



21
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ARAGON ”

“MODOS DE FALLA EN EL CONCRETO”

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

JUAN CARLOS RUIZ MARTINEZ

FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón, Méx.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N T R O D U C C I O N

El conocimiento de los principales elementos formadores del concreto hace que hasta cierto punto se comprenda su comportamiento, pero dicho entendimiento no es suficiente para poder determinar las causas por las cuales llegan a fallar y por consecuencia a ocasionar problemas en la construcción.

Es necesario complementar este saber con el de otros aspectos y factores que finalmente en combinación son generadores de todos los diferentes modos de falla del concreto.

CAPITULO I

<u>CONCEPTO DE FALLA</u>	1
- Introducción	1
- Deficiencias de producción	4
- Fallas por transmisión de cargas	4
- Apoyo desigual	5
- Error de construcción	7
- Factores que afectan la resistencia	8
- Influencias ambientales	8
- Cloruro de calcio	12
- Concreto congelado	12
- Causas de problema de baja resistencia	13
- Efecto de la temperatura en la resistencia del concreto	16
- Concreto endurecido	21

CAPITULO II

<u>COMPORTAMIENTO Y MODOS DE FALLA</u>	23
- Características generales	23
- Elementos sujetos a carga axial	30
- Comportamiento y modo de falla de elementos sujetos a flexión simple	34
- Comportamiento y modo de falla de elementos sujetos a flexo compresión	40
- Comportamiento y modo de falla de elementos sujetos a fuerza cortante	42
- Elementos sin refuerzo en el alma	44
- Elementos con refuerzo en el alma	45
- Elementos anchos	47
- Losas planas y zapatas	47
- Mecanismo de falla por cortante en miembros sin refuerzo transversal	49
- Mecanismo de falla por cortante en miembros con refuerzo transversal	51

CAPITULO III

<u>EL CONCRETO COMO MATERIAL DE FALLA</u>	53
- Hinchazón superficial	55
- Reacción interna	59
- Contracción, dilatación y cambio plástico	60
- Grietas por el acero de refuerzo	62
- Grietas por corrosión del acero de refuerzo	63
- Grietas por ruptura del plano de la superficie del terreno	63
- Desintegración superficial	65
- Efecto del fuego	68
- Oscilación de acero ahogado en concreto	68
- Reparaciones del concreto	69
- Causas de formación de grietas	70
- Preparación del área que se va a reparar	75
- Problemas frecuentes	77
- Elección de material para reparación	79

CAPITULO IV

<u>ESTRUCTURAS DE CONCRETO</u>	82
- Esfuerzos cortantes y de torsión	84
- Condiciones típicas de apoyo para la localización de la fuerza cortante factorizada Vu	86
- Condiciones de apoyo en las cunclas no se debe aplicar la fuerza cortante factorizada	87
- Efectos de la tensión diagonal en vigas sin refuerzo en el alma	92
- Falla de compresión	95
- Fallas por flexo compresión	96
- Cambios de temperatura	97
- Deformaciones y agrietamiento	100
- Montaje de elementos precolados	105
- Tanques y silos	106
- Concreto presfuerzoado	107
- Mezcla de concreto	108
- Apoyos	109
- Contracción y deformación	110

CAPITULO V

<u>DESLINDE DE RESPONSABILIDADES</u>	112
- Negligencia	113
- Control y supervisión	

C A P I T U L O I

1

CONCEPTO DE FALLA

INTRODUCCION

Las diversas fases de la industria de la construcción au-
mentan continuamente su experiencia y capacidad por medio del a-
prendizaje derivado de sus errores, sin embargo, se podría evi-
tar muchos de ellos si cada uno de nosotros asimilara los erro-
res cometidos por los demás.

Si consideramos como falla toda discrepancia entre los re-
sultados esperados de un proyecto y los que en realidad se ob-
tienen y además nos tomamos el trabajo de medir cuidadosamente-
solo la posición, forma y condiciones de las estructuras termi-
nadas, entonces la cantidad de falla es muy grande, ni defini-
mos la falla como el derrumbe observado, las fallas serían rela-
tivamente pocas.

Trátese o no de falla, cuando se descubre uno de esos re-
sultados inesperados, a estos siempre siguen dígitos prolonga-
dos y costosos enfocados a establecer la causa determinante de-
la falla o del incidente como si se pudiera establecer la deter-
minación exacta de dicha causa por medio de una simple observa-
ción.

Por regla general, esta tiene su origen en una combinación
de circunstancias como pueden ser errores, descuidos, malas in-
terpretaciones, ignorancia, incompetencia y aun deshonestidad,
pero nunca puede atribuirse a ninguno de estos factores en par-
ticular la categoría de causa inmediata de la falla.

Se pueden definir las fallas como un comportamiento estruc-
tural que no concuerda con las condiciones de estabilidad espe-
radas de los diseños, comportamiento que hace necesaria las re-
paraciones, se pueden definir también como un comportamiento -
que no cumple con las funciones a las que estaban destinadas la

estructura terminada.

Las fallas aparecen en todo tipo de estructuras grandes o pequeñas, altas o bajas; mínimas o monumentales, en cualquier material básico en el acero o en el concreto armado.

En la construcción, el proyecto, el diseño estructural, la elección de materiales, la producción de los mismos, el montaje de los componentes y la limpieza final del equipo y de las instalaciones presuponen dos requisitos relacionados entre sí: la suficiencia y la necesidad. La suficiencia proporciona seguridad, no solo contra el derrumbe o colapso, sino también contra el deterioro indebido, la necesidad es una medida económica muy importante en esta industria, pero que solo debe considerarse después de satisfacer la condición de suficiencia.

Para evitar las fallas se requiere la aplicación de cierta habilidad y el control constante de la ejecución de la obra para impedir la omisión de algunos factores necesarios.

Algunas de las causas de fallas se pueden considerar a la fuerza de gravedad que actúa causando la caída de componentes sin apoyo vertical, las fuerzas laterales solo se pueden equilibrar por la oposición de resistencias laterales.

Todos los objetos inanimados tienden a desintegrarse por sí mismos, este deterioro natural lo ocasionan ciertas condiciones ambientales tales como el calor moderado, la luz del sol, los vientos, la arena, el polvo, la humedad en todas sus formas, el oxígeno, las sales, el ozono, los ácidos y alcalos, el rocío y los organismos en descomposición, bacterias, insectos y organismos marítimos.

Las áreas con condiciones climáticas adversas en el mundo se clasifican en:

- a) Caluroso húmedo

- b) Caluroso seco
- c) Frio húmedo
- d) Frio seco

Cada medio ambiente exige precauciones especiales para evitar fallas tempranas de instalaciones nuevas.

En el medio ambiente "Caluroso húmedo" los efectos destructores de las áreas tropicales son una combinación de altas temperaturas, alta humedad, grandes precipitaciones pluviales, abundantes rocíos y radiaciones. Los requisitos de conservación incluyen protección contra la acción glucónica en todos los metales, tratamiento o presión para las maderas, sellado permanente de todas las grietas en las mamposterías, control de algas y hongos en las superficies expuestas y uso de materiales que sean estables bajo un régimen variable de gran contenido de humedad.

En las áreas con ambiente "Caluroso seco" los problemas se derivan en las grandes fluctuaciones diarias de la temperatura de los efectos de las temperaturas elevadas sobre los sellados plásticos y juntas impermeables, así como sobre el concreto durante el período de fraguado.

En las áreas "Frio húmedo" los problemas más serios son la escarcha permanente en el suelo y las nieves acumuladas.

En las regiones árticas de clima "Frio seco" la desintegración se reduce al mínimo.

Se puede definir el concepto de integridad estructural como el estado completo, sin deterioro ni defecto de un edificio o estructura que, una vez terminado y debidamente conservado, asegura que ni la estructura, ni sus componentes, fallarán en forma alguna durante la construcción o durante el período proyectado de existencia. Este estado de cosas es el resultado de una integración adecuada de una sólida técnica de ingeniería y-

una selección cuidadosa de materiales, equipo y métodos de construcción. Esto exige que individuos preparados y conocedores - enfoquen su atención en las probabilidades de fallas de la estructura o de sus componentes principales y en el peligro subsiguiente para las personas que las utilizan.

DEFICIENCIAS DE PRODUCCION

En el aspecto de ejecución de la industria de la construcción, las causas más probables de falla son los errores de omisión y de comisión. En algunos casos la falla se debe a una combinación de diseño apenas suficientes y una ejecución poco cuidadosa. En el terreno de la construcción especulativa los diseños estructurales hechos para ahorrar materiales, son muy comunes así como la deshonestidad del contratista. En cada aspecto del sector de la producción en la industria de la construcción, si se desean evitar las fallas es indispensable la competencia.

FALLAS POR TRANSMISION DE CARGAS.

Una estructura estable, ya sea que se diseñe para conservar la rigidez o bien que la obtenga de la integración del conjunto de muros, pisos y muros divisorios siempre ajusta sus cargas para compensar los asentamientos diferenciales de la cimentación.

Cuando se rompe el equilibrio de fuerza debido a la pérdida total o parcial de algun apoyo, las reacciones se transmiten y se redistribuyen entre los apoyos disponibles, modificando así toda su carga.

Cuando los movimientos de la cimentación se traducen en distorsiones de la mampostería, la investigación para localizar el origen del problema debe empezar por considerar que la falla se debe a una transmisión de cargas y que la falla de la cimentación no se encuentra en la misma posición que ocupa el despojo

fecto observado.

Dentro de la construcción de cimentaciones se admite por regla general, que un movimiento lateral de una pulgada causa mas daño a las estructuras que un asentamiento de la misma magnitud. El desplazamiento lateral se origina por la introducción de fuerzas horizontales no equilibradas, que a veces se derivan de la eliminación de un componente de resistencia o de la acumulación de un componente de resistencia o de la acumulación temporal o permanente de una presión activa contra la cual no se proporciona ninguna resistencia adicional.

En el análisis para el diseño deben considerarse todos los cambios posibles, tanto las presiones activas como en las resistencias pasivas, en las condiciones normales del nivel de las aguas freáticas la saturación siempre aumenta las activas y a menudo disminuye las pasivas.

APOYO DESIGUAL

Todas las cimentaciones sufren asentamientos al recibir la carga, pero estas no son iguales, a menos que las resistencias de los suelos y la distribución de cargas también lo sea. De no ser así, resultarán asentamientos diferenciales con las consiguientes transmisiones de cargas y desnivelación de la estructura. Cuando el armazón no es estructuralmente rígido, los muros quebradizos se cuartean a lo largo de las caras en donde aparezcan considerables esfuerzos cortantes limitando el volumen que puede ser sostenido por el apoyo de menor resistencia. En la actualidad existen gran número de estructuras, con cimentaciones apoyadas en parte sobre rocas y en parte sobre suelos de tierra o sobre pilotes con capacidades desiguales para los mismos hundimientos o con cimentaciones de más de un tipo estructural pero descansando sobre suelos de muy distintas resistencias a la compresión. A menudo la corrección de situaciones semejantes en los suelos consisten en calzar la cimentación en los puntos más débiles para igualar la resistencia en los

apoyos, o en otros casos, en añadir ciertos elementos que consoliden el subsuelo a fin de incrementar la capacidad de carga del terreno.

Un ejemplo de este método se aplicó en los elevadores de granos de Portland, Oregon, donde en 1919, se hincaron 2,600 pilotes adicionales para confinar la cimentación completa de la estructura desplantada sobre pilotes de 25 toneladas que habían dado muestras de asentamientos desiguales y progresivos. Los pilotes adicionales eran de 25 a 30 pies más largos que los originales.

También se debe tener presente el envejecimiento de los suelos. La inspección del fondo efectuada en la estación de bombas de Baltimore, Maryland, cimentadas sobre grandes pilas de concreto llevadas hasta la roca, indicó que los apoyos que se suponían en la roca ya no descansaban en ésta sino en un material con la consistencia del barro. Ciertas rocas metamórficas como los esquistos y las pizarras pierden su característica cuando se someten a presión, particularmente si están saturadas de agua y con mayor rapidez si están saturadas de agua contaminada. Un ejemplo clásico de edificio que perdió su verticalidad a consecuencia de la falta de uniformidad del suelo donde se cimentó es la Torre de Pisa y el Palacio de Bellas Artes de México.

Muy a menudo las cimentaciones de edificios que deben quedar parcialmente sobre rocas, se han diseñado bajo la suposición de que los valores de la capacidad de carga de los suelos establecidos en los reglamentos locales de construcción, son una garantía de asentamientos uniformes.

Si existen condiciones diferentes en los suelos donde se va a cimentar una estructura se deben planear una junta bien estudiada entre cada una de las porciones previstas y considerar estas como estructuras individuales separadas. Los edificios cimentados sobre un terreno con diferentes capacidades de apoyo

en distintas áreas, especialmente si sus muros son de carga, se agrietan inmediatamente proporcionando así de una manera natural la junta necesaria que se habían omitido.

ERROR DE CONSTRUCCION

La construcción de cimentaciones lleva en sí dos fuentes - potenciales de error diferentes. En la etapa de la construcción propiamente dicha, es necesario ejecutar ciertos trabajos provisionales, expeditivos y de protección, que siempre están sujetos al peligro de falla y al derrumbe, puesto que en ellos - dado su caracter temporal y aplicando una economía mal entendida, los factores de seguridad se mantienen a un nivel mínimo. Sin embargo estos trabajos con frecuencia resultan de naturaleza más complicada que los problemas mismos de la cimentación considerada. Así pues, gran cantidad de fallas en la etapa de la construcción de las cimentaciones originales pueden incluirse dentro de ese grupo y no atribuirse a un mal funcionamiento de la estructura terminada.

El no tomar en cuenta el desplazamiento lateral interno de los suelos, constituye un error cometido frecuentemente en el hincado de pilotes en suelos plásticos.

El levantamiento de las cubiertas de pilotes así como su deformación o ruptura se puede evitar construyendo cubiertas más fuertes o bien empleando una secuencia de instalación, o de hincado, con suficiente espaciamiento de tiempo entre un pilote y el siguiente para hacer desaparecer las altas presiones de poro inducidas en el material del suelo. Todos los pilotes deben hincarse a partir de un solo nivel general aún cuando esto pudiera requerir una mayor y más costosa excavación posterior para sótanos sumideros y zanjas.

FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA

El término hidráulico, utilizado en conjunción con el cemento Portland, significa que puede desarrollarse su resistencia en presencia de agua.

La relación agua cemento es el factor principal que influye en la resistencia del concreto, afecta la resistencia a la compresión de los concretos con y sin aire incluso. La resistencia en ambos casos, disminuye con el aumento de agua cemento.

El contenido de cemento en sí afecta la resistencia del concreto, la resistencia disminuye conforme se reduce el contenido de cemento. En el concreto con aire incluso, esta disminución en la resistencia puede contrarrestarse en forma parcial, al aprovechar una mejor docilidad por la inclusión del aire, que permite reducir la cantidad de agua.

El tipo de cemento afecta la manera en que se desarrolla la resistencia y la resistencia final.

Las condiciones del curado son vitales para el desarrollo de la resistencia del concreto. Dado que las reacciones de hidratación del cemento solo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad en el concreto durante el período de curado. La temperatura del curado también afecta la resistencia del concreto.

Se requieren períodos más largos de curado húmedo a temperaturas muy bajas, para desarrollar una resistencia dada. Aunque el curado continúa a temperaturas elevadas produce un desarrollo más rápido de resistencia hasta los 28 días, con una edad mayor se invierte la tendencia, el concreto curado a temperaturas bajas desarrolla resistencias más grandes.

INFLUENCIAS AMBIENTALES

Las variaciones en la temperatura a menudo se derivan en -

dos clasificaciones: Temperaturas elevadas (Superiores a la ambiente) y Temperaturas bajas (Inferiores a la ambiente). El concreto casi siempre contiene agua en los poros, a menos de 32°F esta agua se transforma en hielo, que tiene mayor volumen. La hinchazón resultante ocasiona grietas. Por tanto la congelación y descongelación repetidas tienen un efecto del debilitamiento en el concreto.

La corrosión en el deterioro y pérdida del material debidos al ataque químico.

El deterioro del concreto, se atribuye en parte, a las reacciones químicas entre los álcalis del cemento y los constituyentes minerales de los agregados. El deterioro del concreto también acontece por el contacto con diversos agentes químicos que lo atacan en una o de otra forma.

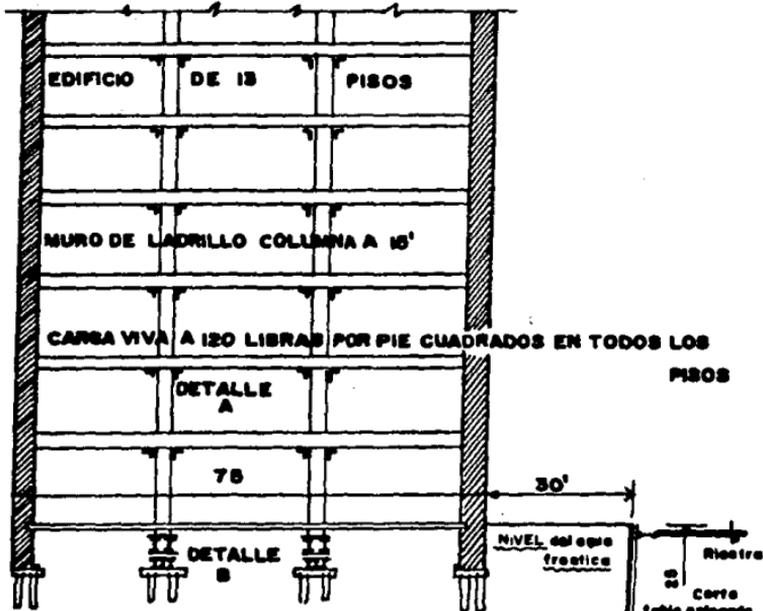
1. Corrosión resultante de la formación de productos solubles que se eliminan por deslave.
2. Reacciones químicas que dan origen a productos que alteran el concreto porque su volumen es mayor que el de la pasta de cemento con la cual se formaron.
3. Deterioro de la superficie por la cristalización de las sales en los poros del concreto, con humectación y secados alterados.

La selección adecuada de los materiales y un buen proyecto de ingeniería son los mejores medios para controlar y evitar la corrosión.

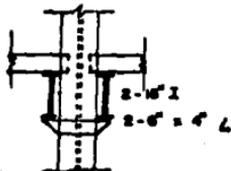
La modificación del medio ambiente también puede controlar la corrosión. Las técnicas tales como la desumidificación y la purificación de atmósfera ambiente o la adhesión de álcalis para neutralizar un carácter ácido de un ambiente corrosivo, son típicas de este enfoque. Los inhibidores que producen en forma

efectiva la rapidéz de la corrosión cuando se agregan en pequeñas cantidades a un ambiente corrosivo, se pueden utilizar para evitar o controlar las reacciones anódicas y catódicas en las celdas electroquímicas.

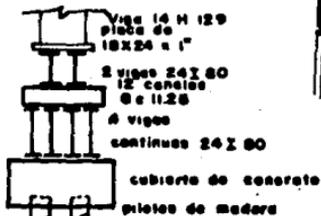
FALLA POR TRANSMISION DE CARGA



SECCION



DETALLE A



DETALLE B

Plano de estructura de un edificio y de la transmision de cargas originada por un asentamiento de la hilera exterior de las pilotas de cimentacion

CLORURO DE CALCIO

El empleo de cloruro de calcio puede alterar otras características del concreto.

1. Generalmente aumenta la contracción por secado.
2. Puede reducir la resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo y a la acción de los sulfatos.
3. Contribuye a aumentar la temperatura y puede incrementar los esfuerzos internos.

Debido a estos factores negativos, muchos diseñadores de concreto no permiten el uso de cloruro de calcio en sus especificaciones. La mayoría de las dependencias estatales y federales prohíben su empleo. Cuando el contratista de un edificio decide continuar la construcción en condiciones de clima frío, muchas dependencias aceptan la adición de 59.3 Kg. de cemento por metro cúbico de concreto, como sustituto seguro del cloruro de calcio.

Cuando se emplea cloruro de calcio se deben seguir los procedimientos normales de protección para concreto colado en clima frío se recomienda el 1%, 1.5% ó 2% como máximo, de cloruro de calcio por peso de cemento.

CONCRETO CONGELADO

El concreto congelado representa un problema serio que con frecuencia se hace más obvio con el deshielo de la primavera. Cuando el agua se congela, se expande un 9% más o menos y destruye el concreto desde su interior causando su desintegración y descascaramiento sin posibilidad alguna de reparación.

Para impedir la congelación del concreto en clima variable se evita el empleo de concreto de alto rendimiento.

Cuando ya se puede caminar sobre la superficie del concreto, se cubre con un mínimo de 10 cm de heno salado. Hay que -

asegurarse de extender el heno por lo menos 15 cm. más allá del perímetro de colado y de cubrir todo con hojas de polietileno.

Si el concreto congela, hay que cubrirlo con una lona y - aplicar vapor, generalmente este procedimiento salva al concreto, cuando el daño es detectado a tiempo.

CAUSAS DE PROBLEMAS DE BAJA RESISTENCIA

La resistencia del concreto a la compresión se determina - por medio de cilindros de concreto moldeado (de 15 cm x 30 cm)- hechos cuidadosamente, muestreados del camión de premezclados - en el punto de descarga, colados y protegidos en la obra durante 24 horas de una manera prescrita. Después de un día en el - campo, deben ser transportados cuidadosamente al laboratorio de pruebas, sacados del molde y colocados en un cuarto de curado a temperaturas controladas, cabeceados y probados a la edad requereda, a un porcentaje dado de carga.

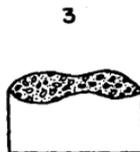
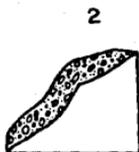
En algunas obras, el contratista general lleva a cabo suspropias pruebas de campo. Ocasionalmente puede encargar a alguien de su propio personal que haga una prueba de revenimiento a que cuele los cilindros.

Desafortunadamente, este personal no siempre está capacitado, por lo que no es raro ver a un trabajador con poca experiencia varillando un cilindro con una varilla de refuerzo de 3/4", en vez de hacerlo con la varilla de acero de 5/8", con una punta de bala, como se requiere. Es muy probablemente que los cilindros moldeados de esta manera den por resultado resistencias inferiores a la de los cilindros moldeados con herramienta apropiada.

Un estudio del informe de las pruebas de cilindro del laboratorio de pruebas puede proporcionar la clave de la falla en - la resistencia.

El informe de la prueba conjuntamente con los resultados de la prueba de compresión generalmente proporciona otros datos pertinentes, siempre determinan la fecha en que se colo el cilindro y la fecha en que se probó.

No todos los laboratorios de prueba indican el tipo de falla del cilindro. Cuando el informe de la prueba indica el tipo de falla se puede aprender algo sobre las causas de la baja-resistencia.



TIPO DE FALLAS DE CILINDROS

En una falla nor al del cilindro bajo compresión, los la - dos de la muestra tienden a adoptar la forma de un barril un - instante antes de su destrucción, quedando en forma de reloj de arena.

El tipo 2 es una falla por cortante que bien puede indicar un cabeceado irregular. La falla tipo 3 es típica de una com - pactación pobre, generalmente causada por falta de adherencia - de una capa de la muestra con la capa anterior.

Cuando el concreto es de resistencia baja, generalmente se sospecha del proveedor del concreto. La falla puede provenir - del concreto suministrado.

La mayoría de las veces las especificaciones del proyecto - delegan al contratista general la responsabilidad de contratar - las instalaciones para las pruebas.

El contratista frecuentemente elige el laboratorio con ba - se en el precio, lo que no siempre resulta lo más conveniente - para las partes interesadas.

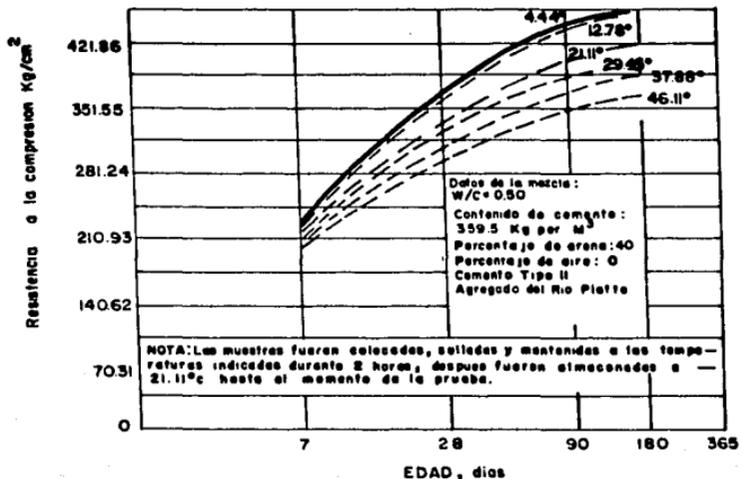
Las pruebas y la supervisión constituyen una garantía, en - un proyecto importante son obligatorias, ya que una supervisión competente protege a todos los interesados, resulta lógico ele - gir un laboratorio de buena reputación, es conveniente que el - diseñador estructural, y no el contratista, sea quien elige el - laboratorio de pruebas.

EFEECTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Las temperaturas crecientes del concreto causan estragos - en el contenido de aire y rápida pérdida de revenimiento, aún - bajo condiciones climáticas normales la temperatura del concre - to puede resultar elevada debido a una mezcla demasiado rica - (factor de cemento elevado) o por un largo acurreo de la planta de concreto hasta la obra.

Se puede observar que algunas *guarniciones* de concreto, - que parecen estar en buenas condiciones al iniciar el colado, - con frecuencia muestran algunos progresivos de deterioro hasta que, al final de la entrega presenta una desintegración completa. El colado de las *guarniciones* es lento por lo que las *cimbras* son angostas. El tiempo que transcurre durante la *descarga* del lote puede incrementar la temperatura del concreto, reduciendo el porcentaje de aire y requiriendo frecuentes adiciones de agua para mantener el revenimiento.

La resistencia sería inferior a la especificada y la falta de un apropiado contenido de aire daría por resultado una baja resistencia al desgaste y una resistencia nula al congelamiento y deshielo.



GRAFICA DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA INICIAL SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

No hay duda de que las elevadas temperaturas iniciales del concreto perjudican la calidad del material.

Aunque es poco lo que se puede hacer para controlar el clima, el contratista puede tratar de evitar cualquier demora innecesaria en la obra. No se deben pedir más camiones de entrega de concreto de los que pueden descargar con rapidez y eficiencia. Cuando un camión tiene que esperar turno con la olla funcionando, la temperatura del concreto se eleva y crea problemas.

La mayoría de las especificaciones para concreto establecen que el concreto cuya temperatura sea superior a los 32°C, debe ser rechazado. Se deben evitar las temperaturas del cemento superior a los 82°C, sin embargo, el cemento caliente, por sí mismo sólo causará un incremento mínimo en la temperatura del concreto. Los cementos Tipo I y Tipo II producen un efecto mínimo sobre el incremento de la temperatura del concreto.

Muchos productores de concreto prefieren emplear cemento Tipo I en los climas más frescos y cemento Tipo II en los meses más calurosos. Su criterio para el cambio es que siendo el cemento Tipo II un retardante modificado, permite mayor tiempo para el acabado y reduce la posibilidad de un fraguado rápido.

La mayoría de las especificaciones de construcción no permiten el colado de un concreto cuya temperatura sea inferior a 10°C. Cuando la temperatura ambiente es cercana o inferior al punto de congelación, la masa del concreto colado no debe estar a menor de 15°C, en tanto que las secciones delgadas deben tener temperaturas de concreto todavía más elevadas.

Es responsabilidad del proveedor de concreto producir temperaturas de concreto aceptables en clima frío. Esto puede requerir el uso de agua caliente y tal vez el calentamiento de las agregadas. La mayoría de los productores se esfuerzan por mantener la temperatura del concreto alrededor de los 21°C.

En los grandes colados, de varios cientos de metros cúbicos, es difícil conservar esta temperatura en los agregados que pasan por las tablas de retención.

Afortunadamente el concreto masivo produce su propio calor y las temperaturas de concreto más bajas tienen poco efecto retardante.

La temperatura del concreto suministrado es muy importante pero un concreto de 21°C, colado sobre una pluntilla fría, puede descender 10°C, en media hora o menos.

Las superficies planas, expuestas a temperaturas de congelación, pierden calor rápidamente y deben ser protegidas tan pronto como se pueda caminar sobre el concreto.

Para obtener mejores resultados, se debe colocar paja, heno, mantas aislantes u otro tipo de protección en estrecho contacto con el concreto.

En caso de clima extremoso, unas cubiertas de polietileno proporcionan protección adicional.

Concreto en clima caliente. Una temperatura ambiente de 18 a 24°C. es ideal para el fraguado y curado del concreto. Cuando la temperatura es superior a los 29°C, surge la necesidad de tomar medidas para evitar la evaporación del agua de la mezcla y reducir el fraguado rápido, que ocasionaría dificultades para dar el acabado al concreto.

Durante un mezclado prolongado, la fricción constante incrementa la temperatura del concreto, provocando una pérdida de revenimiento y una disminución del contenido de aire. El aire puede ser irrecuperable y el agua agregada para mantener el revenimiento producirá un concreto de baja calidad.

Muchos problemas del concreto endurecido se originan en el

colado y manejo de la mezcla plástica.

Las grietas por asentamiento de los muros generalmente comienzan en la cimentación, como resultado de una superficie de desplante inestable, de un concreto pobremente compactado o por falta de acero de refuerzo.

CONCRETO ENDURECIDO

Muchos de los problemas evidentes en el concreto endurecido se crean durante el cimbrado, el colado y el acabado del concreto en su estado plástico.

Los concretos con baja inclusión de aire, o sin aire, pueden no descascararse en la superficie sino hasta que son sometidos a congelamiento o deshielo. El uso excesivo de la llana o demasiada vibración pueden provocar una concentración de finos en la superficie del concreto y más tarde, cuando hay tráfico, ocasionan una falla.

Muchas grietas en el concreto endurecido son causadas por el desplazamiento de cimbras debido a asentamientos, esfuerzos por cargas iniciales, juntas frías, falta de curado temprano, expansión de la oxidación en el acero de refuerzo, una superficie de apoyo mal compactado, agregados alcali-reativos, etc.

El concreto puede soportar mucho mejor los esfuerzos de compresión que los esfuerzos de tensión. Si se expone el concreto a esfuerzos de carga antes de que adquiera suficiente resistencia, se forman grietas que reducen la capacidad de la estructura para soportar su carga de diseño.

La humedad que se filtra por estas grietas corroe el acero, separa los componentes solubles de leixiviación y ocasiona un deterioro adicional del concreto disminuyendo más aún su durabilidad.

En la construcción se pueden presentar varios tipos de grietas.

Grietas de contracción por secado. Estas grietas se desarrollan aproximadamente cuando el brillo del agua desaparece de la superficie del concreto.

Usualmente con grietas capilares, rectas, distribuidas al azar, que se extienden hasta el perímetro de la losa.

Estas grietas son superficiales y no representan ningún problema serio, aparte de estropear el aspecto del concreto.

Grietas de contracción plástica. Son más anchas que las de contracción por secado y frecuentemente atraviesan todo el espesor del concreto. Aparecen con más frecuencia en los días secos, con mucho viento y se forman paralelamente entre si y perpendiculares al viento. Son causadas por la evaporación del agua de la superficie y se deben reparar tan pronto como la superficie permita el tráfico.

Grietas por desplazamiento de cimbras. Cualquier desplazamiento de la cimbra, debido a la expansión de la madera o al aflojamiento de los clavos ó abrazaderas, puede producir agrietamiento. Estas grietas no corresponden a ningún patrón en particular y pueden aparecer durante la etapa de curado o posterior.

Una grieta por desplazamiento de la cimbra es otra puerta de entrada de humedad al concreto y acelera su deterioro. Algunas veces, esta grieta aparecería de la cimbra y otras veces, lejos de ella.

CAPITULO I I

COMPORTAMIENTO Y MODOS DE FALLA

CARACTERISTICAS GENERALES

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos o adicionantes, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

El concreto simple, sin refuerzo, es resistente a la compresión, pero es débil en tensión, lo que limita su aplicabilidad como material estructural.

Para resistir tensiones, se emplea refuerzo de acero, generalmente en forma de barras, colocando en las zonas donde se prevee que se desarrollarán tensiones bajo las solicitaciones del servicio. El acero restringe el desarrollo de las grietas originadas por la poca resistencia a la tensión del concreto.

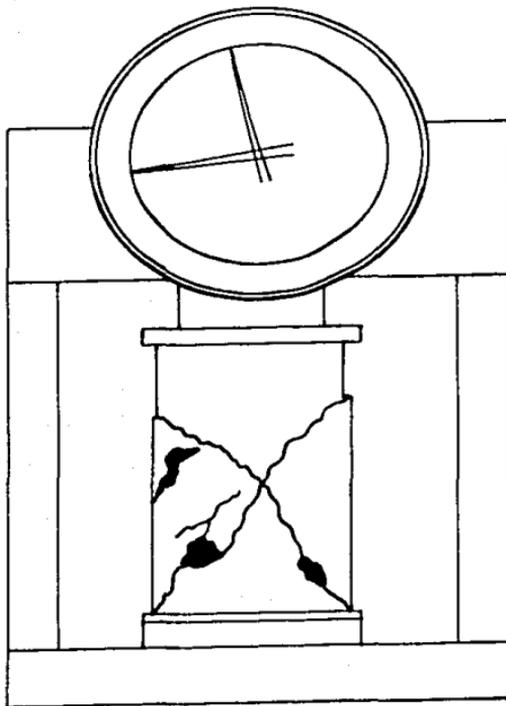
El uso del refuerzo no está restringido a la tensión, también se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado, para reducir las deformaciones debidas a cargas de larga duración y para proporcionar confinamiento lateral al concreto, lo que indirectamente aumenta su resistencia a la compresión.

La combinación de concreto simple con refuerzo constituye lo que se llama concreto reforzado.

El concreto preesforzado es una modalidad del concreto reforzado, en la que se crea un estado de esfuerzos de compresión en el concreto antes de la aplicación de las solicitaciones. En este modo, los esfuerzos de tensión producidos por las soli

citaciones quedan contrarrestadas o reducidas. La manera más común de preesforzar consiste en tensar el acero de refuerzo y anclarlo.

Para conocer el comportamiento del concreto simple es necesario determinar las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a los distintos tipos de acciones a que pueden estar sujeto. Hasta la fecha solo se han establecido las relaciones esfuerzo deformación para las combinaciones más comunes. Así se han hecho estudios sobre el comportamiento del concreto sujeto a estados uniaxiales de compresión y tensión, a estados biaxiales de compresión y tensión y a estados triaxiales de compresión.



**FALLA EN COMPRESION DE UN CILINDRO DE
CONCRETO**

En el esquema se muestra un cilindro de concreto simple en sayado en compresión axial. En cilindros con relación de lado o diámetro igual a dos, como el que se muestra, la falla suele presentarse a través de planos inclinados respecto a la dirección de la carga.

Esta inclinación es debida principalmente a la restricción que ofrecen las placas de apoyo de la máquina contra movimientos laterales.

Si se engrasan los extremos del cilindro para reducir las flexiones, o si el espécimen es más esbelto, las grietas que se producen son aproximadamente paralelas a la dirección de aplicación de la carga.

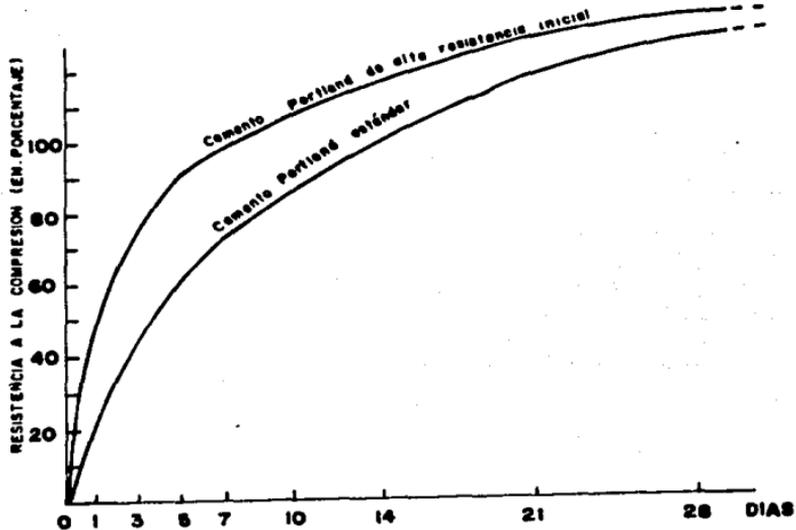
Al comprimir un prisma de concreto en estas condiciones, se desarrollan grietas en el sentido paralelo al de la compresión, porque el concreto se expande transversalmente.

Las grietas se presentan de ordinario en la pasta y muy frecuentemente sobre el agregado y la pasta.

En algunos casos también se llega a fracturar el agregado. Este microgrietamiento es irreversible y se desarrolla a medida que aumenta la carga, hasta que se produce el colapso.

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga con la edad. Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente, después del colado.

Por lo tanto, el aumento de capacidad de carga del concreto depende de las condiciones de curado a través del tiempo.



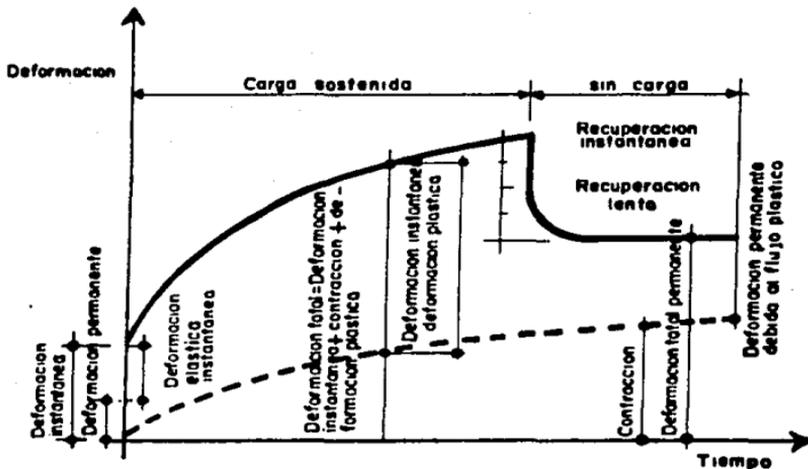
VARIACION DE LA RESISTENCIA CON LA EDAD

A pesar de los estudios que se han realizado no se tiene todavía una teoría de fallas sencilla y que permita predecir con precisión aceptable la resistencia del concreto simple.

Se han intentado hacer adaptaciones, entre otras, de las teorías de Mohr Coulomb, de esfuerzos cortantes y de deformaciones limitativas.

Cuando se aplica una carga a un espécimen de concreto, este adquiere una deformación inicial. Si la carga permanece aplicada, la deformación aumenta con el tiempo, aun cuando no se incrementa la carga.

Las deformaciones que ocurren con el tiempo en el concreto se deben inicialmente a dos causas: Contracción y Flujo plástico.



CURVA TIPICA DEFORMACION-TIEMPO, BAJO CONDICIONES AMBIENTES CONSTANTES

Las deformaciones por contracción se deben esencialmente a cambios en el contenido de agua del concreto a lo largo del tiempo. El agua de la mezcla se va evaporando e hidrata el cemento. Esto produce cambios volumétricos en la estructura interna del concreto, que a su vez producen deformaciones.

Los factores que mas afectan la contracción son la cantidad original de agua en la mezcla y las condiciones ambiente especialmente a edades tempranas.

Como generalmente un concreto de alta resistencia tiene menos agua que otro de baja resistencia, el primero se contraerá menos que el segundo.

Asimismo un concreto en ambiente húmedo se contraerá menos que en ambiente seco.

Si el concreto pudiera encogerse libremente, la contracción no produciría ni esfuerzos ni grietas.

El concreto también está sometido a cambios volumétricos por temperatura. Se han determinado algunos coeficientes de expansión térmica que oscilan entre 0.000007 y 0.000011 de deformación unitaria por grado centígrado de cambio de temperatura.

ELEMENTOS SUJETOS A CARGA AXIAL

La resistencia de un elemento de concreto simple sujeto a compresión axial puede estimarse como el producto del 85% del esfuerzo medido en un cilindro de control (f'_c), ensayado en las mismas condiciones, por el área de la sección transversal del elemento. Este factor de reducción, 0.85, es solo un promedio de resultados de ensayos en miembros colados verticalmente.

Se han encontrado valores para este factor de 0.69 hasta 0.95. En elementos colados horizontalmente, este factor se acerca a la unidad.

Si se adiciona refuerzo longitudinal a un espécimen de concreto simple y se utiliza el refuerzo transversal necesario para mantener las varillas longitudinales en su posición durante el colado, la carga máxima se obtiene bajo las mismas condiciones que en un prisma de concreto simple, es decir, a una deformación unitaria del orden de 0.002. La falla se produce a una deformación unitaria de 0.003 o 0.004 si el ensaye es de corta duración.

A esta deformación, el concreto se agrieta longitudinalmente, o según planos con una inclinación aproximada de 45°, dependiendo de las restricciones en los extremos del espécimen y las varillas longitudinales se pandean entre estribos, al faltarles el soporte lateral del concreto.

La resistencia a carga máxima que un prisma de concreto con refuerzo longitudinal y estribos transversales es capaz de alcanzar, está dado por la expresión:

$$P_u = 0.85 f'c A_g + A_s f_y$$

Donde A_g es área total del concreto.

Si el elemento además de refuerzo longitudinal, tiene refuerzo helicoidal continuo a todo lo largo, inicialmente su comportamiento es similar al de un prisma con estribos hasta llegar a una deformación unitaria de 0.002 aproximadamente a esta deformación, el recubrimiento de la hélice o zuncho empieza a desprenderse y la capacidad de carga del elemento disminuye.

Al deformarse lateralmente el concreto en forma apreciable por el efecto de Poisson, la hélice se alarga, produciendo como reacción una presión confinante en el núcleo de concreto limitada por el zuncho.

De acuerdo con las características de la hélice, la recuperación en capacidad de carga del espécimen será mayor o menor si el confinamiento proporcionado por el zuncho es suficiente, puede alcanzar una segunda carga máxima superior a la alcanzada

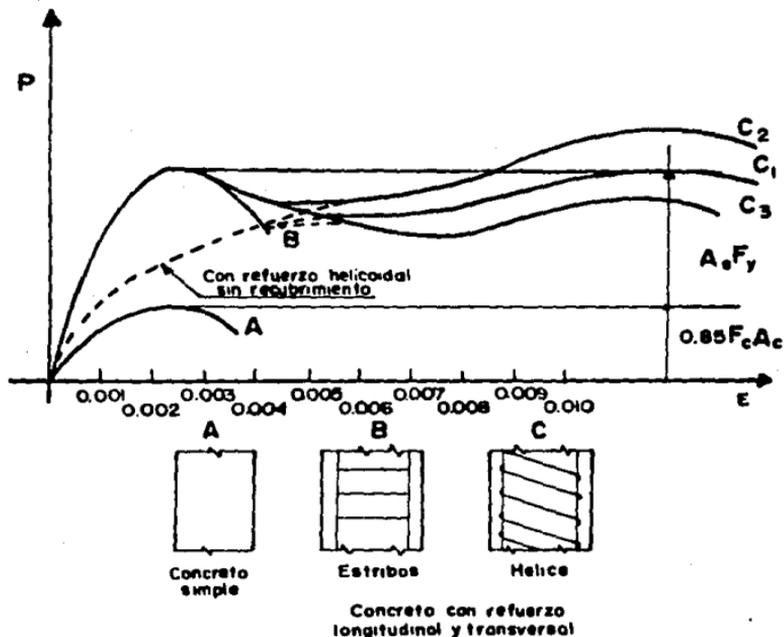
inicialmente, pero a deformaciones considerablemente mayores, - como muestra la curva C_2 .

Por el contrario, si el confinamiento no es suficiente, - nunca se alcanzará una carga como la del primer máximo C_3 .

Si se ensaya un espécimen con hélice y refuerzo longitudinal, pero sin recubrimiento, la etapa inicial quedará representada por la línea de trazo interrumpido con una pendiente menor que la del espécimen con recubrimiento ya que el área de concreto es menor.

La parte final de ambas curvas será igual, puesto que el - espécimen con recubrimiento lo habrá perdido a estas deformaciones.

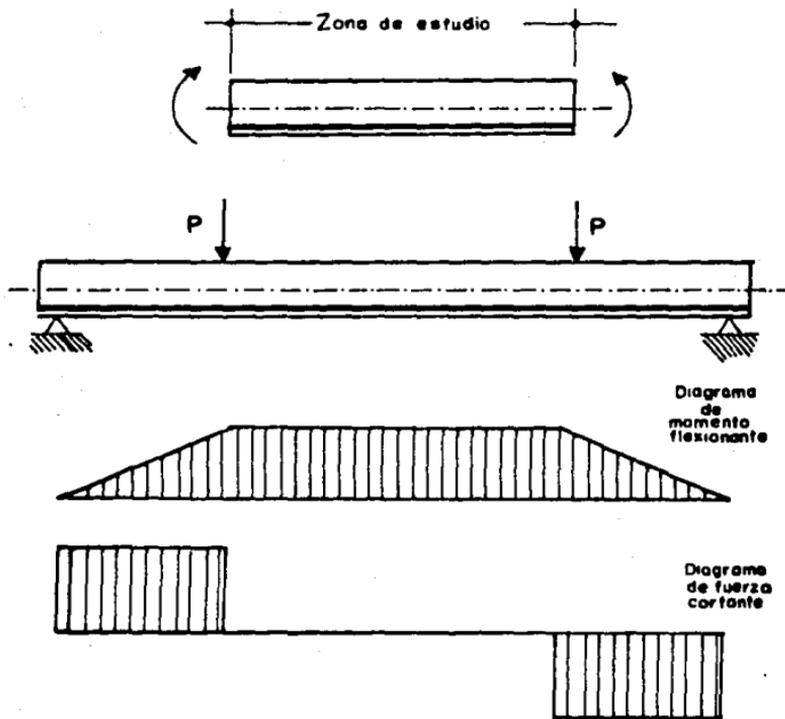
CURVAS CARGA-DEFORMACION UNITARIA DE COLUMNAS CORTAS BAJO COMPRESION AXIAL



Se puede considerar entonces que la resistencia en compresión axial de un elemento de concreto reforzado se obtiene de la contribución de cuatro factores: el concreto del núcleo, el acero longitudinal, el concreto de recubrimiento y el refuerzo helicoidal. Estos dos últimas contribuciones no pueden existir simultáneamente ya que el refuerzo helicoidal, actúa en forma apreciable solo cuando la deformación longitudinal del elemento es igual o mayor que la que produce la caída del recubrimiento.

COMPORTAMIENTO Y MODO DE FALLA DE VALLA DE ELEMENTOS SUJETOS A FLEXION SIMPLE.

Al empezar a cargar, el comportamiento de la pieza es esencialmente elástico y toda la sección contribuye a resistir el momento exterior. Cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del concreto, empiezan a aparecer grietas. A medida que se incrementa la carga, estas grietas aumentan en número, en longitud y en abertura.

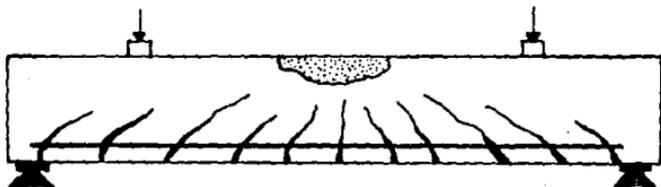


ESPECIMEN TIPO PARA ESTUDIO DE FLEXION SIMPLE

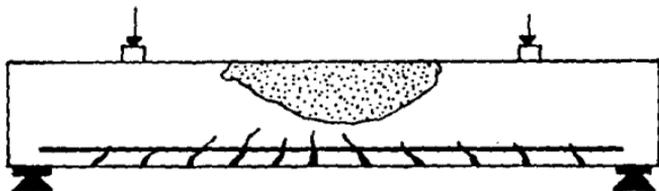
A partir de la aparición de las primeras grietas, el comportamiento del espécimen ya no es elástico y las deflexiones ya no son proporcionales a la carga. En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa, el esfuerzo en el acero aumenta hasta que alcanza su valor de fluencia. Desde el momento en que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que apenas aumente la carga. La resistencia del elemento es solo ligeramente mayor que la carga que produce la fluencia del acero.

Los primeros síntomas de la fluencia del acero son un incremento notable en la abertura y longitud de las grietas y un quiebre marcado en la curva carga-deflexión. A medida que aumenta la longitud de las grietas, la zona de compresión se va reduciendo hasta el concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta. El primer indicio del aplazamiento es el desprendimiento de escamas en la zona de compresión. Cuando esto ocurre, la carga disminuye con mayor o menor rapidéz, dependiendo de la rigidez del sistema de aplicación de la carga, hasta que se produce el colapso final.

- a) En un elemento si la cantidad de acero longitudinal es grande este no fluye antes del aplastamiento, en esta zona de aplastamiento del concreto es grande así como las grietas y aberturas.



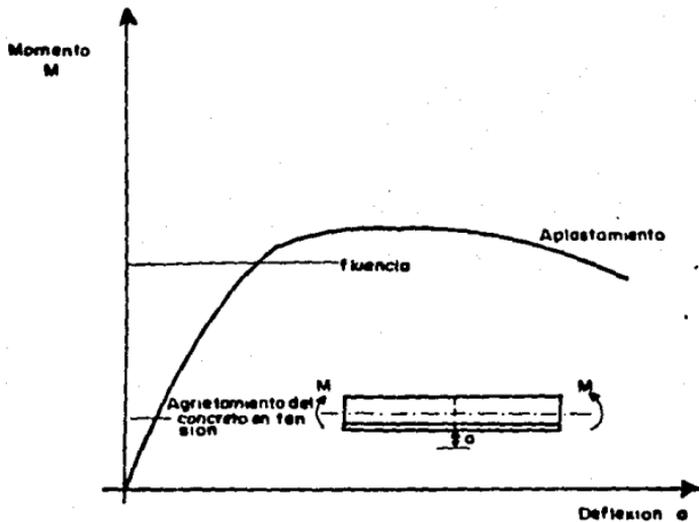
a) Sub-reforzada



b) Sobre-reforzada

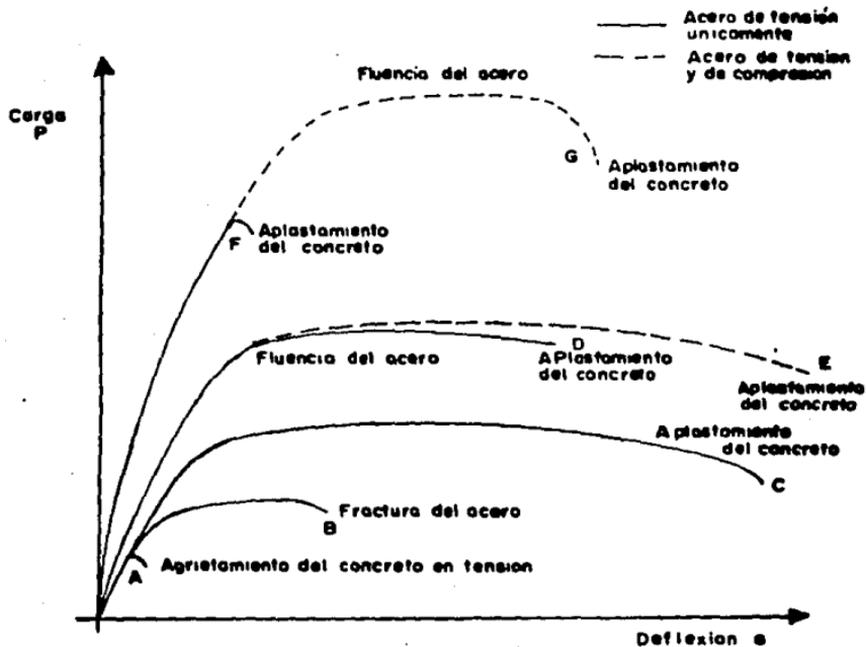
- b) Cuando el acero fluye, el comportamiento del miembro es dúctil, se producen deflexiones considerables antes del colapso final presentándose una zona de aplastamiento del concreto y las grietas son de longitud y abertura pequeña.

AGRIETA LENTO EN LA FALLA DE VIGAS SUJETAS A FLEXION



GRAFICA CARGA-DEFLEXION DE UN MOMENTO, CON PORCENTAJES USUALES DE ACERO DE TENSION

En la siguiente gráfica se muestra la variación en el comportamiento de los elementos que tienen distintos porcentajes de acero. Cada curva de trazo lleno representa la gráfica carga de flexión de un elemento reforzado con una cantidad diferente de acero de tensión, desde una viga de concreto simple hasta otra con porcentaje muy alto de acero del orden del 7%.



GRAFICA CARGA DEFLEXION DE ELEMENTOS CON PORCENTAJES VARIABLES DE ACERO SUJETOS A FLEXION SIMPLE.

Además de acero de tensión, existe acero longitudinal en la zona de compresión, su efecto es aumentar notablemente la ductilidad, pero su resistencia permanece prácticamente constante, ya que está regida por la tensión en el acero.

Es importante que la ductilidad que se logra con la adición de acero de compresión no se obtienen si este no está adecuadamente restringido por medio de refuerzo transversal ya que para compresiones muy altas y cuando hay poco recubrimiento, el acero de compresión puede pandearse lo que causaría colapso súbito.

COMPORTAMIENTO Y MODO DE FALLA DE ELEMENTOS SUJETOS A FLEJO COMPRESION

Existen dos modos principales de falla de elementos sujetos a flexo compresión. Falla en compresión y Falla en tensión.

La falla en compresión se produce por aplastamiento del concreto. El acero de lado mas comprimido fluye, en tanto que del lado opuesto no fluye en tensión.

El segundo modo de falla se produce cuando el acero de un lado fluye en tensión antes de que se produzca el aplastamiento del concreto en el lado opuesto, mas comprimido.

El tipo de falla depende esencialmente de la relación entre momento y carga axial en el colapso.

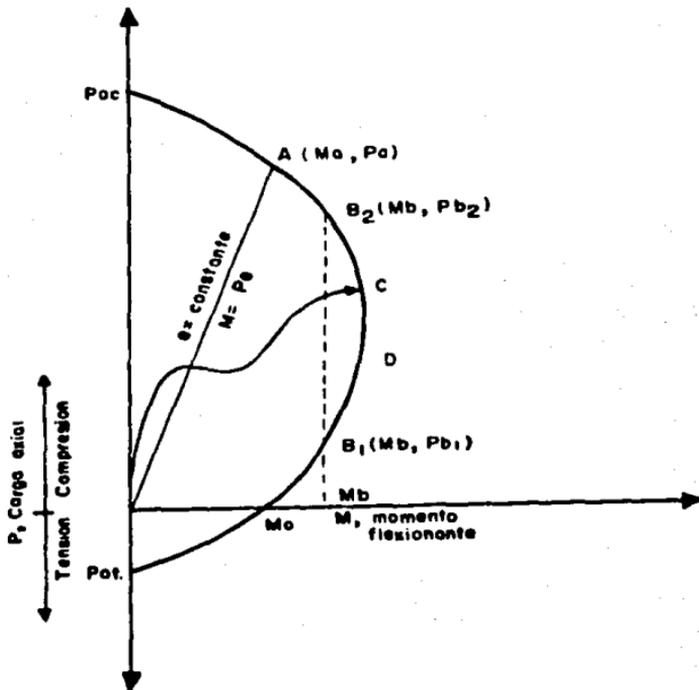


DIAGRAMA TÍPICO DE INTERACCIÓN PARA UNA SECCIÓN RECTANGULAR

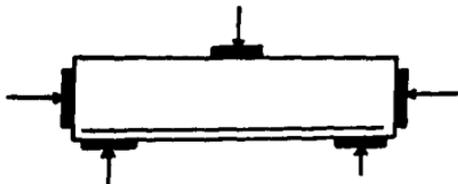
Se han observado que el efecto del refuerzo helicoidal so
bre la resistencia disminuye apreciablemente en cuanto la carga
axial tiene cierta excentricidad, aunque la hélice sigue amen
tando la ductilidad del elemento.

"Cabe notar que las mediciones de deformación han indicado
que estas varían linealmente a lo largo del peralte, es decir -
las secciones transversales se mantienen planas antes y después
de la deformación."

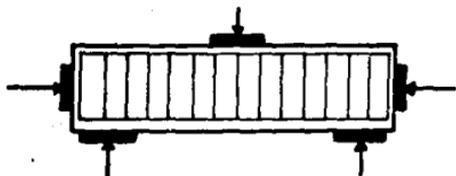
COMPORTAMIENTO EN MODO DE FALLA DE ELEMENTOS SUJETOS A FUERZA - CORTANTE

El comportamiento de elementos sujetos a fuerza cortante -
se puede agrupar en cuatro tipos distintos:

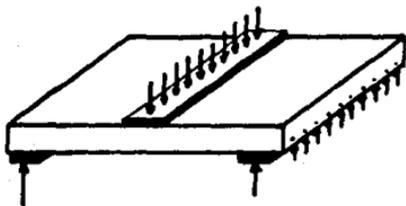
TIPOS DE ELEMENTOS SUJETOS A FUERZAS CORTANTES



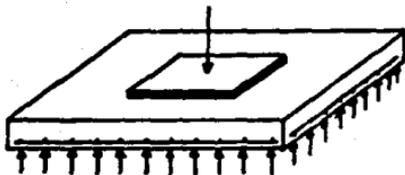
a)



b)



c)



d)

1. Vigas o columnas sin refuerzo transversal en el alma, - sujetos a combinaciones de fuerza cortante, momento - flexionante y carga axial.
 - a) Vigas o columnas con refuerzo transversal en el alma.
 - b) Vigas anchas o losas apoyadas exclusivamente en sus - dos extremos, o refuerzo longitudinal únicamente, su - jetas a combinaciones de fuerza cortante y momento - flexionante.
 - c) Losas, reforzadas y apoyadas en las dos direcciones, - sujetas a cargas concentradas - cargas repetidas. - Este tipo de elementos simula la unión de una columna con una losa, como en el caso de losas planas y - zapatas para columnas.

ELEMENTOS SIN REFUERZO EN EL ALMA

En los primeros incrementos de carga no existe diferencia entre el comportamiento de un elemento que falle por efecto de fuerza cortante y otro que falle por flexión.

La diferencia esencial entre ambos tipos de falla consiste en que, en una falla por tensión diagonal, el agrietamiento inclinado es súbito y causa de inmediato el colapso de la pieza, mientras que una falla de compresión por cortante la pieza puede soportar cargas mayores que la que produce el agrietamiento-inclinado.

El comportamiento del elemento antes de que aparezcan las primeras grietas en la parte inferior debidas a flexión es esencialmente elástico. Al aumentar las cargas, la fuerza cortante puede originar esfuerzos principales que exceden la resistencia a tensión del concreto, produciendo grietas inclinadas a una altura aproximada de medio peralte.

En miembros sujetos a compresión o tensión axial, las grie

tas inclinadas se forman a cargas mayores o menores, respectivamente, que la carga que produce el agrietamiento del mismo miembro sin carga axial. A partir de este momento el comportamiento del elemento difiere en forma importante del correspondiente al miembro que falle por flexión. La grieta inclinada puede aparecer súbitamente, sin señal previa, y extenderse inmediatamente hasta causar el colapso de la pieza.

La diferencia esencial entre ambos tipos de falla consiste en que, en una falla por tensión diagonal el agrietamiento inclinado es súbito y causa de inmediato el colapso de la pieza, mientras que en una falla de compresión por cortante la pieza puede soportar cargas mayores que la que produce el agrietamiento inclinado.

Cuando la falla se produce súbitamente al aparecer la primera grieta inclinada importante se dice que el elemento falla en tensión diagonal.

Cuando la falla ocurre después de la aparición de una grieta inclinada importante y la resistencia es mayor que la carga que formó esta grieta, se dice aquí que el elemento tuvo una falla en compresión por cortante.

En general, una grieta inclinada importante es aquella que se extiende a través de casi todo el peralte del elemento y se empieza a lo largo del acero de tensión.

Cuando la grieta inclinada se produce súbitamente y causa el colapso de la pieza, la carga de agrietamiento es también la resistencia del elemento.

ELEMENTOS CON REFUERZO EN EL ALMA

El refuerzo transversal que se utiliza en elementos de concreto para aumentar su resistencia a los efectos de la fuerza cortante pueden ser en algunos casos que se aproveche parte del

acero principal de flexión, doblándole en zonas donde ya no es requerido para tomar esfuerzos longitudinales de manera que -
atraviase las regiones donde puedan aparecer grietas inclinadas.

El tipo de refuerzo transversal de uso más extendido es el estribo.

En el comportamiento bajo carga de elementos con refuerzo en el alma aparecen inicialmente grietas inclinadas.

A partir de este momento el refuerzo transversal restringe el crecimiento de las grietas inclinadas.

Si se tiene refuerzo transversal en cantidades suficientes las grietas inclinadas serán pequeñas y de poca consideración y la falla se producirá en flexión, antes o después de la fluencia del acero longitudinal.

El refuerzo en el alma influye muy poco en la magnitud de la carga que producen las primeras grietas inclinadas, pero después de la aparición de las grietas, el refuerzo transversal se deforma gradualmente al incrementar la carga, hasta que alcance su límite de fluencia.

Con el objeto de evitar que el ancho de las grietas inclinadas sea excesivo el Reglamento ACI-71 recomienda que el acero transversal tenga un esfuerzo de fluencia máximo de 4200 Kg/cm^2

Es importante tomar en cuenta que para que el refuerzo transversal sea realmente efectivo, debe colocarse a espacios -
tales, a lo largo del eje de la pieza, que cualquier grieta inclinada potencial que pudiera formarse en el elemento sea cruzado cuando menos por una barra de refuerzo en el alma.

Otro efecto importante del refuerzo en el alma es el de -
incrementar la ductilidad del elemento, al proporcionar confina

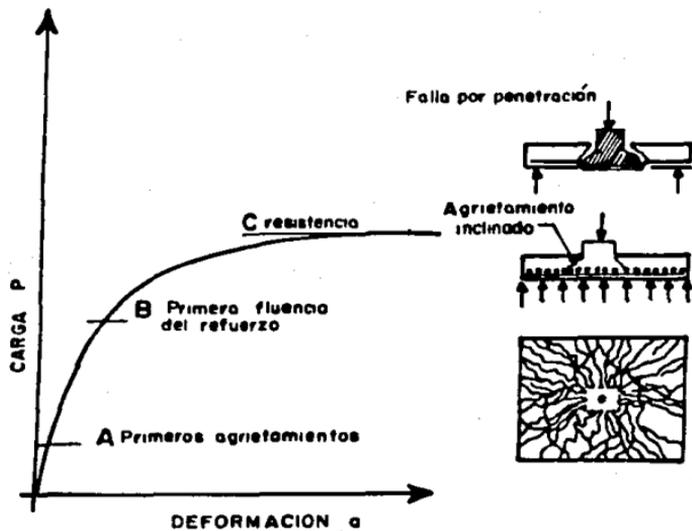
miento lateral al concreto sujeto a compresión.

ELEMENTOS ANCHOS

El comportamiento de elementos anchos, es muy parecido al observado en vigas sin refuerzo en el alma. Sin embargo, las cargas de agrietamiento medidas aproximadamente pueden ser mayores, por unidad de ancho que un elemento más angosto.

LOSAS PLANAS Y ZAPATAS

El comportamiento general bajo carga y el modo de falla observado han sido los mismos, cualquiera que sea el tipo de apoyo.



CARACTERISTICA CARGA-DEFORMACION DE UNA LOSA PLANA

Dependiendo de la relación entre el claro y el peralte de la losa, o de la relación entre el área de la losa y el área de la superficie de aplicación de carga y de la cantidad de acero longitudinal de flexión.

La falla por perforación puede presentarse antes o después de que fluya el acero longitudinal.

Cuando el colapso por perforación se presenta después de que la losa ha sufrido un agrietamiento considerable bajo, y después de que el acero longitudinal ha fluido, el tipo de falla puede clasificarse como de flexión y se caracteriza por una deformación importante en la que el colapso final se presenta siempre por perforación de la columna a través de la losa, y la superficie de truncado, lo cual indica que existe siempre una etapa previa al colapso final, en la cual se desarrolla grietas inclinadas alrededor de la superficie cargada, hasta que se forma una superficie de falla.

MECANISMO DE FALLA POR CORTANTE EN MIEMBROS SIN REFUERZO TRANSVERSAL.

Antes de que aparezca la grieta inclinada, el comportamiento del miembro es prácticamente lineal y, por lo tanto, la tensión en el acero es sensiblemente proporcional al momento flexionante. Pero una vez que se desarrolla una grieta inclinada el comportamiento del elemento de la zona agrietada se asemeja al de un arco rebajado, esto produce tres efectos importantes:

- a) Reduce la zona disponible para tomar esfuerzos de compresión; la compresión total debe ser tomada íntegramente en la profundidad "y"
- b) Produce un aumento súbito en la tensión del refuerzo en la sección AA.
- c) Reduce el área disponible para tomar la fuerza cortante en la sección que después de aparecer tendrá que ser re

sistida por la zona de compresión del concreto y por el acero longitudinal.

Si al desarrollarse la grieta inclinada, la zona de compresión reducida es capaz todavía de resistir la compresión resultante, y si el acero de refuerzo puede tomar el incremento súbito de tensión, entonces la grieta inclinada se estabiliza y el miembro es capaz de resistir cargas mayores trabajando como arco rebajado.

Si por el contrario, la zona de compresión reducida por la grieta inclinada es ya incapaz de tomar la fuerza de compresión se produce una falla por aplastamiento del concreto en la parte superior de la grieta inclinada, simultáneamente con la formación de ésta.

Si al desarrollarse la grieta inclinada la zona disponible para tomar esfuerzos de compresión es insuficiente, o si el acero es incapaz de desarrollar la adherencia requerida para tomar el incremento de tensión se produce el colapso del elemento inmediatamente después de formarse la grieta inclinada, y la falla es por tensión diagonal.

Si la grieta se estabiliza y el elemento es capaz de tomar carga adicional, la falla será de adherencia por cortante cuando se agote la capacidad de transmitir tensiones por adherencia entre el acero y el concreto; o bien; de compresión por cortante cuando se aplaste el concreto en la zona de compresión.

Hasta ahora ha sido imposible correlacionar la capacidad adicional de un elemento sobre la carga de agrietamiento inclinado con las variables primarias.

Esto es debido a que dicha capacidad depende en gran parte de la presión y extensión de la grieta inclinada, y ésta no puede predecirse de antemano con precisión porque el concreto no es en realidad un material homogéneo.

Una pequeña variación en la posición o en la extensión de la grieta inclinada puede cambiar drásticamente la longitud de anclaje del acero de tensión y la profundidad de la zona de compresión y, por lo tanto, la capacidad de carga posterior al agrietamiento inclinado.

La mayor parte de los investigadores concuerdan considerar la carga de agrietamiento en tensión diagonal como la resistencia útil a la acción de fuerza por cortante de un elemento sin refuerzo transversal, a un sabiendo que en algunos casos la carga de colapso puede ser mucho mayor.

MECANISMO DE FALLA POR CORTANTE EN MIEMBROS CON REFUERZO TRANSVERSAL.

El mecanismo de falla de un elemento con refuerzo transversal no ha podido establecerse hasta ahora debido a que el mecanismo real de distribución de refuerzos entre concreto y aceros es en realidad mucho más complejo.

Solo se puede comentar que la presencia de refuerzo transversal influye muy poco en el valor de la carga de agrietamiento y en el comportamiento general del elemento antes de que se desarrolle la grieta inclinada.

Pero una vez que se presenta dicha grieta, el refuerzo en el alma contribuye eficazmente a incrementar la capacidad de carga del elemento, y si este refuerzo se proporciona en forma adecuada, puede lograrse que el colapso se produzca por efecto de las fuerzas longitudinales de flexión y no por efecto de la fuerza cortante.

El refuerzo en el alma desempeña un triple papel después de la aparición de la grieta inclinada.

- a) Restringe el crecimiento y desarrollo del agrietamiento inclinado, conservando en esta forma una profundidad mayor para la zona de compresión. Esto incrementa la ca

pacidad de esta zona para resistir fuerzas normales y -
transversales.

- b) Cuando se usa una fuerza transversal en forma de estri-
bos, esto mejora la capacidad por adherencia del miem-
bro, pues tienden a evitar fallas por desgarramiento al
nivel del acero de refuerzo.
- c) El refuerzo en el alma toma una porción importante de -
la fuerza cortante externa, y cuando el refuerzo forma-
anillos cerrados, incrementa ligeramente la capacidad -
de la zona de compresión debido al efecto de confinam-
iento.

Mecanismos de falla por fuerza cortante en losas planas y -
zapatas sin refuerzo transversal.

Debido a que los momentos flexionantes disminuyen muy rápi-
damente del perímetro del área cargada hacia los centros de los
tableros de losa a los extremos de las zapatas, las tensiones -
máximas antes del agrietamiento se concentran en zonas cercanas
a una superficie definida por planos trazados a 45° a partir -
del perímetro del área cargada. En las losas planas y zapatas,
las zonas típicas están concentradas alrededor del perímetro -
del área cargada.

El agrietamiento inclinado se produce siguiendo una super-
ficie en forma de pirámide truncada, plana con una inclinación
aproximada de 45° respecto al plano medio de la losa o zapata,-
a cargas del orden del 50 o 70% de la resistencia.

El fuerte gradiente de momentos hace que las grietas incli-
nadas tiendan a producirse en la zona adyacente del área carga-
da. Pero estas grietas no pueden desarrollarse súbitamente ni
hacia el área cargada, debido al confinamiento, ni tampoco a lo
largo del acero de tensión, porque éste existe siempre en canti-
dades y longitudes suficientes.

CAPITULO III

EL CONCRETO COMO MATERIAL DE FALLA

El concreto como material estructural, difiere de todos - los demás, porque no llega fabricado al sitio de la obra y por - ser tan propenso al comportamiento incorrecto si se descuida o - no se efectúa adecuadamente su control.

Ningún colapso o falla del concreto puede atribuirse única - mente a la mezcla incorrecta del mismo o a que no se haya cum - plido con las proporciones determinadas por un procedimiento de diseño de mezcla controlada prácticamente todo reporte que se - ha preparado sobre fallas, indica, sin embargo que los cilin - dros o corazones de concreto fraguados estaban bajos, en cuanto a resistencia diseño.

En una obra en la que se hacía el vaciado de concreto bajo un control extremadamente cuidadoso, y del que se hacían ensa - yos, la revoltura contenía cemento del tipo I, y se agregaban - en obra un inclusor de aire.

Durante una escasez de cemento llega a la obra y se usa un -carro completo de cemento del tipo I A. El resultado obtenido - fue un concreto de 135 lb/pie^3 de densidad y con resistencia me - nor a 2100 psi a los 28 días. La mezcla de diseño indicada era de 3000 psi. Se descubrió el error hasta que se habían vaciado unos miembros que llevaban acero de refuerzo complicado. La - aceptación de la obra se retrasó por más de un año, hasta que - se promovió y volvió a vaciar el concreto completo.

Suponiendo que el uso del cemento del tipo I A fue acciden - tal o involuntario pudo haberse evitado esta dificultad si se - hubieran pesado los cilindros de ensayo tan pronto como se obte - nían. De esta manera puede detectarse un error de mezcla a - tiempo, y quitarse el concreto antes de que represente un cos -

to demasiado elevado.

De los datos que aportan los cilindros de ensayo se puede considerar como indicativos pero no definitivos y no debe esperarse una correlación simple entre la falla y la calidad de la mezcla. Ha habido casos en el que el uso de agregados inadecuados ha dado orígenes a órdenes de demolición del concreto, por bajas resistencias de prueba, ésto se debió a que gran parte del vaciado del concreto se había efectuado en tiempo frío, y la inspección de la planta mezcladora, interrelacionada con el análisis de los corazones de concreto, indicó que el agregado se había apilado sin protección, que contenía mucho hielo, y que se había utilizado completamente sin control, por lo que tocaba a la separación por tumajos. Las pruebas de los corazones ha confirmado la amplia variación en resistencia del concreto. La reconstrucción y la terminación se efectuaron con una mezcla modificada de concreto, con mejor control de la graduación de los agregados y de la temperatura.

El uso de agregados inapropiados en una mezcla de concreto puede ocasionar muchos problemas de apariencia y aun de utilización de la construcción. Ciertas agencias y comités de vigilancia se han dado cuenta que permitir el uso de materiales sobrellos que se sabían que causaban defectos serios en el pavimento reduce la vida útil de una obra de concreto. Los agregados que se usan para una mezcla de concreto deben ser compatibles con los demás ingredientes. Se ha hecho en los Estados Unidos una investigación sobre el agrietamiento anormal en las estructuras de algunas carreteras de concreto. El análisis de los registros de concreto en comparación con el comportamiento real verificado durante numerosas pruebas de laboratorio de los agregados y de los cementos, demostró que los defectos parecían limitarse a la revoltura de concreto en la que se habían usado agregados silicios naturales, con tres cementos que tenían un contenido de álcali mayor del 0.6%

El agrietamiento ocasionado por la reacción alcali-siliceo-

raras veces se inicia antes de 5 años. Se observaron defectos en pilas, cubiertas de pilas, aleros, carriles y aceras. La obra se corrigió agregando o cubriendo con concreto después de la demolición del concreto agrietado o suelto, y en las superficies menos afectadas aplicando selladores de pintura restringiendo el contenido de álcalis a 0.6% en los cementos, lo cual ha sido efectivo para el control de tales fallas.

En otro análisis de fallas de concreto, dio como resultado la determinación de que el agregar un aditivo reductor del agua, a un cemento de bajo contenido de SO_3 ocasiona un fraguado retrazado por varios días.

El análisis químico de los diversos materiales demostró en forma definitiva que un contenido de SO_3 inferior al 2% de cemento, lo hacen compatible con el aditivo de base lignínica. Debe considerarse con mucho cuidado el efecto extremadamente sensible de porcentajes muy pequeños en algunos aditivos, antes de permitir su uso. Tal análisis debe tener presente que aun que es deseable el control exacto de todos los demás ingredientes que lleva una revoltura de concreto, raras veces se dispone de tal control.

La adquisición de resistencia de una mezcla de concreto depende de las temperaturas de la misma y del aire exterior, aun que tales factores no afectan mucho a los últimos valores de resistencia.

En climas extremadamente calientes, en especial en los de baja humedad, como las que existen en las áreas desérticas, solo se puede obtener el control apropiado de la mezcla de concreto durante la noche.

REACCION SUPERFICIAL

El endurecimiento del cemento en el concreto o en un mortero, no es una reacción química real, y la cristalización resul

tante del cemento amorfo está sujeta a alteración cuando está en contacto con muchos materiales corrosivos. La falta de consideración a tal posibilidad ha conducido a muchos casos de desintegración superficial del concreto y a algunos de desintegración a profundidad en los que se han efectuado costosos trabajos de corrección.

En muchas estructuras que dan su frente al agua se encuentra la acción química normal que tiene sobre el concreto la salpicadura de sales, la abrasión por hielo, los mares y la intemperie. La protección contra el envejecimiento natural, las influencias del agua salada ayudadas por la acción química de los mares y el viento, ha traído como resultado el reconocimiento de que se necesitan concretos de densidad especial, y de que es económicamente aconsejable hacer un tratamiento superficial hermético a la humedad.

Durante mucho tiempo se ha investigado la acción química que ejerce el agua de mar sobre el concreto que va seguido por la desintegración rápida de éste último.

En 1917 Rudolf J. Wig del departamento de normas y Lewis R. Ferguson de la Portland Cement Association emitieron sus informes sobre inspecciones personales realizadas de 130 estructuras en las que el concreto estaba expuesto al agua de mar.

Los lugares de instalación comprendían todas las costas de los Estados Unidos, Panamá y Cuba llegando a la conclusión de que el concreto es el material disponible más económico, si se hace que resista con todo éxito a la acción del agua de mar, las pruebas reunidas demostraron que el concreto y el concreto-armado en prácticamente cualquier clima, empieza a fallar en corto tiempo arriba del nivel del agua de mar, debido a la absorción de agua de mar o a la penetración de aire de mar que acarrea cloro hasta el refuerzo.

Este refuerzo pronto se corroe por oxidación y el concreto

se agrieta. El refuerzo ahogado a una profundidad de 2", de acuerdo con la teoría y las prácticas existentes, no queda protegido perfectamente contra la corrosión que ocasiona el agua de mar. El agrietamiento del concreto vaciado en agua de mar, siempre comienza arriba de la línea de alta marea y raras veces se encuentra la corrosión abajo de la línea de baja marea. De lo expuesto se llega a la conclusión de que las obras de concreto que hayan de estar expuestas al agua de mar son objeto de atención especial y deben estar enteramente libre de imperfecciones que por lo general son aceptables en la producción de concreto.

Una investigación efectuada sobre el deterioro del concreto de la cimentación de un silo construido en el muelle de Copenhage indicó que hubo ataque de sulfatos ejercidos por el agua subterránea combinado con ataque de bióxido de carbono, que también es un agente primario de desintegración.

El uso excesivo de cloruro de calcio para la eliminación de la nieve, junto con la acción del ácido tánico procedente del subsuelo adyacente a las banquetas de concreto nuevo, ocasionan también la desintegración. Otro ejemplo de la acción del ácido tánico es el que se observa en los cimientos de concreto de un conjunto habitacional construidos bajo el nivel de aguas frías durante el bombeo de las excavaciones de la cimentación, y ahogados en agua después de haber fraguado el concreto, fueron afectadas lo suficiente como para que fuera necesario su demolición y reposición. La reconstrucción tuvo éxito cuando se mantuvieron las excavaciones libres de agua durante aproximadamente un mes después del vaciado del concreto.

El problema de deshielo en los pavimentos no está resuelto por completo. La roca de sal y el cloruro de calcio remueven efectivamente la nieve y el hielo, y si se usan con moderación, por lo general no dañan el buen concreto normal, menos aún el concreto con aire incluido. Hay nuevos productos en el mercado, pero todos los que contienen ya sea sulfato de amonio, o

nitrate de amonio, atacan activamente cualquier clase de concreto.

La aplicación de yeso o pintura sobre las superficies de concreto para acabado interior ha sido un concepto que ofrece dificultades, se han desarrollado recubrimientos plásticos aplicados por rociado, para servir como agente adhesivo entre el concreto y la pasta blanca de yeso.

Aunque tal aplicación ha tenido éxito en muchos casos, dependiendo su permanencia de un suministro continuo de vapor de humidificación para mantener una gelatina coloidal ha habido gran número de fallas debidas aparentemente a la deshidratación del concreto y de la pasta de yeso.

La acción del ácido láctico sobre el cemento es tan rápida y completa, que el uso de pisos de concreto en las plantas de proceso en las que puede formarse ácido láctico es totalmente desaconsejable. Tales plantas comprenden las pasteurizadoras de leche, las plantas manufactureras de queso, las cervecerías y los abastos.

Hay algunas bacterias, moluscos y seres similares de vida animal que pueden deteriorar el concreto, cuya procedencia son los desechos químicos y que reaccionan con el cemento y sus agregados, y a veces realizan el deterioro por erosión física para hacer resguardos abajo de la superficie.

En Polonia se han recabado informes sobre desintegración de concreto por bacterias identificadas como Merulios Lucrymans y Poria Vaporaria, que ocurrió en unos túneles profundos del ferrocarril subterráneo de Varsovia en 1952. Se había colocado el concreto contra tablonés de pino fresco que contenía la bacteria del tipo de hongo. Aunque la bacteria no encontró ningún elemento nutritivo en el concreto, el movimiento hacia la luz y el alimento habían causado daños considerables al concreto por la secreción de ácidos orgánicos y la erosión del concreto afe

tado. Las bacterias productoras de azufre que se encuentran de ordinario en los drenajes o cloacas son el instigador usual en la desintegración de concreto.

REACCION INTERNA

El método correcto para combinar los ingredientes para la producción de concreto firme y confiable que tenga la resistencia deseada, está relativamente bien establecido, pero con frecuencia no se logra ni la duración ni el resultado deseado. Todos los objetos tienden a desintegrarse, en el caso del concreto la inclusión de ingredientes reactivos o de material alejado en su seno ayuda a tal proceso natural. La mezcla correcta del concreto se vuelve químicamente inerte después de que se ha completado la reacción del cemento. Ciertas sustancias químicas reaccionan desfavorablemente con el aglutinante que mantiene unido al concreto, entre estos se cuentan la familia completa de los azúcares, los lignitos, las resinas, los vapores de azufre, las sales y muchos otros.

Los cambios internos de naturaleza química que ocurren dentro del concreto y que dan origen a grietas y fracturas acompañadas a menudo por la desintegración de las superficies, pueden ocurrir bajo ciertas combinaciones de cemento y agregados. Entre los cementos de alto contenido de álcalis y los agregados que contienen sílice soluble, ocurre una acción alcalina que da por resultado la formación de una gelatina expansiva formada por hidróxido alcalino con agua y sílice.

El agregado procedente de rocas que han tenido cualidades expansivas a las que de ordinario se les clasifica como dolomitas, se ha encontrado que produce gran parte de las dificultades observadas en los puentes de los viaductos cuando el crecimiento en longitud cierra las puntas de dilatación, y también el abultamiento de los caminos de concreto a temperaturas elevadas y el agrietamiento sistemático de los acabados monolíticos.

El agua de mar puede ser una necesidad económica para el mezclado del concreto en los lugares en los que no se consigue agua dulce. Cuando se usa agua de mar para concreto armado, especialmente en las áreas tropicales, en las que prevalecen las altas temperaturas y una humedad elevada, la dilatación y la corrosión por oxidación del refuerzo destruyen rápidamente la estructura, solo debe permitirse el uso de arenas y gravas de playa después de haberlas lavado perfectamente con agua dulce.

CONTRACCION, DILATACION Y CAMBIO PLASTICO

Aunque pueden atribuirse muy pocos ejemplos de colapso a los efectos de temperatura y contracción, se producen agrietas y desintegración de consideración en las estructuras de concreto por la falta de libertad para modificar sus dimensiones con los cambios de temperatura y por efecto de envejecimiento.

Desafortunadamente debido al aislamiento térmico que aporta el concreto a los volúmenes interiores y al régimen de contracción no uniforme de los elementos de espesor y forma diferente, los cambios de dimensión no son enteramente lineales, aunque la colocación de refuerzo uniformemente distribuido y continuo se reconoce como una medida apropiada para resistir los cambios térmicos, no afecta este acero a las dificultades aparentes que se tiene por la contracción.

En realidad se intensifican las dificultades de la contracción cuando se tienen mayores cantidades de refuerzo, porque el acero no se contrae y aun pueden presentarse fallas de adherencia interna.

Para pisos y losas de techo siempre se especifican refuerzos por cambios de temperatura, pero raras veces para vigas y trabes.

La contracción diferencial entre miembros de concreto arma

do gruesos y delgados, en contacto íntimo, puede producir una tensión excéntrica sobre los miembros, y es la razón común de que se formen grietas en las losas coladas en forma integral con las vigas maestras.

La contracción al secado que se define como la reducción de volumen que resulta de una pérdida de agua que sufre el concreto después de endurecerse, como desarrollo consecuente de agrietamiento por contracción plástica formándose debilidades internas que más adelante se transforman en grietas abiertas.

Cuando se restringen los cambios de volumen, se producen esfuerzos cuando ocurren contracciones más adelante y dichos esfuerzos pueden ocasionar fallas y deformaciones.

La experiencia empírica lograda en los años recientes indica que la magnitud de la contracción retrasada a las edades de aproximadamente dos años, es más crítica en los agregados de concretos ligeros que en el concreto normal. Esto se atribuye al estado saturado de los agregados cuando se añaden a la mezcla. Los intentos por corregir esta condición mezclando agregados ligeros secos dan por resultado un concreto muy difícil de colocar y de terminar correctamente, con lo cual el personal de campo se ve forzado a agregar agua a la mezcla, con las consecuentes resistencias bajas y contracciones retrasadas incrementadas.

La transmisión de la carga, cuando las columnas de los marcos de varios pisos son afectadas por la contracción retardada, por lo general después de que se ha terminado el edificio y se encuentra en uso, se ha agrietado cubiertas rígidas de tabique y de piedra. Esto se ha encontrado cuando se ha utilizado mezcla de concreto ligero para las columnas, en combinación con piezas de tabique vidreado colocado con juntas rígidas de mortero.

Tanto para las unidades compuestas de miembros precolados-

como para los de marcos rígidos colados en su lugar, se tienen que considerar los efectos de la contracción retardada.

La magnitud de la contracción a largo plazo de una estructura real de concreto depende de los variados factores que introducen el tipo de mezcla, las temperaturas durante el colado y las condiciones climatológicas.

Todos los cambios de longitud ocasionan grietas en el concreto y por lo general se reconocen tres clases de grietas en él:

1. Los que resultan de la deformación elástica, que comúnmente son del ancho de un cabello y que no se consideran perjudiciales para la estabilidad.
2. Las grietas de contracción debidas al secado de la pasta.
3. Las grietas de corrosión ocasionadas por el cambio de volumen de los agregados o del refuerzo.

A menudo se manifiesta la contracción de las losas de piso de concreto como una grieta corta diagonal entre las esquinas del edificio, bastante próximo a la columna, y aun partiendo de la esquina interior de la columna situada arriba del nivel de piso.

La dilatación del concreto que ocurre con el tiempo por la acumulación de crecimientos ocasionados por los cambios sucesivos de temperatura, y por las reacciones internas de los agregados, pueden dar origen a cambios de forma y a agrietamientos mayores.

GRIETAS POR EL ACERO DE REFUERZO

Si el concreto se asienta sobre el acero de refuerzo, pue-

den aparecer grietas en la superficie del concreto que se en -
cuentra sobre la varilla. Estas grietas se pueden evitar, si -
se coloca la varilla a una distancia mínima de 3.8 cm. bajo la -
superficie y se mantiene un revenimiento razonablemente bajo.

GRIETAS POR CORROSION DEL ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo oxidado se expande y crea grietas su -
perficiales. Si estas grietas no son reparadas cuidadosamente -
permiten la entrada de humedad, creando más corrosión y ocasio -
na el deterioro del concreto interior.

GRIETAS POR RUPTURA DEL PLANO DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

La ruptura del plano de la superficie del terreno ó una su -
perficie del terreno pobremente compactada permiten que el con -
creto se desplace durante el fraguado creando grietas. Estas -
grietas no siguen ningún patrón en particular.

Los Ingenieros Estructurales diseñan el concreto reforzado
para que pueda soportar cargas mayores que las del esfuerzo pre -
visto, sin embargo no son infalibles. Si se desplazan suminis -
tros o equipo pesado en plataformas rodantes sobre el piso de -
concreto, sometido el concreto bajo las ruedas de la plataforma
a cargas mucho mayores que la de diseño, es seguro que se origi -
ne un serio agrietamiento.

Cuando se imponen cargas sobre un piso de concreto antes -
de que éste haya alcanzado su resistencia de diseño, se incre -
menta la probabilidad de agrietamiento.

El concreto normalmente no debería ser sometido a esfuer -
zos de carga al menos hasta un mes después del colado, y si la -
construcción se realiza cuando el clima es frío, puede ser neca -
sario un período mayor.

En climas extremadamente calientes, el concreto se levanta

a ambos lados de las juntas de expansión cuando el grado de expansión térmica del concreto excede la capacidad de las juntas para controlar el movimiento. Este problema se puede observar a veces en los pisos de los cuartos de calderas y en otros espacios cerrados, sometidos a altas temperaturas, en todo caso, el concreto en uno o ambos lados del alabeo, será un punto que, finalmente, causará agrietamiento.

El concreto de alto revenimiento es poroso, débil y no resiste los esfuerzos por cambios de volumen ordinarios.

Una mezcla de concreto bien diseñada, con el factor de cemento apropiado y agregados sanos, de buena granulometría, todavía se puede agrietar si la mano de obra es ineficiente.

El concreto colado sobre la superficie del terreno requiere de un buen drenaje para evitar la presión hidrostática del agua del suelo, que puede causar grietas. Para reducir las grietas ocasionadas por la presión hidrostática, es necesario colocar 10 m. o más de agregado grueso, bien apisonado sobre la superficie del terreno donde el drenaje sea deficiente. Generalmente, se considera como posible solución de dejar una capa de desague de piso.

El espesor de esta capa dependerá en gran parte de la carga a la que normalmente se somete el piso y de otras consideraciones.

Las cuarteaduras del concreto endurecido generalmente aparecen un poco después de concluida la operación de acabado. Se forman grietas de contracción superficial, generalmente en días de poca humedad cuando el viento o la brisa soplan sobre la superficie, no constituyen un problema serio y se origina porque la superficie se seca rápidamente.

El descascaramiento es una falla de la superficie del concreto. La erosión se inicia con desconchamiento en varias

áreas. Si esta erosión no es reparada, se puede extender a toda una sección.

Estas se pueden originar por el uso excesivo de la llana, que concentra en exceso de finos en la superficie, y que debilita la adherencia de dicha superficie al concreto que se encuentra debajo.

El colado del concreto durante el otoño, cuando las bajas temperaturas impide que el concreto se cure apropiadamente.

El empleo de concreto con bajo contenido de aire, en áreas expuestas a un clima invernal severo.

Las fuertes aplicaciones de sales y productos químicos deshelantes.

La utilización de concreto de alto revenimiento.

Algunas medidas preventivas para evitar el descascaramiento podrían ser:

Evitar revenimientos mucho mayores de 10 cm.

Usar concreto con aire incluido, del 4 al 6%.

Evitar el uso de llana en la superficie del concreto, mientras queda agua de sangrado todavía.

Dar declive al concreto para que tenga un buen drenaje.

Asegurar un curado adecuado.

DESINTEGRACION SUPERFICIAL

Con frecuencia se observa como defecto en el concreto la desintegración superficial de los pavimentos y aceras. Ya -

sea por el resultado de la acción del tráfico sobre un concreto de acabado superficial deficiente, o ayudada por los aditivos químicos y abrasivos que se usan para el control de las cubiertas de nieve y hielo subsiste el hecho de que existen muchas superficies de concreto en buen estado y que tienen muchos años de vida, lo cual indica que hay algún detalle de combinación o de construcción que se ha introducido incorrectamente. Se han efectuado extensos estudios de campo de los recubrimientos protectores para detener el deterioro superficial del concreto durante varios años. Como resultado de estos estudios se ha determinado que la aplicación de tres manos de una mezcla de aceite de linaza y alcohol mineral era una protección suficiente y la más económica, debiéndose hacer la aplicación de la cuarta mano cinco años después.

En el mantenimiento de las superficies para los vehículos en las cubiertas de los puentes se ha recomendado la mezcla de 50-50 de aceite de linaza hervido y alcohol mineral como sellador de pavimentos y a menudo también en aceras, carriles y pasillos laterales y cubiertas de pilas.

En los lugares con ciclos comunes de congelación alrededor del 90% de las estructuras requieren recapeado superficial dentro de los primeros cinco años de uso.

Aunque por lo general se culpa a los agentes de deshielo del grado y de la rapidez con que sufre daños la superficie, raras veces son las causa del principio de desintegración. Como retardadores de la acción se han encontrado beneficios el mayor contenido de aire en el concreto, hasta el 8%, el menor tamaño de los agregados gruesos y la reducción de las operaciones de acabado.

En los diques de concreto que sirven para contención de agua, que tienen una superficie de agua con amplia fluctuación, y cuya superficie se congela en la mayor parte de los meses de

invierno, están expuesto a seria desintegración superficial en la zona de la cara de aguas arriba que está expuesta a muchos ciclos de congelación y descongelación. Se les ha dado protección a estas caras deterioradas por medio del relleno de tierra cubierta con una capa de asfalto.

Se ha encontrado además que es más económico usar una capa de espesor mínimo de dos pulgadas de mortero aplicado neumáticamente, después de hacer una limpieza cuidadosa de la superficie, picandola hasta llegar al concreto firme.

En tiempos más recientes, desde 1960 se aplican películas adhesivas de resina epóxica sobre las caras de concreto limpiados de las presas, vertederos y faldones en las que la erosión ha eliminado la superficie y algo de concreto. Esta reposición correctiva se hace con revolturas de concreto muy secas, además de que se necesitan ciertas temperaturas para el curado del epóxico.

En los grandes estadios de atletismo la superficie de concreto esta más expuesta que en cualquier otra estructura. La desintegración es muy común, comienza con agrietamiento menudo y continúa con manifestaciones de desintegración cuando el refuerzo es atacado, a la mayoría de estos estadios se les ha cubierto laboriosamente con aplicaciones dobles de cera mineral (Minwax) para sellar la superficie del concreto.

Todos los defectos comunes que tienden acortar la vida de un edificio de concreto armado se desprende de una causa simple. El enemigo de la durabilidad casi siempre es el agua, el elemento vulnerable es el refuerzo de acero, y se tiene un gran problema si falla el concreto en mantener separados a ambos.

Los detalles de diseño deben preveer esa protección y en la construcción no debe reducirse el recubrimiento ni la impermeabilidad del concreto.

EFFECTO DEL FUEGO

El concreto se clasifica como una cubierta a prueba de fue go, considerándose dos pulgadas como suficiente para una protec ción de cuatro horas contra el calor de fuego normal, sin embar go se ha subido de intensos incendios que han ocasionado serios daños a las estructuras de concreto.

En una seria investigación el verdadero valor del concreto como protector contra el fuego se encontró que el concreto de escoria es de poco valor si no se le separa todo el carbón sin quemar; el concreto de grava es de menor valor que la mezcla hecha con piedra triturada, porque la grava tiene normalmente diferentes coeficientes de dilatación a lo largo de ejes dife rentes y bajo calor intenso se desprenderá del concreto.

OSCILACION DE ACERO AHOGADO EN CONCRETO

El efecto deletéreo de la formación de óxidos que resulta de las fuerzas expansivas generadas por la oxidación del hierro hay algunos errores comunes que aumentan el efecto, tanto en al cance como en rapidez de acción.

La formación de óxido es un cambio químico del hierro que requiere la presencia de agua y de oxígeno.

Tal cambio lo aceleran ciertos fenómenos eléctricos como las corrientes errantes y los potenciales eléctricos generados internamente.

Debe evitarse todo contenido de cloro sea que se introduz ca por un aditivo ó en el agua y si no se puede, deben tomarse precauciones especiales para producir un concreto denso.

La promoción reciente del refuerzo galvanizado como pro tección contra la oxidación no protege al acero contra la ac ción electrofítica, particularmente en los ambientes húmedos, y solo debe considerarse como un remedio temporal que perdura so

lamente hasta que se disuelve el recubrimiento de zinc.

En las atmósferas marinas y en especial en los climas tropicales, la corrosión es una fuente constante de dificultad, y se inicia la acción electrolítica rápidamente aun cuando la mezcla se haya preparado con aguas sin sales.

La corrosión del acero presforzado es tan crítica, que en las obras modernas se prohíbe el uso de toda mezcla que contenga cloruros.

Unos estudios sobre la corrosión hechos en Francia en 1963, indicaron que en dos casos especiales, las causas eran la formación de un sulfato de calcio en uno, y en el otro incidente, la reducción del sulfato de calcio por microbios, a anhídrido sulfuroso, sustancias ambas que reaccionan vigorosamente con el hierro.

Si se usa como aditivo un 2% de nitrato de sodio, la corrosión se reduce de 10 a 50%, aun cuando se emplee un 2% de cloruro de calcio. Usando cloruro estañoso en lugar de cloruro de calcio, se acelera el régimen de fraguado y la ganancia de resistencia de concreto, a la vez que al mismo tiempo se restringe la corrosión de refuerzo.

La formación de óxido en las varillas de acero inician el deslizamiento por la reducción de la adherencia; y ocurren fallas al esfuerzo cortante cerca de los extremos de las vigas.

REPARACIONES DEL CONCRETO

La reposición completa del concreto defectuoso siempre debe ser la última consideración. Debido a las más recientes introducciones de productos especializados para reparación y sustitución de aplicación, el concreto problema se puede restaurar y hacer aún más durable y resistente que el original.

La ilimitada selección de productos disponibles para reparación hace que sea importante elegir el más adecuado para cada problema en particular.

Probablemente la reparación de grietas en el concreto sea la más común. Las grietas son causadas por diversos factores. Hay dos clases de grietas: Las Activas y Las Inactivas.

Una grieta Inactiva como la de contracción por secado, no tiene probabilidades de cambiar y puede ser ignorada.

Las grietas cuya longitud y ancho aumentan, o que presen -
tan movimientos bajo cargas, son consideradas Activas. Estas -
grietas deben ser reparadas tan pronto como se noten, para evi -
tar que su desarrollo genere un serio problema a edades post -
riores.

CAUSAS DE FORMACION DE GRIETAS

Las razones de su aparición no se pueden determinar fácilmen -
te, algunas se crean mientras el concreto está en estado -
plástico o durante el fraguado inicial, como resultado de un -
asentamiento debido a superficie de apoyo inestable, rotura de -
plano horizontal de la sub-base, deficiente construcción de la -
cimbra, impropia colocación del acero de refuerzo, oxidación -
del acero de refuerzo, concreto de elevado revenimiento, vibraci -
ón inapropiada e insuficiente, falta de curado, cambio de vol -
umen debido al asentamiento de sólidos en el concreto plásti -
co, intensa vibración del suelo cercano, que puede ser ocasionado -
do por una máquina hincadora de pilotes, decimbrado previo a -
que el concreto se haya curado lo suficiente.

La decisión de reparar o no algunas de estas grietas depen -
de, en cierto grado del uso subsecuente del área de concreto -
defectuoso.

Aunque algunas grietas se desarrollan durante el colado -

del concreto o un poco después, otras aparecen semanas o meses después de que el concreto se ha endurecido. Frecuentemente es tas grietas se deben a cargas aplicadas antes de que el concre to haya ganado la resistencia suficiente para soportar el es - fuerzo impuesto.

Cuando se cuela concreto de 245 Kg/cm^2 no se espera que, - en condiciones normales alcance dicha resistencia a la compre - sión sino hasta un mes después.

El concreto tiene poca resistencia a la flexión, que está - relacionada, en cierto grado, con la resistencia a la compre - sión.

Si se tienen presente estos dos factores, es fácil ver que la aplicación de una carga sobre un piso de concreto, antes de - que éste haya alcanzado toda la resistencia requerida, puede - causar agrietamiento.

Los cambios de temperatura, la congelación y el deshielo, - la expansión y los ciclos de mojado y secado producen cambios - de volumen en el concreto.

Cuando los cambios de volumen son excesivos, la falta de - juntas de control y de expansión, o su colocación inapropiada, - causan grietas innecesarias.

Cuando una grieta de concreto presente un defecto estructu ral serio, no se debe tomar en cuenta el costo del producto pa - ra la reparación si el material escogido puede solucionar el - problema en forma permanente.

Un producto epóxico, especialmente fabricado para este ti - po de problema, ha funcionado con mucho éxito durante años.

Los corazones de concreto tomados de una sección reparada - de una grieta tenían resistencias superiores a las de corazones

tomados de una sección sana, cercana a la misma área.

El epóxico específico al que se hace referencia es un sistema de dos componentes que producen una resina epóxica modificada, 100% sólida, que se inyecta en la grieta y es autoadherible.

En su aplicación se hacen orificios de entrada para la inyección del material, donde se requiere, a lo largo de la trayectoria de la grieta. Las áreas libres de orificios se sellan en la superficie de la grieta con una pasta especial de cemento hidroestático, para evitar fugas. Una vez que esté preparada la grieta se inyecta la resina a presión por los orificios, hasta llenar toda la grieta. Después, se tapan los orificios y se pule el área de la grieta, hasta obtener una superficie lisa.

Una gran ventaja de los sistemas epóxicos, así como de los cementos de fosfato de magnesio, es la posibilidad de aplicar estos productos de reparación a temperaturas inferiores a la de congelación.

Algunos epóxicos se deben aplicar en superficies húmedas, mojadas o secas.

El problema del agrietamiento tiene dos aspectos. El primero consiste en establecer métodos para calcular el ancho y la separación de grietas. El segundo consiste en establecer anchos permisibles de grietas.

Las grietas se pueden clasificar, según su origen:

Grietas por cambios volumétricos debido a contracción, flujo plástico o cambios de temperatura.

Este tipo de agrietamientos es especialmente importante en elementos de concreto simple o concreto masivo.

Grietas por esfuerzos de tensión debidas a combinaciones - de carga axial y flexión en los elementos. Y grietas por ten - sión diagonal. Estas grietas no deben permitirse en elementos - sin refuerzo en el alma, ya que indican la inminencia de una - falla frágil.

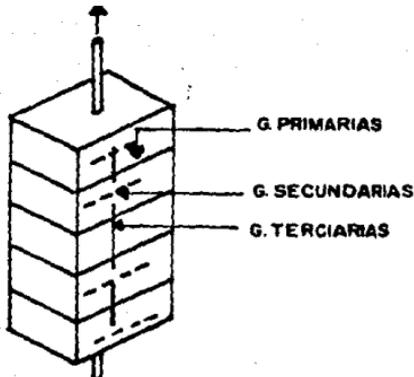
Se han desarrollado técnicas de laboratorio para investi - gar la formación y desarrollo de grietas en el interior de una - mesa de concreto.

En elementos sujetos a tensión el tipo de espécimen usado - consiste en un cilindro o prisma de concreto con una varilla - longitudinal en cuyos extremos se aplican fuerzas de tensión. - Cuando los esfuerzos en el refuerzo alcanzan un valor del orden de 500 Kg/cm^2 , empiezan a desarrollarse grietas perpendiculares al refuerzo que atraviezan todas las secciones transversales.

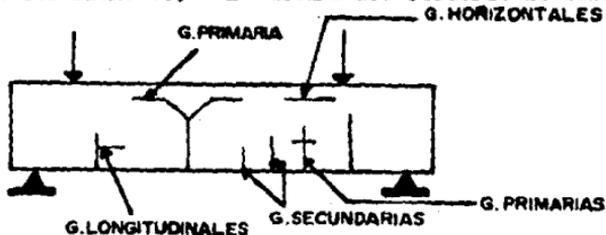
Estas grietas reciben el nombre de grietas primarias, eg - tas se forman en las secciones en que el concreto es más débil - a tensión. Debido a la variabilidad natural del material, la - localización de estas secciones es un fenómeno aleatorio y en - los especímenes aparentemente iguales las grietas se forman en - secciones diferentes.

Si los esfuerzos en el refuerzo se aumentan a una magnitud del orden de 1500 Kg/cm^2 , se observan nuevas grietas que se de - sarrollan entre las grietas primarias existentes; pero que no - alcanzan la superficie exterior del espécimen, estos se denomi - nan grietas secundarias.

Para esfuerzos mayores, se forman pequeñas grietas longitu - dinales que se desarrollan desde las grietas primarias y secun - darias existentes, en esta etapa no se forman nuevas grietas - transversales pero las existentes aumentan su ancho.



En elementos sujetos a flexión la formación y desarrollo de grietas en la zona de tensión de un elemento sujeto a flexión es semejante al de un espécimen sujeto a tensión. Las grietas primarias se forman a cargas relativamente bajas y se prolongan hasta el eje neutro. Las grietas secundarias son visibles en la cara lateral y se prolongan hasta una altura menor que la del eje neutro. En algunos casos, se observan grietas secundarias muy pequeñas hasta la altura del refuerzo. Las grietas longitudinales se forman a cargas cercanas a la resistencia del elemento, a la altura del refuerzo de tensión.



El mecanismo clásico de aprietaamiento supone una distribución uniforme de esfuerzos de tensión en un área efectiva de concreto y una cierta distribución de esfuerzos de adherencia a lo largo del refuerzo y considera que las grietas primarias aparecen en las secciones más débiles del elemento, localizadas al azar. En las secciones que coinciden con estas grietas, el esfuerzo del acero es $f_B = T/A_B$.

Algunos investigadores y algunos reglamentos de construcción establecen límites en los anchos de grietas que son del orden de 0.1 a 0.2 mm para ambientes agresivos y de 0.2 a 0.3 mm. para ambientes normales.

PREPARACION DEL AREA QUE SE VA A REPARAR

Independientemente del producto de reparación seleccionado, el éxito del proyecto dependerá no solo del material empleado, sino también de la preparación del área que se va a reparar. Tanto una preparación inapropiada de la superficie, como no seguir fielmente las instrucciones del fabricante para el empleo del producto, acortan la vida de la reparación.

Se debe remover todo el material suelto de áreas pequeñas como los baches, mediante el empleo de herramientas neumáticas-manuales. Se debe cepillar y aspirar el agujero para aplicar posteriormente el agente adherente.

En grandes áreas, como las superficies desgastadas o descascaradas, se puede limpiar la superficie vieja mediante chorro de arena o agua, con pistola neumática, por escorificación o por desbastado.

Se debe remover todo el polvo y los desperdicios para asegurar la buena adherencia del material de reparación. Con el uso de escobas, chorro de agua, de aire o arena, generalmente se obtienen los resultados deseados.

Se debe limpiar perfectamente cualquier viejo recubrimiento existente en el área del problema. Se deben remover todos los aceites, las grasas, la suciedad y las soluciones de cera. Si la superficie solo está ligeramente sucia el empleo de agentes químicos limpiadores de superficie puede ser eficiente.

Los depósitos de pinturas o de materiales bituminosos se -

eliminan mejor mediante un tratamiento con flama.

Algunos problemas de deterioro del concreto, como la expansion de los alcalis, pueden pasar desapercibidos durante años. Es posible que el concreto así deteriorado tenga que ser sustituido, dependiendo de la profundidad de la erosión. La expansion de los alcalis es activada por la presencia de la humedad, cuando la erosión dentro del concreto no es muy severa, la aplicación de material impermeabilizante puede detener su avance. Esto puede eliminar el problema o, por lo menos, demorar un deterioro mayor.

Muchos productos para reparación como los epóxicos tienen un marcen de aplicación debido a que la mezcla se endurece rápidamente y gana una resistencia asombrosa en unas cuantas horas. Por esta razón, es un excelente producto para la reparación de áreas de concreto.

Las resinas epóxicas son compuestos orgánicos que desarrollan excelentes propiedades de resistencia y adherencia. Tienen buena estabilidad física y son resistentes a muchas sustancias químicas. Son resistentes al agrietamiento y a la penetración de agua.

Se puede aplicar en superficies húmedas o mojadas, a temperaturas superiores a la de congelación, y en superficies secas a 18°C.

Algunos productos epóxicos son:

1. Selladores penetrantes.
2. Sistemas de impermeabilización.
3. Sistemas de adherencia para concreto y acero.
4. Sistemas anticorrosivos.
5. Sistemas de inyección en concreto.
6. Sistemas de morteros para resanes.
7. Sistemas de antiderrapante para superficies.

PROBLEMAS FRECUENTES

Los problemas más frecuentes en el concreto que requieren reparación son:

Calavereo. El calavereo es causado por partículas inestables del agregado grueso, próximos a la superficie del concreto, éstas partículas absorben agua fácilmente y, bajo condiciones de congelación, se expanden y destruyen, reventando la delgada capa superficial del mortero que se encuentra encima.

La cavidad resultante es un lugar perfecto para retener agua la cual, en clima frío se puede congelar y causar con ella mayor destrucción.

La mayor forma de evitar problemas más serios de calavereo es tratar toda el área de la superficie con un sellador líquido repelente al agua, para prevenir la absorción adicional de agua. Los agujeros se pueden rellenar con compuestos acrílicos o morteros modificados con latex, que son auto-adheribles.

Empolvamiento. La presencia de polvo fino y blanquecino sobre la superficie de los pisos indica empolvamiento. Este generalmente aparece debido a que la superficie del concreto fue afinada con llana, cuando todavía tenía agua de sangrado.

Una o dos aplicaciones de solución de fluorosilicato de magnesio y fluorosilicato de zinc generalmente solucionan el problema.

Alveolado. Un alveolado puede ser causado por el empleo de una mezcla de concreto con exceso de agregado grueso, por fuga del mortero a través de las cimbras, por un concreto de revenimiento muy bajo, o por un vibrado inapropiado o insuficiente.

Es muy importante eliminar todas las partículas sueltas del agregado, para lograr una reparación satisfactoria. Se de

be mojar todos los agregados expuestos y todas las hendiduras y se debe aplicar un buen agente adherente. Los materiales más comúnmente empleados son los epóxicos, los morteros expansivos y los morteros de cemento portland. El material escogido debe ser denso y se debe imprimir firmemente en el área de la reparación.

Si el área que se va a reparar es grande, resulta más conveniente utilizar una cimbra. Algunas áreas se cimbran totalmente y el material de reparación se inyecta a presión, a través de orificios en la cimbra.

Cavitación. La cavitación, de aspecto muy similar al aveolado, puede aparecer varios meses o años después de que se coló el concreto.

Donde quiera que haya un flujo de agua que pasa por una saliente, o que baja por un muro irregular, puede aparecer cavitación en la parte baja de la irregularidad.

Se supone que las burbujas que se forman en la saliente se revientan y crean así el fenómeno.

Para reparar la cavitación, se emplean las mismas técnicas que se utilizan para el aveolado, procurando producir una superficie uniforme.

Juntas frías. Las juntas frías en el concreto masivo, son causadas por el colado inapropiado del concreto plástico. Las demoras en el colado, no colar el concreto en capas horizontales, así como un vibrado inadecuado, son algunas de las muchas razones de la aparición de juntas frías.

En el concreto masivo el acero hace el trabajo principal, siendo el concreto, poco más o menos un bloque de relleno. Una mezcla demasiado rica solo aumenta el calor de hidratación y -

ayuda a propiciar una junta fría. Independientemente de la temperatura ambiente, un aditivo retardador de fraguado disminuye las posibilidades de aparición de las juntas frías. El sistema de inyección de epóxicos es el mejor método de reparación.

ELECCION DE MATERIA PARA REPARACION

La elección de los materiales que se van a emplear en la reparación depende no solo de la naturaleza particular del problema, sino también de la función de la estructura, la disponibilidad de equipo y mano de obra calificado, la importancia relativa del aspecto y de los fondos disponibles para la reparación.

Algunos de los materiales para reparación más frecuentemente empleados son:

- Compuestos modificados con latex.
- Concreto, lechado o mortera de cemento portland.
- Epóxicos.
- Materiales de fraguado rápido.
- Morteros expansivos.
- Morteros modificados con acrílicos.
- Resinas epóxicas flexibles.
- Selladores elásticos.
- Latex sintético (Polímeros).

El concreto modificado con latex se ha hecho muy popular por sus propiedades adherentes y sus elevadas resistencias a la compresión y a la tensión.

Es razonablemente flexible, tiene bajo factor de absorción de agua y es durable. Es recomendable en la reparación de caminos de concreto, puentes y pisos para trabajo pesado.

El concreto de cemento portland tiene varias ventajas como material para reparación de un deterioro profundo, tiene las -

las mismas cualidades térmicas que el concreto al que se trata de adherir, está siempre disponible, es muy conocido, y en cuanto al costo es razonablemente bajo.

La lechada de cemento portland generalmente solo se emplea cuando la abertura que se va a reparar es pequeña y se puede tolerar la contracción. Para lograr una mejor penetración, generalmente es bombeada a presión por estas aberturas, sin embargo, es preferible emplear una resina epóxica de inyección cuando la reparación es importante.

El mortero de cemento portland nunca se debe emplear en profundidad de muy poca profundidad, ya que generalmente no resiste mucho. Todas las reparaciones con mortero deben tener una profundidad mínima de 3.8 cm. y nunca deben tener bordes biselados. Después debe de aplicarse un agente adherente y, mientras éste pegajoso, el mortero consistente se compacta cuidadosamente en el sitio.

Tan pronto como sea posible, se debe colocar arpillera mojada sobre el resaca, y ésta se debe mantener húmeda por lo menos durante 3 días.

Los selladores elásticos son una buena elección para grietas activas, para reemplazar juntas de expansión o para ser aplicados entre dos superficies cualesquiera, sometidos a movimiento, tienen la cualidad de recuperar fácilmente su forma original después de una deformación. Muchos de estos materiales mantienen la adherencia entre dos superficies, aunque estén sometidos a grandes fuerzas de tensión o de torsión.

Los materiales de fraguado rápido, conocidos como cementos hidráulicos, fraguan rápidamente y se endurecen en unos cuantos minutos. Estos materiales son útiles cuando el agua sale a presión por un orificio.

Los latex sintéticos son partículas plásticas (polímeros)-

dispersas en agua. El fluido resultante de color blanco lechoso, se fabrica con diversos porcentajes de sólidos. Para emplearlos en reparaciones profundas, estos fluidos se agregan a mezclas estandar de concreto, para producir un mortero con cualidades de durabilidad superiores. El agregado grueso empleado en el concreto generalmente es de $3/8$ " (9.5 mm).

Para resanes en capas delgadas, se añaden los latex sintéticos a los morteros acostumbrados de cemento-arena-agua.

C A P I T U L O I V

ESTRUCTURAS DE CONCRETO

El concreto armado es un material de construcción relativamente nuevo, y como el acero ha tenido que pasar por un desarrollo empírico para probar su factibilidad. A pesar de la intensa investigación que se ha hecho en el campo de las estructuras de concreto, gran parte de la sucesión de nuevos desarrollos debieron depender en forma semejante del comportamiento real, y los procedimientos de tanteo han tenido que tomar, naturalmente su parte de las fallas.

La reglamentación de los procedimientos para el cálculo de concreto de una serie de accidentes de considerable magnitud como el caso del Viaducto de concreto armado construido por la Celestial Globe Company en 1900 sobre la Avenida Suffren en París. Las fuerzas oblicuas resultantes sacaron prácticamente a la cubierta de sus pilares, y cuando cayó el puente atrapó a muchas personas, otro caso es el de un hotel de cinco pisos en Basilea Suiza que falló en 1901, en la cual se atribuyó la falla a las pilas del sótano, que se habían diseñado de mampostería - las cuales no se habían construido desde un principio.

Las experiencias sobre éstos y algunos otros casos importantes han anotado como causas principales pero también como causas adicionales: la dimensión insuficiente en el diseño de elementos constructivos, en combinación con la falta de control de los contratistas de ingeniería, sobre la construcción; el uso del material incorrecto (arena y grava sin lavar), la construcción descuidada de la obra de concreto; la falta de pruebas del cemento y de concreto; la falta de organización entre los diversos subcontratistas; además de la prisa con que se ejecuta la construcción.

La deficiencia en el diseño básico, como el refuerzo insu-

ficiente en los puntos de momento máximo, o las dimensiones de la sección de concreto para proveer resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante bajo las cargas normales, son causas de fallas extremadamente raras.

En el campo a veces se comete el error de diseño, cuando se imponen cargas excesivas sobre las estructuras como es el caso de un edificio de concreto de diez pisos en Buffalo Nueva York, que se derrumbó a las seis semanas de construido debido a que se cargó con materiales que habían de servir para la parte superior de los muros y el techo. Otra cosa fue la ocurrida en la falla de las armaduras parcialmente presforzadas ocurridas en Lodi California y las fallas de la columna que ocurrió en el estacionamiento Grand Park de Chicago.

Con experiencia que se logra en todo tipo de diseño de concreto armado que se vuelve común en todos los controles por los que pasa un trabajo, es remota la posibilidad de que llegue hasta la etapa de construcción un error fuerte de diseño. Sin embargo los ejemplos que se han citados indican que las posibilidades siguen existiendo.

Los diseños de concreto necesitan más que solo la verificación numérica; el examen rápido de los dibujos de diseño, realizados por un Ingeniero o constructor de experiencia, siempre ayuda a la luz los errores serios de diseño. Los conceptos menores de subdiseño son clasificados en las categorías de esfuerzo secundarios ocasionados por cambios de volumen o de forma, los que como también ocurre en el diseño de acero estructural, ocasiona algunas dificultades.

La suposición arbitraria de la localización de los puntos de inflexión, cuando los momentos que obraban en los apoyos se dividían como se deseaba, ya que fuera en factores positivos o negativos, a menudo ocasiona agrietamientos porque la estructura no aceptaba tal suposición sino estaba en concordancia con la rigidez real relativa de los miembros contiguos. La reduc

ción de los procedimientos matemáticos que introdujo el procedi miento de distribución de momentos de Hardy Cross eliminó gran- parte de este tipo de fallas localizadas, aunque solo cuando se determinan relaciones de rigidez reales.

Hay una tendencia gradual, aunque persistente a enseñar en los dibujos de diseño las condiciones de refuerzo máximo y a de- jar a los detalladores tomar la decisión de la longitud de las- varillas, el desarrollo de los traslapes y empalmes y de otras- decisiones que deben formar parte del diseño.

Raras veces la omisión de algo de refuerzo es causa de la- falla, pero puede manifestarse como una deformación inexplica- ble.

Las obras en voladizo parecen ser muy vulnerables, tal vez porque los trabadores no creen en los requisitos que muestra el plano, de que el refuerzo principal va en la parte superior del miembro de concreto.

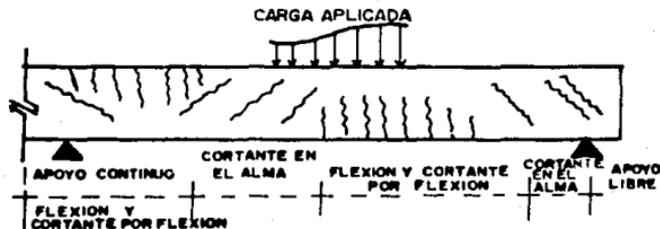
ESFUERZOS CORTANTES Y DE TORSION

El tipo de falla mas serio que ocurre a las estructuras de concreto es la debida a la deficiencia a la resistencia al es- fuerzo cortantes porque se presenta sin previo aviso. Las fa- llas por cortante van precedidas si acaso por pequeñas deforma- ciones y a veces por cierto agrietamiento.

En un elemento sin refuerzo por cortante, se supone que el cortante lo resiste el alma del concreto. En un elemento con - refuerzo por cortante, se supone que el cortante lo resiste la- zona de compresión de concreto y el refuerzo por cortante.

La resistencia al cortante proporcionada por el concreto, - se supone igual en ambos casos y se considera igual al cortante que provoca un agrietamiento inclinado significativo.

Existen dos tipos de agrietamiento inclinado que pueden presentarse en las vigas de concreto: Grietas por Cortante en el Alma y Grietas de Cortante por Flexión.



Las grietas por Cortante en el Alma se inician en un punto interior de elemento cuando los esfuerzos principales de tensión exceden la resistencia a la tensión del concreto. El agrietamiento de cortante por flexión se inicia por medio del agrietamiento por flexión, aumentan los esfuerzos cortantes en el concreto arriba de la grieta.

La grieta de cortante por flexión se desarrolla cuando los esfuerzos combinados de tensión y cortante exceden la resistencia a la tensión del concreto.

Cuando se presentan grietas inclinadas en un elemento de concreto no presforzado, por lo general son del tipo cortante por flexión. El agrietamiento por cortante en el alma se presenta cerca de los apoyos de elementos de gran peralte con alma delgadas, o cerca de los puntos de inflexión o de los puntos de corte de varilla en vigas continuas, en particular si la viga está sujeta a tensión axial.

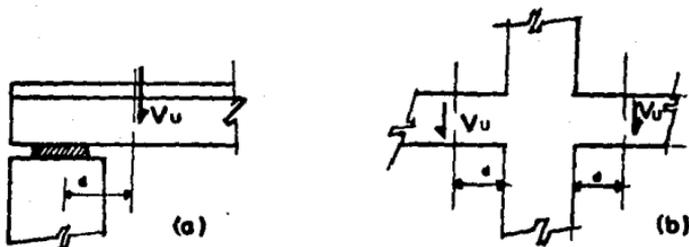
Se pueden observar ambos tipos de grietas inclinadas en las vigas de concreto presforzado cuando se sujetan a cargas mayores que la carga máxima de servicios.

El agrietamiento de cortante por flexión es el tipo más

característico en elementos presforzados, particularmente en aquellos sujetos a cargas uniformes. El agrietamiento por cortante en el alma puede ocurrir en vigas excesivamente presforzadas con alma delgada, en particular cuando la viga está sujeta a grandes cargas concentradas cerca de un apoyo libre.

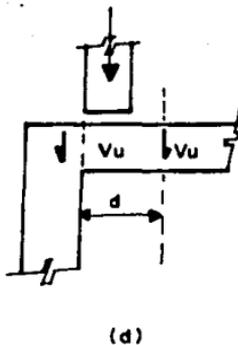
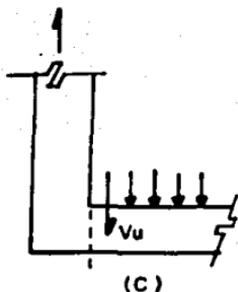
Las aberturas en el alma de un elemento pueden reducir su resistencia al cortante. En un elemento de peralte variable, el cortante interno en cualquier sección aumenta o disminuye por la componente vertical de los esfuerzos inclinados de flexión.

La resistencia al cortante cerca de cargas concentradas o de reacciones aumenta si al elemento se le introduce compresión. De acuerdo con esto el Reglamento permite el diseño para una fuerza cortante máxima factorizada a una distancia " d " del apoyo para elementos no presforzados y a una distancia $h/2$ para elementos presforzados.



CONDICIONES TÍPICAS DE APOYO PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA FUERZA-CORTANTE FACTORIZADA V_u .

- a) Elementos apoyados en soportes en la base del elemento.
- b) Elementos enmarcados monolíticamente con otro elemento.



CONDICIONES DE APOYO EN LOS CUALES NO SE DEBE APLICAR LA FUERZA CORTANTE FACTORIZADA

- c) Elementos enmarcados por un elemento de apoyo en ten - sión.

La sección crítica para el cortante debe tomarse en el paño de apoyo. En este caso también debe investigarse el cortante dentro de la unión y proporcionarse refuerzo especial en las esquinas.

- d) Elementos cargados de tal manera que el cortante en las secciones entre el apoyo y una distancia "d" difiere radicamente del cortante a una distancia "d". Se presenta comunmente en minúsculas y en vigas en las cuales se localiza una carga concentrada cerca del apoyo. En este caso se debe utilizar el cortante en el paño del apoyo.

El refuerzo por cortante puede consistir en:

1. Estribos perpendiculares al eje del elemento.
2. Malla soldada con alambres localizados perpendicularmente al eje del elemento.

Para elementos no prefabricados, el refuerzo por cortante - también puede consistir en:

1. Estribos que formen un ángulo de 45° o más con el ra -

fuerzo longitudinal por tensión.

2. Refuerzo longitudinal con una parte doblada que forme un ángulo de 30° o más con el refuerzo longitudinal por tensión.
3. Combinaciones de estribos y refuerzo longitudinal doblado.
4. Espirales.

La resistencia a la fluencia de diseño del refuerzo por cortante no debe exceder de 4220 Kg/cm^2 .

Los estribos y otras varillas o alambres usados como refuerzo por cortante deben prolongarse a una distancia "d" de la fibra extrema en compresión y anclarse en ambos extremos, para que se desarrolle la resistencia a la fluencia de diseño del refuerzo.

La separación del refuerzo por cortante colocado perpendicularmente al eje del elemento no deberá exceder de $d/2$ en elementos de concreto no presforzado, ni de $(3/4)h$ en elementos de concreto presforzado, ni de 60 cm.

Los estribos inclinados y el refuerzo longitudinal doblado deben estar espaciados de manera tal que cada línea a 45° , que se extiende hacia la reacción desde la mitad del peralte del elemento $d/2$ hasta el refuerzo longitudinal de tensión, debe estar cruzada por lo menos, por una línea de refuerzo por cortante.

Limitar la resistencia a la fluencia de diseño en el refuerzo para cortante a 4220 Kg/cm^2 proporciona un control en el ancho de la grieta diagonal. El refuerzo de alta resistencia también puede resultar quebradizo cerca de dobleces agudos.

Es esencial que el refuerzo por cortante se ancle de mane_ ra adecuada en ambos extremos, a fin de que sea completamente - efectivo en cualquiera de los lados de una grieta potencial in_ clinada.

Esto, por lo general, requiere un gancho o dobléz en el - extremo del refuerzo tan cerca de la superficie de tensión y - compresión del elemento, según lo permitan los requisitos de re_ cubrimiento y la proximidad de otros refuerzos.

El refuerzo por cortante restringe el crecimiento del a - grietamiento inclinado, y por consiguiente, aumenta la ductili_ dad y advierte el peligro de falla.

En un alma sin refuerzo, la súbita formación de agrieta - miento inclinado podría conducir directamente a una falla repen_ tina. Este refuerzo resulta de gran valor si un elemento es so_ metido a una fuerza de tensión imprevista, o a una carga catas_ trófica. Por lo tanto se requiere un área mínima de refuerzo - por cortante no menor que la especificada por las ecuaciones.

$$A_v = 3.5 \frac{b_w^5}{I_y} \quad ; \quad A_v = \frac{A_p^5}{80} \frac{f_{pu}}{I_y} \frac{5}{d} \quad \sqrt{\frac{d}{b_w}}$$

NOTA: Vease la página 250 del Reglamento de las Construc_ ciones de concreto reforzado (ACI 318-83) y comentarios.

Siempre que la fuerza cortante factorizada, V_u , sea mayor_ que $1/2$ de la resistencia al cortante proporcionada por el con_ creto.

Excepto que el contratista no haya seguido los planos y es_ pecificaciones al pie de la letra, todas las fallas por esfuer_ zo cortante encuentran su origen en la deficiencia de conoci_ mientos disponibles sobre lo que requiere resistencia, o en la_ aplicación incorrecta a los gastos disponibles al problema.

Existe la costumbre por parte de los Ingenieros de asignar a los estribos el exceso de esfuerzo cortante, o con mayor exactitud el esfuerzo de tensión, que puede aceptar el concreto. - Siendo que en la realidad solo entran en acción hasta después - de haberse agrietado el concreto. Por lo tanto los estribos de ben poder sustituir completamente al concreto, resistiendo por-tensión, todos los esfuerzos de tensión que se ejercen sobre el área total abarcada por una grieta dada.

La falta de resistencia para la transmisión de la carga de la losa a las columnas, indica que lo aconsejable que resulta - el renovar el antiguo concepto de la investigación de penetra - ción esfuerzo cortantes como parte de todo diseño de placa. En estos días de edificación con aire condicionado en las que la - armazón o estructura de concreto se vuelve simplemente aloja - miento del equipo mecánico, también es importante la estrecha - coordinación de los requisitos estructurales y los agujeros, - mangas y cargas que requieren los diseños mecánicos.

Los pisos de placa plana son factibles y económicos solo - si se puede lograr continuidad ininterrumpidas en las columnas. Nadie estaría de acuerdo en diseñar una zapata de cimentación - con aberturas en las caras de las columnas. Las necesidades eg - structurales de una losa o placa plana son iguales que las de - una zapata.

En 1961 en Nueva Jersey, ocurrió una falla parcial en un - edificio cuando la falta de suficiente apuntalamiento durante - la construcción de apartamentos de concreto dio origen a la so - bre carga del noveno piso y la losa falló por esfuerzo cortante - alrededor de tres columnas. Es probable que la falla haya co - menzado en una columna por donde pasaba un ducto mecánico y las varillas de la losa no se pudieron pasar y al faltar un apoyo, - la carga transmitida a las columnas adyacentes rebasó su capaci - dad, y la losa también falló ahí por exceso de esfuerzo cortan - te.

En un edificio de tres pisos construido en Denver en 1961, cuando se encontraron deformaciones por esfuerzo cortante en el primer piso, se agregó un sistema de vigas y postes de acero y la causa no se hizo nunca del conocimiento del público.

En el diseño debe cuidarse tanto de las cargas externas como de las internas. Ya sea que tal cambio se deba a la fragilidad del material, a la abertura de microgrietas en los metales por vibración o por cambio de temperatura, o a contracción y flujo plástico del concreto, los materiales que cambian con el tiempo introducen condiciones de esfuerzo interno que tienen que considerarse en el diseño.

El no considerar tales cambios puede traducirse en fallas, ya sea que lleguen al derrumbe o solo a señales de alteración.

Las primeras normas de 1907 asignaban su parte de resistencia al esfuerzo cortante al concreto para la capacidad máxima de carga e indicaban que solo debía ponerse acero para el exceso de esfuerzo cortante.

En 1916 los Códigos requerían que el acero tomara todo el esfuerzo cortante cuando rebasara el valor resistente del concreto y que se interrumpiera el acero bruscamente en el punto en el que el esfuerzo cortante correspondiera al valor de resistencia al mismo del concreto. La práctica consistía entonces en proveer varillas dobladas y estribos en el claro, ésto era lo que indicaba el Código en 1925.

Sin embargo en 1924 se permitió que se eliminara casi totalmente las varillas dobladas a causa de los elevados costos, colocando estribos solo en el intervalo de esfuerzo cortante excesivo y solamente para tal exceso.

Lo que ocasionó que para las vigas rectangulares contiguas el Código era insuficiente por lo que la mayoría de diseñadores

incorporaban por lo menos dos varillas contiguas en la parte superior a toda la longitud de la viga, con los estribos espaciados.

Lo cual dió como resultado una revisión al Código del ACI, cuyos nuevos requerimientos indican que debe tenerse refuerzo - por esfuerzo cortante que soporte por lo menos las dos terceras partes del esfuerzo cortante total o todo el exceso, siempre - que el esfuerzo cortante sobrepase el valor permitido para el - concreto solo.

En numerosos estudios hechos después de registrada una falla se ha comprobado que toda varilla empalmada introduce esfuerzo cortante en el concreto dentro de la longitud del empalme. La intensidad del esfuerzo cortante depende de la intensidad del esfuerzo que hay en la varilla, y las longitudes mínimas de empalme especificadas en los Códigos pueden ser inseguras si se permite que los empalmes queden en lugares en los que haya condiciones de alto esfuerzo de tensión o de compresión en el acero.

La naturaleza tiene el hábito de encontrar el trayecto más débil o de menor resistencia para la propagación de las grietas, y en el caso de resistencia baja al esfuerzo cortante, ésto casi siempre significa falla.

El diseñador y detallador deben de cuidarse de tal posibilidad de lograr trayectos de debilidad.

EFFECTOS DE LA TENSION DIAGONAL EN VIGAS SIN REFUERZO EN EL ALMA

El esfuerzo cortante es peligroso en cuanto que engendra - la tensión diagonal y esta a su vez grietas.

En la práctica se usan frecuentemente vigas sin refuerzo - en el alma, los cuales no tienen defensa cuando la tensión diagonal excede los límites que puede soportar el concreto por sí-

mismo.

En los ensayos a la ruptura de vigas por esfuerzo cortante se presentan en general dos casos: el primero de ellos ocurre - de preferencia en vigas de longitud mediana y generalmente es - belts, con porcentajes relativamente altos de acero longitudi_ nal, bajo el incremento de las cargas, aparece la grieta incli_ nada característica llamada "grieta crítica de tensión en diag_ nal" y la cual una vez formada, suele extenderse desde el acero longitudinal hasta la cara de compresión de la viga en forma re_ pentina, partiendo la viga en dos y causando su falla instantá_ nea sin advertencia previa; la falla se denomina de tensión dia_ gonal.

El segundo tipo de falla se presenta de preferencia en vi_ gas de claro corto y mayor peralte, en los cuales aparece, como en el primer caso, la grieta inclinada, la cual avanza hacia la zona de compresión de la viga en la que penetra un poco dete_ niéndose sin alcanzar la cara de compresión.

La viga soporta, en estas condiciones sin fallar un incre_ mento de las cargas, hasta que se aplasta el concreto de la zo_ na de compresión que queda arriba de las grietas y la viga fa_ lla finalmente.

En este caso la falla se denomina de compresión de cortan_ te.

En vista de la forma de falla de las vigas por esfuerzo - cortante, la carga que produzca la primera grieta inclinada de_ berá considerarse como la carga última resistente por tensión - diagonal.

El refuerzo a la tensión diagonal solo principia a ser - efectivo cuando se forman las primeras grietas provocadas por - ese esfuerzo.

Dicho refuerzo puede estar formado por los siguientes sistemas:

1. Estribos perpendiculares al refuerzo longitudinal.
2. Estribos que formen un ángulo de 45° o más con el refuerzo longitudinal.
3. Barras dobladas que formen un ángulo de 30° o más con el eje del refuerzo longitudinal.
4. Combinaciones de los tres sistemas anteriores.

El empleo de los estribos es mucho más cómodo y considerado que siempre deben usarse para dar unidad a la viga y fijar las barras de refuerzo longitudinal en su sitio, se explica que sean usados casi exclusivamente en el refuerzo del alma.

Los estribos deben envolver al refuerzo longitudinal, tanto de tensión como de compresión a unado llevándolos tan cerca de las caras de la viga como sea posible y lo permitan los recubrimientos.

El anclaje de los estribos debe ser suficiente para que desarrollen toda la tensión para la que fueron proyectados y debe preverse el mencionado anclaje en la zona de compresión de la viga, ya que en el lado de tensión el concreto está agrietado y no puede proporcionar el anclaje adecuado.

El reglamento recomienda que los extremos de los estribos se anclen en la zona de compresión por alguno de los siguientes medios:

1. Por medio de un gancho tipo, el cual se considera capaz de desarrollar la mitad de la fatiga permisible en la barra, más la longitud de barra necesaria para desarrollar, por adherencia, el resto del refuerzo; dicha longitud se computará desde la mitad del peralte de la viga.

ga, hasta el centro del radio de curvatura del gancho.

2. Por medio de soldadura al refuerzo longitudinal.
3. Enganchándoles firmemente al refuerzo longitudinal, curvando la barra cuando menos 180° .
4. Ahogando los extremos, arriba a abajo de la mitad del peralte, una longitud suficiente para desarrollar la tensión en el estribo por medio de la adherencia, pero considerando en que en cualquier caso una longitud mínima de 24 diámetros.

Tomando en consideración que los estribos, además de absorber el exceso de tensión diagonal especificada sirven para anclar al refuerzo longitudinal en compresión y sujetar las armaduras en el momento del colado, debe recomendarse el traslape de las ramas libres del estribo como se indica:



FALLA DE COMPRESION

El factor más fuerte del concreto es su resistencia a la compresión, y si la mezcla puede aportar la resistencia deseada no hay razón para sospechar que las columnas pueden ser causantes de fallas. En realidad se ha atribuido muy pocas fallas a las columnas, aunque la deformación causada por cargas excéntricas, y por cambio vertical de longitud por temperatura, por

contracción y deslizamiento está relacionada en gran medida por la acción de las columnas.

En los albores de concreto armado las columnas se diseña - ban con un factor de seguridad menor que el que se emplea en la actualidad y raras veces se consideraba esfuerzo flexionante al guno.

La falta de consideración de los esfuerzos flexionantes in - ducidos en las columnas de un diseño de losa plana, puede ser - la explicación de la falla de columnas.

Una falla de compresión común es la que se presenta durante el hizado de elementos precolados largos con conexiones a - dos cables inclinados tendidos desde una sola pluma.

Las componentes horizontales de los esfuerzos de elevación comprimen el miembro colado, ocasionando su falla por pandeo, - como ya ocurrido.

FALLAS POR FLEXOCOMPRESION

Existen dos modos principales de falla de elementos suje- - tos a flexocompresión: Falla en Compresión y Falla en Tensión.

En el primer caso, la falla se produce por aplastamiento - del concreto. El acero del lado más comprimido fluye, en tanto que el del lado opuesto no fluye en tensión.

El segundo modo de falla se produce cuando el acero de un- - lado fluye en tensión, antes de que se produzca, el apl - astamien - to del concreto en el lado opuesto, más comprimido.

El tipo de falla depende esencialmente de la relación en - tre momento y carga axial en el colapso.

Se ha observado que el efecto del refuerzo helicoidal so -

bre la resistencia disminuye apreciablemente en cuanto la carga axial tiene cierta excentricidad, aunque la hélice sigue aumentando la ductilidad del elemento.

En este caso cabe notar que las mediciones de deformaciones han indicado que estos varían linealmente a lo largo del peralte, es decir las secciones transversales se mantienen planas antes y después de la deformación



En el esquema se indica el refuerzo usual y una posible configuración del agrietamiento. Generalmente, la carga se aplica a una excentricidad constante, esto hace que toda la zona prismática del espécimen este sujeta a una carga axial y a un momento flexionante que crecen en la misma proporción, hasta el colapso.

CAMBIOS DE TEMPERATURA

Todas las estructuras cambian de dimensiones al cambiar la temperatura. En los edificios el mejor control de la temperatura interior aumenta el intervalo de las diferencias en la azotea. El cambio de dimensiones de una losa de azotea con sujeción rígida a los muros puede ocasionar agrietamiento en los muros, localizados por lo general a la altura de la cabecera de las ventanas del piso superior, ya que se reduce súbitamente la sección horizontal resistente del muro a dicho nivel.

La dilatación usual de la azotea se manifiesta en muchos edificios por tal agrietamiento, acompañado de goteras o transmisiones, manchado de las paredes y pérdida de color en el piso superior.

La dilatación lateral de las estructuras ocasiona a menudo

un empuje del revestimiento de ladrillo, y su agrietamiento. - Las grietas nunca se cierran completamente al haber tiempo mas-frio, siempre entra algo de polvo en ellas, y las dilataciones sucesivas van aumentando el tamaño de las mismas. Para contro-lar este agrietamiento se construyen todos los muros de ladri- llo que cubre la estructura de concreto conjuntas rellenas - verticales continuas en las orillas de las primeras ventanas en cada extremo de una superficie de pared.

Esto no elimina la dilatación, pero por lo menos detiene - el agrietamiento de ladrillo, en vista de que la tendencia a - abrirse sigue una junta de dilatación continua.

Las deformaciones térmicas han sido la causa inevitable de falla de muchas estructuras en el pasado, y también en ocasio- nes de algunas fallas recientes.

No obstante que muchas técnicas que se encuentran en uso - en la actualidad mantienen en control las deformaciones térmi- cas, lo logran a costa de sobrediseño y a veces representa mas-inconveniente que ventajas.

En algunos casos pueden encontrarse que es mas seguro y me- nos costoso ignorar los efectos térmicos o diseñar una estructu- ra para resistir las deformaciones en vez de tomar precauciones para darle movimiento libre.

En el campo de la construcción hay pruebas ocasionales del costoso resultado de pasar por alto los efectos de la temperatu- ra. Hay techos que se dilatan y empujan a los muros exterior- es. Hay fachadas que se agrietan porque tienen restringidos - su movimiento, y que tampoco se diseñaron para resistir las de- formaciones térmicas.

Una mayor atención a los efectos térmicos podría eliminar- tales dificultades.

Los carriles de los puentes de concreto cubiertos con man-
postera, cuando se ajustan apretadamente a los apoyos rígidos-
de los puentes, se arquean perdiendo su forma con el consecuen-
te alojamiento de las juntas de mortero por exposición al sol.

Los efectos de la dilatación por temperatura por lo gene-
ral se presentan a fines del verano, cuando la absorción net-
de calor, en la ganancia diurna menos la pérdida nocturna alcan-
za un máximo acumulado.

Las temperaturas normales permiten que las estructuras -
grandes absorban suficiente calor para que se desintegren las -
superficies, se encorven las áreas planas y aun, que ocurran de-
fectos estructurales.

El crecimiento térmico del concreto expuesto al sol se acu-
mula al correr de los años y puede ser la causa de una falla de
finitiva.

El boletín número 23 del Deutsche Ausschuss For Eisenbe -
ton reporta pruebas efectuadas en probetas secas de concreto de
 90 días de vaciado, con coeficientes medios de dilatación de -
 0.0000069 y de contracción de 0.0000056. Con base en estos va-
lores, una longitud de 200 pies de concreto expuesta a un solo-
ciclo de calentamiento a 50°F, y luego a enfriamiento por la -
 misma magnitud de cambio de temperatura, crecerá en longitud -
 0.15 de pul.

Tales cambios pronto cierran las juntas de dilatación si -
 las hay y donde está restringida la libertad para el crecimien-
to tienen que presentarse el agrietamiento y la desintegración.

El coeficiente medio de dilatación de concreto es 6×10^{-6}
 por °F de cambio. Con un módulo elástico de 5'000,000 psi -
 cada grado de cambio induce un esfuerzo de 30 lb/pul². (psi). -
 El concreto puede tomar tal incremento en su esfuerzo de compre

sión con toda facilidad, pero si no tiene el refuerzo necesario para resistir a la contracción, bastará una pequeña cantidad de enfriamiento para que se produzcan grietas cuando se sobrepasa la baja resistencia del concreto a la tensión. El requerimiento usual de 0.25% del área de sección transversal en la dirección horizontal, y de 0.15% en la dirección vertical, en la cual se pide menor cantidad por la compresión procedente del peso mismo del concreto, extiende simplemente el intervalo de temperatura que no produce agrietamiento.

La experiencia en las zonas templadas indica que se requiere el 0.65% para resistir un descenso de 100°F de temperatura, y por tanto no es sorprendente encontrar tan pocas exposiciones de concreto sin agrietar.

DEFORMACIONES Y AGRIETAMIENTOS

Los cambios elásticos inmediatos y el flujo plástico retardado que afecta a las dimensiones y a la forma de las estructuras de concreto, originan deformaciones que traen consigo mantenimiento y reparaciones costosas, aunque es posible que no afectan seriamente la resistencia de la estructura.

Las estructuras como las losas planas, transmiten sus cargas a los soportes de la manera más fácil, cuando la estructura reticulada forma articulaciones y trata de conformarse al patrón supuesto, resultan grietas.

Se supone que las cargas de las losas se transmiten a la columna por flexión de las trabes que se disponen para el objeto.

La acción de torsión ocasiona que las esquinas de las losas de techo se deformen en rizo y que deformen la cubierta del techo y originen grietas en las caras exteriores de las columnas exteriores.

Las losas de piso hechas de concreto con acabado monolítico, particularmente en los diseños de claros largos, raras veces se logran a tolerancias satisfactorias de nivel. El procedimiento acostumbrado de extender el concreto desde la mitad del claro hasta los ejes de las columnas, hace que los materiales más densos vayan hacia las columnas, y al endurecerse y secarse la superficie adopta una forma cóncava, se pierde la corona de escurrimiento para la que se construyen los encofrados; en la realidad la única resistencia que queda para la deformación futura es la compresión de los apoyos de las cimbras para el techo muerto del concreto.

Para neutralizar la deformación de la losa después de quitar los apoyos de la cimbra, debe acabarse la superficie superior como un ligero domo.

Aún así, el flujo plástico posterior del concreto terminado, aumentado por el flujo originado por las cargas no se compensan totalmente con el acabado de la superficie, y se obtiene todavía un piso con concavidad.

La causa y prevención del agrietamiento del concreto se cubrieron ampliamente en un editorial que lleva tal encabezado, y el cual apareció en el INDIAN CONCRETE JOURNAL el 15 de Febrero de 1953.

Esta editorial comenta que el agrietamiento es uno de esos problemas que se tienen en la construcción en concreto que provoca discusiones frecuentes entre los Ingenieros. Una actitud que parece prevalecer respecto a este problema es que el agrietamiento es una ocurrencia natural acerca de la cual poco se puede hacer pero es posible investigar la interrelación que liga los diferentes tipos de grietas, detectan sus causas y aplican medidas necesarias para su prevención.

Las grietas pueden clasificarse en forma general en las -

que ocurren antes y las que ocurren después del endurecimiento del concreto. El período previo al endurecimiento se considera que se extiende desde el momento de vaciado o colocación del concreto hasta el momento que alcanza la suficiente resistencia para resistir que se quite la cimbra en la práctica de 2 a 8 horas después del vaciado bajo condiciones normales.

El movimiento del subsuelo debido a cambios de humedad y el movimiento de la cimbra, debido a diseño inadecuado o a construcción inadecuada son dos causas frecuentes de agrietamiento en el período de pre-endurecimiento, los cuales pueden prevenirse mediante la compactación y el control adecuado del suelo de apoyo y mediante la atención cuidadosa de la preparación de la cimbra.

La contracción por asentamiento es otra causa de agrietamiento que se incluye en este grupo.

Cuando se coloca el concreto en su posición y antes de fraguar las partículas sólidas de agregados se asientan y se estabilizan. El asentamiento continuado dentro del esqueleto que forman estas partículas grandes puede dar origen al asentamiento del mortero, y en último término a la acumulación de agua en la superficie del concreto, acumulación a la que se le llama ganancia de agua.

Si las condiciones son tales que la superficie superior del concreto toma un fraguado parcial mientras continua ocurriendo asentamiento en el interior, y si en el interior contiene algunos obstáculos rígidos como varillas de refuerzo, entonces se asentará el interior en torno a dicha varilla y ocasionará grietas en el concreto parcialmente fraguado que se encuentran arriba de las varillas. El remedio está en usar revolturas plásticas densas con agregados bien graduados, bajo contenido de agua y compactación adecuada.

Las grietas que ocurren muy poco después de la colocación-

y el acabado, a veces en cuestión de minutos, y aun bajo una película de agua se atribuyen a la contracción plástica ocasionada por la expulsión de agua libre procedente de la gelatina sílice de formación fresca o por un falso fraguado. El remedio parece ser un acabado retardado, presionando el concreto plástico para cerrar las grietas. Se ha encontrado que cuando se hace tal cosa las grietas no aparecen.

El tipo de agrietamiento ocasionado por la contracción del secado se observa particularmente cuando se tienen pavimentos de concreto acabado de vaciar expuestos a un viento fuerte, a baja humedad o a un sol caliente con una diferencia de temperaturas entre la masa y el aire circundante. La prevención consiste en cubrir el concreto con arena húmeda, costales de yute o paja, mientras no haya peligro de que tales materiales dejen marcas permanentes en el concreto. Por supuesto que la contracción debido al secado continúa después del endurecimiento, la reducción del contenido de cemento y agua de la revoltura y el cursado adecuado permite lograr una hidratación completa y llevar al mínimo el grado de contracción.

Las ramificaciones del grupo de grietas que ocurren después del endurecimiento son considerables, el movimiento de la humedad desempeña de nuevo su papel, ya que el mojado subsecuente del concreto después del secado, presenta una acción reversible que es comparable en magnitud con la contracción original.

Las causas químicas del agrietamiento no solo incluyen las reacciones que ocurren entre los elementos constitutivos del concreto, sino también los procedentes de la presencia de cuerpos extraños.

La combinación incompleta de la cal con los demás elementos formadores del cemento, y el exceso de óxido de magnesio y de yeso pueden producir agrietamientos.

Los agregados reactivos en otra fuente de agrietamiento.

Las especificaciones modernas del cemento Portland están - destinadas a prevenir estos tipos de agrietamiento.

Un agrietamiento debido a la presencia de cuerpos extraños lo ofrece la oxidación de las varillas de refuerzo hechas de - acero blando, falla que puede prevenirse mediante el empleo de - concreto denso y de recubrimiento adecuado para las varillas.

Otras son las grietas que resultan de la diferencia de tem - peraturas ocasionadas por el calor de hidratación del cemento - en obras de construcción de gran masa de concreto, como, los di - ques de las presas, las prevenciones que se emplean incluyen li - mitaciones de las alturas de los colados y de los periodos que - deben transcurrir entre alzadas sucesivas del dique, el empleo - de cemento de baja producción de calor, la adición de hielo tri - turado a la revoltura.

La concentración de esfuerzos son otra fuente de agrieta - miento. Las concentraciones de esfuerzos pueden producirse por la transmisión de esfuerzo en el refuerzo o por la forma de la - estructura. Como el caso en el que se coloca una varilla doba - da en la unión de una escalera con la losa de descanso, habien - do espesor insuficiente del concreto para soportar la concentra - ción de esfuerzo que ocurre en el cambio de dirección.

Las aberturas cuadradas o los ángulos reentrantes, como la ab -ertura para puertas y ventanas o las que se dejan para los re - gistros de hombre en los pavimentos dan origen a considerables - concentraciones de esfuerzo de tensión que deben resistirse me - diante refuerzo colocado adecuadamente si han de evitarse las - grietas.

El asentamiento de las cimentaciones y las ocurrencias - accidentales como la sobrecarga, el exceso de vibración, el -

fuego, las tormentas y los temblores son otras fuentes de agrietamiento de las estructuras de concreto.

El agrietamiento no es de ninguna manera inevitable y en el diseño y construcción se puede hacer mucho para evitarlo.

MONTAJE DE ELEMENTOS PRECOLADOS

La fabricación de elementos precolados bajo condiciones controladas permite la entrega en el lugar de piezas dimensionalmente exactas para montaje de campo. Las pequeñas dimensiones de los elementos eliminan las dificultades de cambios técnicos, el mejor control de concreto y el curado a vapor de agua reduce las contracciones retardadas y las deformaciones por flujo. Las dificultades es la contracción que ocurre durante el fraguado y el curado de las partes del concreto precolado que se fabrican en cimbra de acero que no ceden, porque se desarrollan grietas en la unión de los patines y almas de las secciones de las vigas y en el contacto de los miembros verticales y horizontales de las piezas coladas en forma de L.

Las conclusiones de las lecciones que deben aprenderse de la larga lista de aspectos de diseño y de construcción que contribuyeron al derrumbe, son una importante contribución de las advertencias sobre el porqué fallan las estructuras.

Cuando se extiende un sistema de construcción en el que se hayan usado componentes estructurales prefabricados, aplicando un nuevo tipo de construcción, es necesario hacer un reanálisis fundamental del diseño del sistema.

Este debe incluir la reconsideración de todas las suposiciones de diseño, y en caso necesario el recálculo del diseño estructural desde sus principios originales. La eliminación del efecto de atiesamiento de los muros es particularmente importante si, como es probable en tales circunstancias, las con-

consideraciones estéticas insisten en que las columnas sean lo mas esbeltas posibles.

Cuando se aplican métodos de construcción nuevos o relativamente nuevos, más que nunca la comunicación completa y sistemática de las intenciones del diseñador es esencial a los aspectos funcionales de operación.

Es esencial que se preparen dibujos de taller completamente dimensionados para todas las juntas.

El diseñador es responsable de comunicar sus intenciones, particularmente en relación con aquellos factores y dimensiones que sean de importancia crítica, o diferencia de aquellas en las que puede permitirse cierta tolerancia. Es responsabilidad del diseñador en no adoptar normas de exactitud y de ejecución superiores a las que pueden lograrse.

En los sistemas de construcción que dependen del ensamble de componentes estructurales prefabricados, el procedimiento de montaje es esencial en el diseño de ingeniería. Debe ser especificado por el diseñador con el suficiente detalle, como para asegurar que la estructura sea estable y sólida en todas las etapas de la construcción.

TANQUES Y SILOS

Las estructuras para almacenamiento están expuestas a presiones cambiantes en la medida en que varía los volúmenes que contienen, y en el caso de almacenaje de granos, pueden verse afectados por cargas dinámicas cuando se extrae su contenido rápidamente.

Los recipientes para almacenaje y las albercas de natación también pueden fallar por agrietamiento del piso, cuando su vaciado súbito acarrea la acción de una presión hidrostática bajo

el piso.

Las albercas de natación bien construídas deben flotar - sino se proveen de contrapeso o de válvulas de alivio para neutralizar la flotación que propicia el agua del subsuelo.

En los suelos de drenaje difícil, es necesario tomar precauciones especiales de escurrimiento forzado, para aliviar las presiones hidrostáticas bajo el piso al vaciar la alberca.

En los suelos arcillosos el lodo entra a la alberca por todas las grietas y por las separaciones de la junta de dilatación y ensucia el agua. En instalaciones de esta naturaleza, la solución consistió en excavar pozos a lo largo de los muros para que actuaran como resumideros o piletas abajo de los niveles del piso, instalar tramos de tubo de drenaje perforado debajo de la losa, y bombear el agua del subsuelo de estas piletas cada vez que se fueran a vaciar las albercas.

Las fallas de los muros en los recipientes en los que la carga de presión es fija y simplemente determinable, por lo general se explican por la falta de consideración a la rigidez de fijación del fondo y de las aristas de los lados, construídos monolíticamente con las losas y muros adyacentes.

CONCRETO PREFORZADO

Ha habido equivocaciones de diseño de detalles y de especificaciones como el ocurrido en 1966 en la que se estaba construyendo una gran losa de cimentación para un edificio de varios pisos, con un apego a un diseño en el que se indicaban tendones cóncavos hacia arriba, debajo de cada columna, para acomodarse al diagrama de momentos flexionantes.

Al aplicar el postenzado, se levantó el concreto del área de las columnas, fracturando la losa. El diseño estaba basado-

en tener las columnas cargadas, al tensar la losa todavía no se habían construido las columnas, y no había suficiente peso para resistir la componente ascendente de los tendones curvados.

Entonces se alivió la carga de presforzado y se circundó cada volumen con anclas gruesas aseguradas con lechada al sub-suelo, para aportar suficiente carga muerta temporal, y se pos-tengo nuevamente la losa habiéndose tenido éxito. Este es un caso en el que se requerían fuerzas compensadoras durante el montaje, hasta que la estructura estuviera suficientemente integrada a su lugar para aportar la resistencia necesaria.

En 1960 aparecieron informes, en Suecia y Rusia que indican que la corrosión electro-lítica superficial se acelera por la presencia del cloruro de calcio, pero que puede restringirse con otros aditivos, como el nitrato de sodio. Los estudios de corrosión que se hicieron al descubrir defectos en el acero de un puente en California, indicaron que la acción galvánica puede prevenir de la concentración diferencial del oxígeno en las humedades.

MEZCLA DE CONCRETO

En la producción de miembros de concreto precolado algunos métodos para prevenir el agrietamiento y las reposiciones que siempre resultan costosas. En 1958, en una aplicación importante de concreto pretensado como postensado, antes de su embarque se rechazaron vigas de forma y producidas durante el invierno en donde se encontraron grietas, de longitudes intermitentes, que delineaban los lindajes metálicos curvados que habían en el alma, y otras que corrían a lo largo de las líneas rectas de los patines inferiores.

En el primer análisis se culpó a la congelación de la lechada, y se rechazaron muchas vigas, ordenándose la fabricación de vigas nuevas. Sin embargo se encontraron con las mismas di-

ficultades en vigas construídas durante el verano con lo cual - se determinó que la causa era la contracción desigual de los diferentes espesores del concreto cuando se interrumpía el curado o vapor de agua.

El ciclo típico de aplicación de vapor consistía en 5 horas de fraguado normal alrededor de 60°F de temperatura ambiente, en las siguientes hora y media a dos horas, se agregaba vapor lentamente para llevar la temperatura a 165°F, y mantenerla a 165°F durante 22 horas. Luego se cortaba el vapor y se quitaban las cubiertas.

El conducto metálico actuaba como un radiador para enfriar con mayor rapidéz la cubierta delgada del concreto y se desarrollaron algunas grietas finas de separación. La lechada aplicada a presión después de terminado el postenzado, habría las grietas.

Se ha sabido que la contracción del concreto durante el fraguado y el curado de miembros vaciados en cimbra de acero ocasiona la separación de los patines y las almas, en vista de que no cede la cimbra.

Las vigas de concreto precolado que llevan alma y patines muestran a menudo finas grietas en las uniones del alma con los patines, pero cuando se han reforzado con alambres o malla de acero en diagonal, la prueba de carga a escala natural no indica que haya reducción alguna de la resistencia ocasionada por dicho agrietamiento.

APOYOS

La máxima concentración de esfuerzo se presenta bajo la placa de apoyo de un anclaje postenzado. En este caso se requiere de la resistencia máxima de concreto con algo de refuerzo en forma de aros o de espiral para resistir a la expansión -

lateral bajo esfuerzo elevado. La combinación de la placa de apoyo con la que a menudo lleve anclas, coraza de varilla o decable, estribos y aros, no conducen por cierto a un concreto denso.

Por lo general no hay espacio para que penetre el vibrador y la densificación de la revoltura del concreto depende del picado manual a varilla y del apisonado, operaciones que deben efectuarse con la mayor efectualidad posible.

Se ha advertido que debe tomarse en consideración el efecto de la temperatura en las camas largas de colado de concreto-preesforzado. Un cambio de 30°F en 500 psi que es bastante común en muchos sitios de plantas, hace variar la longitud del alambre o cable en $1\frac{1}{2}$ pul. y tal variación debe causar cierta pérdida en los valores de la adherencia.

La aplicación de concreto caliente sobre acero frío ocasiona un alivio de esfuerzo, y el miembro no llega a alcanzar la resistencia esperada.

En un proyecto de un viaducto en Nueva York, hecho de concreto preesforzado las placas de apoyo anclada en la cara del alma de las vigas exteriores para el tenzado transversal al ancho de la carretera, fracturaron el alma al aplicar los gatos. El concreto que se encontraba en la parte posterior de la placa estaba bastante poroso; había demasiado acero en dicha parte, para permitir el llenado correcto del alma del concreto.

CONTRACCION Y DEFORMACION

En el diseño se debe considerar el efecto que tiene la contracción en el cambio de la geometría de un conjunto de miembros, y también en los detalles de las uniones.

El concreto de alta resistencia en menor tiempo que el nor

mal, que se obtiene con cementos especiales, cloruro de calcio y curado de vapor de agua, puede ofrecer mayores contracciones que se prolongan por período de tiempo mas prolongado que las mezclas normales de concreto.

En todas las operaciones de esforzado de aros, se reduce el diámetro del recipiente y debe considerarse la libertad de movimiento en los contactos con los miembros no esforzados. Tal incompatibilidad de deformación ocasionó que se formaran serias grietas diagonales de esfuerzo cortante en una tubería de concreto construída en Cuba en 1958. Las juntas estaban cubiertas por mangos sólidamente ligados por lechada. Al aplicar la presión la mayor rigidez de las mangas resistió a la dilatación de los extremos de los tubos y se abrieron las grietas de esfuerzo cortante. La solución fue extraer la lechada y rellenar la junta con relleno plástico.

Muchos diseñadores detallan y determinan las dimensiones de las obras con precolados como si estuvieran tratando con componentes de gabinetes, la especificación de dimensiones exactas no garantiza el buen funcionamiento de lo que no tiene visos de realidad.

Apoyar claros largos sobre muros esbeltos es una invitación a la falla. En 1959 se construyeron tres arcos de concreto precolado de 49 pies de claro, instalados sobre muros de 46-pies de altura en un edificio de laminación de acero en Lisboa-Portugal, 60 días después de su instalación.

C A P I T U L O V

DESLINDE DE RESPONSABILIDADES

Todas las estructuras pasan por una serie de etapas críticas durante el ensamble de sus componentes. Sólo después de superar tales crisis se logra, en el trabajo terminado, el comportamiento estable y satisfactorio de un diseño.

En cada etapa se puede intervenir un detalle de operación que requiere de control o vigilancia especial por cualquier señal de posible mal comportamiento.

En un programa de construcción bien planeado, a cada fase crítica se prevee de una resistencia de respaldo que entra en juego automáticamente si falla el ensamble primario. Los ejemplares de detalles de operación son comúnmente en trabajos de obra falsa para el concreto.

Las fuerzas que ocasionan las fallas durante la construcción no son de la misma magnitud, ni aun de la misma dirección, que las cargas que se usan para el diseño estructural. A la vez, la resistencia del concreto fresco es menor que los valores resistentes que se adopta en el diseño.

Las secuencias de construcción requieren de cierta evaluación técnica en cuanto a seguridad y suficiencia.

Existe poca diferencia en cuanto a si la estructura falla durante su instalación, por ignorancia o por incompetencia por parte de la persona responsable.

La ignorancia es el estado de no estar informado de lo que se requiere, siempre influye la incompetencia, que es la incapacidad de hacer lo que se requiere, sea que uno sepa o no.

Es inaudible que la experiencia es la mejor muestra para -

el gerente de construcción experimentado y que un sentido extra de prevención de peligro inminente es un atributo valioso, así como la precalificación y el registro de los superintendentes de construcción pueden eliminar algo de dificultades.

Los inspectores de seguridad han hecho mucho para reducir los accidentes de construcción en las obras grandes, pero también se necesita este mismo servicio en todos los trabajos menores. En las operaciones más pequeñas a menudo se descuida la seguridad a causa de la protección contra pérdida financiera.

Las fallas de estructuras completas, aunque todavía es muy frecuente, es mucho menos común que cuando se vendían diseños efectuados por vendedores sin conocimiento técnico o cuando se sabía menos respecto al concreto que lo poco que se conoce ahora comúnmente.

Con muy pocas excepciones, la falla de las estructuras completa la ocasiona el comportamiento deshonesto o la falta de cumplimiento con la práctica aceptada.

Interviene más a menudo la ignorancia que el diseño inadecuado.

Hay requisitos legales comunes en la mayoría de las jurisdicciones por lo que la ignorancia no excusa.

Se necesita corregir la incompetencia del control.

La eliminación de la ignorancia y la incompetencia tendría un logro impresionante en la eliminación de las fallas de construcción.

NEGLIGENCIA

Una persona es negligente si no hace lo que debe hacer de

jando fuera de consideración el beneficio obvio de ver poste - riormente las omisiones obvias, nace la dificultad en definir - lo que debería preverse en el diseño original y en la construc - ción, cuando no puede comprobarse la ignorancia y la incompeten - cia, se explica la causa de la falla por negligencia.

Las determinaciones legales recientes de que la responsabi - lidad por daños ocasionados a estructuras vecinas como resulta - do del efecto de vibración de las explosiones no depende de la - demostración de negligencia, acarrearán una nueva secuencia de - responsabilidades.

Se vuelve negligencia el aplicar cualquier procedimiento, - con el cuidado y las precauciones ordinarias, cuando las conseq - uencias naturales producen fuerzas que ocasionan daños o moles - tias.

Se encuentra negligencia a menudo en la preparación de con - tratos particularmente en la falta de coordinación entre los - planos y las condiciones del lugar, entre los planos y las espe - cificaciones.

La negligencia comprobada por parte de un profesional, lle - va como resultado, por lo general, a la revocación o suspensión temporal de su licencia para ejercer, a discreción del estado - en sus funciones como vigilante que revoca una licencia no como castigo sino como una confirmación que si la persona que posee - la licencia está adecuadamente calificada para continuar en su - profesión.

CONTROL Y SUPERVISION

El control se define como el ejercicio de una dirección, - que restringe o regula la influencia sobre la producción, en la construcción solo puede haber control de la producción por par - te del contratista.

El significado de la supervisión difiere un poco del significado aceptado en la construcción. Cuando se define la supervisión como el tener una visión general del trabajo, y como la inspección del trabajo mismo, no hay conflicto ni desacuerdo en embargar, sin embargo cuando se define como equivalente a la superintendencia, que significa tener la obra a su cargo y dirección a manera de gerente existe un conflicto.

El tener a cargo, o administrar el trabajo abarca un tipo de control con el que no estaría de acuerdo el contratista y que no aceptaría el inspector profesional.

Por lo cual la supervisión se convierte en un dominio y deber del contratista. La inspección es del dominio y la obligación del diseñador, y ordinariamente se deja a un representante como un servicio para proteger los intereses económicos del propietario.

El inspector esta en la obra para ver que el propietario reciba lo que compró, y como la mayor parte de la obra queda finalmente cubierta, y no puede verse, debe haber inspección en cada paso de la construcción, muchos de los ejemplos de falla estructural podría haberse evitado si se hubiera tenido control de campo de la obra. Muchos otros más podrían haberse eliminado de forma similar, si en la obra se hubiera habido inspección de campo con buena experiencia y conocimiento técnico, para señalar a los ejecutantes cualquier mal ajuste a cualquier omisión de algún detalle.

Desafortunadamente, por lo general no se prevee de tal servicio de inspección de la obra que más lo necesitan, es decir en las que el control del contratista es mínima y hasta inexistente.

En las obras que se hacen en planos que no contienen una explicación completa de los detalles, tienen tipo de proyecto en los que se combina un mínimo de horarios de planeación con -

falta de control de campo suficiente, siempre que se establezca el escenario para que algo salga mal.

La confianza que ponen muchos propietarios en el servicio de inspección de los inspectores de construcción, que por lo general se basan en el argumento de que han pagado por tal servicio al cubrir los honorarios del permiso de construcción, es de valor dudoso.

El problema de obtener inspección adecuada conduce a muchas soluciones, algunas agencias tienen departamentos de construcción para cuidar de la inspección de los diseños; algunas compañías privadas separan en forma semejante el diseño y la inspección de ejecución.

El diseñador debe revisar que su propio trabajo además de certificar que la construcción se apegue a la intención de los dibujos aprobados.

Si se hace tal inspección con toda honestidad, puede reducir en forma significativa el número de fallas de construcción.

La inspección o la falta de ésta, nunca ha ocasionado una falla, el control competente a cada nivel de responsabilidad, es el mejor seguro contra ocurrencias indeseables.

Todo incidente en el que se producen daños a la vida o la propiedad, va seguido de un intento para asignar la responsabilidad a alguien.

Si no se determina primero la causa de la falla, la búsqueda de la persona responsable es un esfuerzo infructuoso, que va acompañado de incriminaciones, demandas y contrademandas y faltas de ética.

Aun habiendo determinado la causa, a menudo existe un desacuerdo completo en cuanto a la asignación de la responsabilidad.

En un simposium sobre este tema general, Jacob Feld ofreció una fórmula para establecer la división de la responsabilidad entre los distintos aspectos de una operación de construcción, tendiente a lograr ejecución correcta y buenos resultados.

Se requieren cuatro factores, todos los cuales deben prev verse:

1. Un diseño correcto con especificaciones competentes para proporcionar seguridad, y adecuado al uso deseado de la estructura.
2. El diseño, en todas sus fases de detalle arquitectónico y de ingeniería, deben ser construible usando los materiales, mano de obra, equipo y experiencia local disponible.
3. El contratista y sus subcontratistas y proveedores deben tener la capacidad necesaria para leer los planos, y deben leer las especificaciones antes de iniciar el trabajo, y deben tener el deseo de seguir al pie de la letra los requisitos del contrato y el deseo de hacer un buen trabajo.
4. Debe tenerse un inspector o alguien que cuide que el contratista cumpla las funciones para las que se le contrató.

Los intentos que se han hecho para desviarse de esta división de la responsabilidad, por parte de los contratistas de diseño y ejecución, o de hacer la inspección por fórmula dada por el contratista, no han eliminado las fallas de construcción.

Ya sea que se produzca manual o mecánicamente, todos los elementos de diseño y especificaciones de materiales idénticos, no son matemáticamente iguales.

El control de calidad más severo y el método de inspección no han eliminado las desigualdades que hay en la producción de componentes de los accesorios electrónicos más costosos que ocasionan algunas fallas realmente costosas en el programa de sonido especial.

La experiencia real indica que cuando una fase de trabajo está deficiente también existen otras deficiencias.

A causa de la necesidad de seguridad, parece conveniente - diseñar y planear la operación, de tal manera que cada fase individual sea suficiente después de establecer las desviaciones normales que se permiten para cada paso. Debe considerarse el aumento de costo como un seguro contra los costos muchos mayores de paro de los trabajos, investigaciones, pruebas con carga, demolición parcial o total y reconstrucción.

Cuando las operaciones de concreto eran pequeñas, y los volúmenes diarios producidos en la obra se hacían con los ingredientes que se tenían almacenados localmente, se podía lograr con facilidad un control razonablemente bueno de la uniformidad.

Al utilizar ahora concreto procedente de plantas mezcladoras distantes, que surten a otras muchas obras con diversos tipos, tamaños y graduación de agregados, y con un número limitado de tolvas, para almacenar los diferentes componentes, debe esperarse una variación respecto a las muestras usadas para preparar una mezcla diseñada.

Es muy común encontrar grava entregada en una mezcla de piedra, cambio súbito de color porque la tolva de cemento antes contenía una marca diferente, una mezcla continua de diferentes agregados ligeros, cambia de graduación de los materiales gruesos, porque el cucharón de la grúa trabaja en la parte superior de una pila de almacenamiento y los tamaños más grandes se sepa

ran por gravedad y se acumulan en la base de la pila, fluctuación continua del contenido de humedad, y en algunas plantas, hasta cambio de agua utilizada.

Debe reconocerse las limitaciones que tiene la producción-económica de las mezclas de concreto y deben permitirse las tolerancias que sean razonables.

Los materiales de construcción producidos en fábricas se controlan mediante especificaciones estándar, sin embargo deben esperarse variaciones de las dimensiones y de las propiedades físicas, y los diseños deben tomar en consideración tales variaciones por medio de tolerancias. El uso de especificaciones estándar sin hacer referencia a la calidad o al tipo reales que se desean, es un requisito que carece de valor.

Debe estudiarse y resolverse la compatibilidad de las tolerancias para los diferentes materiales adyacentes.

Se descubrió un error de esta naturaleza en una fachada monumental de concreto precolado con unidades de vidrio de colores. Las variaciones que había en las dimensiones de las piezas de concreto no correspondieron a las unidades de vidrio que habían sido cortadas con todo cuidado, y se tuvieron muchas roturas.

Las tolerancias que se dejan para la fabricación del concreto difieren de las que deben dejarse para las unidades preesforzadas.

La exactitud de la producción de construcción se han vuelto más críticas por el mayor uso de componentes prefabricados y de subensamble. El apareado y ajuste de tales miembros en el campo, requiere de destreza especial, y de no efectuarse correctamente, conduce a fallas locales y posiblemente totales.

Debe reevaluarse el concepto de la tolerancia que deben -

permitirse para la construcción, y la costumbre actual de especificar tolerancias para los elementos individuales debe integrarse como parte de un acercamiento total o de sistema al problema.

En la construcción en la actualidad el arquitecto se ocupa primordialmente del concepto visual de la estructura propuesta, y de representar gráficamente las relaciones especiales de las estructuras.

Los ingenieros se encargan de los diseños estructurales mecánico y eléctrico y de la planeación del sitio de construcción.

El arquitecto se ha convertido en el maestro planeador administrador, que debe estar familiarizado con las buenas técnicas de la construcción y con los diseños adecuados de la ingeniería.

Surge con el transcurso del tiempo y la introducción de nuevos materiales, nuevas técnicas de construcción y nuevos desarrollos tecnológicos, el contratista general, quien asume la tarea de contratar a trabajadores y subcontratistas y supervisar su trabajo, el contratista general se convierte en el responsable de los métodos y procedimientos aplicados para edificar la construcción, de conformidad con los planos y especificaciones arquitectónicas.

Ya sea el arquitecto o el ingeniero que participa generalmente en la fase de construcción de un proyecto, raras veces supervisa al grado de ejercer dirección y control, de las formas de ejecución, del trabajo de los contratistas.

Lo más común es que visite la obra dos o tres veces a la semana para revisar el trabajo de los contratistas y asegurarse de que estén siguiendo sus planos y especificaciones.

En la actualidad el contratista general es responsable de los métodos, técnicas, prácticas y procedimientos de construcción. Este contrata a los diversos subcontratistas, cada uno de los cuales es especialista en su rama, para realizar las diversas porciones del trabajo de construcción, y asume la responsabilidad legal sobre el trabajo de dichos subcontratistas.

Del arquitecto o ingeniero se requiere y que posea y utilice el mismo grado de destreza, conocimiento y habilidad que poseen y aplican los demás miembros de su profesión, y se deja a su cargo el ejercicio del cuidado ordinario y de su mejor criterio para cumplir con su cometido. Sin embargo esto no garantiza un conjunto perfecto de planos, ni tampoco un resultado satisfactorio.

Todo lo que se espera de un ingeniero o un arquitecto es el ejercicio de la destreza y el cuidado ordinario, a la luz de los conocimientos comunes de estas profesiones.

Cuando un arquitecto o un ingeniero posee la destreza y el conocimiento que se requiere como comunes a su profesión, y ejerce esa destreza y ese conocimiento en forma razonable, cumple con todo lo que la ley exige. Se hace responsable hasta el grado de cuidado y destreza, así como de criterio, que son comunes a la profesión.

Se debe tener presente que un arquitecto o un ingeniero no es ni un fabricante ni un vendedor de producto alguno, es un profesionalista que no hace otra cosa que prestar sus servicios puramente profesionales, que, a no ser que expresamente garantice un resultado específico, su responsabilidad legal por negligencia es similar a la de todo profesionalista; no es legalmente responsable por un resultado desafortunado, si ha seguido las prácticas normales aceptadas que aplican otros miembros de su profesión.

Solamente cuando se aparta de la buena práctica, y al ha -
cerlo resultan daños en la propiedad o en las personas, el pro_
fesional del diseño se responsabiliza personalmente por daños.

B I B L I O G R A F I A

- FALLAS TECNICAS EN LA CONSTRUCCION,
JACOB FELD: ED. LIMUSA

- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO
OSCAR M. GONZALEZ VUEVAS? FCO. ROBLES, JUAN CASILLAS G. DEL.
Y ROGER DIAZ DE COSSIO:
ED. LIMUSA.

- PROBLEMAS EN EL CONCRETO: CAUSAS Y SOLUCIONES
IMCYC.

- MANUAL DEL INGENIERO CIVIL
ED. MAC GRAW-HILL.

- REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO
ACI (318-83)
Y COMENTARIO.
IMCYC