



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONCRETO DE CONTRACCIÓN COMPENSADA**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA  
ADAN CASTILLO ESCUTIA**

**ASESOR  
M.A. RAMIRO SILVA OROZCO**

**MORELIA, MICHOACÁN. FEBRERO DE 2012**



## AGRADECIMIENTOS:

### A mis Padres:

Por haberme apoyado incondicionalmente durante mis estudios, por alentarme a seguir adelante, por sus acertados consejos y sobre todo por los sacrificios que tuvieron que hacer para yo poder conseguir mis metas.

### A mis Compañeros de Escuela y Trabajo, Familiares y Amigos:

Quienes directa o indirectamente contribuyeron para el logro de cada uno de mis objetivos escolares, profesionales y personales.

|   |    |
|---|----|
| CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| CAPITULO II.- ANTECEDENTES .....  | 4  |
| II.1 EL CEMENTO EXPANSIVO.....  | 12 |
| II.2 NUEVOS DESARROLLOS .....   | 14 |
| II.2.1 TIPOS DE ADITIVOS EXPANSIVOS (Dry@D1) .....                        | 14 |
| II.2.1.1 CAMPO DE APLICACIÓN.....   | 14 |
| II.2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....                                    | 16 |
| CAPITULO III.-TECNOLOGÍA DEL CONCRETO .....                               | 17 |
| III.1 CONCRETO RECIÉN MEZCLADO.....                                       | 20 |
| III.1.1 MEZCLADO.....   | 21 |
| III.1.2 TRABAJABILIDAD.....   | 22 |
| III.1.3 SANGRADO Y ASENTAMIENTO.....                                      | 24 |
| III.2 CONSOLIDACIÓN.....  | 26 |
| III.3 HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO.....               | 28 |
| III.4 CONCRETO ENDURECIDO.....  | 32 |
| III.4.1 CURADO.....   | 32 |
| III.4.2 VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO.....                             | 34 |
| III.5 RESISTENCIA.....  | 36 |
| III.6 MASA VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA, DENSIDAD).....                     | 39 |
| III.7 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.....                                      | 40 |
| III.8 ESTABILIDAD DE VOLUMEN Y CONTROL DE FISURACIÓN (AGRIETAMIENTO)..... | 40 |
| III.8.1 JUNTAS.....   | 42 |
| CAPITULO IV.- CRITERIOS DE DISEÑO .....                                   | 44 |
| IV.1 CONSIDERACIONES MÍNIMAS DE DISEÑO.....                               | 46 |
| IV.2 REQUISITOS MÍNIMOS DE DISEÑO .....                                   | 46 |
| IV.2.1 RESISTENCIA.....   | 47 |
| IV.2.2 REVENIMIENTO.....  | 48 |
| IV.2.3 T.M.N.A (Tamaño Máximo Nominal del Agregado).....                  | 49 |
| IV.2.4 RENDIMIENTO.....   | 49 |
| IV.3 EJEMPLO DE DISEÑO.....   | 50 |
| IV.3.1 ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.....           | 51 |
| IV.3.2 CONTENIDO DE CEMENTO.....  | 52 |
| IV.3.3 PORCENTAJE DE COMBINACIÓN ENTRE GRAVA DE 20 MM Y 40 MM.....        | 53 |
| IV.3.4 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GRAVA.....                            | 53 |
| IV.3.5 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO POR PESO.....            | 54 |
| IV.3.6 AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.....                           | 55 |
| IV.3.7 DOSIFICACIÓN DE ADITIVOS.....                                      | 56 |

|   |            |
|---|------------|
| IV.3.8 ADITIVO DRY D1.....  | 58         |
| <b>CAPITULO V.- PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>                                | <b>59</b>  |
| V.1 HERRAMIENTAS.....   | 60         |
| V.2 COLOCACIÓN Y TERMINADO DE UNA LOSA.....                                   | 64         |
| V.3 COMPACTACIÓN ALREDEDOR DE LOS POZOS DE REGISTRO Y ZANJAS DE TUBERÍAS..... | 65         |
| V.4 TRAZO Y NIVELACIÓN.....   | 65         |
| V.5 COLOCACIÓN DE LAS FORMALETAS O CIMBRA.....                                | 65         |
| V.6 REFUERZO DE ACERO.....  | 68         |
| V.7 COLOCACIÓN DEL CONCRETO.....  | 69         |
| V.8 CONSOLIDACIÓN.....  | 70         |
| V.9 NIVELACIÓN, ENRASADO.....   | 70         |
| V.10 ACABADO.....   | 71         |
| V.11 CURADO.....  | 74         |
| V.12 JUNTAS.....  | 77         |
| V.12.1 JUNTAS DE DILATACIÓN O AISLAMIENTO.....                                | 77         |
| V.12.2 JUNTAS DE CONTRACCIÓN.....   | 78         |
| V.12.3 ESPACIAMIENTO DE LAS JUNTAS.....                                       | 81         |
| V.12.4 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.....  | 82         |
| V.12.5 SELLADO DE JUNTAS.....   | 82         |
| <b>CAPITULO VI.- CONTROL DE CALIDAD .....</b>                                 | <b>84</b>  |
| VI.1 REVENIMIENTO.....  | 85         |
| VI.2 MASA UNITARIA.....   | 87         |
| VI.3 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES.....                                 | 90         |
| VI.4 DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN.....                                       | 93         |
| VI.5 TIEMPOS DE FRAGUADO.....   | 100        |
| <b>CAPITULO VII.- CONCLUSIONES .....</b>                                      | <b>105</b> |

## CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN

El concreto ha sido y es uno de los elementos de construcción más nobles pues puede alcanzar gran resistencia y durabilidad además de poder adquirir la forma de prácticamente todo lo que se puedan imaginar.

Entre sus diversas utilidades esta la elaboración de pisos industriales; dichos pisos su gran restricción son las dimensiones puesto que no sobrepasan los 5 x 5 metros, es aquí donde el concreto de contracción compensada presenta una de sus primeras ventajas al compararse con un concreto convencional.

El concreto de contracción compensada utiliza el cemento tipo k para su elaboración lo que le brinda las características necesarias para poder presentar menos agrietamiento, alabeo y poder hacer piedras de concreto de hasta 30 x 30 metros lo que disminuye la cantidad de pasa juntas.

Al trabajar en la conformación de pisos industriales los especialistas se topan con algunos obstáculos inesperados. Sin embargo, hay algunos inconvenientes propios del tamaño de la superficie sobre la cual se va a aplicar el concreto, que se pueden resumir en agrietamientos y en desniveles producidos en el sitio donde se colocan las juntas. Es por ello que resulta reconfortante que cada vez tome mayor auge el uso del concreto de contracción compensada, el cual permite colocar pisos industriales en grandes áreas, de hasta 1,600 metros cuadrados, pero sin cortes.

Es común observar que una losa en bodegas o centros comerciales tiene cortes hechos con discos a una distancia de entre tres y cuatro metros, es decir, juntas que posteriormente reciben un tratamiento de sellado. La situación provoca que al cabo de los años las juntas se deterioren y se presenta el problema del despostillamiento en las orillas, lo que obliga a los propietarios del inmueble a demoler las losas o a intentar rescatar el piso con tratamientos que resultan muy caros.

Como se menciono anteriormente el concreto de contracción compensada es elaborado con el cemento tipo k, dicho cemento es una quema especial por lo cual el costo de su producción se eleva considerablemente.

Por tal motivo los especialistas han trabajado para obtener un producto que se mezcla con el concreto y que permite tener una expansión inicial en los primeros siete días, para luego contraerse durante la siguiente semana. Es en ese momento que se pierde la fisura y por ello los pisos no se cuartean, hay pocos pisos colocados en México con este producto y aún existe mucho desconocimiento acerca de él.

Todos los constructores quisieran tener losas sin cortes porque es lo más cómodo y significa un gran ahorro al no tener que gastar en los cortes. Sin embargo, hay muchos que desconocen esta tecnología y otros que no quieren pagar un poco más para asegurar resultados. Hay que saber que el concreto de contracción compensada tiene su grado de riesgo si no se coloca adecuadamente o no se utilizan los productos correctos. Sin embargo, se utilizará en forma masiva a nivel nacional en los próximos años, porque tiene grandes ventajas.

En Estados Unidos se trabaja con este tipo de pisos desde hace aproximadamente 10 años y el 90% de los especialistas utilizan esta tecnología.

## Datos Técnicos

### Concreto Fresco

- Revenimientos desde 10 cm (tiro directo) hasta 18 cm (bombeable)
- Reducción de sangrado
- Alta cohesividad

### Concreto Endurecido

- Similar al concreto convencional, el Concreto de Contracción Compensada ofrece resistencia a la compresión y a la flexión
- Después de la expansión máxima, las características de contracción por secado son similares a las de un concreto convencional
- Expansión restringida medida según ASTM C 878 desde 600 hasta 1,000 millonésimas<sup>1</sup>
- Deseable el curado inundado con agua.

---

<sup>1</sup> Las unidades son adimensionales pues la expansión es considerada una deformación.

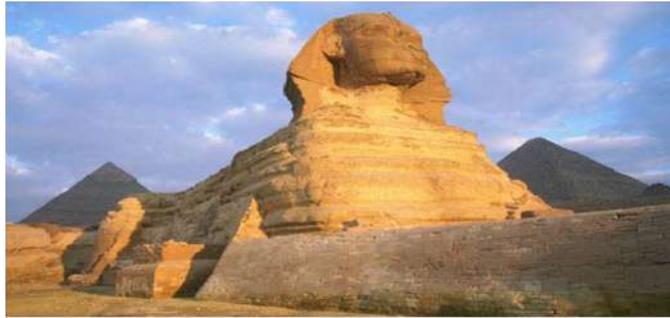
## CAPITULO II.- ANTECEDENTES

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.



Fotografía 1. Partenón en Atenas.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad. El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero (mezcla de arena con materia cementosa) para unir bloques y losas de piedra al hacer sus asombrosas construcciones. Los constructores Griegos y Romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los Romanos en un lugar llamado Pozzuoli nombre con el que aún actualmente lo conocemos como puzolana.



Fotografía 2. Esfinge de Gizeh.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, nos conducen a principios del siglo pasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo de nuestro tiempo.



Fotografía 3. Al centro cemento adicionado rodeado por (derecha y en el sentido del reloj) clinker, yeso, cemento portland, ceniza volante, escoria, humo de sílice y arcilla calcinada.

Los usos industriales de la cal han proporcionado importantes contratos para los químicos e ingenieros desde años atrás cuando la cal y los cementos naturales fueron introducidos. En la actualidad solo se necesita mencionar las paredes y las vigas de concreto reforzado, túneles, diques y carreteras para imaginar la dependencia de la civilización actual con estos productos. La conveniencia, precio accesible, adaptabilidad, resistencia y durabilidad de ambos productos han sido fundamentales para estas aplicaciones.

No obstante, de los modernos caminos de concreto y edificios alrededor de nosotros, es difícil imaginar el tremendo crecimiento de la industria del cemento durante el siglo pasado. El hombre tuvo que ir descubriendo ciertas rocas naturales, las cuales a través de una calcinación simple dan un producto que, al agregar agua, se endurece. El avance real no tomaba parte todavía en los estudios fisicoquímicos y de ingeniería química de poner las bases para las plantas modernas y eficientes que trabajaran bajo condiciones controladas en una variedad de materiales crudos.

El cemento "Portland" tiene sus orígenes en la cal u óxido de calcio, a partir del cual y luego de cientos de años de estudios empíricos y científicos, se llega a lo que hoy se conoce como cemento. A través de la historia de los pueblos Egipcios, Griegos y Romanos, se utilizó la cal como ligante en sus construcciones. En la América Prehispánica los Aztecas la emplearon también en la fabricación de tabiques y techos armados construidos bajo el río Támesis en Londres. David Saylor, un técnico norteamericano, fue el primero en fabricar cemento en América, así nació en 1850 la industria cementera en Norteamérica con caña y bambú. En 1824, un albañil Inglés llamado Joseph Aspdin, patentó un producto que él llamó cemento Portland, pues al endurecerse adquiriría un color semejante al de una piedra de la isla Portland en Inglaterra. En 1838, este cemento se utilizó por primera vez en una construcción de importancia en uno de los túneles construidos bajo el río Támesis en Londres. David Saylor, un técnico norteamericano, fue el primero en fabricar cemento

en América, así nació en 1850 la industria cementera en Norteamérica. El uso del cemento Portland continuó extendiéndose hasta convertirse en el material de construcción más utilizado en el mundo.

Algunos acontecimientos importantes referentes al descubrimiento y comercialización del cemento:

1824: - James Parker, Joseph Aspdin patentan al Cemento Portland, materia que obtuvieron de la calcinación de alta temperatura de una Caliza Arcillosa.



Fotografía 4. Fábrica para la elaboración de cemento.

1845: - Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno, quemado a alta temperatura, una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "clinker".

1868: - Se realiza el primer embarque de cemento Portland de Inglaterra a los E.U.

1871: - La compañía Coplay Cement produce el primer cemento Portland en los E.U.

1904: -La American Standard For Testing Materials (ASTM), publica por primera vez sus estándares de calidad para el cemento Portland.

1906: - En C.D. Hidalgo Nuevo León se instala la primera fabrica para la producción de cemento en México, con una capacidad de 20,000 toneladas por año.

1992: - CEMEX se considera como el cuarto productor de cemento a nivel mundial con una producción de 30.3 millones de toneladas por año.

El desarrollo de la tecnología del concreto de contracción compensada tiene su origen en la más simple de las necesidades de cualquier cliente; tener un piso sin agrietamientos y fisuras. Todo concreto se contrae por lo tanto esta propenso a agrietarse. La mayor parte de la contracción se observa en los primeros 90 días. El comportamiento de un piso de concreto ante la contracción, depende de las restricciones que se la ha impuesto al mismo, siendo el agrietamiento y el alabeo, los efectos más indeseables.

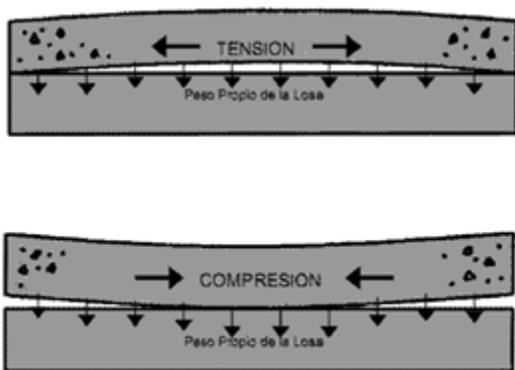


Imagen 1. Alabeo diurno y alabeo nocturno (de arriba hacia abajo).

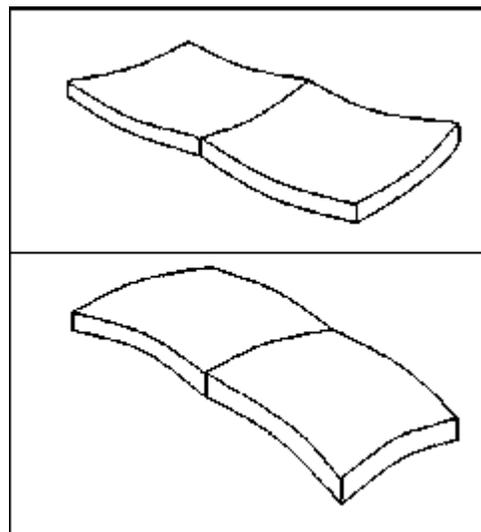


Imagen 2. Losas cóncavas hacia arriba y losas cóncavas hacia abajo.

Una vez colocado y endurecido, el concreto es un material relativamente frágil que se contrae con el tiempo, produciéndose entonces agrietamiento, si el concreto está restringido al movimiento. Estudios han demostrado que la pérdida temprana de la humedad en el concreto fresco puede producir grandes esfuerzos de tensión que a edades tempranas, traerían consigo la contracción y el agrietamiento. Por su parte, el estudio de la contracción a largo plazo ha llevado a límites cada vez más estrictos como la contracción por secado del concreto a los 56 días, con el fin de controlar el desarrollo de grietas. Estas especificaciones tienen poco impacto en la contracción a

edad temprana y las correspondientes grietas que pueden aparecer pasados uno o dos días de colocado el concreto.

Este agrietamiento es, a menudo, erróneamente diagnosticado como resultado de la contracción por secado a una edad más tardía. Sin embargo mediante la adopción de buenas prácticas de sitio (buena compactación y control de la pérdida de humedad), es posible prevenir los efectos adversos de la contracción a edad temprana.

Tomando en consideración algunos antecedentes sobre estos ensayos, así como los fundamentos en el mecanismo de influencia de la contracción a edad temprana en el agrietamiento, en esta tesis se proporcionaran recomendaciones para minimizar y por consiguiente reducir las grietas resultantes.

Movimiento temprano en concretos: Casi tan pronto como se añade el agua a la mezcla, se inicia una reacción química entre el agua y el cemento (hidratación), cuyos efectos son poco evidentes en las primeras horas. Se conoce, y está muy bien documentado, el impacto que esta reacción dependiente del tiempo, tiene sobre la colocación, endurecimiento y desarrollo de resistencia en el concreto; sin embargo la contracción que se produce en estas primeras horas no ha sido adecuadamente reconocida. Algunas investigaciones, han demostrado que la contracción a edad temprana puede desarrollar esfuerzos en el concreto de magnitud similar a los resultantes de la contracción por secado. Estos se desarrollan en un momento en que el concreto tiene muy baja resistencia a tensión, y por tanto es muy probable el agrietamiento.

El concreto mantiene propiedades de semifluido por unas pocas horas. Las reacciones de hidratación son muy lentas en las primeras 3 a 4 horas de vida, pero se acelerarán en las próximas 8 a 12 horas, cuando el concreto cambie de su estado semifluido a uno más rígido, con posibilidades de agrietarse. Los períodos definidos anteriormente dependen de muchas variables, entre las que se encuentran: las adiciones en el concreto, las proporciones de la mezcla y las condiciones meteorológicas.



Fotografía 5. Acabado de piso industrial.

En el concreto recién consolidado, el agua en los espacios entre el cemento y las partículas de agregado ejerce una presión positiva en la mezcla. A medida que la capa superficial se seca, esta situación va cambiando y el concreto pasa de un estado de saturación a un estado parcialmente saturado. Esto hace que la tensión capilar en el agua intersticial cree una succión que atrae a las partículas sólidas más cercanas. Cuando el concreto se restringe, ante esta contracción se desarrollan esfuerzos en las resistencias a tensión del concreto, inevitablemente se producen grietas. La diferencia en los niveles de saturación a lo largo de la profundidad del

concreto provee la restricción interna causante de que se desarrollen estos esfuerzos en la superficie.

Este mecanismo de restricción interna, complementado por las restricciones externas que proporcionan la cimbra, la fricción interna y la geometría del elemento; puede dar lugar al agrietamiento a edades tempranas. Estas grietas por contracción pueden hacerse evidentes de manera inmediata o posteriormente.

| Tiempo       | Concreto Convencional  | Concreto de Contracción Compensada   |
|--------------|--|--|
| 1 a 7 días   | Empieza la contracción por secado formándose grietas por debajo de los cortes para juntas (a aproximadamente cada 4m de longitud)  | Al comienzo, el concreto de este tipo se expande en una cantidad ligeramente superior al potencial de contracción por secado en un concreto convencional |
| 30 a 90 días | Continúa aumentando la contracción por secado. Los cortes de las juntas se abren más (de 3mm al comienzo hasta 6 a 10 mm). Empieza a presentarse el fenómeno del alabeo del piso | El piso presenta contracción por secado, pero debido a la expansión inicial, no evidencia grietas ni alabeo. No se necesita de cortes para juntas        |

Tabla 1. Comparación respecto a la contracción por secado.

Para lograr las características necesarias de un concreto de contracción compensada se emplea un componente que contiene etringita, que es la que causa la expansión en el concreto. El hecho de que exista una expansión durante 7 días y una contracción en los otros 7 días posteriores, se logra una compensación, con lo que se omiten las fisuras en el concreto.

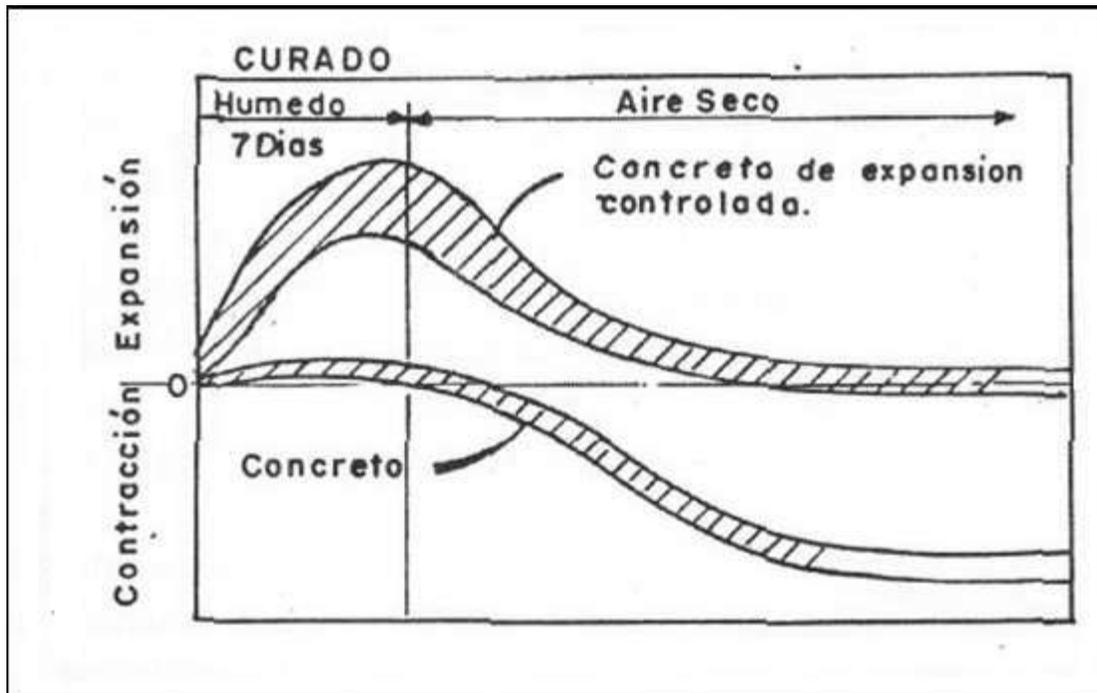


Imagen 3. Deformaciones del concreto.

## II.1 EL CEMENTO EXPANSIVO

El código del ACI ha incorporado, en 1995, a los cementos expansivos empleados para la producción de concretos denominados de contracción compensada. Este cemento fue inicialmente normalizado por el ASTM en 1976 dentro de la denominación C-845-90, revisada posteriormente en 1990 y 1996. Los cementos expansivos tienen un proceso de expansión controlado después del fraguado y en los primeros momentos del endurecimiento.

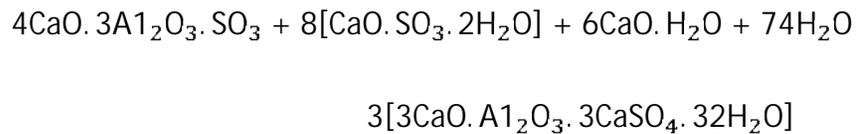
Este cemento fue utilizado inicialmente en reparaciones de obras, cimentación de máquinas, unión de elementos prefabricados, etc. En la actualidad, se le da carácter estructural. En la normalización del ASTM se consideran los siguientes tipos:

Tipo K.- Contiene sulfato aluminato cálcico anhídrido ( $4 CaO \cdot 3Al_2 O_3 \cdot SO_3$ ), sulfato de calcio y óxido de calcio no combinado.

Tipo M.- Contiene aluminato de calcio y sulfato de calcio.

Tipo S.- Contiene aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y sulfato de calcio.

Las reacciones de hidratación del cemento tipo K son:



De los tres, el tipo K es el más usado y corresponde a una patente registrada por Klein en 1961. Se fabrica en molienda conjunta del clinker normal y un clinker expansivo producido a temperatura de 1350 °C. El contenido en sulfato es tal, que el clinker, tiene entre 10% a 50% de  $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot SO_4Ca$ ; además de sulfato de calcio anhídrido  $SO_4Ca$ .

En algunos países, los requerimientos de la construcción para concretos de contracción compensada son ocasionales y de reducida magnitud, habiendo tenido como solución la incorporación de aditivos que provocan la expansión en estado plástico y endurecido, en base a sulfoaluminato cálcico y alternativamente según el caso; adiciones que provocan únicamente la expansión en estado endurecido, compuestos de polvo de fierro y elementos químicos que producen su oxidación en ambiente húmedo.

## II.2 NUEVOS DESARROLLOS

Entre los nuevos desarrollos de la tecnología del concreto se encuentran las aplicaciones de los aditivos expansores utilizados para compensar la contracción que se produce por efecto del fraguado y endurecimiento del cemento Portland en morteros y concretos.

### II.2.1 TIPOS DE ADITIVOS EXPANSIVOS (Dry@D1)<sup>2</sup>

Tipo M: Su acción expansiva prevalece durante la fase plástica previa para alcanzar el endurecimiento. Para aplicación en mezclas de morteros cementicios se recomienda adicionar del 0,5 al 1% en peso del total de sólidos de la mezcla.

Tipo C: Su acción expansiva prevalece durante la fase de endurecimiento del concreto. Particularmente se usa para compensar el efecto del secado por la pérdida de humedad e inducir a un estado de precompresión en el concreto armado.

#### II.2.1.1 CAMPO DE APLICACIÓN

El aditivo expansivo para morteros se recomienda en el sector de los premezclados, para la fabricación de morteros de contracción compensada como micropisos, recubrimientos premezclados, morteros autonivelantes empleados en la terminación de obra, en el campo de la restauración o en trabajos de precisión. Por su parte, el aditivo expansivo para concretos se emplea para reducir o anular la contracción natural del concreto, compensando la fisuración e incrementando la impermeabilidad y, por lo tanto, la durabilidad de los productos elaborados sometidos a condiciones ambientales con agresiones fisicoquímicas.

---

<sup>2</sup> Nombre comercial de uno de los aditivos expansivos más usados.



Fotografía 6. Piso elaborado con Dry@D1.

Se puede usar en estructuras de concreto armado y pretensado como vigas, tejados, arcos, recubrimientos de túneles, puentes, cúpulas; pisos para cámaras frigoríficas e industriales, así como en estructuras delgadas. También en trabajos de hidráulica, como son: tanques para plantas de depuración, galerías subterráneas, canalizaciones y depósitos para líquidos; estructuras portuarias en ambiente marino, muelles y bloques rompeolas; e inyecciones de sellado hermético. En premoldeados como: durmientes para ferrocarril, vigas precomprimidas, paneles prefabricadas, postes y ductos. En refuerzo de estructuras, como pueden ser el mantenimiento extraordinario de estructuras en concreto armado y también bajo cargas; anclaje de máquinas y consolidación de rocas.

### II.2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El grado de expansión depende de la dosificación del agente expansivo, del tipo y la cantidad de cemento, de la relación agua/cemento y del tipo y la naturaleza del agregado. La expansión depende de la duración del mezclado de la temperatura, de la condición y de la duración del tiempo de maduración del concreto con el agente expansivo. Todos los factores que aceleran la velocidad de hidratación del cemento favorecen la expansión durante la fase plástica y, por lo tanto, reducen el grado de expansión durante la fase de endurecimiento. Un prolongado tiempo de mezclado eleva la temperatura, y la adopción de una excesiva relación agua/cemento ( $> 0.50$ ) reduce la cantidad de expansión. En aplicaciones donde se requiere una elevada precisión de las variaciones dimensionales y donde la dosificación incorrecta del aditivo expansivo compromete el buen resultado de la intervención (por ejemplo, en juntas de elementos prefabricados, anclajes de máquinas o acabados superficiales) es preferible usar un producto premezclado en seco con contracción compensada (con acción expansiva en la fase plástica y en la de endurecimiento).

El uso de aditivos expansores es una buena alternativa para cuando resulta complicado la obtención de cemento expansor, estos aditivos cumplen a la perfección con su función por tal motivo también pueden ser usados; pero al igual que el cemento K se deben tener los cuidados necesarios en el proceso de dosificación, producción, colocación, terminado y curado.

## CAPITULO III.-TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada y pedrejón<sup>3</sup>), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua.



Fotografía 7. Componentes básicos del concreto: cemento, agua, agregado grueso, agregado fino.

Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm ( $3/8$  pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm ( $3/4$  pulg. o 1 pulg.). Un agregado de tamaño intermedio, cerca de 9.5 mm ( $3/8$  pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado. La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). El volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El

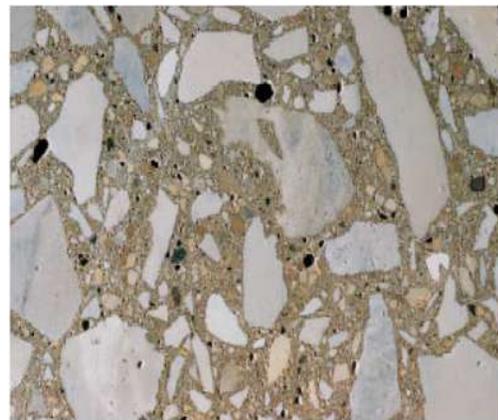
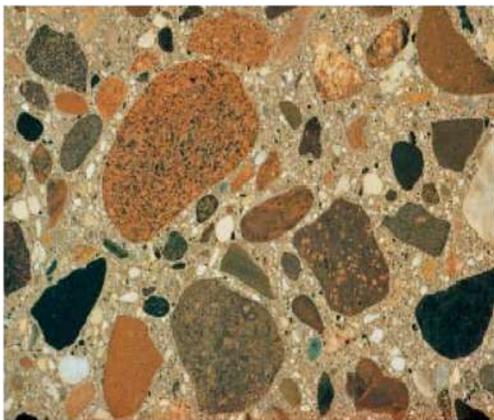
---

<sup>3</sup> Piedra grande suelta.

contenido de aire atrapado varía del 1% al 3% del volumen así mismo el aire incluido está entre el 4% y el 8%.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta.



Fotografías 8 y 9. Corte de concreto endurecido, hecho con material redondeado (izquierda) y con material triturado (derecha).

Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento, **a mayor cantidad de agua utilizada menor calidad de concreto.**

A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Aumento de la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Disminución de la permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la contracción y el agrietamiento.

Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto.

Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para (1) el ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento, (2) la reducción de la demanda de agua, (3) el aumento de la trabajabilidad (manejabilidad), (4) la inclusión intencional de aire y (5) el ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poco o ningún mantenimiento. Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se le puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones.

### III.1 CONCRETO RECIÉN MEZCLADO

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse (colocarse) en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de “plástico” (aquél que es flexible y capaz de ser moldeado de la misma manera que un terrón de arcilla para moldear). En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y las partículas de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no llegan a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. Durante la colocación, el concreto de consistencia plástica no se desmorona, más bien fluye lentamente sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables (pero jamás demasiado fluidas) para tener facilidad en su colocación.

Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación. Como una mezcla plástica es apropiada para la mayoría de las obras en concreto, se pueden usar los aditivos plastificantes (fluidificantes) para que el concreto fluya más fácilmente en elementos delgados y fuertemente reforzados.

### III.1.1 MEZCLADO

Anteriormente se mencionaron e ilustraron por separado en la Fotografía 7. Los componentes básicos del concreto, para asegurarse que esta combinación sea homogénea se requiere de esfuerzo y cuidado. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto terminado. La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad.

Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución (rotación). El volumen del concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las aspas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Las mezcladoras aprobadas, correctamente operadas y conservadas garantizan un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de la acción del rolado, plegado y mezclado (amasado) del volumen del concreto sobre si mismo mientras que el concreto se mezcla.

### III.1.2 TRABAJABILIDAD

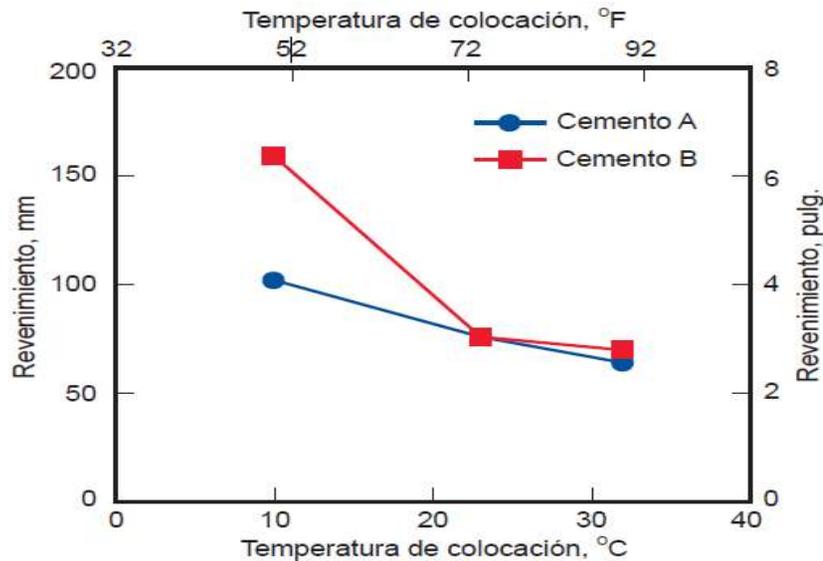
La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo.



Fotografía 10 y 11. A la derecha se puede apreciar un concreto trabajable pues desciende con facilidad del canalón y no se segrega al caer; en cambio a la izquierda se observa segregación del concreto.

El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad. Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes; (3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos.

La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad. La Gráfica 1 enseña el efecto de la temperatura de colocación sobre la consistencia o revenimiento (asentamiento en cono de abrams) y sobre la trabajabilidad potencial de las mezclas.



Gráfica 1. Efecto de la temperatura de colocación en el revenimiento de dos concretos confeccionados con dos cementos diferentes.

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El revenimiento (asentamiento en cono de abrams) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto.

Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla.

Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

### III.1.3 SANGRADO Y ASENTAMIENTO

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie (Fotografía 12). El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por contracción (retracción) plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede generar una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie.



Fotografía 12. Agua de sangrado en la superficie de concreto recién colado en una losa.

Después que toda el agua de sangrado se evapore, la superficie endurecida va a quedar un poco más baja que la superficie recién colocada. Esta disminución de la altura desde el momento de la colocación (puesta, colado) hasta el inicio del fraguado se llama contracción (retracción) por sedimentación. La tasa de sangrado y la capacidad de sangrado (sedimentación total por unidad de peso del concreto original) aumentan con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión. El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reducen el sangrado.

El concreto usado para rellenar vacíos, proporcionar soporte o proporcionar impermeabilidad con una buena adhesión debe presentar bajo sangrado para evitar formación de bolsas de agua.

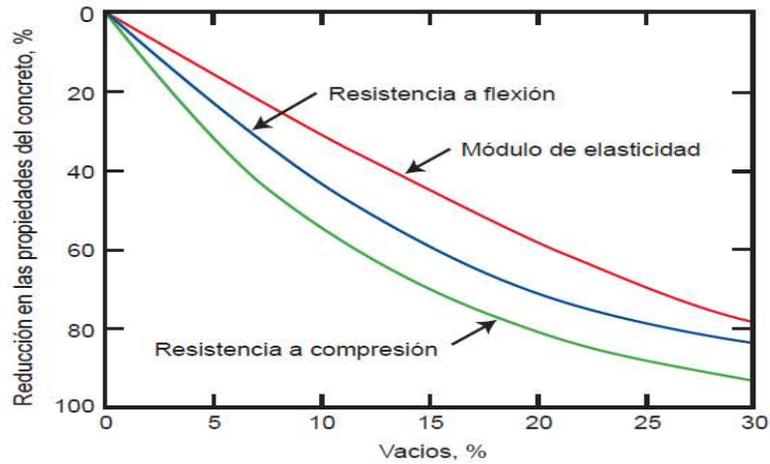
### III.2 CONSOLIDACIÓN

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse (Fotografía 13, izquierda). La buena consolidación del agregado grueso, así como la utilización de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía.

Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil (Gráfica 2) con poca durabilidad (Fotografía 14, derecha).



Fotografía 13 y 14. Buena consolidación (izquierda) necesaria para lograr un concreto denso y durable. Mala consolidación (derecha) genera corrosión temprana en la armadura y baja resistencia.



Gráfica 2. Efecto de los vacíos, resultantes de la carencia de consolidación, sobre el módulo de elasticidad, resistencia a compresión y resistencia a flexión del concreto.

La vibración mecánica tiene muchas ventajas. Los vibradores permiten una colocación económicamente viable de mezclas que no se pueden consolidar manualmente bajo muchas condiciones. Por ejemplo, la Fotografía 15 presenta un concreto con consistencia rígida (bajo revenimiento). Este concreto se vibró mecánicamente en las cimbras, conteniendo armadura (refuerzo) poco espaciada. Para una consolidación con varilla manual, sería necesaria una consistencia bastante más húmeda.



Fotografía 15. Concreto con consistencia rígida.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas demasiado. Solo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

### III.3 HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO

La calidad de unión (adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico). Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación. Cada tipo de cemento portland contiene los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando se examina el clínker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento portland) al microscopio, la mayoría de sus compuestos individuales se puede identificar y sus cantidades se pueden determinar. Sin embargo, los granos más pequeños no se pueden detectar visualmente. El promedio del diámetro de las partículas de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros. Si todas las partículas tuviesen este diámetro promedio, el cemento portland contendría aproximadamente 300 billones de partículas por kilogramo, pero en realidad, existen unos 16,000 billones de partículas por kilogramo, debido a la amplia variación del tamaño de las partículas. Las partículas en un kilogramo de cemento portland tienen un área superficial de aproximadamente 400 metros cuadrados. Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen 75% del peso del

cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio).

Este último es, sin duda, el más importante compuesto del concreto. Las propiedades de ingeniería del concreto (fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional) dependen principalmente del silicato de calcio hidratado. Éste es el corazón del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es un tanto variable, pero contiene cal ( $CaO$ ) y dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) en una proporción de 3 a 2. El área superficial del silicato de calcio hidratado es unos 300 metros cuadrados por gramo. En pastas endurecidas de cemento, el silicato de calcio hidratado forma un vínculo denso entre las otras fases cristalinas y los granos de cemento aún no hidratados; también se adhiere a los granos de arena y a los agregados gruesos, cementándolo todo junto (Copeland y Schulz, 1962). Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos.

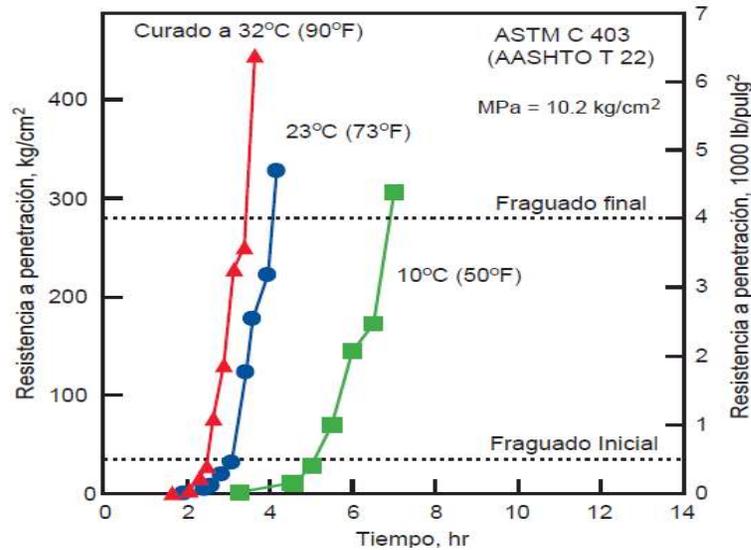
Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquella estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable. Incluso, la cantidad de agua usada es normalmente mayor que la necesaria para la hidratación completa del cemento. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento (Powers 1948 y 1949). Sin embargo, la hidratación completa es rara en los concretos de las obras, debido a

una falta de humedad y al largo periodo de tiempo (décadas) que se requiere para obtener la hidratación total.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado por la hidratación del cemento puede ser útil para el planeamiento de la construcción. En invierno, el calor de hidratación va a ayudar a proteger el concreto contra los daños causados por las temperaturas muy bajas. Sin embargo, el calor puede ser perjudicial, como por ejemplo en estructuras masivas, tales como las presas, pues puede producir temperaturas diferenciales indeseables.

El conocimiento de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua es importante porque determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Una vez que el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido.

El yeso, que se añade en el molino de cemento cuando al molerse el clínker, actúa como un regulador del fraguado inicial del cemento portland. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la tasa (velocidad) de hidratación. La Gráfica 3 muestra las propiedades de fraguado de mezclas de concreto en diferentes temperaturas.



Gráfica 3. Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla de concreto en diferentes temperaturas (Burg 1996).

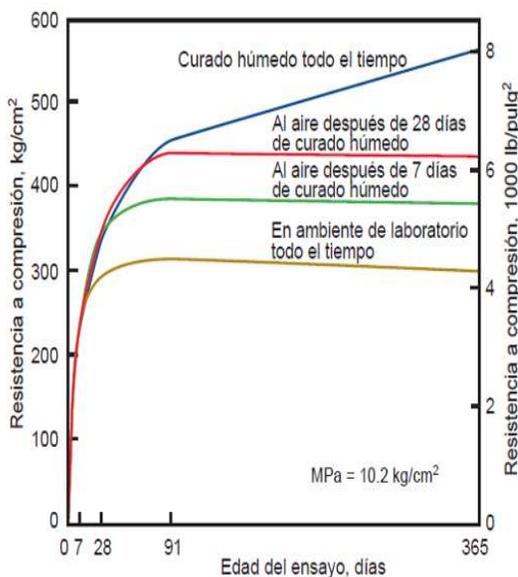
El cemento Portland tipo 1 un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

### III.4 CONCRETO ENDURECIDO

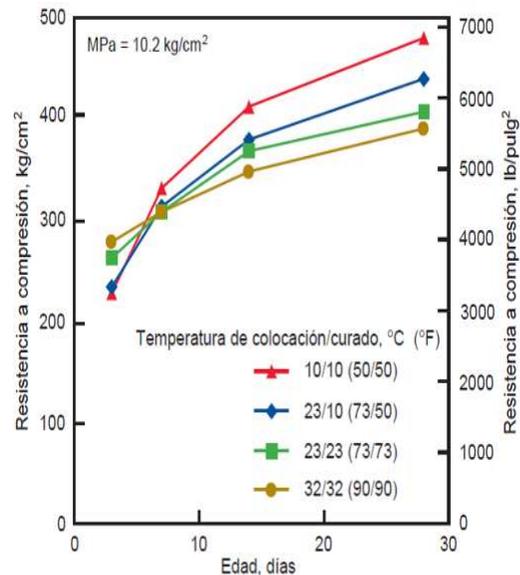
#### III.4.1 CURADO

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que (1) el cemento no hidratado aún esté presente, (2) el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80% (Powers 1948), (3) la temperatura del concreto permanezca favorable y (4) haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación.

Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80% o la temperatura del concreto baja para menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen. La Gráfica 4 enseña la relación entre incremento de resistencia y curado húmedo, mientras que la Gráfica 5 muestra la relación entre el aumento de resistencia y la temperatura del curado. La resistencia del concreto aumenta con la edad, desde que haya adecuada humedad y temperatura favorable para la hidratación del cemento (Gonnerman y Shuman 1928).



Gráfica 4. Resistencia y curado húmedo.

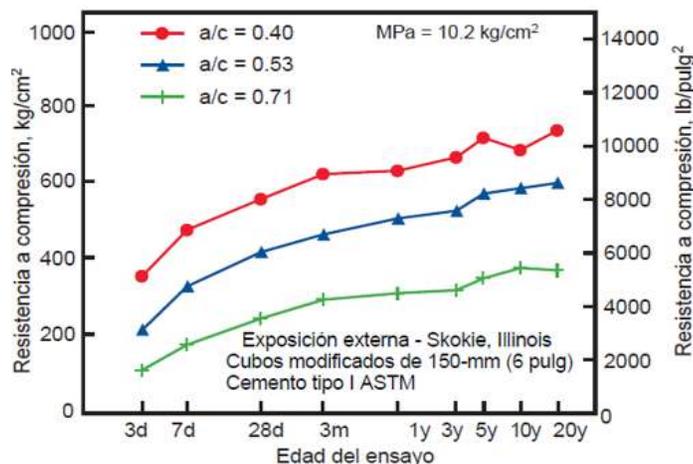


Gráfica 5. Resistencia y temperatura de curado.

En la Gráfica 5 podemos ver el efecto de la temperatura de colocación y de curado sobre el desarrollo de la resistencia. Observe que las temperaturas más frías resultan en resistencias tempranas menores y resistencias mayores a altas edades.

Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (deseccación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo. La Gráfica 6 ilustra el aumento de resistencia de un concreto expuesto al aire libre por un periodo largo de tiempo.

La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia. Los concretos en ambientes internos normalmente secan completamente después del curado y no continúan desarrollando resistencia (Gráfica 4).



Gráfica 6. Resistencia de un concreto expuesto al aire libre.

En la figura anterior se puede observar el desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo de tiempo de exposición al aire libre, se observa que el concreto continúa desarrollando resistencia por muchos años siempre que la humedad sea aportada por la lluvia u otras fuentes medioambientales (Wood 1992).

### III.4.2 VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables.

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como se mencionó, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba del 80%.

Un buen ejemplo de esto es la superficie de los pisos en concreto que no tuvo suficiente curado húmedo. Como se ha secado rápidamente, el concreto en la superficie es débil y el tráfico sobre él crea polvo. Así también, al secarse, el concreto se retrae por la pérdida de agua, de la misma manera que ocurre con la madera y la arcilla (pero no tanto). La contracción por secado es la principal causa de fisuración y

el ancho de las fisuras es función del grado de desecación, espaciamiento y frecuencia de las fisuras y edad de la aparición de las fisuras.

Mientras que la superficie del elemento de concreto se seca rápidamente, mucho más tiempo es necesario para el secado de su interior. La cantidad de humedad en el concreto depende de sus componentes, cantidad original de agua, condiciones de secado y el tamaño del miembro de concreto (Hedenblad 1997 y 1998). Después de varios meses de secado al aire con humedad relativa del 50% al 90%, la cantidad de humedad es cerca del 1% al 2% del peso del concreto.

El tamaño y la forma de los miembros de concreto desempeñan un papel importante en la velocidad de secado. Los elementos con área superficial grande con relación a su volumen (como en los pisos) se secan mucho más rápidamente que los miembros con gran volumen de concreto y relativamente pequeñas áreas superficiales (como en los estribos de los puentes). Muchas otras propiedades del concreto endurecido también son afectadas por la cantidad de humedad, tales como elasticidad, fluencia (flujo plástico), valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia a abrasión, conductividad eléctrica, resistencia al congelamiento (congelación), resistencia al descascaramiento (astilladura, despostilladura) y resistencia a reactividad álcali-agregado.

Nota: Una de las causas del deterioro del concreto, que ha sido objeto de más estudios en los treinta últimos años es la denominada reacción álcali-agregado, que se origina entre determinados agregados activos y los óxidos de sodio y potasio del cemento. La reacción se inicia en la superficie del agregado y se produce en la interfase con la pasta de cementos formando un gel que toma agua y se dilata creando presiones internas que llevan a la rotura del material.

### III.5 RESISTENCIA

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ), megapascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas ( $\text{lb/pulg}^2$  o  $\text{psi}$ ) a una edad de 28 días. Un megapascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado ( $\text{N/mm}^2$ ) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo  $f'_c$ <sup>4</sup> y la resistencia a compresión real del concreto  $f'_{cr}$ <sup>5</sup> debe excederla.

La resistencia a compresión que el concreto logra,  $f'_{cr}$ , es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto. La correspondencia entre resistencia y la relación agua-cemento ha sido estudiada desde el final del siglo XIX y principio del siglo XX (Ferret 1897 y Abrams 1918). Las resistencias aumentan con la disminución de la relación agua-cemento. Estos factores también afectan la resistencia a flexión y la adherencia entre concreto y acero.

Para una cierta trabajabilidad y un contenido de cemento, el concreto con aire incluido (incorporado) requiere menos agua de mezclado que un concreto sin aire incluido. La posibilidad de empleo de relaciones agua-cemento menores en el

---

<sup>4</sup>  $f'_c$  especificado por el cliente.

<sup>5</sup>  $f'_{cr}$  requerido para tener un margen mayor al solicitado por el cliente.

concreto con aire incluido compensa las resistencias menores en estos concretos, especialmente en mezclas pobres o con medio contenido de cemento.

La determinación de la resistencia a compresión se obtiene a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero. En los EE.UU., a menos que sea especificado de manera diferente, los ensayos en mortero se hacen en cubos de 50 mm (2 pulg.), mientras que los ensayos en concreto se realizan en cilindros de 150 mm (6 pulg.) de diámetro y 300 mm (12 pulg.) de altura (Fotografía 16). Cilindros menores 100 x 200 mm (4 x 8 pulg.) también se pueden usar para el concreto.

La resistencia a compresión es una propiedad principalmente física y frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras. Los concretos para uso general tienen una resistencia a compresión entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup> o 20 y 40 MPa (3000 y 6000 lb/pulg<sup>2</sup>). Concretos con resistencias a compresión de 700 y 1400 kg/cm<sup>2</sup> ó 70 a 140 MPa (10,000 a 20,000 lb/pulg<sup>2</sup>) han sido empleados en puentes especiales y edificios altos.



Fotografía 16. Ensayo a compresión de cilindro de concreto.

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. La resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascales ó de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados (7.5 a 10 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgadas cuadradas).

Wood (1992) presenta la relación entre resistencia a flexión y resistencia a compresión para concretos expuestos a curado húmedo, curado al aire y exposición al aire libre.



Fotografía 17. Ensayo a flexión de viga de concreto (carga aplicada en los puntos tercios).

### III.6 MASA VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA, DENSIDAD)

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene masa volumétrica (masa unitaria, densidad) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup> (137 hasta 150 libras/piés<sup>3</sup>). La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento.

Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la masa volumétrica. En el diseño del concreto armado (reforzado), la masa volumétrica de la combinación del concreto con la armadura (refuerzo) normalmente se considera 2400 kg/m<sup>3</sup> (150 libras/pie<sup>3</sup>).

El peso del concreto seco es igual al peso de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable. Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento.

Además, parte del agua permanece fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales. La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50% es cerca del 1/2% al 3% del peso del concreto; la cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto. Aparte del concreto convencional, hay una gran cantidad de concretos especiales para atender a las más variadas necesidades, los cuales varían de concretos aislantes ligeros (livianos) con

masa volumétrica de 240 kg/m<sup>3</sup> (15 libras por yarda cúbica) hasta los concretos pesados con masas volumétricas de 6000 kg/m<sup>3</sup> (375 libras por yardas cúbicas), usados como contrapesos o blindajes contra radiación.

### III.7 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto necesita tener alta resistencia a abrasión. Los resultados de los ensayos (pruebas) indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto.

Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a la abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua-cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a la abrasión. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a abrasión. Un agregado duro es más resistente a abrasión que un agregado más blando y una superficie acabada con llana de metal resiste mejor al desgaste que una superficie que no ha sido alisada.

### III.8 ESTABILIDAD DE VOLUMEN Y CONTROL DE FISURACIÓN (AGRIETAMIENTO)

El concreto endurecido cambia de volumen con los cambios de temperatura, humedad y tensiones. Este cambio de volumen o de longitud puede variar del 0.01% al 0.08%. Los cambios de volumen por temperatura en el concreto endurecido son similares a los de acero. El concreto bajo tensión se deforma elásticamente. Si se

mantiene la tensión (esfuerzo), va a ocurrir una deformación adicional llamada fluencia (deformación diferida, flujo plástico). La tasa de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

El concreto mantenido continuamente húmedo se expande (dilata) ligeramente. Pero cuando se permite su secado, el concreto se retrae. El factor que más influye en la magnitud de la contracción (retracción) por secado es el contenido de agua en el concreto recién mezclado. La contracción por secado aumenta directamente con el aumento del contenido de agua.

La magnitud de la contracción también depende de muchos otros factores, tales como: (1) la cantidad de agregado usado; (2) propiedades del agregado; (3) el tamaño y la forma del miembro de concreto; (4) la humedad relativa y la temperatura del medio ambiente; (5) el método de curado; (6) el grado de hidratación y (7) el tiempo.

Las dos causas básicas de la fisuración en el concreto son: (1) las tensiones por la aplicación de carga y (2) las tensiones resultantes de la contracción por secado o cambios de la temperatura cuando el concreto tiene alguna restricción (coacción, sujeción, fijeza). La contracción por secado es una propiedad inherente del concreto y que no se puede evitar, pero se usa la armadura (refuerzo) adecuadamente posicionada para reducirse el largo de las grietas o entonces se usan juntas para predeterminar y controlar la localización de las fisuras. Las tensiones térmicas debidas a fluctuaciones de la temperatura del medio ambiente también causan agrietamiento, particularmente a edades tempranas. Las grietas (fisuras) por contracción en el concreto pueden ocurrir por la restricción.

Cuando la contracción por secado ocurre y no hay sujeción, el concreto no se fisura. La restricción se puede causar por varios factores. La contracción por secado es normalmente mayor cerca de la superficie del concreto; la humedad de las partes más internas restringe el concreto más cerca de la superficie, lo que causa agrietamiento. Otras fuentes de restricción son la armadura embebida en el concreto, las partes de la estructura interconectadas entre sí y la fricción de la subrasante en la cual el concreto es colocado.

### III.8.1 JUNTAS

Las juntas son el método más eficiente para el control de las fisuras. Si no se permite el movimiento del concreto (muros, losas, pavimentos) a través de juntas adecuadamente espaciadas para que la contracción por secado y la retracción por temperatura sean acomodadas, la formación de fisuras aleatorias va a ocurrir. Juntas de contracción (juntas de control de contracción) son ranuradas, formadas o serradas en los paseos (vías, calzadas, caminos, andenes, veredas), pavimentos, pisos y muros para que el agrietamiento ocurra en estas juntas y no de manera aleatoria. Las juntas de contracción permiten el movimiento en el plano de la losa o del muro. Estas juntas se extienden hasta una profundidad aproximada de  $1/4$  del espesor del concreto.

Juntas de aislamiento separan una parte del concreto de otras partes de la estructura y permiten movimientos horizontales y verticales. Estas juntas deben ser usadas en la unión de pisos con muros, columnas, bases y otros puntos donde pueda ocurrir restricción. Estas juntas se extienden por todo el espesor de la losa y deben incluir relleno premoldeado de junta. Las juntas de construcción ocurren donde se ha concluido la jornada de trabajo; estas juntas, separan áreas en el concreto, coladas en diferentes días.

En las losas sobre el terreno, las juntas de construcción normalmente se alinean con las juntas de aislamiento y tienen también esta función. Las juntas pueden necesitar de armadura (pasadores) para la transferencia de carga.

## CAPITULO IV.- CRITERIOS DE DISEÑO

Actualmente, el concreto es el elemento más usado en el ámbito mundial para la construcción, lo que conlleva a la evolución de las exigencias para cada uso del mencionado elemento. La demanda del concreto ha sido la base para la elaboración de los diferentes Diseños de Mezcla, ya que estos métodos permiten a los usuarios conocer no sólo las dosis precisas de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla. Los Métodos de Diseño de Mezcla están dirigidos a mejorar la resistencia, la calidad y la durabilidad de todos los usos que pueda tener el concreto.

En la actualidad los métodos más utilizados son los siguientes:

- 1.- Método de Diseño de Mezclas ACI (American Concrete Institute).
- 2.- Método de Diseño de Mezclas USBR (United States department of the interior Bureau of Reclamation).
- 3.- Método de Diseño de Mezclas Británico.
- 4.- Método de Diseño de Mezclas de acuerdo a las Normas de la India.

Dentro del método del ACI; que es el más utilizado en México, se conocen dos formas de diseño. El primer método se basa en el peso estimado de concreto por unidad de volumen y el otro método se basa en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto. El ejemplo que desarrollaré será sobre el primer método.

Cuando se tiene algún antecedente de algún diseño resulta más fácil el poder encontrar aquel que se adaptará a nuestro proyecto en específico; cabe mencionar que en cada proyecto debe hacerse un estudio minucioso de las características que requiere el cliente así como de la materia prima con que se cuenta en las cercanías, todo esto para garantizar un concreto no solo resistente y durable sino también lo más económicamente posible.

Por ejemplo puedes partir de un diseño de un MR anterior para correr tu primera prueba de laboratorio que servirá para observar apariencia del concreto con el fin de ver la trabajabilidad del mismo, y tener resultados a flexión y compresión a edades tempranas para saber si se alcanzaran los resultados esperados a la edad de garantía.

Además de estas pruebas básicas para un MR normal se tienen que hacer otras adicionales ya que recordemos que este concreto tiene la particularidad de expandirse para después contraerse. Así que para monitorear este efecto se hacen dos pruebas más: se llenan frascos de vidrio con concreto (para saber si está expandiendo en el tiempo adecuado) y se hacen unas barras pequeñas de concreto para poder medir dicha expansión.

La última prueba de laboratorio pero no menos importante, ya que es de suma importancia conocer este parámetro, son los tiempos de fraguado en específico es el tiempo de fraguado inicial y fraguado final pues esto determinará el lapso que tendrán los coladores para dar el terminado al concreto y si el concreto se endurece muy lento o muy rápidamente tendremos problemas de delaminaciones<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Área frágil de la superficie del concreto causada por un acabado prematuro, espesor aproximado de 3 mm.

## IV.1 CONSIDERACIONES MÍNIMAS DE DISEÑO

Un buen sistema de diseño, debe ser capaz de orientar la selección de los materiales disponibles y la proporción en que deben intervenir en la mezcla para obtener un concreto económico y que satisfaga los requisitos de un proyecto.

Para lo anterior, que nos debemos preguntar?

- 1.- ¿Qué agregados están disponibles en forma económica?
- 2.- ¿Qué propiedades debe tener el concreto?
- 3.- ¿Cuál es el medio para proporcionar las características deseables en forma económica?

## IV.2 REQUISITOS MÍNIMOS DE DISEÑO

Cuando se desea diseñar y producir un concreto, debemos pensar en satisfacer, por lo menos, cuatro requisitos:

Concretos de línea

- Resistencia y edad de garantía
- Revenimiento (Consistencia o fluidez)
- Tamaño máximo de agregado
- Rendimiento

Algunos otros requisitos que se requieren en concretos especiales son los siguientes:

## Concretos especiales

- Permeabilidad
- Relación agua/cemento
- Contracción por secado
- Peso volumétrico
- Etc.

### IV.2.1 RESISTENCIA

La resistencia nosotros debemos calcularla como a continuación se describe:

$$f'_{cr} = f'_c + t$$

$f'_{cr}$ : Resistencia requerida para un % de fallas.

$f'_c$ : Resistencia especificada por el cliente.

$t$ : Factor necesario para un porcentaje de fallas deseado.

$\sigma$ : Medida de la dispersión de los resultados de las pruebas.

$t = 1$  para concretos convencionales.

$t = 1.44$  para concretos estructurales.

$\sigma = 20-40$  para tener un buen control de resultados.

La eficiencia del cemento es la resistencia obtenida por cada kilo de cemento empleado, por lo tanto:

$$\text{Eficiencia} = \text{Resistencia obtenida (kg/cm}^2\text{)} / \text{Consumo de cemento (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Sobre-diseño} = \text{Resistencia obtenida} - f'_{cr} \text{ suficiente (kg/cm}^2\text{)}$$

La anterior fórmula nos indica que tenemos un sobre consumo de cemento por metro cúbico de concreto.

Si tenemos un sobre-diseño tendremos un sobre-consumo de cemento igual a:

$$\text{Sobre-consumo}^7 = \text{Sobre-diseño (kg/cm}^2\text{)} / \text{Eficiencia (kg/cm}^2 / \text{kg/m}^3\text{)}$$

#### IV.2.2 REVENIMIENTO

El revenimiento se elige por el constructor o a sugerencia del productor de concreto conforme al elemento que se vaya a colar; en algunos reportes se sugiere lo siguiente:

---

<sup>7</sup> El sobre-consumo son los kilos de cemento que se agregan de más por metro cubico de concreto kg/m3.

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN                    | REV. MAX. RECOMENDADO |
|---|-----------------------|
| Muros y zapatas, reforzados             | 75 mm                 |
| Zapatas, cajones estancos, sin refuerzo | 75 mm                 |
| Vigas y muros reforzados                | 100 mm                |
| Columnas                                | 100 mm                |
| Losas y pavimentos                      | 75 mm                 |

Tabla 2. Revenimientos recomendados para diferentes construcciones.

#### IV.2.3 T.M.N.A (Tamaño Máximo Nominal del Agregado)

El tamaño máximo del agregado se selecciona por las características del elemento estructural y con lo dispuesto en los reglamentos de construcciones de cada localidad.

El tamaño máximo no debe ser mayor de un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, ni de un tercio del espesor de las losas, ni de tres cuartos de la separación horizontal libre mínima entre barras, paquete de barras o tendones de pre-esfuerzo.

#### IV.2.4 RENDIMIENTO

El rendimiento del concreto es confirmar que un metro cúbico de concreto contiene 1000 litros, determinado de acuerdo a lo indicado en la NMX-C-162 en vigor, o conforme a lo convenido entre fabricante y usuario.

Los problemas de rendimiento son relativamente comunes y para evitarlos debemos:

- 1.- Verificar problemáticas del cliente en obra.
- 2.- Verificar resultados en pruebas de laboratorio.
- 3.- Verificar densidades.
- 4.- Verificar contenido de aire de la mezcla.
- 5.- Checar problemas operativos (pesaje incorrecto).

#### IV.3 EJEMPLO DE DISEÑO

Con el fin de ejemplificar, se diseñara un concreto para un piso industrial cuyas características y datos necesarios se dan a continuación:

Requisitos de proyecto:

$$MR = 32 \text{ kg/cm}^2$$

$$MRr = MR + DE = 34 \text{ Kg/cm}^2$$

$$T.M.A. = 40 \text{ mm}$$

$$32 + 2$$

$$\text{Revenimiento} = 10 \text{ cm}$$

Información de laboratorio:

$$\text{Granulometría de la arena y grava. M.F. arena} = 2.8 \quad 2.3 > 3.1$$

| Densidades: |      | Absorción: | Humedad: |
|-------------|------|------------|----------|
| Cemento     | 3.13 |            |          |
| Grava 20 mm | 2.40 | 4%         | 10%      |
| Grava 40 mm | 2.40 | 4%         | 12%      |
| Arena       | 2.38 | 7%         | 10%      |
| Agua        | 1.0  |            |          |

Masa volumétrica en estado seco y compactado de la grava 1400 kg/m<sup>3</sup>

#### IV.3.1 ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

Esto se puede hacer con el consumo actual de los concretos de 10 cm en la f'c equivalente o bien usando la tabla siguiente:

| Agua, kg/m <sup>3</sup> concreto para TMG, mm           |     |      |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Revenimiento, cm  | 9.5 | 12.5 | 19  | 25  | 38  | 50  | 75  | 150 |
| Concreto sin aire incluido                              |     |      |     |     |     |     |     |     |
| De 2.5 a 5.0  | 207 | 199  | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| De 7.5 a 10   | 228 | 216  | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| De 15 a 17.5  | 243 | 228  | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 |     |
| Cantidad aprox. Aire atrapado                           | 3   | 2.5  | 2   | 1.5 | 1   | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Concreto con aire incluido                              |     |      |     |     |     |     |     |     |
| De 2.5 a 5.0  | 181 | 175  | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| De 7.5 a 10   | 202 | 193  | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| De 15 a 17.5  | 216 | 205  | 197 | 174 | 174 | 166 | 154 |     |
| Promedio recomendado de aire por incluir por exposición |     |      |     |     |     |     |     |     |
| Exposición ligera                                       | 4.5 | 4.0  | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| Exposición moderada                                     | 6.0 | 5.5  | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 |
| Exposición severa                                       | 7.5 | 7.0  | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |

Tabla 3. Requisitos aproximados de agua, contenido de aire, revenimiento y T.M.A.

Por lo tanto el contenido de agua para nuestro caso es de 181 litros y el contenido de aire por incluir es de 2.5.

#### IV.3.2 CONTENIDO DE CEMENTO

Para determinar este valor, tomaré en cuenta la relación entre un MR y un  $f'c$ . Conociendo un valor aproximado será más fácil conocer un consumo aproximado de cemento. El modulo de ruptura es cerca del 10 al 20 % de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla.

Considerando un 10% tenemos que  $MR = 10\% f'c$ . Por lo tanto  $f'c = 10 * 32$

$f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$  para fines prácticos tomaremos  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ . De la siguiente tabla obtenemos una relación agua-cemento que nos servirá para conocer nuestro consumo de cemento del cual partiremos para nuestro diseño.

| f'cr<br>(28 días) | Relación agua-cemento de diseño en peso |                                   |
|-------------------|---|-----------------------------------|
|                   | Concretos sin<br>aire incorporado       | Concretos con<br>aire incorporado |
| 150               | 0.80                                    | 0.71                              |
| 200               | 0.70                                    | 0.61                              |
| 250               | 0.62                                    | 0.53                              |
| 300               | 0.55                                    | 0.46                              |
| 350               | 0.48                                    | 0.40                              |
| 400               | 0.43                                    | '''                               |
| 450               | 0.38                                    | '''                               |

Tabla 4. Relación agua-cemento por resistencia.

Cálculo del contenido de cemento:

Estimación de agua = 181 litros

Relación a/c = 0.55

Cemento =  $181/0.55 = 329 \text{ kg/m}^3$

#### IV.3.3 PORCENTAJE DE COMBINACIÓN ENTRE GRAVA DE 20 MM Y 40 MM

Para definir estos dos porcentajes de combinación la mejor recomendación es realizar una serie de pruebas variando los porcentajes de combinación entre grava de TMA de 40 mm y 20 mm entre 60-40, 50-50, 40-60, 30-70, 20-80.

Después de varias pruebas y en base a la experiencia los resultados nos indican que se obtiene mejores resultados con la combinación:

40% de grava de 40 mm y 60% de grava de 20 mm

#### IV.3.4 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GRAVA

La relación grava/arena en los pavimentos y pisos se recomienda estar entre 1.0 y 1.7. Según lo permita el proyecto en particular, cabe mencionar que entre mayor relación grava/arena se tenga mayores beneficios se obtendrán. A continuación se presenta una tabla usando las recomendaciones del ACI.

| Tamaño máximo nominal del agregado (mm) | Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena |      |      |      |
|---|--|------|------|------|
|   | 2.40   | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 10                                      | 0.50   | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5                                    | 0.59   | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 20                                      | 0.66   | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25                                      | 0.71   | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 40                                      | 0.76   | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 50                                      | 0.78   | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 70                                      | 0.81   | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 150                                     | 0.87   | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Tabla 5. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Estimación del contenido de agregado grueso:

Módulo de finura de la arena = 2.8

Volumen de agregado grueso = 0.72

Que por el valor de la masa volumétrica en estado seco y compactado =

$$0.72 * 1400 = 1008 \text{ kg/m}^3$$

#### IV.3.5 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO POR PESO

Agua 181 litros

Cemento 329 kg/m<sup>3</sup>

Grava 1008 kg/m<sup>3</sup>

SUMA 1518 kg/m<sup>3</sup>

Peso estimado o promedio del m<sup>3</sup> de concreto = 2350 kg/m<sup>3</sup>

Contenido de arena = 2350 – 1518 = 832 kg/ m<sup>3</sup>

#### IV.3.6 AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Grava 20:  $(605 * 0.10) - (605 * 0.04) = 35$  kg

Grava 40:  $(403 * 0.12) - (403 * 0.04) = 30$  kg

Arena :  $(832 * 0.10) - (832 * 0.07) = 25$  kg

Total de agua = 90 kg

Agua por corrección = 181 – 90 = 91 litros

#### **Pesos finales por m<sup>3</sup> de concreto con la corrección por humedad:**

Cemento = 329 kg

Agua = 91 lt

Grava 20 = 640 kg

Grava 40 = 433 kg

Arena = 857 kg

### IV.3.7 DOSIFICACIÓN DE ADITIVOS

El efecto de los aditivos inclusores de aire, aditivos reductores de agua, aditivos retardantes, y aditivos acelerantes puede ir en beneficio o en detrimento de la expansión del CCC<sup>8</sup>. En todos los casos, se deben realizar mezclas de prueba simulando las condiciones ambientales de la obra, debiendo evaluar la influencia de los aditivos en la expansión, demanda de agua, contenido de aire, consistencia, pérdida de revenimiento, sangrado, tiempos de fraguado, resistencia y contracción por secado.

De manera general se ha determinado lo siguiente:

Los aditivos inclusores de aire son efectivos para incrementar la resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo tanto para el CCC como para el concreto de cemento Portland. Algunos aditivos reductores de agua, acelerantes y retardantes, pueden ser incompatibles con el CCC debido a la aceleración en la reacción de la etringita, lo que trae como efecto un decremento en la expansión del concreto. El cloruro de calcio reduce la expansión e incrementa la contracción del concreto. La ceniza volante (fly ash)<sup>9</sup> y otras puzolanas pueden afectar las expansiones y también influir en el desarrollo de resistencia y otras propiedades físicas del concreto. La lista de aditivos permitidos para la fabricación del CCC, en tanto no se desarrolle más evidencia experimental para usar otros, es la siguiente:

---

<sup>8</sup> Concreto de Contracción Compensada.

<sup>9</sup> Residuo de la combustión de carbón, comprende las partículas finas que se elevan con los gases de combustión.

| Aditivo    | Dosificación<br>cc/kg-cem |
|------------|---------------------------|
| CMX N 02   | 4 – 6                     |
| CMX N/R 03 | 4 – 6                     |
| CMX R 10   | 4 – 6                     |

Tabla 6. Aditivos reductores de agua.

| Aditivo    | Dosificación<br>cc/kg-cem |
|------------|---------------------------|
| CMX HP 200 | 4 – 6                     |
| CMX HP 300 | 4 – 6                     |
| CMX HP 500 | 4 – 6                     |
| CMX HP 600 | 4 – 6                     |

Tabla 7. Aditivos reductores de agua de alto rango.

El uso de los aditivos reductores de agua de alto rango esta permitido única y exclusivamente cuando se requiera un revenimiento de 14 cm en el sitio de colocación y la demanda de agua en SSS<sup>10</sup> exija el empleo de más de 235 litros/m<sup>3</sup> (cuando el CCC se produzca con cemento tipo K) o de 180 litros/m<sup>3</sup> (cuando el CCC se produzca con cemento Portland más aditivo expansivo).

Otro producto comúnmente utilizado es el aditivo expansivo, Es un producto, generalmente en polvo, que genera expansión en el concreto reduciendo la contracción natural del concreto en su etapa de secado.

<sup>10</sup> Saturado Superficialmente Seco.

#### IV.3.8 ADITIVO DRY D1.

Este aditivo es usado en combinación con el cemento Portland, CPC<sup>11</sup> ó CPO<sup>12</sup>. La dosificación del DRY está entre el 8% y 9% del consumo de cemento. En estos porcentajes de aditivo el CCC alcanza o supera las 800 millonésimas a 7 días de curado. Este es el valor mínimo necesario para validar un CCC.

---

<sup>11</sup> Cemento Portland Compuesto.

<sup>12</sup> Cemento Portland Ordinario.

## CAPITULO V.- PROCESO CONSTRUCTIVO

Los pisos industriales, es decir, aquellos pisos ubicados en interiores están sometidos a cualquiera de las siguientes aplicaciones de carga:

- Cargas móviles (entre los que podemos citar vehículos pesados, montacargas y cualquier vehículo con ruedas en contacto con la superficie de la losa).
- Cargas puntuales a través de los soportes de maquinarias o estructuras de almacenamiento, como racks o anaqueles.
- Cargas uniformemente distribuidas, aplicadas directamente sobre la superficie de la losa de concreto.

Para asegurar que el piso industrial soporte exitosamente y sin asentamientos las cargas para las que fue diseñado, es de vital importancia diseñar y construir la subrasante y la base en preparación para recibir la losa de concreto. El material de base o sub- base, será un material granular de calidad controlada que puede proveer y añadir beneficios a la construcción y al desempeño del piso.

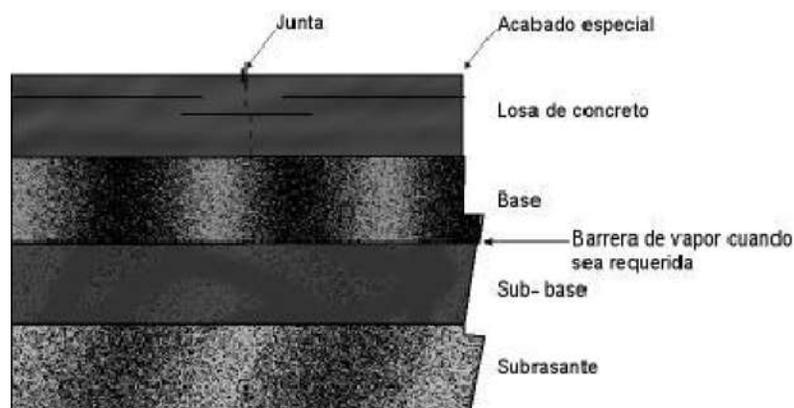


Imagen 4. Vista en sección que muestra la relación entre la subrasante, la base y la losa.

## V.1 HERRAMIENTAS

A continuación se muestran las herramientas que normalmente se utilizan al colar una losa de concreto y su uso.

Para distribuir el concreto se utilizan: palas que se recomiendan sean de forma cuadrada porque son mejores para mover el concreto, rastrillos para acomodar concretos muy rígidos y alisadoras o llanas.



Fotografía 18. Pala cuadrada.

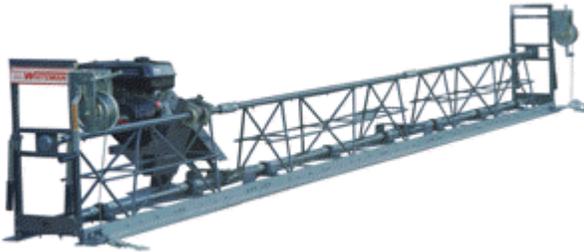
Fotografía 19. Rastrillo.

Fotografía 20. Alisador ó llana.

Para consolidar el concreto se utilizan vibradores que pueden ser de dos clases: internos o externos. Los externos son las denominadas reglas vibratorias que son operadas con motores eléctricos o de gasolina, que al mismo tiempo compactan el concreto y lo van dejando a nivel.

Los vibradores internos o de aguja, se insertan en el concreto fresco en forma vertical que es cuando alcanza su mayor efectividad.

Sin embargo, es frecuente, debido al pequeño espesor de la losa, se tenga que insertar en posición casi horizontal. Debe permanecer dentro del concreto hasta que se note la superficie lisa y brillante y retirarlo lentamente.



Fotografía 21. Regla vibratoria para concreto (vibrador externo).



Fotografía 22. Vibrador para concreto (vibrador interno).

Una regla que se puede seguir es dejar que el vibrador baje por si solo, manteniéndolo vertical, y luego retirarlo a la misma velocidad que entró. El operario puede ver el área de acción del vibrador, y para garantizar una eficiente consolidación estas áreas deben traslaparse. Cuando se utilizan vibradores internos debe cuidarse de no usarlos para mover el concreto o vibrarlo en exceso, ya que se produce segregación: los agregados se separan de la pasta de cemento.

Cuando se requiere una superficie muy plana es necesario utilizar una flota como la que se muestra en la siguiente fotografía, la cual recorta los puntos altos y rellena depresiones. Existen dos tipos de flota: de madera y de magnesio. Generalmente las de madera tienen un mayor efecto en la planitud del piso.



Fotografía 23. Flota de magnesio para acabado de concreto.

La llaneta es usada con el mismo propósito de la flota, pero se utiliza en zonas donde no es práctico usar la flota, en áreas muy congestionadas o en la orilla. Las flotas ó llanetas se usan para poner la superficie a nivel y preparar la losa para otras actividades de acabado final, que son necesarias en pisos industriales, como es el tratamiento superficial que compacta y alisa la superficie.



Fotografía 24. Llaneta de madera.



Fotografía 25. Llaneta de magnesio.

El alisado de un piso se puede hacer en forma manual o mecánica. La operación manual se realiza con llanetas de acero. El alisado nunca se debe hacer antes de haber terminado de nivelar la superficie del piso.

Estas llanetas dejan la superficie endurecida y compacta. El primer alisado es hecho con una llaneta grande, de manera que la fuerza de compactación se aplique sobre una gran área. Las siguientes llaneteadas se hacen con una más pequeña y un poco inclinada en la dirección que se trabaja para aumentar la presión en la llaneta.

El alisado mecánico se hace utilizando el helicóptero, el cual alisa y compacta el concreto con paletas metálicas que pueden tomar distintos grados de inclinación con respecto a la superficie del pavimento.



Fotografía 26. Alisador mecánico comúnmente llamado helicóptero.

## V.2 COLOCACIÓN Y TERMINADO DE UNA LOSA

Las losas sobre el suelo están soportadas por la subrasante y la sub-base. La subrasante, es el terreno natural nivelado y compactado, el cual deberá proveer un soporte uniforme. No debe tener partes duras ni partes suaves. Si la subrasante no es uniforme la losa se apoya únicamente en las partes duras y forma puentes sobre las partes suaves. Esto tiene como resultado que ocurran grietas y un inadecuado asentamiento. Si el terreno no es uniforme debe colocarse una capa adicional de lastre que es la sub-base. La sub-base normalmente es de por lo menos 10 cm. de espesor, de material granular o lastre estabilizado con cemento. Tanto la subrasante como la sub-base deben estar bien compactados.

El material orgánico del terreno debe ser completamente removido y llegar al suelo natural el cual debe compactarse en forma uniforme. Si el suelo es granular o arenoso, es factible que pueda soportar directamente la losa de concreto, una vez que este bien compactado.

En algunos proyectos se requiere colocar barreras de vapor, que generalmente son hojas de polypropileno. De no ser necesarias no deben utilizarse, ya que incrementan el curvado o alabeo de las losas y aumentan el riesgo de grietas plásticas. Las láminas deben traslaparse y sellarse y no tener huecos que permitan el paso de la humedad a la losa.

Antes de vaciar el concreto debe humedecerse la capa de base sobre la que se vaya a verter el concreto, teniendo el cuidado de no formar charcos.

### V.3 COMPACTACIÓN ALREDEDOR DE LOS POZOS DE REGISTRO Y ZANJAS DE TUBERÍAS

Las losas son a menudo construidas sobre zanjas de tuberías de agua, cloacas, o línea telefónicas, que se han abierto sobre la sub-base terminada. Estas zanjas deben rellenarse y compactarse en capas de 20 cm. para evitar posteriores rupturas y asentamientos en los pavimentos.

### V.4 TRAZO Y NIVELACIÓN

Los planos de la mayoría de los proyectos definen el trazo y los niveles de las losas. Este trazo y nivelación ya verificado servirá como alineamiento para la cimbra o formaleta y el pavimento. La imprecisión o la incorrecta ejecución de estos trabajos traerá como consecuencia que se produzcan ondulaciones, malos niveles y encharcamientos en tiempos de lluvia.

Después de que la subrasante y sub-base han sido preparadas, se colocan las formaletas a su correcto nivel. Antes de colocar el concreto se debe verificar las elevaciones de la sub-base, colocando una regla o una cuerda entre las formaletas, para verificar que el espesor este correcto. Elevaciones altas deben ser removidas y las depresiones deben ser rellenadas y compactadas de nuevo.

### V.5 COLOCACIÓN DE LAS FORMALETAS O CIMBRA

La práctica más común para construir pisos de concreto es hacerlo en franjas largas, iniciando la primera a la orilla de la pared y colocando la franja adyacente después que la primera ha endurecido o construyendo en franjas alternas. Con franjas adyacentes es más económico el uso de las formaletas porque se remueve y

se coloca en la franja contigua. Al construir con franjas alternas se utiliza más formaletas. Para lograr una superficie más pareja, un rendimiento más alto durante la construcción y menos problemas en las juntas, no se recomienda construir las losas como “tablero de ajedrez”.

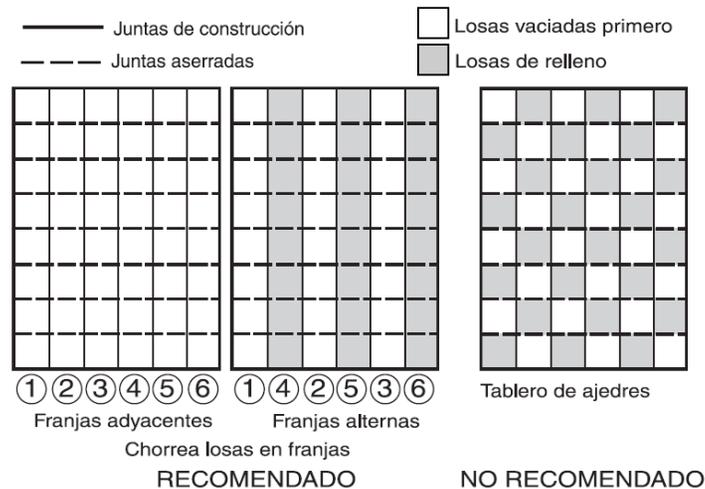


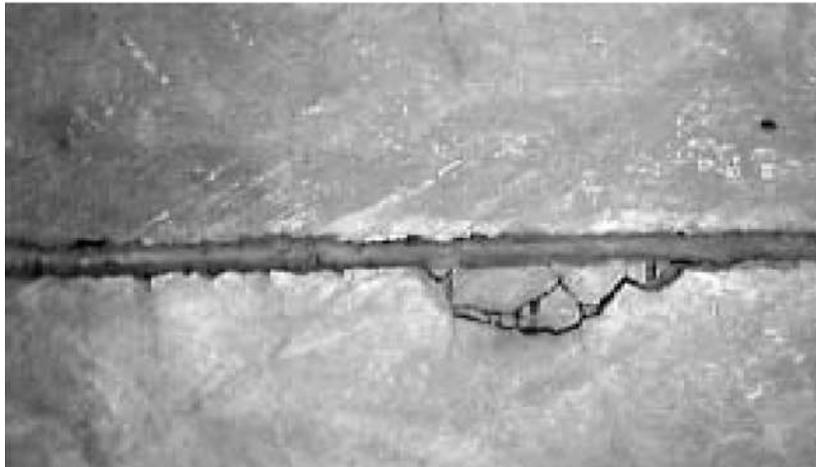
Imagen 5. Formas diferentes de colocar una losa.

La altura de las formaletas debe ser igual al espesor de la losa. Si se usan formaletas de madera su grosor deber ser, al menos, una tercera parte del espesor de la losa (para el caso de una losa de 15 cm, el espesor de la madera debe ser 5 cm).

Para apoyar y fijar las formaletas de madera se requieren colocar estacas de 45 cm de largo cada metro. Si se utilizan formaletas metálicas, estas pueden ser de perfil tubular o viga canal con las correspondientes estacas de acero.

Las formaletas de madera, a menos que hayan sido aceitadas o tratadas con algún agente desmoldante, deberán humedecerse antes del colado del concreto. Los desmoldantes más usados para las formaletas son: el diesel, aceite quemado, parafina con petróleo o desmoldantes patentados. Es importante este tratamiento para que al ser removidas, causen un daño mínimo al concreto.

El mal aspecto que presentan algunas losas de concreto es a causa de la falta de cuidado al remover las formaletas, la cual causa astillamiento de los bordes de la losa. Al vaciar el concreto en la franja adyacente, estas imperfecciones se rellenan de lechada que luego se fragmenta con el uso, dando una pega de mal aspecto con descascaramiento y se pierde la línea recta y franca de la junta.



Fotografía 27. Astillamiento de los bordes de la unión de losas.

## V.6 REFUERZO DE ACERO

El acero no le da ningún refuerzo estructural a una losa vaciada sobre el piso. El único propósito del acero es mantener las grietas lo más cerradas posible. Como las grietas aparecen en la superficie, este acero de refuerzo debe de colocarse en la parte superior, a 4 cm de la superficie. Normalmente se utiliza malla electrosoldada o varillas deformadas y estas deben ser colocadas utilizando soportes de concreto (helados<sup>13</sup>), del adecuado espesor para que la malla quede en la parte superior de la losa, como se muestra en la siguiente fotografía. Si se coloca la malla en la parte inferior de la losa es un desperdicio de recursos, pues no se está utilizando el acero donde se requiere.



Fotografía 28. Elemento para calzar acero (helado).

<sup>13</sup> Elementos para calzar el acero pueden ser de plástico o madera.

## V.7 COLOCACIÓN DEL CONCRETO

La regla más importante al colocar el concreto es evitar la segregación, es decir, evitar que los agregados gruesos se separen del mortero, compuesto de cemento y arena. Si la piedra, la arena, el cemento y el agua no se encuentran bien mezclados en el concreto, la parte que tenga más agua y arena será la más débil y la que se fisurará más. Desafortunadamente hay una tendencia natural de que la piedra se vaya al fondo de la mezcla y el operario debe evitarlo.

Algunas de las cosas que deben tomarse en cuenta al colocar el concreto son las siguientes:

- 1.- Deposite el concreto lo más cerca al lugar donde lo va a ocupar, para moverlo lo menos posible.
- 2.- Empiece en una esquina y trabaje hacia fuera de la esquina.
- 3.- Si la losa está en pendiente, empiece en la parte más baja y trabaje hacia arriba.
- 4.- No mueva el concreto con el vibrador. Esta es la mejor manera de causar segregación al concreto.
- 5.- Al chorrear las losas no permita que el concreto se descargue de la manguera de la bomba o del balde de la grúa, con una caída mayor a 60 cm.
- 6.- Use las herramientas apropiadas para mover horizontalmente el concreto, como son las palas cuadradas y rastrillos para el concreto (no de jardín).

## V.8 CONSOLIDACIÓN

La consolidación es el proceso que consiste en compactar el concreto fresco dentro de las formaletas, eliminando gran cantidad de aire atrapado con el fin de evitar sus efectos perjudiciales, como son: baja resistencia, aumento de la porosidad y menor durabilidad. La consolidación se obtiene por métodos manuales o mecánicos. La mejor forma es la utilización de vibradores de aguja o reglas vibratorias, pero en caso de no tener disponibles estos equipos se debe compactar el concreto introduciendo repetidas veces una varilla apisonadora. En losas delgadas, el vibrador se deberá insertar con un ángulo casi horizontal de modo que se mantenga completamente sumergida la cabeza del vibrador. El vibrador no deberá entrar en contacto con la sub-base para que no se produzca contaminación del concreto y el tiempo de inserción para una adecuada consolidación varía entre 5 y 15 segundos.

## V.9 NIVELACIÓN, ENRASADO

Es el proceso que consiste en retirar el exceso de concreto de la superficie de la losa para dejarla en el nivel apropiado. Las reglas vibratorias ejercen un doble efecto de nivelación y compactación. Pero el método más utilizado es el uso de una maestra transversal, que consiste en una regla recta que se desplaza manualmente sobre la formaleta al mismo tiempo que se le imprime un movimiento de vaivén. Se pueden utilizar con este fin reglas de madera de 50 x 120 mm o tubos metálicos. Estos últimos presentan la ventaja de ser más rectos y tener una mayor durabilidad.

Para los pisos industriales es recomendable utilizar métodos más modernos dada la importancia de dichos proyectos como lo son las reglas compactadoras y niveladoras mediante una unidad laser.



Fotografía 29. Regla compactadora y niveladora orientada mediante unidad laser.

Es muy importante la siguiente recomendación: **La compactación y nivelación deben terminarse antes de que el agua de sangrado se acumule en la superficie.**

#### V.10 ACABADO

Inmediatamente después de la nivelación o enrasado, se debe usar una llana ó flota con el propósito de alisar la superficie, eliminar los puntos altos o bajos de la losa.

Se debe de tener la precaución de no sobretrabajar el concreto ya que podría sellar la superficie antes de que termine el sangrado, lo cual atraparía el agua de sangrado bajo la superficie terminada, produciendo zonas debilitadas o vacíos que acabarán en forma de desprendimientos laminares una vez que la superficie este en

uso. La utilización de llanas o flotas de madera disminuye el riesgo de sellar la superficie.

No se debe aplicar el acabado final mientras exista agua de sangrado en la superficie, ya que causará graves agrietamientos, desprendimiento de polvo en condiciones de uso normal del pavimento y descascaramientos. Cuando se desea obtener una superficie densa, dura y lisa, se deberá proseguir con un pulido metálico. Esta operación se debe iniciar cuando el sangrado haya terminado y el concreto ha alcanzado la resistencia necesaria como para que al pisar no produzca una huella de una profundidad superior a 5 mm. Esta operación normalmente se realiza con equipos mecánicos conocidos como helicópteros.



Fotografía 30. Acabado de concreto con helicóptero doble.

La tendencia de emparejar y pulir demasiado pronto la superficie, constituye un error, ya que el emparejado y alisado prematuro pueden ser causas de

descascamientos, agrietamientos irregulares y desprendimiento de polvo, produciendo a fin de cuentas, una superficie con una resistencia reducida a la abrasión.

**Un error más grave aún, es la costumbre de muchos operarios, de no dar el acabado a las losas el mismo día del colado, y hacerlo días después “repellando” la losa con mortero.**

Debe comprenderse que la superficie de la losa es la zona más importante, la que debe tener la mayor resistencia para cumplir con el objetivo de soportar el desgaste de las llantas de los vehículos o del caminar de las personas. Un “repello” compuesto de cemento y arena es un material que no cumple los requisitos de resistencia para estos fines y no debe ser permitido.

Tampoco se debe agregar agua a la superficie que se está trabajando para lograr una mejor apariencia, pues esto debilita lo más importante de la losa: su superficie.



Fotografía 31. Practica incorrecta de acabado.

## V.11 CURADO

El curado deberá comenzar lo más pronto posible después del acabado. Una demora de unas cuantas horas puede dar origen a problemas en la superficie. Con los procedimientos de curado se trata de mantener el concreto húmedo, al menos durante los primeros 7 días, y de esta manera asegurar la continua hidratación del cemento y el desarrollo de resistencia del concreto. En días ventosos es necesario cubrir la losa antes del acabado final o aplicar una neblina de agua sobre el concreto recién colocado para evitar las grietas plásticas.



Fotografía 32. Fisuras por contracción plástica.

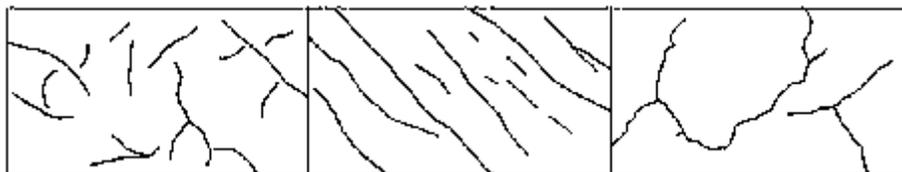


Imagen 6. Patrones de fisuración de contracción plástica.

Con tiempo seco y caluroso no es recomendable esperar a que toda la superficie que se esté pavimentando esté completamente acabada para iniciar el curado, sino que se debe proceder con el mismo conforme se vaya construyendo.

Una losa de concreto insuficientemente curada crea una superficie débil que puede experimentar algunos de los siguientes problemas:

- Baja resistencia al desgaste.
- Descascaramiento de las juntas.
- Fisuración generalizada.
- Levantamiento de polvo.

La elección de un método de curado debe tener en cuenta una serie de aspectos de orden práctico y técnico. En la práctica los tres métodos más comunes son:

1) El regado con agua.



Fotografía 33. El riego con agua es el método de curado más utilizado.

2) Cubrir la superficie con materiales húmedos, como arena, paja o algún material que ayude a conservar la humedad, lo cual exige un regado frecuente con agua.



Fotografía 34. El cubrir la superficie con materiales húmedos como arena exige un regado frecuente.

3) Sellado de la superficie con una membrana de curado, que se aplica con bombas rociadoras.



Fotografía 35. Aplicación de membrana de curado utilizando equipo de presión.

## V.12 JUNTAS

Las juntas en una losa o pavimento de concreto tiene como finalidad la de permitir los movimientos del concreto y evitar las fisuras irregulares y caprichosas, que se producen como consecuencia de (1) asentamientos, (2) retracción del concreto, (3) cambios de temperatura y (4) esfuerzos debidos a cargas aplicadas. Hay tres tipos de juntas: juntas de dilatación o aislamiento, juntas de contracción y juntas de construcción.

### V.12.1 JUNTAS DE DILATACIÓN O AISLAMIENTO

Las juntas de aislamiento permiten movimientos tanto verticales como horizontales entre la losa, paredes, columnas, pozos de registro, o cualquier otro punto donde pudieran ocurrir restricciones. Estas juntas se desarrollan en todo el espesor de la losa para asegurarse que los bordes estén aislados de las construcciones adyacentes.

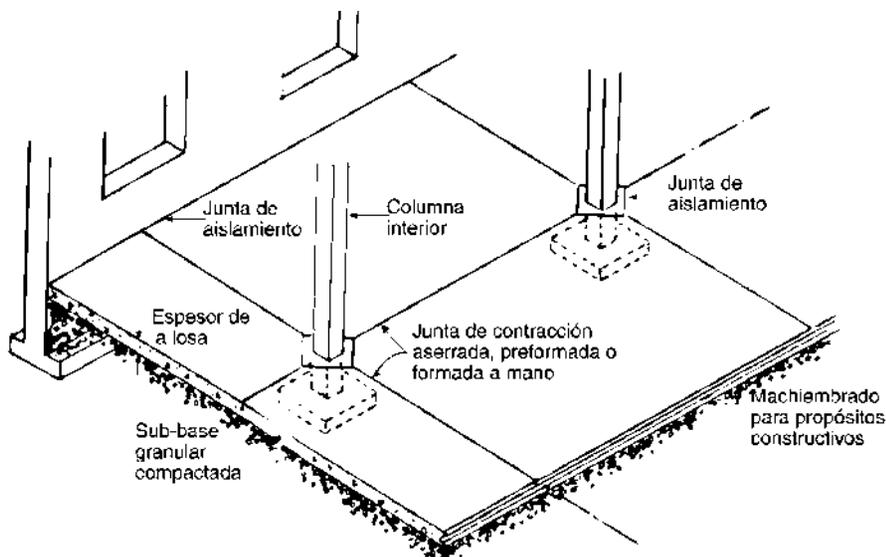


Imagen 7. Tipo de juntas.

Las juntas de aislamiento alrededor de las columnas pueden ser cuadradas o circulares como se muestra en la siguiente figura. Note que el cuadrado ha sido rotado 45 grados de tal forma que las esquinas coincidan con las juntas de contracción. Estas juntas tienen normalmente un espesor de 12 mm y deben rellenarse de un material compresible.

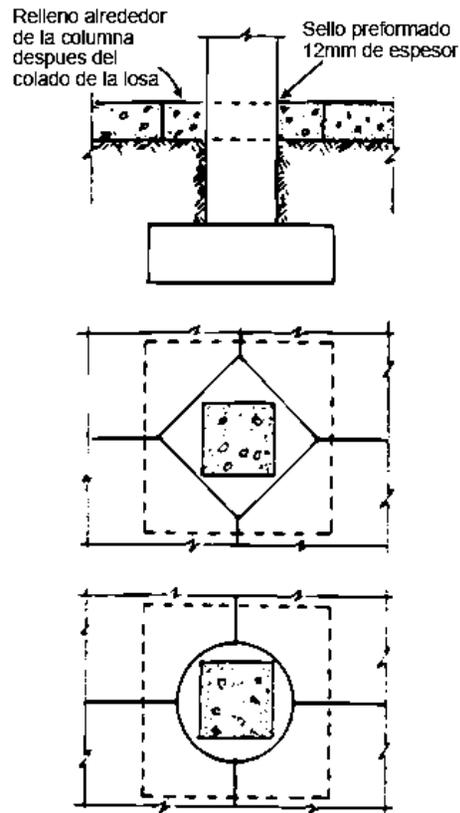


Imagen 8. Juntas de aislamiento.

### V.12.2 JUNTAS DE CONTRACCIÓN

Las juntas de contracción permiten el movimiento horizontal de las losas que es causado por las contracciones originadas por el secado y los cambios de temperatura del concreto. Las juntas de contracción dividen una gran área de piso en pequeños cuadrados o rectángulos.

En paneles rectangulares el lado largo no debe ser mayor a 11/2 veces el lado corto. Las juntas también deben ser localizadas en las esquinas como se muestra en la siguiente figura ó en esquinas pronunciadas como se muestra en la segunda figura.

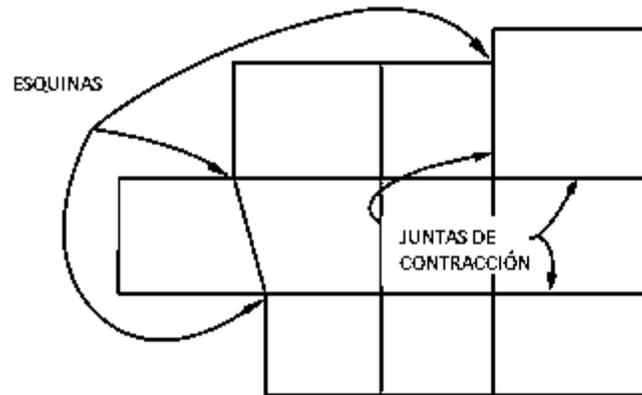


Imagen 9. Localizar las juntas de contracción en todas las esquinas

evitará las grietas radiales.

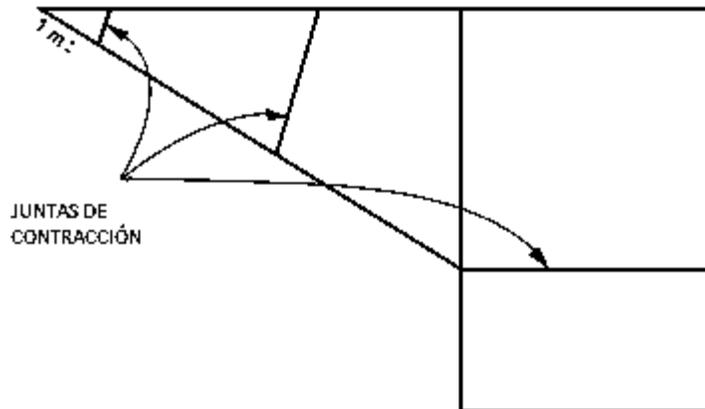


Imagen 10. Si una losa tiene una esquina pronunciada, localizar las

juntas como se muestra en la figura.

Las juntas de contracción en las losas sobre el terreno se pueden hacer en fresco o por aserrado del material endurecido. Una junta en fresco se puede hacer con una llana provista de una cuchilla perpendicular a su plano, con piezas insertadas como pueden ser tiras de polietileno, perfiles de plástico o durpanel, o bandas de madera colocadas como formaleta. La profundidad de estos cortes está comprendida entre  $1/3$  y  $1/4$  del grosor de la losa y con un espesor entre 3 y 6 mm.

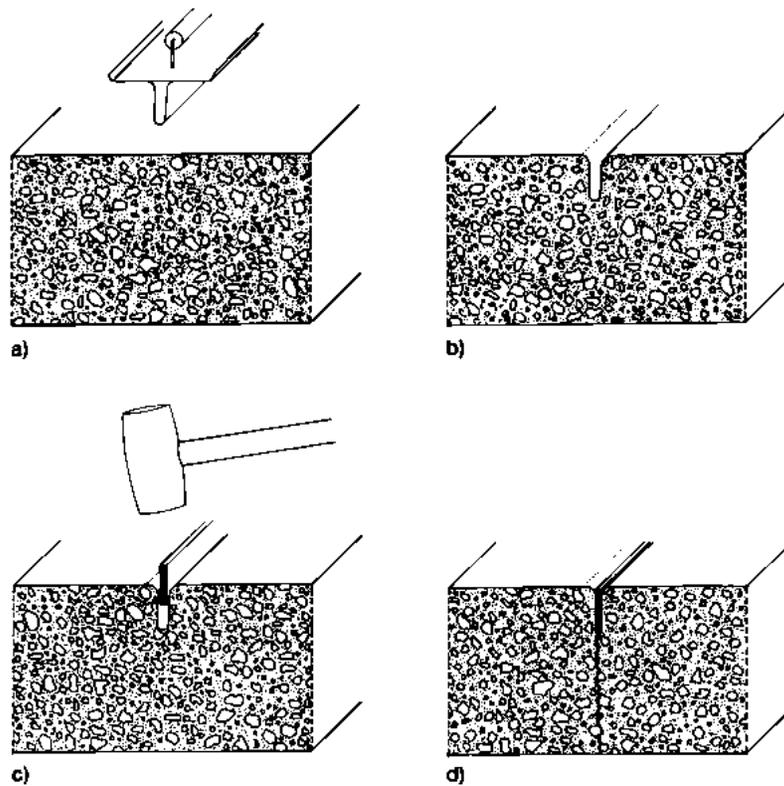


Imagen 11. Ejecución de una junta en fresco: a) y b) formación del surco; c) mediante un elemento rígido plano (caso de la figura) o una lámina delgada de plástico; d) el concreto rompe por la sección debilitada, formando la junta.

El otro método consiste en aserrar la junta, que es más caro pero presenta las ventajas de juntas con mayor durabilidad, con bordes más duraderos y una buena regularidad. El corte con sierra debe realizarse tan pronto como sea posible, sin que se dañen los bordes del concreto, pero no debe demorarse más de 6 horas después de colocado el concreto.



Fotografía 36. El aserrado de juntas debe realizarse tan pronto el concreto esté duro, entre 4 y 8 horas. Generalmente la profundidad del corte debe ser entre  $\frac{1}{3}$  y  $\frac{1}{4}$  del espesor de la losa.

### V.12.3 ESPACIAMIENTO DE LAS JUNTAS

La separación de las juntas de contracción depende de factores tales como el espesor de la losa y el rozamiento existente con la capa de base. **La experiencia práctica aconseja para losas de 10 cm de espesor una separación de 2.5 metros; para 15 cm una separación de 3.50 metros y para 20 cm una separación máxima de 4.5 m.**

#### V.12.4 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos. Pueden funcionar como juntas de contracción o dilatación. Pueden presentar caras planas o bien algún tipo de machihembrado para mejorar las condiciones de transferencia de carga, pero esto último no es recomendable en juntas en las que se transfiere una carga importante.



Fotografía 37. Junta de construcción con pasajuntas.

#### V.12.5 SELLADO DE JUNTAS

Las juntas deben ser selladas para prevenir la entrada de agua a la base o estructura de soporte de la losa, facilitar la limpieza y dar soporte a los bordes bajo el tráfico previniendo el desastillamiento. El tipo de sello depende de las condiciones ambientales y del tipo de tráfico.

Las juntas de aislamiento pueden hacerse con láminas de fibra prefabricadas, impregnadas en asfalto o material semejante. Las juntas de contracción se pueden rellenar con determinadas resinas epóxicas semirígidas. La aplicación de materiales epóxicos debe retardarse al menos 90 días, de manera que se haya llevado a cabo la mayor parte de la contracción. Cuando existan ciclos de movimientos por razones de importantes cambios de temperatura no es aconsejable colocar sellantes de resina semirígidas. Se pueden también usar selladores elastoméricos (poliuretano) que son muy duraderos con una vida de servicio de más de 20 años, pero no se recomienda cuando el piso este sujeto a tránsito de ruedas duras pequeñas.

## CAPITULO VI.- CONTROL DE CALIDAD

La construcción y el desempeño satisfactorios del concreto requieren un concreto con propiedades específicas. Para garantizar que se logren estas propiedades, los ensayos (pruebas, experimentaciones) de control de calidad y aceptación son partes indispensables del proceso constructivo.

Los resultados de los ensayos proporcionan informaciones importantes para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla. Sin embargo, la experiencia pasada y el buen juicio se deben basar en la evaluación de las pruebas y de su significado en el control de los procesos de diseño, mezclado y colocación (colado), los cuales influyen el comportamiento final del concreto.

Es por tal motivo que a continuación se presentan las pruebas mínimas necesarias para tener un buen control de la calidad en este tipo de concreto:

- 1.- Revenimiento.
- 2.- Masa Unitaria.
- 3.- Elaboración y Curado de Especímenes.
- 4.- Determinación de la Expansión.
- 5.- Tiempos de Fraguado.

## VI.1 REVENIMIENTO

Es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura.

Equipo:

- Cono de Revenimiento
- Placa de Revenimiento
- Varilla para la compactación
- Cucharón
- Carretilla
- Flexómetro<sup>14</sup>
- Equipo de seguridad

Método de ensayo:

Humedecer el cono, placa, cucharón y varilla; Colocar el cono con el diámetro menor hacia arriba sobre la placa, apoyar los pies en los estribos del cono para mantenerlo firme durante la prueba. A continuación se llena el cono en 3 capas aproximadamente de igual volumen. La primera capa corresponde a una altura aproximada de 7 cm, la segunda capa debe llegar a la altura aproximada de 15 cm y la tercera al extremo del cono. Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral; aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro.

---

<sup>14</sup> Cinta métrica.

Compactar la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm, para el llenado de la última capa colocar un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del cono, antes de empezar la compactación.

Si a consecuencia de la compactación en la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del cono, a la décima o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del cono todo el tiempo.

Después de terminar la compactación de la última capa, enrasar el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Limpiar la superficie exterior de la base del asiento, levantar el cono con cuidado en dirección vertical.

La operación para levantar completamente el molde los 30 cm de su altura debe hacerse en 5 s +/- 2 s, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional. La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el cono, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor a 2.5 min.

Cálculo:

Medir el revenimiento, determinando el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo esta diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del espécimen.

| Revenimiento nominal (mm) | Tolerancia (mm) |
|---------------------------|-----------------|
| menor de 50               | $\pm 15$        |
| de 50 a 100               | $\pm 25$        |
| mayor de 100              | $\pm 35$        |

Tabla 8. Tolerancia en revenimiento.



Fotografía 38. Medida del revenimiento de un concreto.

## VI.2 MASA UNITARIA

Cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco y esta expresada en unidades de (kg/m<sup>3</sup>).

Equipo:

- Balanza o báscula
- Cubeta para masa unitaria

- Mazo de hule
- Placa enrasadora
- Varilla de compactación
- Cucharón

#### Método de ensayo:

Colocar el concreto en tres capas de aproximadamente igual volumen. Compactar con 25 penetraciones por capa, en la primera capa la varilla debe penetrar todo su espesor, pero sin golpear el fondo del recipiente. Distribuir las penetraciones uniformemente en todo el espesor de la capa. Para las dos capas superiores, la varilla debe penetrar aproximadamente 20 mm en la capa inmediata inferior. Después de varillar cada capa para eliminar el aire contenido y las oquedades que produce la varilla, golpear las paredes alrededor del molde con el mazo de hule el mínimo de veces necesarias para que el agregado grueso comience a desaparecer de la superficie y esta tenga un aspecto relativamente liso.

Al terminar la compactación de la tercer capa, colocar la placa enrasadora sobre la superficie del concreto cubriendo dos tercios de ella y haciendo presión se avanza con movimientos de sierra hasta que la placa quede fuera del recipiente. Colocar nuevamente la placa sobre la superficie del concreto cubriendo los dos tercios enrasados y presionando la placa se avanza en movimientos de sierra hasta que se deslice completamente fuera del recipiente, finalmente se da el mínimo de pasadas inclinado el canto de la placa hasta dejar un terminado uniforme.

Cálculo:

Calcular la masa neta del concreto en kg, restando la masa del recipiente de la masa bruta. Calcular la masa unitaria, multiplicando la masa neta del concreto por el factor del recipiente, utilizando la siguiente fórmula:

$$Mu = (Mb - Mr) \times F$$

Donde:

Mu = Masa unitaria (masa por metro cúbico de concreto), en kg/m<sup>3</sup>.

Mb = Masa bruta (masa del concreto + masa del recipiente), en kg.

Mr = Masa del recipiente, en kg.

F = Factor del recipiente, en 1/m<sup>3</sup>.

F = Masa volumétrica del agua / Masa de la muestra requerida para llenarlo.



Fotografía 39. Preparación de la muestra para la masa unitaria.

### VI.3 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES

Curado: Es el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento o de los materiales cementantes en la mezcla.

Equipo:

- Moldes cilíndricos de 150 mm x 300 mm.
- Moldes prismáticos 150 mm x 150 mm x 500 mm.
- Varilla para compactación.
- Cucharón.
- Mazo de hule.
- Enrasador.
- Espátula o cuchara de albañil.

Método de ensayo:

Se elaboran los cilindros y vigas lo más cerca posible al lugar en donde se almacenan durante las primeras 24 hrs. Se colocan en una superficie rígida y horizontal, previo a la colocación del concreto en los moldes se debe remezclar para uniformizar la muestra.

Los cilindros se llenan en 3 capas de un espesor aproximado de 100 mm, se distribuye el concreto colocado, empleando la varilla, antes de iniciar la compactación. La primer capa se compacta en todo su espesor teniendo cuidado de no golpear el fondo del molde, se distribuyen los golpes en toda la sección transversal y para cada capa superior se permite que la varilla penetre 20 mm dentro de la capa inmediata inferior. Estas compactaciones se hacen en forma de espiral empezando del perímetro del molde tratando que al menos la mitad de las

compactaciones sean cerca del perímetro, cada capa se compacta con 25 penetraciones de varilla, la varilla debe estar totalmente vertical en todos los movimientos.

Después de compactar cada capa se debe golpear ligeramente con el mazo de hule las paredes del molde para eliminar hasta donde sea posible las oquedades que deja la varilla. En el caso de los moldes prismáticos, después de que cada capa se ha varillado, debe introducirse y sacarse repetidamente una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada en la zona de contacto del concreto y el molde en todo su perímetro.

Para el caso de las vigas se tienen que llenar en 2 capas de aproximadamente mismo volumen de concreto, y se da una penetración de varilla por cada 10 cm<sup>2</sup> de área superficial del espécimen en cada una de las capas. En nuestro caso serán 75 penetraciones distribuidas uniformemente en cada capa, empezando del perímetro del molde hacia adentro.

Después de la compactación, se termina la superficie con un enrasador rígido de metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios mayores de 3mm.

## Curado:

Para evitar la evaporación del agua en los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, de preferencia, con una placa no absorbente, o con una tela de plástico durable impermeable.

Los especímenes deben ser descimbrados no antes de 20 hrs ni después de 48 hrs de su elaboración. A menos que en otro método se especifique lo contrario, todos los especímenes deben ser curados en humedad a temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante las primeras 24 hrs después de ese tiempo deben mantenerse a una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa de 95 % mínima, hasta el momento de la prueba.

El almacenaje durante las primeras 48 hrs debe ser en un sitio libre de vibraciones. Con relación a los especímenes extraídos de los moldes, el curado húmedo significa que los especímenes de prueba pueden mantenerse con agua libre en su superficie en todo tiempo. Esta condición se logra por inmersión en agua saturada con cal, o por almacenamiento en un cuarto húmedo o gabinete que cumpla con los requisitos.

Los especímenes para prueba de flexión deben ser curados de igual forma, con la excepción de que durante el almacenaje, por un periodo mínimo de 20 hrs inmediatamente antes de la prueba, sean sumergidos en una solución de agua saturada con cal (en el caso que se curen en cuartos de curado). Al final del periodo de curado, entre el momento en que se suspende dicho curado y el inicio de la prueba, debe mantenerse húmeda la superficie del espécimen, pues zonas secas aún pequeñas producen esfuerzos de tensión en las fibras extremas que reducen dicha resistencia.



Fotografía 40. Elaboración de cilindros y vigas de concreto en laboratorio.

#### VI.4 DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Dentro de las pruebas realizadas para monitorear la expansión se tienen dos: Mediante la expansión de barras o mediante frascos de cristal, esta última solo sirve como referencia pues no obtenemos ningún número o lectura. Es una prueba cualitativa.

Equipo:

- Moldes prismáticos de 76 x 76 x 250 mm.
- Varillas roscadas de 3/16 pulg de acero de bajo carbón.
- Placas de acero de 3 x 3 pulg y espesor de 3/8 pulg.
- Tuercas hexagonales de acero inoxidable.
- Tuercas bellotas de acero inoxidable.

- Comparador de longitudes.
- Barra calibradora
- Frascos de vidrio de 1 litro de capacidad para mermelada con tapa metálica.

#### Método de ensayo:

Los moldes para el colado de especímenes de prueba, deben formar prismas cuadrados de 76 mm (3 pulg) con una longitud de medición de 250 mm (10 pulg). El embalaje de restricción consiste de una varilla roscada de diámetro 3/16 de pulg de acero de bajo carbón, con placas de acero de dimensiones 3 pulg x 3 pulg y espesor de 3/8 pulg en los extremos sujetadas con tuercas hexagonales. Las tuercas hexagonales fuera del embalaje deben ser de acero inoxidable. La tuerca bellota también de acero inoxidable debe colocarse en cada extremo de la varilla.

El comparador de longitudes debe estar provisto de un micrómetro de carátula graduado para tomar lecturas en unidades de diezmilésimas de pulgada (0.0001 pulg), exactitud de 0.0001 pulg en un rango de 0.0010 pulg, y de 0.0002 pulg en un rango de 0.0100 pulg, con carrera de 0.5 pulg.



Fotografía 41. Armado de moldes para elaboración de barras (medición de expansión).

El espécimen de prueba debe ser un prisma: cuadrado de 76 mm (3 pulg) con una longitud de medición de 254 mm (10 pulg) y una longitud total (incluyendo la longitud de la varilla y las tuercas bellota) de aproximadamente 292 mm (11 1/2 pulg). Al menos tres especímenes deben prepararse por cada prueba.

Instale las tuercas bellota firmemente en los extremos de las varillas roscadas usando un epóxico de fraguado rápido (plastiloka) para evitar que se aflojen cuando se tomen las lecturas en el comparador. Las tuercas bellota no deben removerse después que se hayan hecho las lecturas iniciales del comparador de la muestra colada. Mida la longitud del embalaje de restricción ensamblado, incluyendo las tuercas bellota, mientras se este a  $23 \pm 0.5$  oC. Esto es para asegurar que este a  $294 \pm 1.6$  mm ( $119/16 \pm 1/16$  pulg). La medición tomada en este momento es usada únicamente para asegurar que se pueden hacer las lecturas en el comparador.

Los bordes de las placas de extremo del embalaje de restricción que permanecen en contacto con los lados y el fondo del molde deben cubrirse finamente con aceite mineral denso o grasa ligera tal como petróleo. Después de ensamblar los moldes, recubra finamente las caras interiores de los moldes con aceite mineral y coloque el embalaje de restricción en cada compartimiento del molde procurando no contaminar con aceite o grasa la varilla del embalaje de restricción y las placas extremas. Selle las líneas de contacto entre los lados externos y la placa base de los moldes con parafina o cera micro-cristalina.

Cuando se tenga preparado el concreto de la mezcla de diseño se remueve el agregado retenido en la malla de 1 pulg para el moldeo de los especímenes. Los tamaños de agregado mayores a 1 pulg pueden afectar adversamente los resultados de las pruebas.

Coloque el concreto dentro del molde en dos capas aproximadamente iguales (la primera capa debe cubrir justamente la varilla roscada de restricción). Consolide cada capa varillando con 27 penetraciones uniformemente distribuidas con una varilla corta de 10 mm de diámetro, antes de consolidar meter y sacar una espátula o cuchara de albañil por los lados del molde. La capa superior debe sobrellenar el molde ligeramente. Después de completar la consolidación, retire el exceso de material con un enrasador y de un acabado a la superficie expuesta con el mismo enrasador y con el mínimo de pasadas.



Fotografía 42. Elaboración de barras para medición de expansión.

Cubra los especímenes con polietileno u otro material adecuado para prevenir la pérdida o ganancia de humedad en la superficie de los especímenes. Remueva los especímenes de los moldes a la edad de 6 horas. En casos inusuales los especímenes pueden no estar lo suficientemente resistentes para desmoldarse a la edad de 6 horas. Si este es el caso, espere más tiempo pero desmolde cuanto antes sea práctico y reporte la edad de desmolde con los resultados.

Calibre el comparador con la barra calibradora, anote la lectura de micrómetro o indicador, tome la lectura inicial de las barras  $30 \pm 2$  minutos después del desmolde. Durante estos 30 minutos los especímenes deben permanecer en reposo cubiertos con una tela húmeda. Después de haber tomado la lectura inicial de las barras, cure los especímenes en agua saturada con cal a  $23 \pm 1.7$  o C hasta que éstos alcancen una edad de 7 días. Tome lecturas a cada 24 horas hasta alcanzar la edad de 7 días. Después de los 7 días de curado, permita que lo especímenes se sequen colocándolos en el cuarto de secado. Tome lecturas cada 7 días hasta que éstos alcancen una edad de 91 días.

Para la obtención de las lecturas en el comparador, gire los especímenes lentamente en el instrumento de medición mientras sea tomada la lectura del comparador. Registre la lectura mínima de la carátula si el giro causa cambios en las lecturas. Coloque los especímenes en el instrumento con el mismo extremo para arriba cada vez que se tome una lectura del comparador.

Para la obtención de lecturas en el comparador de especímenes saturados en agua; limpie el agujero de la base del comparador sobre el cual se asienta el perno prisionero del extremo inferior de la barra (este agujero tiende a coleccionar agua y arena y debe ser limpiado después de cada lectura). Lea y registre la lectura en el comparador de la longitud de la barra calibradora.

Saque una barra de la inmersión, seque los pernos, coloque la barra en el comparador, lea, y registre la lectura. Regrese la barra a la inmersión y limpie el agujero en la base del comparador.

Tome la segunda barra y trátela de la misma manera. Regrese la segunda barra a la inmersión, registre la lectura, y limpie el agujero en la base del comparador. Continúe el procedimiento hasta que todas las barras hayan sido leídas, regresadas a la inmersión, las lecturas registradas, y limpiado el agujero en el fondo del comparador cada vez. Limpie el agujero de la base del comparador y lea y registre la lectura de la barra calibradora. Seque solo alrededor de los pernos.

Cálculo:

Calcule los cambios de longitud como sigue:

**Cambio de longitud, en millonésimas = [( lectura en el comparador corregida – lectura en el comparador inicial corregida ) / longitud de medición ] X 1000000**

donde la lectura en el comparador corregida es igual a la lectura en el comparador del espécimen menos la lectura en el comparador de la barra calibradora.



Fotografía 43. Medidor de expansión.

Para el caso de los frascos de vidrio se requieren al menos 2 frascos por mezcla de prueba. Coloque el concreto dentro del frasco en tres capas aproximadamente iguales. Consolide cada capa con golpes externos mediante la palma de la mano, debiendo expulsar todo el aire ocluido.

Deje libre de concreto la parte superior de la boca del frasco, aproximadamente a la altura de la rosca de la tapa. Llene este espacio con agua

limpia (dentro de un recipiente con agua, donde el frasco quede unos 7 cm por debajo del nivel del agua, y ahí mismo se cierra). Cierre herméticamente el frasco de vidrio y almacene en un lugar libre de vibraciones.

Cuando el concreto alcance una expansión del orden de 400 millonésimas el frasco de vidrio se fracturará. Se debe registrar la edad en la que ocurre la fractura de los frascos.



Fotografía 44. Expansión de concreto en frascos de vidrio.

## VI.5 TIEMPOS DE FRAGUADO

El método para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, con revenimiento mayor de cero, se realiza mediante el mortero obtenido que pasa la criba 4.75 mm (No. 4) de la mezcla.

### Tiempo de Fraguado Inicial (limite de manejabilidad):

Es el tiempo que transcurre, a partir del momento del contacto inicial del cemento con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 35 kg/ cm<sup>2</sup>.

### Tiempo de Fraguado Final

Es el tiempo que transcurre, a partir del momento que el cemento entra en contacto con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 280.7 kg/cm<sup>2</sup>.

### Equipo:

- Recipientes circulares de diámetro 150 mm y altura 150 mm mínimos.
- Penetrómetro de mesa.
- Agujas de penetración.
- Varilla de compactación 16 mm de diámetro.
- Cronómetro

### Método de ensayo:

Los recipientes deben ser estancos y no absorbentes, estos deben permitir una superficie del mortero suficiente para poder efectuar lecturas de 10 penetraciones, sin que haya alteración entre ellas. La distancia entre las penetraciones deben ser por lo menos 2 veces el diámetro de la aguja que se emplee, pero no menor de 13 mm.

El penetrómetro debe ser un aparato equipado con resorte, sistema hidráulico o mecánico con capacidad mínima de 60 kg (588.2 N<sup>15</sup>) y una precisión mínima de 1kg (9.8 N). Se debe disponer de agujas removibles con las siguientes áreas de contacto: 6.45 cm<sup>2</sup>, 3.23 cm<sup>2</sup>, 1.61 cm<sup>2</sup>, 0.65 cm<sup>2</sup>, 0.32 cm<sup>2</sup>, 0.16 cm<sup>2</sup>.

Cada vástago de las agujas debe tener una marca periférica a una distancia de 25 mm de la superficie de apoyo. La longitud de la aguja con área de 0.16 cm<sup>2</sup> no debe ser mayor de 80 mm, con objeto de reducir la flexión a un mínimo.

De la muestra de concreto obtenida, se separa todo el mortero, cribándolo por la malla No. 4 en un recipiente no absorbente, con un volumen suficiente para llenar los moldes de prueba a una altura de 140 mm. El mortero se mezcla a mano en el recipiente no absorbente y se coloca dentro de los moldes y se compacta mediante varillado, el cual se efectúa haciendo penetrar la varilla por el extremo redondeado sobre el mortero una vez cada 6 cm<sup>2</sup> del área expuesta del espécimen y se distribuyen los golpes uniformemente sobre la superficie expuesta. Una vez terminada la compactación, se golpean ligeramente las paredes del recipiente con la varilla de compactación, a fin de eliminar los vacíos que haya dejado la varilla y para nivelar la superficie libre del mortero.

Se le coloca al penetrómetro una aguja del diámetro adecuado, de acuerdo con el grado de endurecimiento del mortero de concreto, se pone en contacto la superficie de apoyo de la aguja con la del mortero. Gradualmente y en forma uniforme, se aplica en el aparato una fuerza vertical hacia abajo hasta que la aguja penetre a una profundidad de 25 mm como lo indica la marca grabada en la aguja.

---

<sup>15</sup> Newtons.

El tiempo requerido para la penetración de 25 mm debe ser aproximadamente de 10 seg, se registra la fuerza requerida y el tiempo de aplicación, medido como el lapso transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el de la resistencia a la penetración. En las siguientes penetraciones, se debe tener cuidado de no efectuarlas sobre áreas del mortero que hayan sido alteradas por penetraciones previas. La distancia libre entre las marcas hechas por la aguja, debe ser por lo menos 2 veces el diámetro de la aguja empleada, pero no menor de 13 mm. La distancia libre entre cualquier impresión hecha por la aguja y el lado del recipiente no debe ser menor de 25 mm.

La penetración inicial se debe hacer después de 2 o 3 hrs. Las pruebas subsecuentes se pueden efectuar en intervalos de 1 hr, hasta que el incremento de la resistencia de penetración indique que son aconsejables intervalos más cortos o más largos.

Se deben efectuar en cada prueba de endurecimiento un mínimo de 6 determinaciones de resistencia de penetración y los intervalos entre estas deben ser de tal manera que se obtenga una gráfica satisfactoria de tiempo de endurecimiento, como lo deben indicar los puntos igualmente espaciados. Se continúa la prueba hasta que se alcance una resistencia a la penetración mayor de 27, 451 kPa (280 kg/cm<sup>2</sup>).

Cálculo:

La resistencia a la penetración debe ser el promedio de 3 ó más determinaciones en kg/cm<sup>2</sup>, que es el cociente de la fuerza requerida para alcanzar una penetración de 25 mm de la aguja entre el área de la superficie de contacto de la misma.

$$Ri = \frac{F}{A}$$

Donde:

Ri = es la resistencia a la penetración en kg/cm<sup>2</sup>.

F = es la fuerza requerida para penetración de 25 mm.

A = es el área de contacto de la aguja (cm<sup>2</sup>)

$$R = \frac{Ri}{N}$$

Donde:

R = es la resistencia a la penetración promedio en kg/cm<sup>2</sup>.

Ri = es la suma de los ensayos individuales.

N = es el número de muestras (ensayos).



Fotografía 45. Penetrómetro para tiempos de fraguado.

## CAPITULO VII.- CONCLUSIONES

1.- El concreto de contracción compensada si bien tiene un costo elevado en comparación con uno convencional, es una buena opción para la elaboración de pisos industriales de calidad, pues esa inversión se recupera al tener un mínimo de trabajos de mantenimiento, dado que estos pisos si se hacen con un control de calidad adecuado, y un proceso y mano de obra calificados, se obtienen resultados de resistencia, calidad y durabilidad que un concreto común no le ofrece.

2.- Si los avances tecnológicos avanzan en todas las áreas porque no tratar nosotros como ingenieros, el poder incorporar a nuestros diseños y construcciones esta nueva relativa tecnología de concreto en México.

3.- Cabe mencionar que como todo concreto, si no se tienen los estudios, pruebas de laboratorio, proceso constructivo, mano de obra calificada, etc. No se obtendrán los resultados que se esperan por el solo hecho de ser una nueva tecnología. Se tiene que dar todo un seguimiento a la obra, incluso de ser necesario, desde antes del colado.

4.- Al igual que la ingeniería civil tiene muchas áreas de aplicación, el concreto tiene muchos aspectos que estudiar y que cuidar como se pudo ver durante la elaboración de esta tesis. Ahora sabemos que la responsabilidad de una buena construcción de concreto depende de muchas personas y oficios y es nuestro deber como ingenieros prestar atención a todos los posibles errores para evitarlos a tiempo, aun si ese trabajo no está bajo nuestra responsabilidad, y en la medida de lo posible, debemos hacer alguna observación ó recomendación para evitar problemas futuros de grietas,

alabeo, retardo de fraguado, etc. Que al final se convierten en pérdidas de tiempo, dinero y credibilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1.- Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Portland Cement Association, 1ª Ed. Skokie, Illinois, EE.UU., 2004.

2.- Bravo T., Eddy: *Manual de Construcción de Pisos de Concreto sobre el Terreno*, Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. Disponible en:

<http://www.iccyc.com/pagecreator/paginas/userFiles/manualpisos.pdf>

3.- Cemex, *Diseño de Mezclas Curso para Analistas de Control de Calidad*. 2006.

4.- Ponce, Angel; Baltazar, Juan: *Lineamientos de Diseño Concreto de Contracción Compensada*, Cemex, Centro de Tecnología Cemento y Concreto, 3ª Revisión. México., 2010.

5.- Dámazo Juárez, Daniel: *Criterio General del Diseño de Mezclas por el Método del ACI*, imcyc. Disponible en:

<http://www.fic.imcyc.com.mx/downloads/APOYO-2.pdf>

6.- González de la Cotera, Manuel: *Requerimientos del Cemento en los Reglamentos Constructivos*. Disponible en:

<http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/fdoc/construccion/MGC28reglamentosconstruccion.pdf>

7.- Manual de Diseño y Construcción de Pisos Industriales. Disponible en:

<http://www.construmex.com/Concretos/files/ManualdelConstructorPisosIndustriales.pdf>

#### BIBLIOGRAFÍA DE NORMAS:

1.-NMX-C-177-1997-ONNCCE “INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO, MEDIANTE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN.”

2.-NMX-C-159-ONNCCE-2004 “INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO-ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES EN EL LABORATORIO.”

3.-NMX-C-162-ONNCCE-2010 “INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO HIDRÁULICO- DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA, CÁLCULO DEL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO.”

4.-NMX-C-156-ONNCCE-2010 “INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO HIDRÁULICO- DETERMINACIÓN DEL REVENIMIENTO EN EL CONCRETO FRESCO.”

5.-NMX-C-161-1997-ONNCCE “INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO FRESCO- MUESTREO.”