es normalmente muy variable. Esto se ve agravado por el hecho de que en obra generalmente se hace un ensayo granulométrico de los áridos y un diseño de dosificación para toda la faena. Esto no permite asegurar una calidad homogénea del hormigón.

b) Proceso.

Un proceso bien controlado permite evitar riesgos y producir con mayor seguridad un producto de una calidad determinada. Las empresas de hormigón premezclado tratan de controlar sus procesos de producción por esta razón. Son organizaciones preocupadas por tener un buen control, con el fin de entregar un buen producto a un mínimo costo.

c) Producto.

Cualquier empresa es juzgada por la calidad del producto que entrega. En el caso del hormigón el producto es controlado principalmente por su resistencia. Todas las empresas tienen o deben contar con un autocontrol de calidad que les permita ajustar sus procesos y entregar lo especificado por el cliente.

4.1.3 Costo

a) Adquisición de materias primas en grandes volúmenes.

La adquisición de las materias primas en grandes volúmenes le permite a estas empresas conseguir precios menores y mejor calidad debido a una mayor homogeneidad de los materiales. Esto les da ventajas sobre empresas que fabrican su propio hormigón, produciendo menor cantidad.

b) Optimización de la dosificación.

El contar con buen personal técnico, buenos equipos, buen control, materias primas homogéneas, les permite ajustar las dosificaciones reduciendo el costo del hormigón para una resistencia determinada.

c) Infraestructura

Las empresas de hormigón premezclado cuentan con una buena infraestructura que significa una inversión importante. Esta inversión se prorratea en todo el hormigón entregado, lo que hace que su incidencia en cada metro cúbico pueda ser menor que el de una inversión normal de una empresa que fabrique su propio hormigón.

Es importante que al comparar costo de hormigón fabricado en obra y premezclado, se considere el costo de los insumos. Respecto de estos últimos, las pérdidas de materiales en obra y el costo del control de bodega. En el último tiempo, muchas de las grandes obras de ingeniería han subcontratado el hormigón con empresas de premezclado. Ejemplo de estos son las obras ya mencionadas.

4.1.4 Bajo riesgo para el comprador.

La empresa que adquiere hormigón premezclado, está comprando un producto de calidad potencial controlada. El riesgo de no obtener las características solicitadas existe, pero es mínimo. Además, generalmente las empresas de hormigón premezclado, han respondido a sus clientes en caso de problemas de no cumplimiento de especificaciones del hormigón.

El hormigón premezclado es normalmente de mejor calidad que el fabricado en terreno. Su costo puede ser menor o mayor dependiendo de los equipos con que cuente la empresa constructora para fabricar el hormigón, su idoneidad técnica en hormigones y el abastecimiento de materias primas. En general aparece más conveniente adquirir el hormigón que tomar la responsabilidad de fabricarlo.

Otro tipo de costo que se minimiza para el comprador es el costo del riesgo que tiene la fabricación del hormigón en obra. Las empresas de premezclado tienen una alta tecnología asociada a la producción de hormigón, y se cuidan seriamente para no tener problemas de incumplimiento con las especificaciones. En caso de problemas, generalmente han respondido a sus clientes, financiando los costos que acarrea el problema. En caso de fabricar el hormigón en faena, todos los costos producidos por problemas de incumplimiento de las especificaciones deben ser asumidos por la empresa constructora.

4.2 Desventajas del hormigón premezclado

4.2.1 Dificultad de programación.

La programación en el suministro del hormigón podría ser un problema que algunas empresas consideran importante. Este es una dificultad subsanable mediante una buena programación de la obra y coordinación entre el comprador y el suministrador. La facilidad de comunicaciones con la existencia de buenos sistemas de radio, teléfonos móviles, fax, etc., permite resolver en mejor forma este posible problema. Las dificultades de programación se ven acentuadas debido a los siguientes factores:

- Solicitudes de hormigón de las empresas a la misma hora.
- Frecuencia de entrega mayor que las capacidades de colocación de la empresa contratista. Esto se debe normalmente a una mala programación de la faena. Generalmente este problema se genera por no contar con equipos de compactación suficientes para el avance de hormigonado. Siempre se debería contar con al menos un equipo stand-by debido al alto riesgo de falla de los vibradores.
- No estar preparada la obra para recibir el hormigón. Esto es que falte alguna actividad para poder iniciar la colocación del hormigón.

Estos problemas hacen aumentar el costo de las empresas premezcladoras, al disminuir la productividad de su inversión.

4.2.2 Volúmenes pequeños.

En caso de necesitarse volúmenes pequeños de hormigón en cada entrega, se aumenta el costo y disminuye la ventaja de adquirir hormigón premezclado. De todas formas se puede adquirir hormigón premezclado hasta volúmenes de 2 m³.

4.2.3 Desconfianza en el volumen.

Algunas veces existen dudas sobre los volúmenes de hormigón entregados por las empresas premezcladoras. Este es un problema que las empresas normalmente tratan de evitar y que la nueva norma en estudio trata de controlar. Es difícil para el comprador cubicar exactamente el hormigón recibido, debido a dificultades en la medición del volumen donde se coloca el hormigón. Los moldajes no son exactos y se pueden deformar con la carga del hormigón. En caso de canchas para losas, no se conoce con exactitud el espesor del pavimento al momento de recibirlo, o la planeidad de la cancha. Por esta razón debe existir confianza y seriedad de ambas partes al encarar un negocio. La norma en estudio trata este tema.

V. TIPOS DE HORMIGÓN QUE ENTREGAN LAS EMPRESAS DE HORMIGÓN PREMEZCLADO

Los tipos de hormigón que se pueden adquirir de estas plantas de hormigón premezclado son los siguientes:

- Hormigón normal: Este es el hormigón de uso más frecuente en obras de edificación. Este hormigón está normalmente definido por una resistencia a la compresión según NCh 170 y por una trabajabilidad normal para este tipo de faenas.
- Hormigón para pavimentos: Este es un hormigón dosificado normalmente para entregar una alta resistencia a la flexotracción. Es con frecuencia un hormigón de trabajabilidad baja.
- Hormigón bombeado: Este hormigón se dosifica para que permita ser bombeado. Las características necesarias para bombeo son bastante exigentes en cuanto a la curva granulométrica de los áridos. El hormigón bombeado necesita crear un sistema de filtro con los diferentes tamaños de grano para evitar que se filtre el cemento entre los granos, y éste evita que se filtre el agua de la mezcla. El bombeo de hormigones funciona por presiones hidráulicas y no empujando los sólidos. Lo difícil en este tipo de hormigones es justamente conseguir elevar la presión del agua de la mezcla sin que se escape por entre las partículas sólidas.
- Hormigón fluido: Este es un hormigón muy especial, que se utiliza en casos de colocación muy difíciles. Es un hormigón cuya trabajabilidad se mide por medio de la mesa DIN, con un esparramamiento superior a 51 cm. Su medida mediante el cono de Abrams es superior a 18 cm. Esto hace que la medición mediante el asentamiento de cono sea poco sensible. La trabajabilidad de este tipo de hormigones se consigue utilizando aditivos superplastificantes. Sus características

principales son una resistencia similar a la de un hormigón normal con trabajabilidad media, retracción también similar y una segregación baja debido al efecto cohesivo que le da el aditivo superplastificante.

- Hormigón de alta resistencia: Se define como hormigón de alta resistencia a aquel hormigón cuya resistencia característica sea superior a 500 kg/cm². Estos son hormigones cuyas dosificaciones no se pueden estudiar con los sistemas establecidos para dosificar hormigones normales. De hecho son hormigones de tamaño máximo menor que el de los hormigones normales. Este tipo de hormigones requiere de una alta tecnología del hormigón y la tendencia de alza en las resistencias del hormigón, especificadas en las nuevas obras hará incluso más competitivo al hormigón premezclado. Este es un punto importante de recalcar, puesto que a mayores resistencias exigidas en los proyectos, mayor es el riesgo de fabricar el hormigón en obra. Es importante también convencer a los proyectistas que la tecnología del hormigón ha evolucionado rápidamente en la última década, debido a la introducción de los aditivos en forma masiva.
- Hormigón rodillado: Este es un nuevo tipo de hormigón que se está utilizando en grandes presas de hormigón y para pavimentos. Este hormigón se ha experimentado en Chile y se puede utilizar. De hecho se empleará en la Central Pangué en la 8a Región en el alto Bío Bío. Este hormigón ha sido entregado por empresas de hormigón premezclado, para las pruebas de su uso en caminos realizadas en Santiago, por el Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.
- Hormigón liviano: Este es un producto que también puede ser suministrado por las empresas de hormigón premezclado.
- Hormigón proyectado (Shotcrete): Otro producto que puede ser suministrado por las empresas de hormigón premezclado. Este es un hormigón que se premezcla en seco, en que el agua se agrega en la boquilla al proyectarlo o en forma húmeda en que el agua va mezclada antes de proyectarlo. Este es un tipo de hormigón que se utiliza para refuerzo de túneles y en la construcción de piscinas.
- Morteros: También los morteros para albañilerías y estucos pueden ser suministrados por estas empresas. Gracias a la alta tecnología de los aditivos actuales, se logra que los morteros tengan una vida útil de trabajo del orden de 5 horas. Esto hace que se pueda adquirir morteros que duren medio día sin problemas para obras de vivienda.

VI. DESARROLLO FUTURO DE LAS EMPRESAS DE PREMEZCLADO

- Incremento de resistencia.

La existencia de empresas de hormigón premezclado y su alta tecnología en la fabricación y entrega de hormigones de diferente tipo, llevará a los proyectistas a un incremento de las resistencias del hormigón en los futuros proyectos.

- Aumento en la tecnología.

Al aumentar las resistencias de hormigón especificadas llevará a un aumento mayor en la tecnología de las empresas de premezclado. Esto mejorará aún más la tecnología del hormigón en el país, especialmente en el mejoramiento de la calidad de los áridos.

- Mayor cobertura.

El mercado debería hacer uso de la tecnología que poseen estas empresas, lo que obligaría a aumentar su cobertura en el país.

- Morteros de color.

Un nuevo producto que consiste en entregar morteros coloreados. Estos dan una terminación de colores pastel sin necesidad de pintar. También se ha entregado hormigón coloreado, que se utilizó en una escultura del artista Mario Irarrázaval, que representa un grupo de personas, de 5 m de alto. Esta escultura se encuentra en la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en el Campus San Joaquín.

- Hormigón con fibras.

Este producto está en estudio y es un posible nuevo desarrollo de las empresas de hormigón premezclado.

- Orientación al mercado pequeño.

Las empresas de premezclado se encuentran en este momento orientando sus servicios al pequeño consumidor de hormigón. Como ejemplo un propietario puede comprar el hormigón directamente y asegurar una buena calidad en la estructura de su vivienda. Las empresas incluso están en condiciones de entregar el hormigón en el lugar mismo de colocación. Para esto cuentan con elementos auxiliares como bombas y correas transportadoras. Estas entregas son posibles desde volúmenes de 2 m³ de hormigón.

VII. NORMALIZACIÓN

Actualmente se encuentra en estudio, en el Instituto Nacional de Normalización, el anteproyecto de norma NCh 1934 "HORMIGÓN PREPARADO EN CENTRAL HORMIGONERA". No se pretende en este artículo presentar este anteproyecto, pero si se quiere mostrar algunos puntos que parecen interesantes de discutir. La nueva norma incluye los siguientes capítulos:

- Alcance y campo de aplicación: El alcance y campo de aplicación de esta norma es establecer y definir los aspectos técnicos involucrados en la transferencia del hormigón preparado, entre el suministrador y el comprador, la que se entenderá efectuada en el sitio de descarga o en el lugar que fije el contrato. El hormigón preparado debe cumplir con lo establecido en la norma NCh 170 "Hormigón- Requisitos generales".
- Referencias: Este anteproyecto hace referencia también a otra serie de normas chilenas, entre las que se incluye la NCh 1998 "Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica".
- Definiciones: Se definen los términos que se emplean en la norma.
- Base de compra.
- Designación del hormigón: Se da una forma de designar el hormigón en que se incluyen sus características principales. Lo más sencillo es ver esta fórmula con el siguiente ejemplo:
H30 (95)40/7

Los tres primeros dígitos indican el tipo de hormigón por resistencia de acuerdo a lo definido en la norma NCh 170, es decir un hormigón de resistencia característica de 30 MPa o 300 kgf/cm² a la compresión en probeta cúbica de 20 cm de arista. Los dos dígitos entre paréntesis indican el nivel de confianza para dicha resistencia característica. Los dos siguientes dígitos indican el tamaño máximo del árido, que en este caso es de 40 mm. Y por último el dígito después del slash indica el asentamiento de cono requerido. El anteproyecto habla también de otros tipos de hormigón y denomina a algunos como especiales.

- Unidad de compra: La unidad de compra es el m³. Discute como medir el volumen, y dice que el volumen de hormigón entregado se determina dividiendo la masa de hormigón, obtenida de la suma de las pesadas de todos los materiales componentes, por la densidad del hormigón fresco, determinada según NCh 1564. Dice que en ningún caso el volumen entregado se debe calcular en base a la cubicación del hormigón colocado. Esto por razones de pérdidas, deformaciones de moldajes, sobreespesores, etc. Las plantas de hormigón premezclado deberían entregar esta información, en forma controlable por el comprador. También se podría controlar la cantidad de hormigón pesando el camión con y sin hormigón.
- Materiales: Se refiere a otras normas chilenas.
- Equipos: Habla de la calidad y control que deben tener los equipos de plantas de hormigón premezclado.
- Fabricación: Dice cómo debe ejecutarse y controlarse esta operación.
- Entrega y recepción.
- Tiempo de transporte: Habla de que el tiempo desde la carga de todos los materiales, hasta el fin de la descarga del camión no debe ser mayor a 2 horas, salvo que se adopten las medidas técnicas para asegurar las propiedades del hormigón por un tiempo mayor. El autor ha asesorado una obra en que se diseñó un hormigón que tenía un tiempo de trabajabilidad de 4 horas. También una obra de hormigón en Algarrobo, con hormigón llevado desde Santiago, un viaje de 4 1/2 horas, con muy buenos resultados. El uso de aditivos permite aumentar los tiempos de trabajabilidad del hormigón. Lo importante en estos casos es que se debe diseñar un hormigón con los aditivos requeridos para lograr los resultados deseados.
- Guía de entrega: Habla sobre los detalles que debe contener la guía de entrega del hormigón.
- Control del hormigón: Hace una diferencia entre control de producción y control de recepción. El control de producción es el registro que toda central hormigonera debe llevar de su producción, para fines de aplicar la desviación normal ponderada de la planta. Este es un control básicamente de resistencia mecánica. El control de recepción es el realizado en el punto de descarga del hormigón, para los fines de cumplimiento de los requisitos del hormigón especificados en el contrato. Este incluye control de la docilidad medida mediante el asentamiento de cono y control de las resistencias mecánicas de acuerdo a otras normas chilenas. Incluye detalle de lo que debe incluir el informe de laboratorio, referente a estos controles.

- Evaluación estadística de la resistencia mecánica: Se basa fundamentalmente en la NCh 1998. Las variaciones que tiene este anteproyecto es permitir utilizar la desviación normal ponderada de la planta de los tres meses anteriores a la producción del hormigón evaluado o 6.000 m³, para los casos en que el número de muestras de la obra sea inferior a 10. Un aspecto interesante de discutir sobre la evaluación estadística es la aceptación de la calidad del hormigón. En caso de incumplimiento de los resultados de la evaluación, es decir incumplimiento de las especificaciones, se debe aplicar lo prescrito en la norma chilena NCh 1998 sobre evaluación estadística, salvo que exista acuerdo previo entre el comprador y el suministrador. Esta norma indica que se tomarán las medidas establecidas en las especificaciones particulares de la obra y la norma de diseño correspondiente. En ausencia de ellas se podrán aplicar las medidas recomendadas en el Anexo A de dicha norma, las que se muestran en las Tablas 1 y 2. En la parte A4 indica la forma de investigar los resultados defectuosos: En el caso de resistencias individuales f_1 menores que el límite inferior f_0 , existe riesgo de la seguridad estructural, y el hormigón debe ser sometido a la investigación que ordenen los proyectistas. Sin perjuicio de lo anterior es recomendable que se considere entre otras posibilidades las siguientes acciones:
 - a) Comprobar la validez del ensayo.
 - b) Identificar la zona comprometida.
 - c) Inspeccionar visualmente la zona y dejar constancia de los eventuales errores de colocación del hormigón.
 - d) Realizar ensayos por métodos no destructivos; y/o
 - e) Extraer testigos del hormigón comprometido.

En caso de extraer testigos, se deben extraer como mínimo tres testigos por cada resultado defectuoso investigado. El hormigón se considera aceptable si el promedio aritmético de los tres testigos es igual o superior a 0,85 de la resistencia característica de proyecto y cada resultado individual es igual o superior a 0,75 de dicha resistencia. Si la investigación confirma la existencia de hormigones defectuosos, el propietario de la obra adoptará las medidas que indiquen los proyectistas estructurales, algunas de las cuales pueden ser las siguientes:

- rechazo del hormigón y su demolición.
- aceptación del hormigón, condicionado a su reparación y/o refuerzo
- aceptación del hormigón sujeto a penalizaciones

Es interesante comparar estos criterios con los criterios ingleses. Los ingleses establecen como procedimiento en caso de incumplimiento de los resultados de resistencia, lo siguiente:

- a) Identificación del hormigón.

Esto significa la ubicación exacta del hormigón representado por las muestras que no cumplieron. Esto debe hacerse por escrito y de acuerdo por ambas partes, el comprador y el suministrador.

- b) Validez del ensayo.

El laboratorio debe entregar un certificado por escrito de que el ensayo se efectuó de acuerdo a norma, y deben darse todas las facilidades para que el suministrador verifique esta aseveración. En caso de determinarse que la toma de muestra, el ensayo o la interpretación no fue ejecutado en forma correcta, los ensayos se declararán no válidos y no pueden usarse como base para el rechazo del hormigón.

- c) Verificación de calidad en terreno.

Si los resultados de las muestras, ejecutadas por el comprador y con la aceptación del suministrador, no cumplen con la especificación, el suministrador tiene el derecho de realizar ensayos para determinar la calidad del hormigón en sitio, con ensayos aprobados por el comprador.

- d) Aceptación o rechazo del hormigón.

Al determinar las acciones a seguir, se debe tener en consideración las consecuencias técnicas y el grado de no cumplimiento, y las consecuencias económicas de medidas alternativas de reparación. Factores que deben considerarse son:

- Las cargas reales en la estructura en comparación con las cargas de diseño y el factor de seguridad requerido.
- El posible efecto de una reducción de calidad de la resistencia y durabilidad del elemento en particular.
- La influencia de la edad del hormigón en la resistencia real en sitio.

Agrega: El hormigón se suministra en el entendido que el suministrador tiene el derecho de sugerir soluciones y recomendaciones de cualquier acción de reparación que deba tomarse. Como se puede apreciar, existen diferencias entre el procedimiento chileno y el inglés en el caso de no cumplimiento de las especificaciones. En este último se da un derecho al suministrador de colaborar en la búsqueda de

soluciones, como también aconseja un estudio acabado de la seguridad estructural del elemento con conflictos en la resistencia, evaluando las sollicitaciones reales y considerando la resistencia real del hormigón.

Este es un resumen y pequeña discusión del anteproyecto de norma para hormigón premezclado en central hormigonera. Este anteproyecto tiene también dos anexos: uno sobre recomendaciones para la calibración de básculas y medidores, y otro sobre recomendaciones para aplicar el control interno en una planta de hormigón premezclado.

VIII. DISCUSIÓN DE OTROS PROBLEMAS TÉCNICOS

Pasando a otro punto, se discutirán tres problemas técnicos que parecen importantes, y que la experiencia indica que se repiten. Estos son el problema de ensayo a compresión de probetas cúbicas de hormigón, ensayo a flexión de probetas prismáticas de hormigón y el uso de aditivos en hormigones.

8.1 Ensayo de probetas cúbicas de hormigón

Este es un problema que es necesario explicar técnicamente para entender una posible causa de problemas de resistencia en los ensayos del hormigón. El ensayo de la probeta cúbica de hormigón se realiza girando la probeta en 90° respecto al eje de llenado. Esto hace que la probeta se cargue en dos caras formadas por las paredes del molde. Este giro de la probeta tiene dos consecuencias importantes en el ensayo:

a) Homogeneidad del hormigón.

Al llenar un molde de hormigón, el hormigón del fondo del molde tiene características mecánicas diferentes al hormigón de la superficie. Esto es debido a la compactación de la probeta, a la que se aplica mayor energía al fondo, y debido a la exudación normal del hormigón que hace que la razón agua/cemento final en la probeta sea diferente en el fondo que en la superficie. El fondo de la probeta alcanza normalmente una resistencia y un módulo de elasticidad mayor al de la parte superior. Al girar la probeta para ser ensayada, de modo que las superficies de ensayo sean caras laterales, durante el ensayo la rótula de la prensa gira, rompiendo primero la zona más débil, lo que hace que la sección disminuya y se continúe rompiendo la probeta sin lograr medir su resistencia real, que es la resistencia promedio de los dos extremos. Este es el caso de tensión constante de la Figura 2. Este efecto en el ensayo ha llevado a los países que controlan el hormigón con probetas cúbicas, como son Alemania e Inglaterra, a diseñar las rótulas de las prensas de ensayo de forma que rotulen para alinearse con las superficies de ensayo, y luego se fijen y no rotulen durante el ensayo. Este es el caso de deformación constante de la Figura 2. Esto se consigue con una superficie esférica de la rótula con mini secciones rectas, diseñadas por computador. El efecto de este tipo de rótula se ilustra con las curvas de resistencia para ambos tipos de prensas, obtenida del catálogo de una prensa TONI, en la Figura 3. La gran mayoría de las prensas que existen en el país no tienen estas características. Esto se debe a que se importan normalmente de países que realizan el control de calidad de los hormigones con probetas cilíndricas, en que este efecto no se presenta.

b) Planeidad de las caras de carga.

Otro problema que presenta el ensayo de probetas cúbicas es la planeidad de las caras de carga. Cualquier distorsión de las paredes del molde, produce una superficie convexa, en que queda una especie de loma en el centro de dicha cara. Esto tiene como efecto que la superficie de carga es menor a la superficie estimada, e incluso se produce un efecto de hendimiento. Este problema tiene una gran importancia en los valores de resistencia obtenidos en el ensayo de compresión. Los moldes de plancha deben controlarse continuamente para verificar su planeidad. Incluso se debe verificar que los moldes cuyas caras se unen con pernos pasados, no se deformen por exceso de apriete de estos pernos. Una forma de observar este efecto es que normalmente la probeta se rompe mal, con una grieta en la cara de carga. Debido al confinamiento que produce el plato de carga, por roce en la probeta, no debería existir ninguna grieta en dichas caras (Figura 4). Una forma de minimizar este problema es ensayar el cubo por las caras en contacto con las paredes del molde paralelo a los pasadores. Una solución mejor es cambiar el sistema de fijación de los moldes para evitar la flexión que dan los pernos, y la solución ideal es tener moldes de fierro fundido, cuya deformación es mínima dado que tienen un comportamiento totalmente elástico y se quiebran para deformaciones grandes. En la Figura 5, se ilustran los posibles tipos de rotura de probetas cúbicas. La parte superior muestra roturas normales, y la parte inferior muestra roturas anormales. Cuando las probetas rompen mal, el resultado de ese ensayo debe eliminarse.

8.2 Ensayo de viguetas en flexión

Un problema importante en el ensayo de flexotracción de viguetas es su estado de humedad en el momento del ensayo. Se realizaron experiencias ensayando viguetas a flexotracción a la edad de 91 días. Estos ensayos consistieron en ensayar viguetas secas, conservadas en cámara húmeda y conservadas en piscina. El proceso consistió en tener durante los 91 días una serie de probetas en piscina y durante 81 días dos series en cámara húmeda. Una de estas dos últimas series se introdujo en piscina por 10 días y la otra se mantuvo en ambiente de laboratorio con humedad relativa normal durante 10 días. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Dosis. N°	Probeta		Res. Flexotracción a 91 días	
	N°	seco	húmedo	saturado
1	1	34,2	51,9	76,4
	2	39,6	58,3	69,0
Promedio		36,9	55,1	72,7
				-33%
				+32%
2	1	26,5	37,1	42,8
	2	25,9	35,1	43,4
Promedio		26,2	36,1	43,1
				-27%
				+19%

Hormigón 1: sin aire incorporado

Hormigón 2: con aire incorporado

Como se observa de los resultados, existen dos problemas. Uno es el del método de curado, siendo más eficiente el curado en piscina de agua, y el otro el problema de secado de la probeta antes del ensayo. La explicación de este último problema es el cambio volumétrico o retracción que experimenta el hormigón al secarse. La probeta seca sufre un secamiento superficial que afecta la medición de la resistencia real del hormigón a la tracción. Esto se puede visualizar en las Figuras 6 y 7.

Estos problemas de ensayo, tanto de compresión como de flexotracción, muestran lo importante que es tener un conocimiento cabal de los problemas que afectan los ensayos de hormigón y la importancia de la calidad de los equipos de laboratorio y de una buena tecnología de ensayos. Este tipo de problemas de ensayo puede afectar en forma importante los costos del hormigón.

8.3 Aditivos para hormigón

Los aditivos para hormigón son compuestos químicos que ayudan a mejorar ciertas características de un hormigón, como resistencia, trabajabilidad, durabilidad, exudación, impermeabilidad, cohesión, tiempo de fraguado, etc., o a abaratar su costo al variar la razón agua-cemento, permitiendo disminuir la dosis de cemento por m³ de hormigón. Son productos que han sufrido una evolución importante. Esta evolución es de dos tipos: la primera es su avance tecnológico y la segunda es su utilización en gran escala, cada día creciente. Actualmente no se entiende un hormigón que no utilice aditivos para mejorar alguna de sus propiedades. Es importante hacer ver que los aditivos comerciales para hormigón no tienen efectos secundarios desconocidos. Cualquier aditivo aplicado por un especialista en hormigones debería mejorar a éste y no producir efectos dañinos de largo plazo. En los comentarios sobre los diferentes tipos de aditivos se verán las ventajas y desventajas de cada uno.

Respecto al avance tecnológico de los aditivos se puede comentar lo siguiente: Los aditivos plastificantes, aceleradores, incorporadores de aire y retardadores existen desde hace bastante tiempo, sin embargo, la mayoría de ellos ha tenido una evolución en su efectividad. Existen otros productos que se han introducido al mercado en los últimos años, y son los superplastificantes, la microsíllica y los colorantes.

Para el uso de aditivos en hormigones se deben tener las siguientes consideraciones:

- Nunca usar un aditivo si no se tiene una razón valedera para hacerlo.
- Un aditivo no hará un buen hormigón de uno malo.
- Un aditivo generalmente variará más de una propiedad del hormigón. Por esta razón su uso debe estar restringido a personas con conocimientos reales sobre sus efectos.
- Es esencial tener un control adecuado en el almacenamiento y dosificación del aditivo. Los aditivos tienen una vida útil determinada.

- e) Es recomendable realizar hormigones de prueba para determinar la dosificación más adecuada de aditivos.
- f) La mayoría de los aditivos se deben mezclar con el agua de amasado antes de incorporarlos al hormigón. La excepción serían los superplastificantes utilizados para obtener una trabajabilidad alta en el hormigón.

A continuación se examinan los diferentes tipos de aditivos para hormigón.

8.3.1 Plastificantes o reductores de agua

Estos son aditivos que se utilizan con alguna de las siguientes finalidades:

- a) Reducir la cantidad de agua, mantener la trabajabilidad, y disminuir cemento para alcanzar la resistencia especificada. Disminuye costo del hormigón.
- b) Aumentar la trabajabilidad del hormigón sin variar la razón agua-cemento, es decir sin alterar la resistencia.
- c) Mantener la trabajabilidad del hormigón con una razón agua-cemento menor, y por lo tanto aumentar resistencia sin aumentar la dosis de cemento.

Los aditivos plastificantes pueden incorporar aire y perder parte de su efectividad de aumento de resistencia, y también pueden retardar la hidratación del cemento. Fuera de esto no tienen ningún efecto dañino en el hormigón endurecido. Entre los aditivos plastificantes existen diferentes tipos con diferentes comportamientos en efectividad, incluso diferente para diferentes cementos. También tienen efectos diferentes en el tiempo que se mantiene la trabajabilidad del hormigón. Como se puede apreciar, estas variables hacen aconsejable determinar qué aditivo utilizar conociendo muy bien su comportamiento.

Actualmente no se entiende que no se haga uso de este tipo de aditivos en los hormigones. Existe, a juicio del autor, un problema importante que pueden producir estos aditivos, el cual es que con su uso y debido al incremento de resistencia que han experimentado los cementos, es fácil producir hormigones con dosis de cemento bajo lo recomendado por las normas. Este punto es discutible y habría que estudiar si lo que importa para obtener durabilidad del hormigón es la dosis de cemento o la relación agua-cemento. Este problema se puede evitar aumentando las resistencias especificadas.

8.3.2 Incorporadores de aire

Este es uno de los aditivos más importantes en la tecnología del hormigón. Estos aditivos producen efecto, en el hormigón fresco y endurecido que son muy importantes y que no se pueden lograr de otra forma. El efecto principal de los incorporadores de aire es aumentar la resistencia a los ciclos hielo-deshielo del hormigón. Por esta razón es imperioso usarlos en localidades en que se dan ciclos de hielo-deshielo.

Estos aditivos también aumentan la cohesión de la mezcla de hormigón, disminuyen necesidad de agua en la mezcla para obtener una trabajabilidad similar al hormigón sin aditivo y disminuyen la exudación del hormigón. La resistencia a la compresión disminuye con la incorporación de aire. Esta disminución depende de la reducción de agua que se consiga con aditivos. Normalmente los incorporadores de aire se usan en conjunto con reductores de agua, por este problema.

Uno de los usos importantes de los aditivos incorporadores de aire es en el caso de tener arenas gruesas y mezclas con dosis de cemento bajas. Los hormigones fabricados con este tipo de arenas normalmente segregan, tienen poca trabajabilidad y feo aspecto. La incorporación de aire en este tipo de hormigones mejora su trabajabilidad, cohesión y aspecto. Su costo es bajo.

Es importante hacer hormigones de prueba para conocer las dosis de aditivo incorporador de aire necesario. Esto debido a la gran cantidad de factores que afectan la cantidad de aire incorporado. Estos factores son:

- a) Contenido de arena.
A mayor contenido de arena mayor incorporación de aire.
- b) Finura y contenido de cemento.
La incorporación de aire disminuye al aumentar la finura o el contenido de cemento.
- c) Impurezas orgánicas.
El carbón disminuye la incorporación de aire. Esto puede ser importante al utilizar cenizas volantes o algunos colorantes.
- d) Temperatura del hormigón.
Un aumento de la temperatura del hormigón fresco disminuye la cantidad de aire incorporado.
- e) Tiempo de revoltura.
La cantidad de aire incorporado aumenta al aumentar el tiempo de revoltura, hasta 2 minutos en plantas estacionarias y hasta 15 minutos en camiones mixer.
- f) Otros aditivos.

El uso de otros aditivos junto con el incorporador de aire puede afectar la cantidad de aire incorporado.

8.3.3 Superplastificantes

Este es otro de los aditivos de alta tecnología. Son plastificantes con un superpoder en su efecto. Pueden transformar un hormigón de cono 7 cm en uno de cono 18 a 20 cm. Este aditivo tiene un efecto de tiempo limitado, por lo que se recomienda colocarlo justo antes de iniciar la descarga del hormigón en el caso de camiones mixer. Una vez pasado el efecto de la primera adición, se puede repetir, cuidando de que la cantidad a agregar en este caso considere el hormigón que ya se ha descargado. Una sobre dosis puede producir una segregación intensa en el hormigón, y una disminución de la resistencia. La dosificación de los hormigones fluidos con el uso de superplastificantes, debe ser con granulometría continua y con una dosis alta de arena, similar a un hormigón bombeado.

8.3.4 Retardadores

Estos son aditivos que retardan el tiempo de fraguado del hormigón. Esto no significa que aumenten el tiempo en que se mantiene la trabajabilidad del hormigón. Se utilizan en tiempo caluroso o en hormigonados masivos para evitar las juntas frías de hormigonado. Una vez terminado el efecto del retardador, la hidratación del cemento continúa a velocidad normal e incluso se acelera.

Un efecto importante de estos aditivos es su uso en conjunto con aditivos reductores de agua en tiempo caluroso, lo que produce un aumento considerable en la resistencia, hasta de un 20%.

8.3.5 Aceleradores

Son aditivos que aceleran la reacción química de los cementos, lográndose altas resistencias a corta edad. Se recomiendan generalmente para hormigonado en climas fríos. El principal elemento químico utilizado en este tipo de aditivos es el cloruro de calcio. La presencia de cloruros en el hormigón tiene un efecto de corrosión de la armadura dentro del hormigón. Por esta razón se han prohibido en varios países. Además existen otros métodos para aumentar la rapidez de reacción del cemento sin utilizar este tipo de aditivos. Uno de ellos es aprovechar el calor generado por la reacción de hidratación del cemento. Esto es lo que se ha utilizado en nuestro país en algunas obras en la alta cordillera.

8.3.6 Aditivos para bombeo

Existen aditivos para mejorar las condiciones de bombeo de mezclas más pobres o con problemas de granulometría de arenas. Estos son compuestos que aumentan la tensión superficial del agua.

8.3.7 Microsílica

Este es una puzolana muy activa y de grano muy chico. Su tamaño es la 50 av parte del tamaño del cemento. Este aditivo ayuda a aumentar la resistencia, densidad e impermeabilidad de los hormigones. Es casi indispensable para hormigones de alta resistencia.

Este trabajo corresponde a una conferencia dictada en las VIII Jornadas Chilenas del Cemento y del Hormigón, en Pucón, Chile.

TABLA N° 1

A 2 Evaluación por grupos de muestras consecutivas.

Las condiciones que deben cumplir los resultados de resistencia del hormigón según subpárrafo 5.2 1 son:

a) $F_3 \geq f_c + k_1$

b) $f_i \geq f_0 = f_c - k_2$

ANTECEDENTES		CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
$F_3 \geq f_c + k_1$	$f_i \geq f_0$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$F_3 > f_c + k_1$	$f_i \geq f_0$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos.
$f_i < f_0$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial.	Adoptar las medidas indicadas en párrafo A.4.

TABLA N° 2

A.3 Evaluación considerando el total de muestras.

Las condiciones que deben cumplir los resultados de resistencia del hormigón según subpárrafo 5.2.2 son:

- a) $f_m \geq f_c + s * t$
- b) $f_i \geq f_0 = f_c - k_2$

ANTECEDENTES		CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
$f_m \geq f_c + s * t$	$f_i \geq f_0$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_m < f_c + s * t$	$f_i \geq f_0$	El hormigón no cumple la resistencia especificada.	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos Anexos
$f_i < f_0$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial.	Adoptar las medidas indicadas en párrafo A.4.

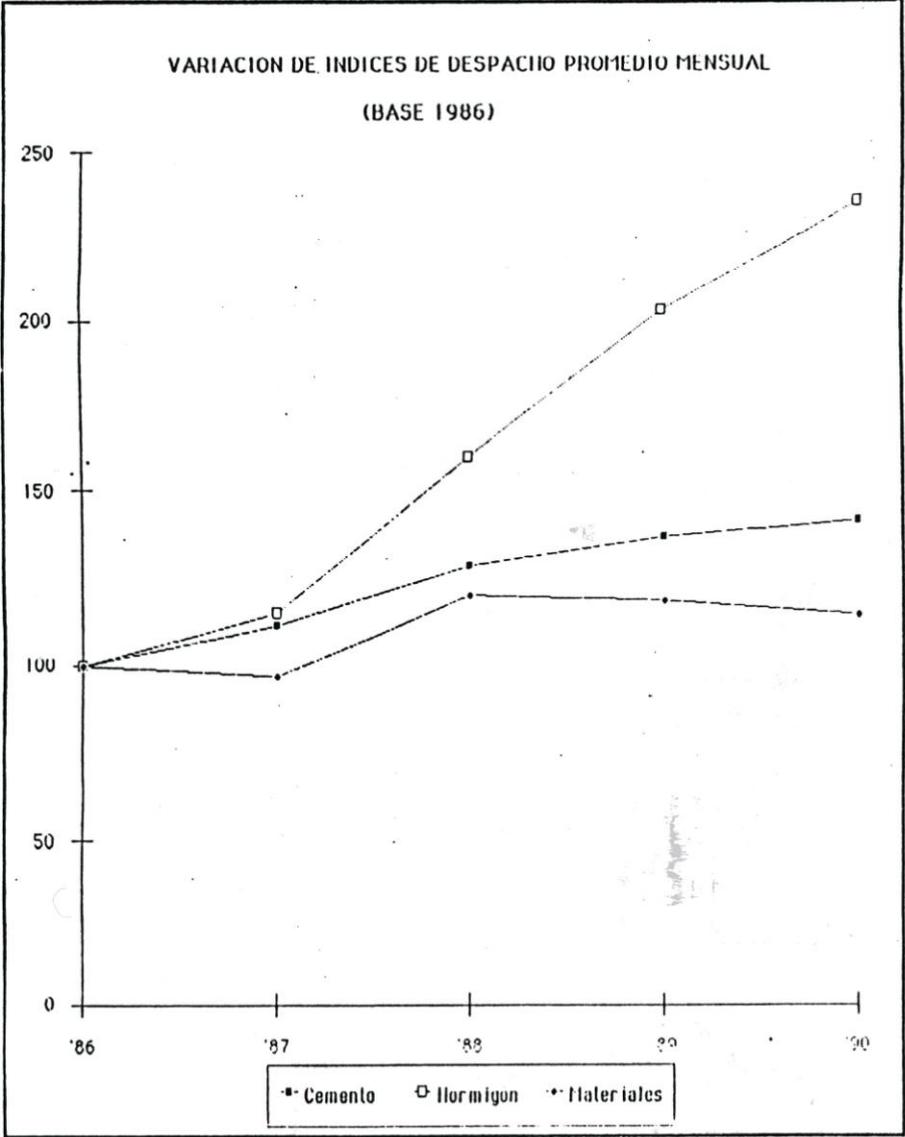
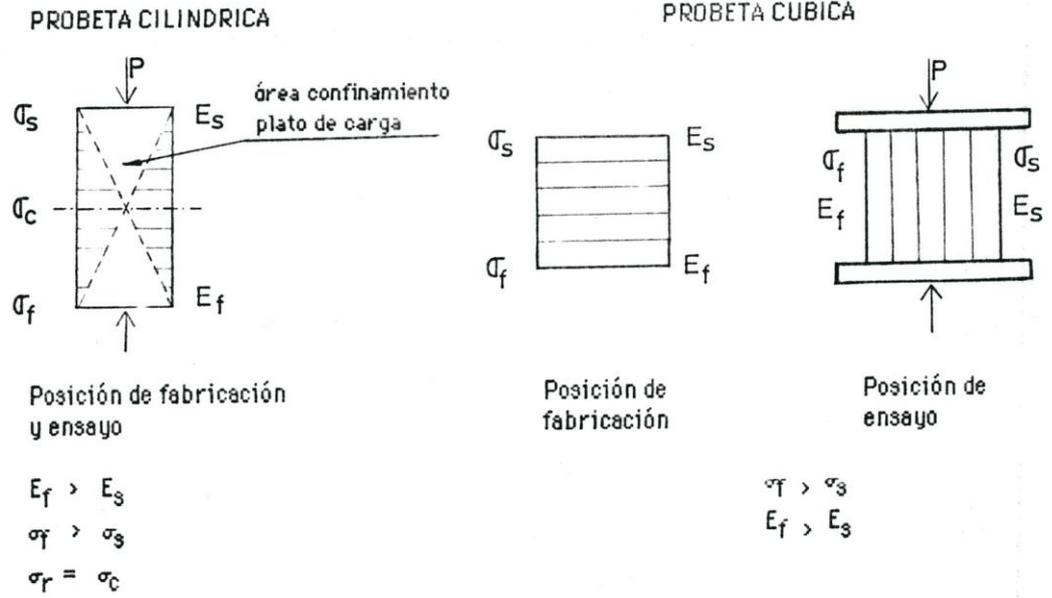
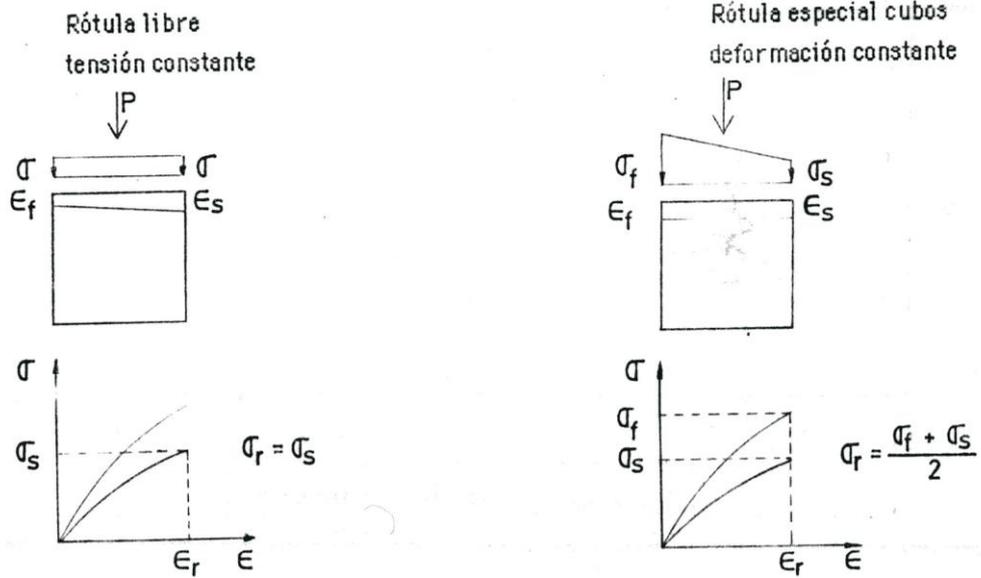


Figura 1 Variación de índices de despacho mensual



a) Posición de ensayo de probeta



b) Efecto de rótula de la prensa

Figura 2 Efecto de rótula de la prensa en ensayo de probetas cúbicas de hormigón

The TONIPACT 3000 compression test machine was specially developed, in conjunction with our clients and consultants, to solve the problems mentioned earlier within the context of strength tests on cubes and cylinders.

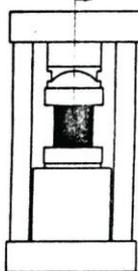
New design solutions and the use of modern technology solved the problems of high standard deviations and too low strength values.

In this respect the TONIPACT 3000 already complies with the recently formulated requirements of DIN Standards 51223 and 51302.

We developed its external form, upgrading units and operation after analysing the test-specimen flow and how test values are handled and processed.

TONIPACT 3000 therefore convincingly meets the requirements as to:

- reliable test values
- low standard deviations
- improved use of materials
- ergonomic handling.



Design features of TONIPACT 3000:

- 4-column deformation-resistant frame
- upper ball-mounted pressure plate which meets the "strain-cylinder condition":
 - easily adjustable when applied to the test specimen
 - firm seating after application of load.

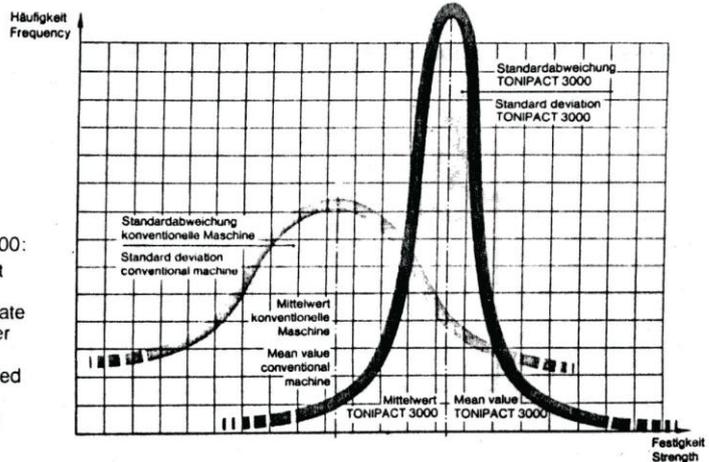
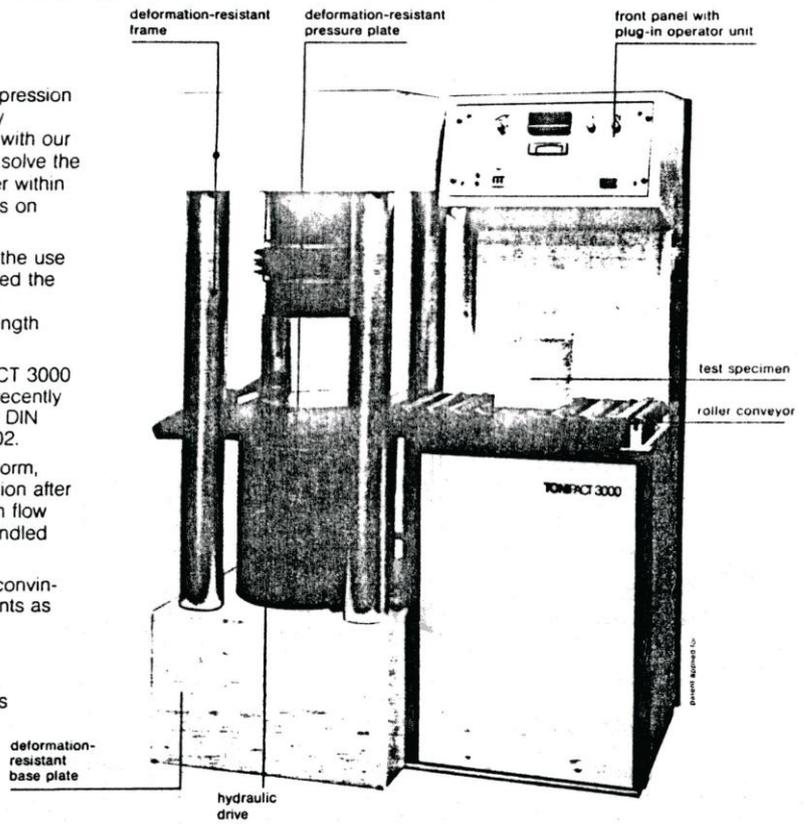
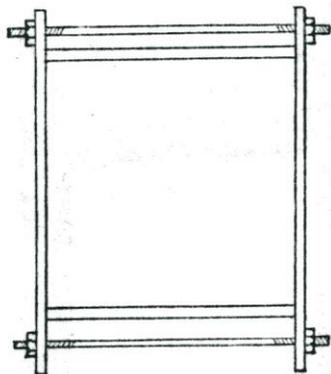
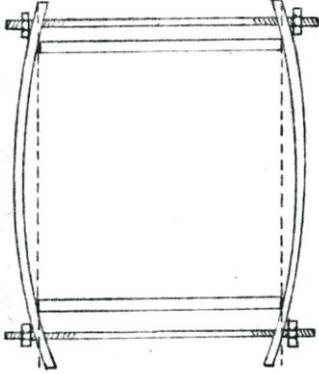


Figura 3 Catálogo de prensa diseñada para ensayo de cubo



Molde de plancha
nuevo



Molde de plancha
deformado

Figura 4 Deformación de moldes cúbicos de plancha

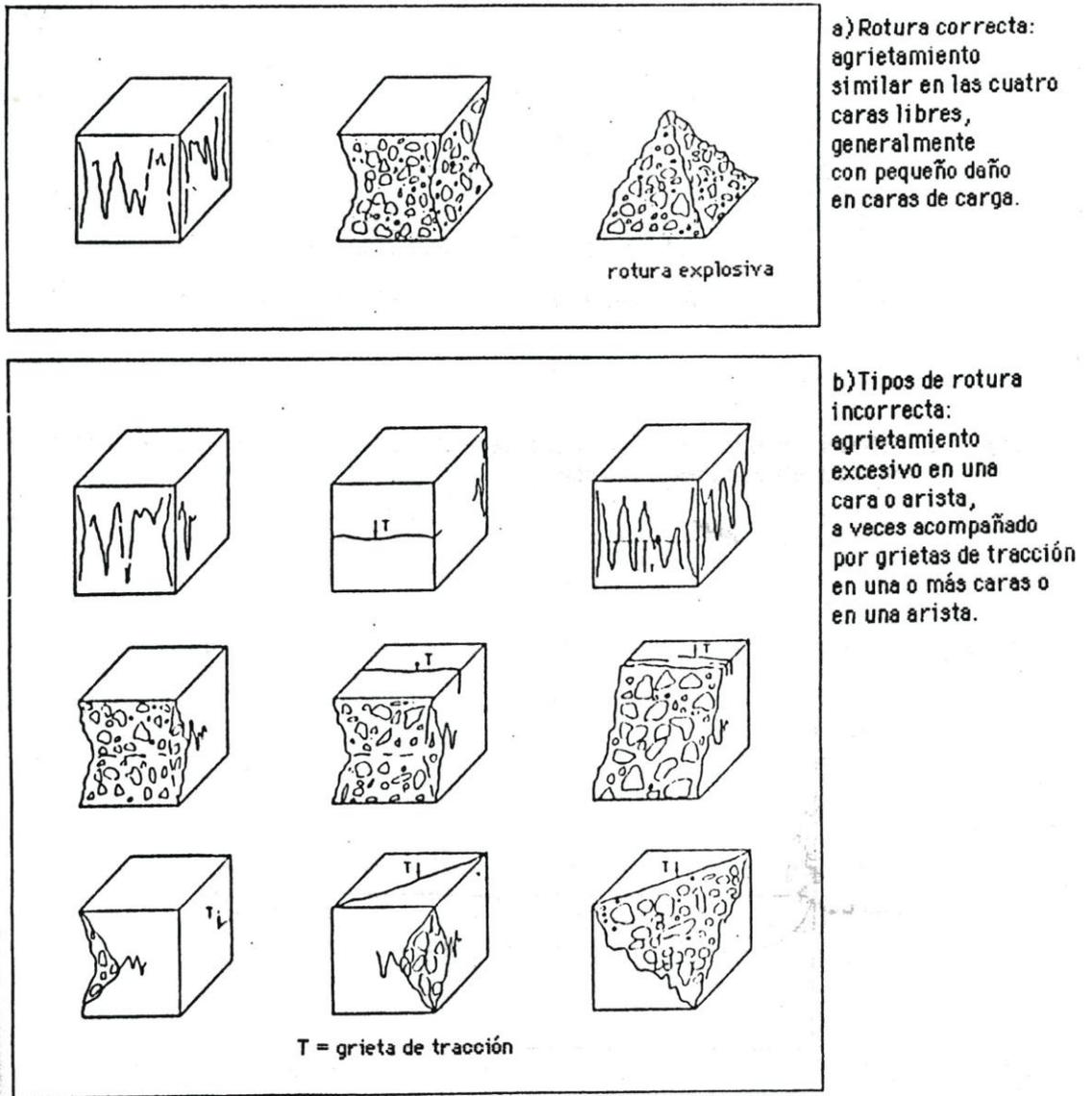


Figura 5 Tipos de rotura de probetas

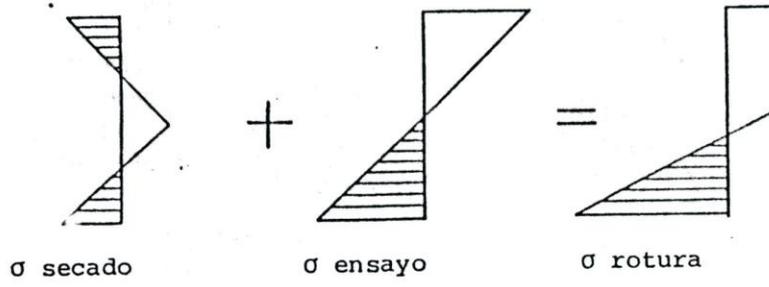


Figura 6. Distribución de tensiones en plano de falla de vigueta ensayada en flexión, variable con gradiente de humedad interno.

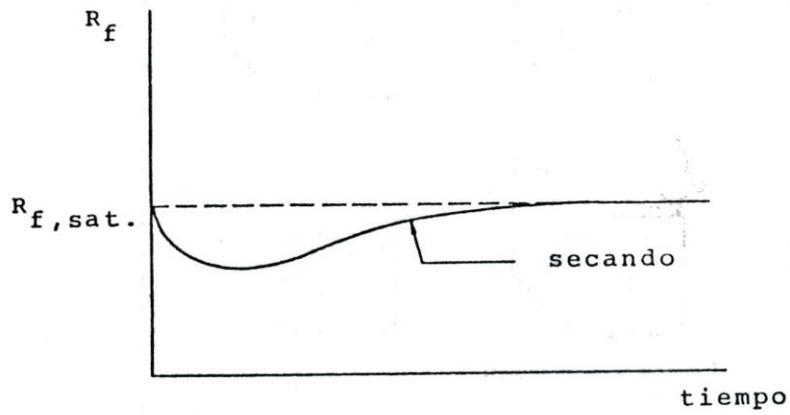


Figura 7 Variación de la resistencia medida en el ensayo con la variación del gradiente de humedad en el tiempo