



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“Manejo de un colado masivo en
cimentaciones de estructuras”

TESIS

Para obtener el título de:

Ingeniero Civil

Presenta:

Joaquín Camorlinga Álvarez

Asesor:

Ing. Martín Sánchez González

Morelia, Michoacán Enero de 2020



AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios padre, hijo y espíritu santo por darme la bendición de culminar mi estudios de nivel profesional.

A mis padres por siempre apoyar mis sueños y aspiraciones, por estar siempre para mí y por la buena educación que me han brindado.

A mi grandiosa facultad y sus profesores que estuvieron para resolver dudas y ayudarme al transmitirme sus conocimientos y su ética profesional.

A mis hermanos, amigos y mi novia por apoyarme y darme ánimos, a seguir adelante echándole ganas estando lejos de casa. A mis compañeros de clase y mis amigos especialmente a los del Team: Serafin, Victor, Carlos, Alfonso, Marco.

Índice

Lista de Tablas	iii
Lista de figuras	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción.....	vii
1. Antecedentes del concreto masivo	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Generalidades	2
1.3. Historia	3
2. Propiedades del concreto masivo	6
2.1. Resistencia.....	6
2.2. Propiedades elásticas	7
2.3. Permeabilidad.....	7
2.4. Durabilidad	8
2.5. Control de temperatura.....	9
2.6. Fluencia.....	9
2.7. Cambio de volumen.....	10
2.8. Propiedades térmicas.....	13
2.9. Propiedades de cizallamiento.....	13
3. El concreto masivo en cimentaciones de estructuras	15
3.1. Materiales para mezcla del concreto masivo.....	15
3.2. Materiales empleados	15
3.3. Procedimiento técnico para el colado masivo.....	23
3.4. Responsabilidades en el vaciado del concreto masivo.	53
3.5. Desarrollo del vaciado de concreto masivo desde la perspectiva practica .	54
4. Consideraciones básicas para el colado del concreto masivo	57
4.1. ¿Qué factores influyen para que una concretera coloque una planta dosificadora junto al proyecto en construcción?	60

4.2. De acuerdo a la experiencia ¿Cuánto volumen se avanza en determinado tiempo?.....	61
4.3. Control de la temperatura.....	61
4.4. Vibrado del concreto masivo según el ACI.....	64
4.5. Problemas y soluciones en colados masivos.....	67
4.6. Ejemplo real de un colado masivo de una cimentación para una turbina de gas en el estado de Jalisco.....	71
5 Conclusiones.....	87
Glosario.....	88
Bibliografía.....	94

Lista de Tablas

Tabla 1. Porcentajes máximos permitidos de sustancias nocivas en agregados finos (por peso)	18
Tabla 2. Agregado fino para concreto masivo	18
Tabla 3. Porcentajes máximos permitidos de sustancia nociva en el agregado grueso (por peso)	19
Tabla 4. Mínimo diámetro de dobles	39
Tabla 5. Variedad de características, comportamiento y aplicaciones de los vibradores internos, vibradores de flechas flexibles y con motor en la cabeza	66
Tabla 6. Notas de muestreo del concreto	78
Tabla 7. Equipo requerido	80
Tabla 8. Fuerza de trabajo	80
Tabla 9. Riesgos y control ambientales	86

Lista de figuras

Figura 1. Lavado de agregados gruesos.....	19
Figura 2. Excavación con excavadora.....	27
Figura 3. Compactación del terreno con vibrocompactador	28
Figura 4. Figura 4	33
Figura 5. Plantilla de concreto pobre.....	35
Figura 6. Plantilla con un cárcamo de bombeo en una esquina	35
Figura 7. Colocación de anclajes para recibir equipo de mucha altura	36
Figura 8. Anclajes para recibir estructura de equipo	37
Figura 9. Armado de lecho inferior de losa.....	39
Figura 10. Armado de lecho superior de losa.....	40
Figura 11. Embebidos para drenajes aceitosos y sistema de tierras	42
Figura 12 Cimbrado perimetral y colocación de anclajes embebidos.....	44
Figura 13. Recepción de concreto por laboratorio en sitio	47
Figura 14. Prueba de revenimiento del concreto de cada olla revoladora que llega al sitio	49
Figura 15. Un grupo de personas capacitadas para vaciar el concreto en capas de 40 cms por cada bomba	50
Figura 16. Concreto compactado con vibradores de 1 1/2" de diámetro	51
Figura 17. Curado por inundación de la superficie usando barreras de retención de arena	52
Figura 18. Isométrico de Turbina de Gas	75
Figura 19. Proceso de colocación de concreto masivo	76
Figura 20. Accesos para camiones revoladores.....	82
Figura 21. Iluminación en el área	82
Figura 22. Planta de circulación y localización de la turbina de gas.....	83

Resumen

Este trabajo se realizó con el objetivo firme de poder estudiar un poco más el cómo se elabora, se coloca, se trata y se maneja el concreto masivo en cimentaciones de estructuras. Existen muchos proyectos documentados acerca del colado masivo en presas pero son casi nulos los que tratan acerca de colados masivos en cimentaciones y debido a que de este tema existe muy poca información nos hemos dado a la tarea de investigar en diferentes fuentes como son el internet, libros y experiencia de algunos ingenieros que llevan muchos años en este ámbito de la construcción.

Debido a la falta de información estamos creando una guía para que cualquier persona que la lea se interese y aprenda sobre este tema. En el trabajo realizado va desde los antecedentes del concreto masivo hasta estudiar lo necesario para crear elementos de buena calidad y que sean durables, así como todo lo que hay que tener en cuenta a la hora del colado. Nos ayudaremos de proyectos ya realizados para poder darnos cuenta que en México existe una cantidad considerable de este tipo de colados. Pues en muchas partes del país grandes empresas están construyendo grandes obras como son termoeléctricas e hidroeléctricas en las cuales se necesita conocer acerca de este tema pues las cimentaciones de estructuras son de grandes dimensiones para así poder montar los elementos.

Se tienen procedimientos técnicos para la construcción de cimentaciones así como un ejemplo real de una cimentación de una turbina de gas. Y varios datos recopilados de la experiencia de los ingenieros que aportaron a dicho trabajo pues se tiene buena información que aclarando todo está apegado a las normas del ACI para que pueda ser una guía que cualquiera pueda usar si es que se interesa por trabajar en este ámbito o simplemente quiere saber del tema.

Palabras clave: concreto, proceso, temperatura, control, agua - cemento

Abstract

This work was carried out with the firm objective of being able to study a little more how it is elaborated, placed, treated and handled the massive concrete in structural foundations. There are many documented projects about mass pouring in dams but there are almost null ones that deal with massive pouring in foundations and because of this subject there aren't a lot information, we have given ourselves the task of investigating in different sources such as the internet, books and experience of some engineers who have been working in this field for many years.

Due to the lack of information we are creating a guide for anyone who reads it to be interested and learn about this topic. In the work carried out we are including from the background of the massive concrete until studying what is necessary to create elements of good quality and durable, as well as everything that must be taken into account when pouring. We have relied on projects already completed in order to realize that there is a considerable amount of this type of pouring in Mexico. Well, in many parts of the country big companies are building big projects such as thermoelectric, hydroelectric, carboelectric plants, and wind farms, in which it is necessary to know about this issue because the foundations of structures are large in order to assemble the equipments, that in occasions are of great volumen and weight, and other times additionally they are rotating..

There are technical procedures for building foundations as well as a real example of a gas turbine foundation. And several data collected from the experience of the engineers who contributed to this work because there is good information that clarifying everything is attached to the rules of the ICA to it can be a guide that anyone can use if they are interested in working in this area Or just want to know about the subject.

Keywords: concrete, process, temperature, control, water – cement

Introducción

Seguramente la mayoría de las personas saben que es concreto normal y todos los ingenieros saben que el concreto normal está compuesto de agua, cemento, arena, y grava, en ocasiones aire o algún aditivo, pero muy pocas personas e ingenieros saben acerca del concreto masivo pues no se le da la importancia que debería tener pues gracias a este se han construido grandes presas a lo largo del mundo. El concreto masivo en general se relaciona con presas pues es donde mayormente se utilizó, pero en la actualidad donde más se utiliza el concreto masivo es en grandes elementos de cimentación para la colocación y montaje de equipos principales en termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas y parques eólicos.

Es bien sabido que cualquier tipo de concreto está compuesto por arena, grava, agua y cemento en correctas proporciones y el concreto masivo no es la excepción también está compuesto por estos elementos y al entrar en contacto el agua y el cemento se genera una reacción química exotérmica lo que quiere decir que se genera calor a esto se le llama calor de hidratación por consecuencia aumenta la temperatura en el elemento que se está colando y en el caso del concreto masivo aumenta aún más esa temperatura por las grandes dimensiones que tiene, para esto se deben tomar medidas evitando que esta temperatura aumente demasiado porque de lo contrario hay cambios de volumen y se generan agrietamientos que hacen inservible el elemento que se coló, debido a que afecta las propiedades del concreto.

Dicho todo lo anterior, el objetivo principal para con este trabajo es dar a conocer, sobre lo que representa el concreto masivo de una manera sencilla y apegándose a lo escrito en las normas del ACI, pero también visto desde la experiencia en este campo. Se verá desde en que se ha utilizado a lo largo de los años, los materiales empleados para su construcción, los cambios de temperatura en que afectan y cómo solucionar este diferencial térmico, los problemas que se generan en este tipo de concreto pero también las soluciones y cómo prevenir dichos problemas, experiencias en campo, tomando como ejemplos cimentaciones de turbinas de gas y que todo ingeniero tengo

una guía para saber un poco más acerca de este tipo de concreto para así tener estructuras duraderas y de buena calidad.

La forma de cumplir el objetivo descrito anteriormente es con la realización de este trabajo y cada uno de sus capítulos como son:

El primer capítulo, se tiene un pequeña reseña histórica de cómo se empezó a utilizar el concreto masivo que fue principalmente en presas.

En el segundo capítulo, trata acerca de las propiedades que tiene el concreto masivo desde la resistencia, el control de temperatura, propiedades térmicas, entre otras, hasta las propiedades de cizallamiento.

A continuación, en el tercer capítulo habla acerca de los materiales que se emplean para la elaboración del concreto masivo, tomando en cuenta el calor de hidratación que se genera. Las proporciones de grava, arena, agua, cemento, aditivos y puzolanas o escoria molida. Que es lo que causa cada uno de los materiales empleados.

También se habla sobre el procedimiento técnico para un colado masivo desde desmonte y despalme hasta la colocación del concreto.

En el capítulo 4 se habla sobre las consideraciones para el colado masivo así como también se tiene un ejemplo real de la cimentación para una turbina de gas realizada en Jalisco.

1. Antecedentes del concreto masivo

1.1. Definición

Según el ACI 207 el concreto masivo es cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes como para requerir que se tomen medidas para hacer frente a la generación de calor a partir de la hidratación del cemento y el cambio de volumen asociado para minimizar el agrietamiento.

Según el Departamento de Transportación de Florida, un elemento debe ser considerado como masivo si presenta las siguientes condiciones:

- La dimensión mínima es de un metro
- La relación de volumen a superficie es mayor de 0.30

Ejemplos:

Un elemento de concreto de 2.13x2.13x1.22 m (7'x7'x4') que tiene un volumen de 5.5 m³ y una superficie de 19.52 m², V/S = 0.28 por lo que no se considera masivo.

Un elemento de concreto de 2.74x2.74x1.07 m (9'x9'x3.5') que tiene un volumen de 8.03 m³ y una superficie de 26.77 m², V/S = 0.30 por lo que se considera masivo.

En México, por ejemplo, la CFE en sus Especificaciones de Construcción de Obra Civil del P. H. El Cajón, Nay. en su capítulo de Concretos indica:

“La temperatura de las diferentes mezclas de concreto no debe exceder de los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tipo de concreto	Espesor del elemento por colar cm	Temperatura máxima en planta °C	Temperatura máxima de colocación °C
Masivo	>100	20	23
Semimasivo	60-100	24	27
Normal	<60	28	31

Para satisfacer los requisitos de temperatura, es necesario que el Contratista adopte algunas medidas especiales, por ejemplo: hielo en sustitución parcial del agua de mezclado; dar sombra a los recintos de almacenamiento de los agregados, de cemento y quizás a la planta de concreto; regar o pre enfriar con agua los depósitos de grava y arena; y efectuar colados durante las horas de baja temperatura en la obra.”

No es pues fácil el definir al concreto masivo en términos absolutos y simples. La definición varía dependiendo de las especificaciones, el tipo de construcción y el tipo de uso.

1.2. Generalidades

El diseño de estructuras de concreto masivo está principalmente basado en la durabilidad, economía y las condiciones de temperatura, dejando la resistencia en un segundo término. La característica que distingue al concreto masivo de otros tipos de concreto es su comportamiento térmico.

La reacción química entre el agua y el cemento es exotérmica, por lo que la temperatura en el concreto aumenta. Cuando el calor no se disipa rápidamente puede aumentar la temperatura en forma considerable. Deformaciones y esfuerzos significativos pueden desarrollarse por el cambio de volumen asociado al aumento y disminución de la temperatura en la masa del concreto. Por lo que deberán tomarse medidas, para que las grietas que se pueden formar no hagan perder estabilidad e integridad en la estructura, que ésta deje de comportarse como monolito, se tengan grandes filtraciones o se acorte la vida de servicio.

La mayoría de los principios en la tecnología del concreto masivo son similares para el trabajo en general de los concretos.

Estas prácticas especiales de construcción se han desarrollado para satisfacer los requerimientos ingenieriles en estructuras de concreto masivos como presas de gravedad y de arco, reactores nucleares, casas de máquinas, grandes bases para equipos industriales, grandes cimentaciones, pilas y mástiles de puentes.

1.3. Historia

El concreto masivo es muy utilizado en presas debido a la gran cantidad de concreto que se utiliza pero también es muy utilizado en cimentaciones de estructuras.

Cuando el concreto fue utilizado por primera vez en los Estados Unidos de América en las represas, las represas fueron relativamente pequeñas y el concreto se mezclaba a mano y dosificada por pala, carretilla, caja o carro. El efecto de la relación agua-cemento (w / c) era desconocido, y en general, no se intentó controlar el volumen de mezcla de agua. No hubo ninguna medida de consistencia excepto por observación visual del concreto recién mezclado. El agregado que se utilizó era arena corrida por el banco y grava y la dosificación fue por palada.

Se han hecho enormes progresos desde principios de 1900, y el arte y la ciencia de la construcción de presas que se practica hoy en día llegó a un estado muy avanzado. Actualmente, la selección y Proporción de materiales de concreto para producir la adecuada resistencia, durabilidad e impermeabilidad del acabado ha tenido avances muy significativos, pues hay institutos dedicados exclusivamente a estudiar y especificar todos los componentes y diseños de mezclas (IMCYC, ACI), así como empresas concreteras que tienen su propio departamento de estudio y determinación de los tipos de concreto para cada aplicación (CEMEX, APASCO, entre otras). El producto ahora se puede predecir y controlar con precisión.

La presa Grand Coulee todavía tiene la tasa de colocación mensual récord de todos los tiempos de 410,020 m³, seguido por el más reciente logro en la presa de Itaipu en la frontera de Brasil-Paraguay 336,840 m³ (Itaipu Binacional 1981).

La primera presa en Estados Unidos en que fue especificada la cantidad máxima de agua permisible en la mezcla fue la Presa de Crystal Springs, terminada en 1890. Esta presa está ubicada cerca de San Mateo, California, a unos 30 km al sur de San Francisco. El concreto para esta estructura fue de 47 m de altura.

Entre 1900 a 1930, después del cambio de siglo, la construcción de todo tipo de presas de concreto se aceleró en gran medida. Más y más represas para riego, energía, y

agua fueron construidas. Se Colocó concreto mediante las torres y las rampas que se volvieron comunes.

La presa de Arrowrock en el momento de su finalización en 1915, una presa de arco de gravedad, fue la presa más alta del mundo a 107 m.

Entre 1930 a 1970, esta fue una era de rápido desarrollo en la construcción de concreto masivo para represas. El cemento a baja temperatura se utilizó por primera vez en la presa Morris, cerca de Pasadena, California, que se inició un año antes de la presa Hoover.

A principios de 1930, la presa Hoover en Nevada estaba en las primeras etapas de planificación. Debido al inédito tamaño de la Presa Hoover, investigaciones mucho más elaboradas que cualquiera de los emprendidos previamente se llevaron a cabo para determinar los efectos de factores, como la composición y finura del cemento, factor de cemento, temperatura de curado y tamaño máximo de agregado, en el calor de hidratación del cemento, Resistencia compresiva, y otras propiedades de morteros y concreto. Los resultados de estas investigaciones llevaron al uso de cemento de bajo calor en la presa Hoover.

La presa Hoover marcó el inicio de una era de mejoras en las prácticas en construcción de grandes presas de concreto. Completado en 1935 a un ritmo de construcción entonces sin precedentes, las prácticas empleadas allí, con algunas mejoras, han sido el uso en la mayoría de las grandes represas de concreto que han sido construidas en los Estados Unidos y en muchos otros países desde ese tiempo.

De 1970 al presente, durante esta época, el concreto compactado con rodillos se desarrolló y se convirtió en el método predominante para la colocación de concreto masivo. Porque el concreto compactado por rodillos es ahora comúnmente usado. La masa tradicional sigue utilizando métodos concretos para muchos proyectos, grandes y pequeños, particularmente donde el concreto compactado por rodillos sería poco práctico o difícil de usar.

La práctica de pre-enfriamiento de materiales de concreto antes de mezclar para lograr una menor temperatura máxima de masa interior durante el período de hidratación comenzó a principios de la década de 1940 y ha sido ampliamente utilizada en la construcción de grandes presas.

La primera práctica de pre-enfriamiento parece haber ocurrido durante la construcción de la presa de Norfolk de 1941 a 1945 por el USACE. El plan era introducir hielo picado en la mezcla de agua durante los meses más cálidos. Al hacerlo, la temperatura del concreto masivo recién mezclado podría ser reducido en aproximadamente 5,6 °C.

El concreto masivo es muy utilizado en presas debido a la gran cantidad de concreto que se utiliza pero también es muy utilizado en cimentaciones de estructuras.

2. Propiedades del concreto masivo

2.1. Resistencia

La relación agua/cemento, en gran medida, gobierna la calidad del aglutinante de cemento Portland endurecido. La resistencia, la permeabilidad y la mayoría de las otras propiedades deseables del concreto se mejoran bajando la relación agua/cemento. Los factores, total o parcialmente independientes de la relación agua/cemento, que afectan la resistencia son: composición y finura del cemento, cantidad y tipo de puzolana, textura de la superficie y forma del agregado, composición mineralógica y resistencia del agregado, clasificación del agregado, y la mejora de la resistencia por los aditivos antes mencionados que son atribuibles a una reducción en la relación agua/cemento.

Por lo general, no se requieren altas resistencias (más de 34.5 MPa) en el concreto masivo. La dosificación de concreto debe determinar el contenido mínimo de cemento requerido para cumplir con la resistencia a la compresión promedio, para obtener la mayor economía y el aumento de temperatura mínimo. Los requisitos de cemento para una adecuada trabajabilidad y durabilidad, en lugar de resistencia, se logran normalmente el contenido de cemento Portland.

El concreto masivo rara vez se requiere para soportar un estrés sustancial a una edad temprana. Por lo tanto, para aprovechar al máximo las propiedades de resistencia de los materiales de cementación, la resistencia de diseño generalmente se basa en la resistencia en edades de 90 días a 1 año, y algunas veces hasta 2 años.

Hay varios factores complejos involucrados en relacionar los resultados de las pruebas de resistencia, con la resistencia probable de las estructuras de concreto masivo que aún están esencialmente sin resolver. Debido a estas complejidades, los requisitos de resistencia del concreto son generalmente varias veces los esfuerzos de diseño máximos calculados para estructuras de concreto masivo. El concreto que es fuerte en la compresión también es fuerte en la tensión, pero esta relación de resistencia no es lineal.

La resistencia del concreto también está influenciada por la velocidad de carga. Los valores que se informan generalmente son para cargas estáticas que tardan un tiempo considerable en desarrollarse, como carga muerta o carga de agua. Durante los terremotos, sin embargo, las tensiones pueden desarrollarse completamente en una pequeña fracción de segundo. Cuando se carga a esta velocidad, la resistencia a la compresión de un concreto para especímenes húmedos puede aumentar hasta un 30%, y la resistencia a la tracción puede incrementarse hasta un 50%, en comparación con los valores obtenidos en las tasas estándar de carga.

2.2. Propiedades elásticas

El concreto no es un material verdaderamente elástico, y la relación gráfica de tensión para aumentar continuamente la carga, generalmente tiene la forma de una línea curva. El módulo de elasticidad, sin embargo, se considera, para efectos prácticos, una constante dentro del rango de tensiones a las que se suele someter el concreto masivo.

El módulo de elasticidad no es directamente proporcional a la fuerza; sin embargo, está influenciado por el módulo de elasticidad del agregado. Los dispositivos electrónicos modernos, como el transformador diferencial variable lineal (LVDT) pueden medir pequeños cambios de longitud con gran precisión.

2.3. Permeabilidad

El concreto tiene una permeabilidad inherentemente baja al agua. Con mezclas adecuadamente proporcionadas que son compactadas por vibración, la permeabilidad no es un problema serio. La permeabilidad del concreto aumenta al aumentar la relación agua/cemento. Por lo tanto, bajo la relación agua/cemento y una buena consolidación y curado son los factores más importantes para producir un concreto con baja permeabilidad. La incorporación de aire y otros aditivos químicos permiten la misma trabajabilidad con un contenido de agua reducido y, por lo tanto, contribuyen a una permeabilidad reducida. Las puzolanas suelen reducir la permeabilidad del concreto.

2.4. Durabilidad

Un concreto duradero es aquel que tiene la capacidad de resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión y otras condiciones de servicio. Las pruebas de laboratorio pueden indicar la durabilidad relativa del concreto, pero generalmente no es posible predecir directamente la durabilidad en el servicio de campo a partir de estudios de durabilidad de laboratorio.

La desintegración del concreto por la intemperie es causada principalmente por la acción disruptiva de la congelación y descongelación y por la expansión y contracción bajo restricción, como resultado de las variaciones de temperatura y la alternancia de la humectación y el secado. El aire atrapado mejora la resistencia del concreto al daño por la acción de las heladas y debe especificarse para todo el concreto sujeto a ciclos de congelación y descongelación mientras está saturado críticamente. La selección de materiales de alta calidad, el uso de aire arrastrado, bajo la relación agua/cemento, la proporción adecuada de la mezcla, las técnicas de colocación adecuadas para proporcionar una estructura impermeable y el buen curado con agua generalmente proporcionan un concreto que tiene una excelente resistencia a la acción de la intemperie.

El ataque químico se produce por la exposición a aguas ácidas, la exposición a aguas que contienen sulfatos y la lixiviación con agua sin minerales.

Ningún tipo de concreto de cemento Portland es muy resistente al ataque de los ácidos. En caso de que ocurra este tipo de exposición, el concreto está mejor protegido por recubrimientos de superficie.

El ataque de sulfato puede ser rápido y severo. Los sulfatos reaccionan químicamente con la cal hidratada y el aluminato tricálcico hidratado en pasta de cemento para formar sulfato de calcio y sulfoaluminatos de calcio. Estas reacciones están acompañadas por una considerable expansión e interrupción del concreto. El concreto que contiene cemento bajo en aluminato tricálcico (ASTM Tipos II, IV y V) es más resistente al ataque de los sulfatos.

Con el concreto denso y de baja permeabilidad, la lixiviación rara vez es lo suficientemente grave como para perjudicar la capacidad de servicio de la estructura.

Cuando sea necesario utilizar un agregado que contenga componentes reactivos, se debe especificar el cemento con bajo contenido de álcalis. Además, como un seguro adicional contra la reacción del álcali agregado, debe especificarse una puzolana adecuada en cantidad suficiente para controlar la reacción perjudicial. Las principales causas de la erosión de las superficies de concreto son la cavitación y el movimiento de material abrasivo por el flujo de agua. El uso de concreto con mayor resistencia y resistencia al desgaste ofrece cierto alivio, pero la mejor solución es la prevención, eliminación o reducción de las causas mediante un diseño, construcción y operación adecuados de la estructura del concreto. El uso de la aireación en flujos de alta velocidad es una forma efectiva de prevenir la cavitación.

2.5. Control de temperatura

La práctica de pre-enfriamiento de materiales no solo es utilizado con el hielo triturado en el agua de mezcla, si no que los agregados gruesos se pre-enfriaron con aire frío o agua fría antes de la preparación de lotes. Recientemente, agregados finos y gruesos en una condición húmeda ha sido pre enfriados por varios medios, incluyendo saturación al vacío e inyección de nitrógeno líquido. Se ha convertido en una práctica casi estándar en los Estados Unidos para utilizar enfriamiento previo para grandes presas en regiones donde en el verano las temperaturas son altas para asegurar que la temperatura del concreto, a medida que se coloca, no excede aproximadamente 10 °C.

Post-enfriamiento para el control del craqueo también se realiza para el control de las temperaturas máximas.

2.6. Fluencia

Fluencia del concreto es la deformación dependiente del tiempo debido a una carga sostenida. La fluencia parece estar relacionada principalmente con el módulo de elasticidad del concreto. El concreto con altos valores de módulo de elasticidad

generalmente tiene valores bajos de deformación por fluencia. La pasta de cemento es la principal responsable de la fluencia del concreto. Con el concreto que contiene el mismo tipo de agregado, la magnitud de la fluencia está estrechamente relacionada con el contenido de la pasta y la relación agua/cemento del concreto.

Un método para expresar el efecto de la fluencia es el módulo de elasticidad sostenido del concreto en el que la tensión se divide por la deformación total durante el tiempo bajo la carga.

El módulo de elasticidad instantáneo se mide inmediatamente después de que el concreto se someta a carga. El módulo de elasticidad sostenido representa valores después de 365 y 1000 días bajo carga. La fluencia del concreto parece ser aproximadamente directamente proporcional a la relación de tensión-resistencia aplicada, hasta aproximadamente el 40% de la resistencia máxima del concreto.

2.7. Cambio de volumen

El cambio de volumen es causado por cambios en el contenido de humedad del concreto, cambios en la temperatura, reacciones químicas y tensiones de las cargas aplicadas. El cambio excesivo de volumen es perjudicial para el concreto. Las grietas se forman en el concreto restringido como resultado de la contracción y la insuficiente resistencia a la tracción o la capacidad de deformación. El agrietamiento es un factor de debilitamiento que puede afectar la capacidad del concreto para soportar sus cargas de diseño y también puede restar valor a la durabilidad y apariencia.

El encogimiento por secado varía desde menos del 0.02% (o 200 millonésimas) para el concreto pobre de bajo asentamiento con agregados de buena calidad hasta más del 0.10% (o 1000 millonésimas) para morteros ricos, o concreto que contiene agregados de mala calidad y una cantidad excesiva de agua. La contracción por secado es causada por la pérdida de humedad del componente de pasta de cemento, que puede contraerse hasta un 1%. Afortunadamente, el agregado proporciona una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente el 0,06%. La cantidad de contracción por secado está influenciada

principalmente por el volumen, el tipo de agregado y el contenido de agua de la mezcla. Otros factores influyen en la contracción por secado, principalmente porque influyen en la cantidad total de agua en las mezclas. La adición de las puzolanas generalmente aumenta la contracción por secado excepto cuando el requerimiento de agua se reduce significativamente, como con las cenizas volantes. Se sabe que algunos agregados, en particular el graywacke y la arenisca, contribuyen a una contracción de secado extremadamente alta.

El cambio de volumen autógeno es un cambio en el volumen producido por la hidratación continua del cemento, excluyendo los efectos de la carga aplicada y el cambio en la condición térmica o en el contenido de humedad. A diferencia de la contracción por secado, no está relacionada con la cantidad de agua en la mezcla. El cambio neto de volumen autógeno de la mayoría de los hormigones es una contracción de 0 a 150 millonésimas. Cuando se produce una expansión autógena, por lo general, tiene lugar dentro de los primeros 30 días después de la colocación. El concreto que contiene puzolanas a veces puede tener una mayor contracción autógena que el concreto de cemento Portland sin las puzolanas.

El coeficiente térmico de expansión de un concreto depende principalmente del tipo y la cantidad de agregado grueso en el concreto. Los diversos agregados minerales pueden variar en coeficientes térmicos de menos de 3 a 14 millonésimas por ° C. Las pastas de cemento puro variarán de aproximadamente 10 millonésimas a 21 millonésimas por ° C, dependiendo de la composición química y el grado de hidratación. El coeficiente térmico del concreto generalmente refleja el promedio ponderado de los diferentes componentes. A veces, las pruebas de coeficiente de expansión se realizan en concreto que se ha proyectado en húmedo a un tamaño máximo de 37.5 mm para trabajar con muestras de tamaño más pequeño. La cantidad desproporcionadamente mayor de pasta de cemento, que tiene un coeficiente más alto, da como resultado valores más altos que el del concreto masivo. Los coeficientes de expansión térmica del concreto se determinan mejor en especímenes que contienen la mezcla completa de concreto.

El cemento Portland en el concreto libera calor cuando se hidrata, y la temperatura interna del concreto aumenta durante este período (Dusinberre 1945; Wilson 1968). El concreto es relativamente elástico durante esta etapa temprana, y se puede suponer que está cerca de cero tensiones cuando se alcanza la temperatura máxima. Cuando comienza el enfriamiento, el concreto está ganando fuerza y rigidez rápidamente si hay algún tipo de restricción contra la libre contracción durante el enfriamiento, se desarrollan tensiones por tensión y esfuerzo. Las tensiones de tracción desarrolladas durante la etapa de enfriamiento están determinadas por cinco cantidades:

1. Diferencial térmico y tasa de cambio de temperatura;
2. Coeficiente de expansión térmica;
3. Módulo de elasticidad;
4. fluencia o la relajación; y
5. El grado de moderación.

Si la tensión de tracción desarrollada excede la resistencia a la tracción del concreto, o la tensión de tracción desarrollada excede la capacidad de resistencia a la tracción del concreto, se producirá agrietamiento. Los métodos principales más utilizados para reducir el potencial de agrietamiento inducido térmicamente en el concreto incluyen, reducir la temperatura interna máxima que alcanza el concreto, reducir la velocidad a la que se enfría el concreto y aumentar la resistencia a la tracción del concreto. La capacidad de deformación por tracción se puede predecir usando la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad. La capacidad de deformación por tensión térmica del concreto se mide directamente en las pruebas en concreto realizadas durante las etapas de diseño del proyecto.

Los cambios de volumen también pueden resultar de reacciones químicas, que pueden ser potencialmente disruptivas.

2.8. Propiedades térmicas

Una de las características más importantes del concreto masivo que diferencia su comportamiento del concreto estructural es su comportamiento térmico. El tamaño generalmente grande de las estructuras de concreto masivo crea el potencial de importantes diferenciales de temperatura entre el interior y la superficie exterior de la estructura. El cambio de volumen diferencial, junto con esta restricción, dan como resultado tensiones de tracción y tensiones que pueden causar grietas que son perjudiciales para la estructura.

Las propiedades térmicas que influyen en este comportamiento del concreto masivo son el calor, la conductividad y la difusividad específicos. Sin embargo, el factor principal que afecta las propiedades térmicas de un concreto es la composición mineralógica del agregado. Los requisitos para el cemento, la puzolana, el porcentaje de arena y el contenido de agua son factores modificadores, pero ofrecen un efecto insignificante en las propiedades térmicas. El aire atrapado es un aislante y reduce la conductividad térmica, pero otras consideraciones que gobiernan el uso del aire atrapado superan la importancia de su efecto sobre las propiedades térmicas.

2.9. Propiedades de cizallamiento

Aunque la resistencia al corte triaxial se puede determinar como uno de los parámetros de diseño básicos, generalmente se requiere que el diseñador use una relación empírica entre la resistencia al corte y la resistencia a la compresión del concreto.

Las relaciones de resistencia al esfuerzo cortante informadas pueden analizarse linealmente utilizando la ecuación de la envoltura de Mohr $Y = C + X \tan\phi$, en la que C (unidad de fuerza cohesiva o cohesión) se define como la resistencia al corte a una tensión normal cero; $\tan\phi$, que es la pendiente de la línea, representa el coeficiente de fricción interna. X y Y son tensiones normales y cortantes, respectivamente. Cuando se usa la resistencia al corte para el diseño, las presiones de confinamiento de prueba utilizadas deben reflejar las condiciones anticipadas en la estructura. Siempre que sea posible, se deben realizar pruebas de corte directo tanto en concreto parental como en

concreto articulado para determinar la cohesión válida y el coeficiente de los valores de fricción interna para el diseño.

Las juntas de construcción horizontales adheridas pueden tener una resistencia al corte comparable a la del concreto primario. Las uniones no unidas típicamente tienen menor cohesión, pero el mismo coeficiente de fricción interna, cuando se compara con el concreto primario. Si no se realizan pruebas, el coeficiente de fricción interna se puede tomar en 1.0 y la cohesión como 0 para uniones no unidas. Para uniones unidas, el coeficiente de fricción interna puede tomarse como 1.0, mientras que la cohesión puede aproximarse a la del concreto primario.

3. El concreto masivo en cimentaciones de estructuras

3.1. Materiales para mezcla del concreto masivo

Como es el caso con otro tipo de concreto, el concreto masivo es compuesto de cemento, agregados y agua, y con frecuencia puzolanas y aditivos. El objetivo del concreto masivo es la proporción de la mezcla y la selección de combinaciones de materiales que producirán concreto para cumplir con los requisitos de la estructura con respecto a la economía, trabajabilidad, estabilidad dimensional y libre de grietas, bajo aumento de la temperatura, fuerza adecuada, durabilidad y en el caso de estructuras hidráulicas, baja permeabilidad. Este capítulo describe materiales que han sido utilizados exitosamente en masa de concreto y los factores que influyen en su selección y la dosificación.

3.2. Materiales empleados

3.2.1. Cementos

Según el ACI los siguientes tipos de cemento hidráulico son adecuados para uso en masa de concreto en las construcciones:

- Cemento Portland — Tipos I, II, IV y V, son cubiertos por ASTM C 150;
- Cemento Mezclado — Tipos P, IP, S, IS, I(PM), e I(SM), son cubiertos por ASTM C 595; y
- Cemento Hidráulico—Tipos GU, MS, HS, MH, y LH, son cubiertos por ASTM C 1157.

Cuando se utiliza cemento portland con puzolana o con otros cementos, los materiales se agrupan por separado en la plana mezcladora. Economía y baja subida de temperatura se consiguen al limitar el contenido total de cemento a una cantidad tan pequeña como sea posible.

Los cementos tipo I y GU son adecuados para uso en general de construcción. No se recomiendan para uso solo en masa de concreto sin otras medidas que ayuden a controlar problemas de temperatura debido a su sustancialmente mayor calor de hidratación.

Los cementos Tipo II (calor moderado) y MH son adecuados para construcción de concreto masivo porque tienen un calor moderado de hidratación, que es importante para el control de agrietamiento.

Los tipos IV y LH, cementos de bajo calor, pueden usarse donde se desea producir bajo desarrollo de calor en estructuras masivas. No se han utilizado en los últimos años porque han sido difíciles de obtener y, lo que es más importante, porque la experiencia ha demostrado que, en la mayoría de los casos, el desarrollo del calor puede controlarse satisfactoriamente por otros medios.

Los cementos resistentes al sulfato tipo V y HS están disponibles en áreas con suelos altos en sulfato, y con frecuencia tendrán moderada las características del calor.

El cemento portland-pozzolan tipo IP es una mezcla uniforme de cemento portland o cemento de escoria de alto horno portland y puzolana fina. El tipo P es similar, pero los requisitos de resistencia temprana son más bajos, se producen ya sea de cemento y puzolana o mediante la mezcla de cemento portland o cemento de escoria de alto horno portland y puzolana finamente dividida.

3.2.2. Aditivos químicos

Los aditivos químicos pueden proporcionar beneficios importantes para el concreto masivo en su estado plástico mediante el aumento de la trabajabilidad, reduciendo el contenido de agua, o ambos. Además, los aditivos químicos pueden usarse para retardar la configuración inicial, modificando la tasa o capacidad de sangrado, reduciendo la segregación, y reduciendo la tasa de pérdida de revenimiento.

Los aditivos químicos pueden proporcionar importantes beneficios al concreto masivo en su endurecimiento, disminuyendo la evolución del calor durante el endurecimiento,

aumento de la resistencia, disminuir el contenido de cemento, aumentar la durabilidad, disminuir la permeabilidad y mejorar la abrasión o la resistencia a la erosión.

Los aditivos inclusores de aire son materiales que producen burbujas de aire diminutas en el concreto durante la mezcla con la resultante mejora la trabajabilidad, reduce la segregación, disminuye sangrado, genera menos permeabilidad y mayor resistencia a daños por ciclos de congelación y descongelación. El inclusor de aire mejora grandemente la trabajabilidad del concreto pobre y permite el uso de agregados más ásperos y de menor calidad y de formas indeseables. El aire incluido también facilita la colocación y manejo de concreto masivo. Cada 1% del aire incluido permite una reducción en la mezcla de agua de 2 a 4%, con alguna mejora en la trabajabilidad y sin pérdida de revenimiento.

Aditivos reductores de agua y control de fraguado en general consisten en uno o más de los siguientes: ácido lignosulfónico, ácido carboxílico hidroxilado, carbohidratos poliméricos y Naftaleno o melamina que son tipos de reductores de agua de alta gama.

Los aditivos acelerantes no se usan en concreto masivo porque no es necesaria una alta resistencia temprana en tal trabajo y porque los aceleradores contribuyen al desarrollo de calor indeseable en el concreto masivo.

Se utilizan aditivos reductores de agua para reducir la cantidad de agua, aumentar la resistencia y reducir la contracción del concreto, aumentar la trabajabilidad del concreto, o producir la misma resistencia con menos cemento.

3.2.3. Agregados

Agregado fino es esa fracción que pasa casi por completo el Tamiz No. 4 (4,75 mm). Puede estar compuesto de granos naturales, granos manufacturados obtenidos por trituración de roca de mayor tamaño, o una mezcla de los dos. El agregado fino debe consistir en partículas duras, densas, duraderas, sin recubrimiento. El agregado no debe contener cantidades perjudiciales de arcilla, limo, polvo, mica, materia orgánica u otras impurezas para tal medida en que, ya sea por separado o juntos, hacen imposible alcanzar las propiedades requeridas del concreto cuando se está usando

proporciones normales de los ingredientes. Las sustancias deteriorantes suelen estar limitadas a los porcentajes en peso dado en la Tabla 1.

Terrones de arcilla y partículas friables.	3
Material más fino que el tamiz No. 200 (75 μ m):	
Para concreto sujeto a abrasión.	3.0*
Para todos los otros concretos	5.0*
Carbón y lignito:	
Donde la apariencia superficial del concreto es importante	0.5
Todo otro concreto	1

* En el caso de arena fabricada, si el material que pasa por el tamiz No. 200 (75 μ m) consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o pizarra, estos límites pueden aumentarse hasta 5% para concreto sujeto a abrasión y 7% para todo otro concreto.

Tabla 1. Porcentajes máximos permitidos de sustancias nocivas en agregados finos (por peso)

La clasificación del agregado fino influye fuertemente en la trabajabilidad del concreto. Una buena clasificación de arena para el concreto masivo debe estar dentro de los límites que se muestran en la Tabla 2.

Designación de tamiz	Porcentaje retenido, individual por peso
3/8 pul(9.50mm)	0
No.4(4.75mm)	0 a 5
No.8(2.36mm)	5 a 15
No.16(1.18mm)	10 a 25
No.30(600 μ m)	10 a 30
No.50(300 μ m)	15 a 35
No.100(150 μ m)	12 a 20
Fracción de sartén	3 a 7

Tabla 2. Agregado fino para concreto masivo

El agregado grueso se define como grava, grava triturada, roca triturada, o una mezcla de estos, nominalmente más grande que el No.4 (4,75 mm) y más pequeños que los 150 mm para grandes estructuras. Estructuras masivas de concreto estructural, tales como casas de máquinas u otras unidades fuertemente reforzadas que son considerados en la categoría de concreto masivo, han utilizado con éxito agregados gruesos de tamaño más pequeño, generalmente de 75 mm de tamaño máximo, pero con algunos tan pequeños como 37,5 mm. El uso de agregados más pequeños puede

ser determinado por la estrecha separación del acero de refuerzo y embebidos, o por la indisponibilidad de agregados más grandes. Esto da como resultado el uso de mayores contenidos de cemento con efectos adversos en la generación interna de calor y potencial de craqueo que debería ser compensado por un mayor esfuerzo para reducir el requerimiento de cemento y temperaturas de colocación de concreto.

El agregado grueso debe consistir en partículas duras, densas, duraderas, sin recubrimiento. La Roca que es friable o tiende a degradarse durante el procesamiento, transporte o almacenamiento debe ser evitada, la roca que tenga una absorción superior al 3% o una gravedad específica inferior a 2,5 no se considera generalmente adecuada para concreto masivo expuesto sometido a congelación y descongelación. El porcentaje de otras sustancias nocivas tales como arcilla, limo y polvo fino en el agregado que se tenga listo para cargarse al mezclador generalmente no deben superar los valores señalados en la tabla 3.

Material que pasa el tamiz N ° 200 (75 µm)	0.5
Material ligero	2
Terrones de arcilla	0.5
Otros materiales nocivos	1

Tabla 3. Porcentajes máximos permitidos de sustancia nociva en el agregado grueso (por peso)

La Figura 1 muestra una pantalla de lavado de agregados gruesos en la planta de lotes donde el polvo y los recubrimientos se acumulan, donde en el almacenamiento y manejo pueden ser removidos para asegurar la limpieza del agregado.

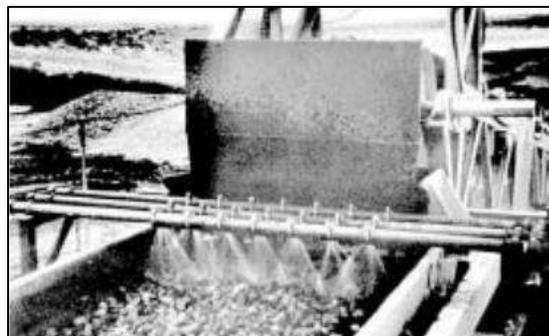


Figura 1. Lavado de agregados gruesos

Los agregados con ciertos compuestos químicos o mineralógicos reaccionan con los álcalis de cemento esta reacción comienza cuando los álcalis (óxido de sodio y potasio) en el cemento entran en solución y atacan los silicatos reactivos existentes en los agregados, como resultado se forma alcalescencia y tendencia a hincharse. Este hinchamiento puede causar expansiones anormales y rompimiento del concreto. Existen medidas correctivas para cuando nos enfrentamos con un agregado potencialmente reactivo. Contamos con tres opciones para solucionar el problema: una es desechar simplemente el agregado para usarse en el concreto, otra opción sería la posibilidad de usar el agregado con cemento con bajo contenido en álcalis y, por último, la expansión debida a algunas reacciones álcali-agregados puede eliminarse agregando una puzolana en la mezcla en cantidades suficientes.

3.2.4. Agua

El agua utilizada para mezclar el concreto debe estar libre de materiales que afecten significativamente las reacciones de hidratación del cemento Portland (Steinour 1960). En general, el agua apta para beber puede considerarse aceptable para su uso en la mezcla de concreto. Se excluirá cualquier contenido objetable de cloruros; sin embargo, las pruebas de contenido de cloruro deben realizarse si hay metales incrustados presentes. Cuando es deseable determinar si un agua contiene materiales que afectan significativamente el desarrollo de la resistencia del cemento, se deben hacer pruebas de resistencia comparativas en morteros hechos con agua de la fuente propuesta y con agua destilada (Método de prueba CRD C 400 de USACE [1963b]).

Las aguas que contienen hasta varias partes por millón de ácidos minerales ordinarios, como el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico, pueden tolerarse en lo que respecta al desarrollo de la resistencia. No deben usarse aguas que contengan incluso pequeñas cantidades de varios azúcares o derivados del azúcar, ya que los tiempos de fraguado pueden ser impredecibles. La nocividad de tales aguas puede revelarse en las pruebas comparativas de resistencia.

3.2.5. Puzolanas y escoria molida

Una puzolana se define generalmente como un material silíceo o silíceo-aluminoso que posee poca o ningún valor cementoso, pero tiene una forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con hidróxido de calcio en condiciones de temperaturas normales para formar compuestos que poseen propiedades cementosas. Las puzolanas son generalmente gobernadas y clasificadas por ASTM C 618 como natural (Clase N) o cenizas volantes (Clase F o C). Hay algunas puzolanas, como las cenizas volantes Clase C, que contienen cantidades significativas de compuestos como los de cemento Portland. Las cenizas volantes Clase C también tienen propiedades cementosas por sí mismas que pueden contribuir significativamente a la resistencia del concreto.

Las puzolanas reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio o cal hidratada liberada durante la hidratación de cemento Portland para formar un compuesto cementicio que produce resistencia estable. Para una mejor actividad, el ingrediente silíceo de una puzolana debe estar en un estado amorfo, como vidrio u ópalo. Los materiales silíceos cristalinos, como el cuarzo, no se puede combinar fácilmente con cal a una temperatura normal a menos que se muelan en un polvo muy fino.

Los materiales puzolánicos naturales como obsidiana, pumicita, cenizas volcánicas, tobas, arcillas, lutitas y tierra diatomeas. Estas puzolanas naturales suelen requerir molienda. Algunos de los materiales volcánicos son de finura adecuada en su estado natural. Las arcillas y lutitas, además de molienda, deben activarse para formar un estado amorfo por calcinación a la temperatura en un rango de 650 a 980 °C.

Las cenizas volantes son el polvo de la combustión de la tierra quemada o el polvo de carbón. Las cenizas volantes adecuadas pueden ser una excelente puzolana si tiene un bajo contenido de carbono, una finura aproximadamente igual a la del cemento portland, y se presenta en forma muy fina, esferas vítreas. Por su forma y textura, el agua es el requisito que se reduce generalmente cuando se utiliza ceniza volante en concreto. Hay indicios de que, en muchos casos, la actividad puzolánica de las cenizas volantes puede incrementarse rompiendo las esferas de vidrio mediante molienda.

Esto puede, sin embargo, reducir sus cualidades lubricantes y aumenta el requerimiento de agua del concreto. Ceniza volante Clase F de alto contenido en sílice son generalmente excelentes puzolanas; sin embargo, algunas volantes de clase C pueden contener un contenido de CaO tan alto que, si bien poseen buenas propiedades cementosas, pueden ser inadecuadas para controlar la reacción de agregados alcalinos o para mejorar la resistencia al sulfato del concreto. Además, las cenizas volantes de clase C son menos útiles para reducir la generación de calor en el concreto.

Las puzolanas en concreto masivo pueden usarse para reducir los factores de cemento Portland para mejorar la economía y reducir la generación de calor interno, mejorar la trabajabilidad y disminuir el potencial de daño por reactividad de agregados alcalinos y ataque de sulfato. Eso debe reconocerse, sin embargo, las propiedades de diferentes puzolanas pueden variar ampliamente. Antes de utilizar una puzolana, debe de ser probado en combinación con el proyecto de cemento y agregados para establecer que la puzolana será beneficiosa y contribuirá a la calidad y economía del concreto. En comparación con el cemento portland, el desarrollo de la resistencia de la acción puzolánica es lenta a edades tempranas, pero continúa en un nivel más alto por un tiempo más largo. Se esperaría que la resistencia temprana de un concreto portland cemento-puzolano sea menor que la de un concreto de cemento de Portland diseñado para equivalentes resistencias en edades posteriores. Donde alguna porción de concreto masivo requiere alcanzar la resistencia a una edad más temprana de lo que es posible con la mezcla de concreto masivo regular, el aumento de calor interno generado por el concreto sustituto de resistencia temprana, puede ser acomodado por otros medios. Donde se está utilizando puzolana, puede ser necesario renunciar temporalmente al uso de la puzolana y de otro modo acomodar el aumento del calor interno generado por el uso de cemento Portland directo. Sin embargo, si hay un potencial peligro de reacción de álcali-agregado, la puzolana debe ser utilizada, y así el aumento de la resistencia acelerada se logra mediante el contenido adicional de cemento.

Las puzolanas, particularmente las de tipo natural, han sido efectivas en la reducción de la expansión del concreto que contiene agregados reactivos. La cantidad de esta reducción varía con la composición química, la finura de la puzolana y la cantidad empleada para algunas puzolanas, la reducción de la expansión puede superar el 90%.

Las puzolanas reducen la expansión consumiendo el álcalis del cemento antes de que puedan entrar en reacciones nocivas con los agregados. Cuando se usan agregados alcalinos reactivos, se considera una buena práctica al utilizar tanto un cemento de bajo contenido de álcali como una puzolana de una probada eficaz capacidad correctiva.

Escoria de alto horno de hierro finamente granulada, comúnmente conocido como cemento de escoria, también se puede usar como ingrediente separado con cemento portland como material cementicio en concretos masivos. Los requisitos para el cemento de escoria para uso en concreto se especifican en ASTM C 989. Si se usa con cemento portland Tipo I, las proporciones de al menos 70% de escoria finamente molida del total del material cementicio puede ser necesario utilizar una escoria activa para producir cemento de escoria combinada que tendrá un calor de hidratación inferior a 60 cal / g (250 kJ / kg) a los 7 días. La adición de escoria reducirá por lo general, la tasa de generación de calor debido a una tasa de hidratación ligeramente más lenta. La escoria finamente molida también produce muchas de las propiedades beneficiosas en concreto que es logrado con las puzolanas adecuadas, como la reducción de la permeabilidad, control de la expansión del agregado reactivo, resistencia al sulfato, y mejora la trabajabilidad. La escoria finamente molida, sin embargo, es usada generalmente en porcentajes mucho más altos que el de la puzolana para lograr propiedades similares.

3.3. Procedimiento técnico para el colado masivo

3.3.1. Procedimiento técnico para desmante y despalme

Actividades preliminares

Se debe tener un banco de nivel y de coordenadas como referencia para trazar los ejes de la planta o proyecto y verificar los niveles antes y después del despalme.

Se deberá tener el área de la planta o proyecto debidamente delimitada con estacas o puntos de referencia de acuerdo a los límites indicados en los documentos aprobados.

Actividades principales

Desmante

El desmante se puede realizar con tractor de oruga o herramienta manual como hacha, machete, etc., una vez que los árboles, arbustos o maleza han sido cortados, se deberán acamellonar o amontonar en distancias uno de otro aproximadas de 50 mts.

Se cargará el material amontonado producto del desmante en camiones de volteo con un cargador frontal o a mano para su retiro y depósito en el lugar previamente establecido y aprobado por el cliente en caso que sea requerido.

Los árboles y vegetación mayor, serán eliminados con tractor y se cargarán en camiones con plataforma para su retiro del sitio de la obra.

Con retroexcavadora se extraerá la vegetación y mangle de las zonas pantanosas, cargando el producto directamente a los camiones de volteo para su retiro al lugar predeterminado.

Despalme

Una vez concluido el desmante, se podrá iniciar el despalmado del área, de conformidad con lo siguiente:

- Se trazará con estacas el área que será despalmada, esta actividad será realizada por el personal del departamento de topografía.
- Con apoyo en el banco de nivel de la planta, se realizará un levantamiento de los niveles antes del despalmado.

- Retirar con tractor de cuchilla la capa vegetal superficial del espesor, que se indique por el proyecto acamellonando el material a distancias no mayores de 50 mts. para evitar tránsito largos del tractor que reduzcan su eficiencia.
- Una vez amontonado el material será cargado a camiones de volteo y depositado en los bancos de tiro autorizados.
- Realizar un levantamiento de los niveles del área despalmada para confirmar el espesor final que fue cortado y determinar los volúmenes de acarreo.

Se indicará el área desmontada y despalmada, verificada por el personal de topografía.

3.3.2. Procedimiento técnico para trazo y nivelación del terreno

Preliminares

Concluidos los trabajos de desmonte y despalme, se realizan las actividades de trazo y nivelación del terreno, una vez que el producto de la limpieza a sido retirado a los tiraderos autorizados, dejando limpias las áreas donde se ubicarán las instalaciones.

Principales

Se inicia la actividad con el levantamiento topográfico del terreno después del desmonte y despalme, incluyendo secciones transversales, para determinar los cortes y terraplenes, para conformar las plataformas de construcción a nivel de proyecto, de cada uno de los edificios o estructuras que se instalarán.

Una vez determinados los volúmenes de corte y rellenos necesarios, se realizarán los trabajos de movimientos de tierras. El movimiento de tierras se realizara con equipo mecánico, hasta que las plataformas de trabajo queden a nivel de proyecto. Quedarán registrados los volúmenes de corte y terraplén para efectos de control de obra. Estos registros serán elaborados por el personal del departamento de topografía y revisados y autorizados por el Jefe de Area Civil.

Se procede al trazo y localización de la planta y de cada una de las cimentaciones de los edificios, instalaciones, tanques y todos los elementos integrantes del proyecto, de acuerdo a la localización indicada en los planos aprobados.

Los trazos estarán debidamente referenciados a la cuadrícula del proyecto y serán marcados con estacas, trompos y trazos con cal. Estos trazos deberán remarcarse cuantas veces sea necesario en cada fase de la construcción.

Posterior a la construcción de las cimentaciones y caminos, se realizará una nivelación final en las áreas exteriores de los edificios, para nivelar el terreno a las cotas de proyecto, dejando las pendientes apropiadas para el desalojo de aguas pluviales, de conformidad a la información aprobada.

La tolerancia en la nivelación del terreno, será la cota de proyecto ± 5 cms.

La nivelación final del suelo se podrá realizar a mano o equipo mecánico, dependiendo del área por nivelar.

3.3.3. Procedimiento técnico para excavaciones, acarreo y rellenos

Antes del inicio de las actividades indicadas en el alcance de este documento, se debe determinar topográficamente en el proyecto los cortes y rellenos necesarios, documentando la localización y volumen de los mismos, así como localizar los bancos de préstamo de material para relleno y los tiraderos de materiales no aprovechables producto de las excavaciones.

Excavaciones

Se procede a ejecutar el trazo del terreno e iniciar los trabajos de excavación. El equipo a utilizar en la excavación estará de acuerdo con los volúmenes de corte y tipo de material por excavar. El material producto de la excavación será depositado a un costado de la excavación, para su retiro o uso posterior, evitando que interfiera con la continuidad de los trabajos.

Si el material excavado es aprobado para relleno, pero interfiere con la continuidad de los trabajos, debe ser retirado a un área de almacenamiento para su uso posterior. Si el material no es aprobado para rellenos, debe ser acarreado a los tiraderos aprobados para este fin.

El afine de la excavación donde se alojara las cimentaciones de concreto se realizará manualmente y será verificado el nivel y ejes por el personal del área de topografía.



Figura 2. Excavación con excavadora

Acarreos

Los acarreos se realizarán en camión de volteo, cargado el material producto de la excavación o de banco para rellenos con retroexcavadora o con un cargador frontal. La unidad de medida será m³ - km. medido en banco. Los acarreos deberán ser documentados.

Rellenos

Los rellenos, ya sea para nivelar las plataformas de trabajo o posterior al colado de las cimentaciones para rellenar las excavaciones, se realizarán con material aprobado por el Jefe de Area Civil o el cliente, el material a utilizar en los rellenos será producto de las excavaciones o de bancos de préstamo aprobados.

El relleno será realizado en capas de 25 a 30 cms. de espesor máximo, humedeciendo el material si lo requiere, para dar el grado de compactación de proyecto, y debe ser compactado con el equipo apropiado (pisón, bailarina, rodillo, etc.), dependiendo del área por rellenar y del tipo de material que será utilizado en el relleno.

No es permitido rellenar un volteo sin la previa autorización del inspector de obra civil, solamente que por necesidades de la obra o por la dificultad para la compactación se autorice este tipo de relleno por el Jefe de Aseguramiento de Calidad de Proyecto.

Se realizarán pruebas de compactación del suelo en donde el inspector considere conveniente, o donde se especifique en los documentos aprobados. El tipo de prueba dependerá del tipo de material del relleno, el grado de compactación será el que indiquen los dibujos, especificaciones técnicas o documentos aprobados. Si no se especifica el grado de compactación, esta será de 95% en suelo bajo cimentaciones y del 90% en rellenos laterales o sobre la cimentación.

La prueba de compactación del suelo será realizada por un laboratorio externo y se documentará en el formato de la empresa que preste el servicio.



Figura 3. Compactación del terreno con vibrocompactador

3.3.4. Procedimiento técnico para pilas de cimentación profunda

Desarrollo

Antecedentes: Cuando el tipo de suelo subyacente no tiene la capacidad de absorber las cargas de los edificios o equipos, debido a la existencia de estratos compresibles,

es necesario transmitir las cargas a estratos más resistentes o profundos, los cuales se encuentran a profundidades variables, por lo que es necesario la construcción de pilas de cimentación profunda para transmitir los esfuerzos hasta los estratos resistentes.

Actividades preliminares

Se limpiará y nivelara la zona donde se localizan las diferentes pilas de cimentación, verificando que existan los accesos necesarios (rampas, plataformas), para el libre paso de las máquinas perforadoras y equipo de transporte de concreto.

La brigada de topografía se encargará de trazar el centro de cada pila, de conformidad a la localización indicada en los dibujos aprobados, y con la anticipación necesaria a los trabajos de perforación. En caso de que el trazo de la pila se pierda por cualquier motivo, este se debe volver a marcar.

a. Preparación del lodo para el ademado de la perforación

Se preparara el lodo para ademar (mantener estable) la perforación y evitar en lo posible derrumbes o caídos al interior. Se utilizará para la preparación un depósito metálico (pipa) de aproximadamente 20.0 m³ de capacidad. El lodo consiste en una mezcla de agua-bentónita o agua-polímero, para obtener las siguientes propiedades físicas:

- Densidad entre 1.05 y 1.10 gr/cm³
- Viscosidad Marsh entre 40 y 45 seg.
- Contenido de arenamáximo 5 %

Se recirculará el lodo de la mezcla, mediante una bomba, el tiempo suficiente para lograr las propiedades anteriores.

b. Acero de refuerzo (incluye alambraón y alambre recocido)

Se habilitara el acero de refuerzo para el concreto de la pila conforme a los dibujos, el cual será de un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia a la tensión, si no se especifica otra cosa en los dibujos aprobados.

Se debe colocar en el armado los separadores (entre suelo y acero) para permitir el espesor de recubrimiento especificado. Los separadores serán de concreto y deben garantizar el espesor del recubrimiento mínimo especificado entre el armado y el suelo de la excavación. El recubrimiento no será inferior a 7 cms. Se habilitarán y colocarán en el armado los ganchos para el izaje, manejo, transporte y colocación del armado dentro de la excavación.

c. Concreto

La resistencia mínima del concreto a la compresión simple será $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días o lo que se indique en los planos constructivos.

El tamaño máximo del agregado grueso (grava) será de 19 mm (3/4").

El revenimiento en obra será de 18 cm. con una tolerancia de $\pm 2 \text{ cm.}$, el revenimiento será verificado por el laboratorio de concreto antes de la colocación del concreto.

Solamente se usarán aditivos para el concreto aprobados por el Residente Civil y el cliente.

d. Agua

El agua para la fabricación del concreto deber ser clara y limpia, libre de contaminantes como aceite, ácidos, alcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan deteriorar el concreto o el acero de refuerzo.

Actividades principales

a. Perforación

En el centro del trazo de la pila marcado, se posicionará la broca de la máquina perforadora, considerando los límites especificados en los dibujos, verificando la verticalidad del equipo a través de "plomos" en dos direcciones ortogonales.

Una vez verificado el centro y la verticalidad del equipo de perforación, se inicia el proceso de perforación, hasta una profundidad ligeramente mayor a la longitud del brocal, para la colocación del mismo. Se colocara el brocal, cuidado de no provocar

movimientos bruscos en el lodo dentro de la excavación, con el que se va llenando la perforación, para evitar derrumbes en el interior de la excavación.

Una vez colocado el brocal, se continúa con la perforación hasta el nivel indicado en los dibujos. Se realizará una limpieza del fondo de la excavación con el bote de perforación, ya que por los diámetros de la perforación (60, 80 y 100 cms.), es posible realizarla con el último retiro del bote. Se debe verificar con una sonda que el fondo haya quedado libre de azolves y que sea sensiblemente horizontal.

Una vez que se ha terminado la perforación, el lodo del ademado con el que se lleno la perforación se analizara y en caso de no cumplir con las propiedades físicas requeridas, se debe sustituir por lodo "limpio", es decir, lodo recién fabricado que cumpla con las propiedades físicas requeridas y señaladas anteriormente. Esta actividad se realizará utilizando el sistema "Air Lift", el cual consiste en bombear el lodo existente en la perforación a través de un tubo metálico hasta las pipas que lo llevarán a depositar al lugar autorizado. El proceso de saneamiento de la mezcla termina cuando se obtienen las propiedades especificadas, principalmente en lo que se refiere a la viscosidad " Marsh " y el contenido de arena, con lo que se obtiene una pila de calidad libre de contaminantes.

b. Colocación del armado en la perforación

Una vez comprobadas las características del lodo y está es aceptada por el inspector, así como la perforación en cuanto a posición, profundidad y dimensiones, se procede a la introducción del acero de refuerzo al interior de la perforación. La colocación se realiza con ayuda de la máquina perforadora, verificando constantemente la verticalidad y el alineamiento del armado, teniendo especial cuidado en el izaje y vigilando no provocar deformaciones excesivas que pudieran poner en riesgo la estabilidad de la excavación. Para ello se levantará el armado de manera simétrica garantizando así un manejo y colocación adecuados.

Se utilizarán perfiles de acero transversales (vigas) apoyados sobre el brocal, los cuales sirven para soportar el armado, evitando que se apoye en el fondo de la excavación, con lo cual se asegura el recubrimiento de concreto requerido en el fondo.

c. Colocación de concreto

El llenado de la perforación o colocación del concreto premezclado, se lleva a cabo utilizando el sistema Tremie, el cual consiste en una tubería metálica roscada en los extremos de 8" de diámetro, la cual es instalada en el centro del armado y de la perforación, y debe ser hermética en su pared y conexiones roscadas para impedir la penetración de lodo en la pila de concreto. Esta tubería se introducirá inmediatamente después de colocado el armado en la perforación, utilizando la máquina de perforación, colocando la tubería hasta el fondo de la perforación, levantándola 10 cm. para permitir la salida del concreto.

En el extremo superior de la tubería se colocará una tolva o embudo, de un diámetro mayor al de la tubería Tremie (aproximadamente 70 cm), la cual sirve para la captación y encausamiento del concreto y tener un mejor control en el vaciado. En el interior de la tubería Tremie se colocará un balón de latex ajustado al diámetro interior, el cual servirá de frontera entre el concreto colocado y el lodo del adorado: Dicho lodo irá emergiendo lentamente al ser desplazado por el concreto y el concreto irá ocupando el espacio dejado por el lodo, debido a la diferencia de densidades.

Durante la operación de colocación de concreto en la perforación, el lodo del adorado debe ser continuamente bombeado y captado en la pipa, manteniendo su nivel original en el interior de la excavación. El tubo Tremie se irá retirando, manteniéndolo ligeramente inmerso en el concreto para evitar la contaminación del concreto con el lodo de la mezcla (ver figura 4). Sí el lodo del adorado recuperado de la excavación cumple con las propiedades físicas especificadas, puede ser almacenado en el mismo depósito de lodo para volverlo a utilizar una vez más, desechándose posteriormente.

Al llegar el concreto a la superficie de la perforación o a la cota de proyecto especificada (la cual será de aproximadamente 50 cm. mayor al nivel de proyecto de la pila) se detiene el proceso de vaciado, verificando el nivel superior de la pila.

La elevación de la cabeza de la pila al terminar el colado, respecto al nivel del proyecto, no debe ser inferior a 20 cm. ni mayor a 100 cm.

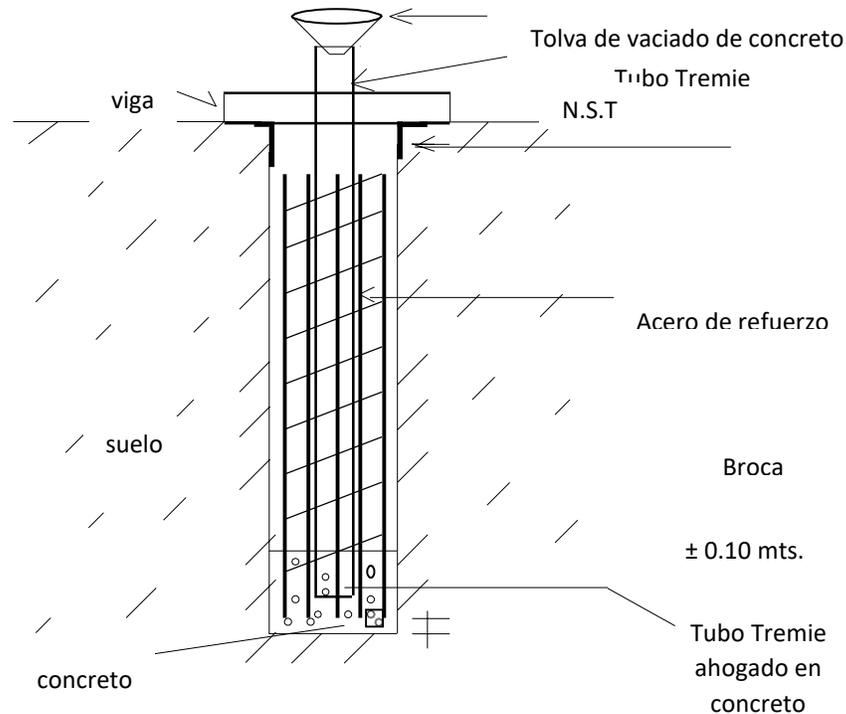


Figura 4. Figura 4

d. Reparación de junta fría

En el caso de que por condiciones extraordinarias el colado tenga que ser suspendido creando una junta fría en el concreto, se deberán cuidar los siguientes pasos:

Descubrir la pila hasta el punto donde se presentó la junta fría y preparar la superficie. Posteriormente se procede a cimbrar y colar el resto de la pila como se indica en este procedimiento.

3.3.5. Procedimiento técnico para construcción de cimentación

Desarrollo

1. Previamente al inicio de los trabajos de excavación para construir la cimentación de los edificios y equipos, deberá realizarse las siguientes actividades:
 - Desmante y despalme (si aplica).
 - Nivelación de la plataforma de trabajo.
 - Construcción de la cimentación profunda a base de pilas o pilotes (si aplica).
2. Se llevará a cabo la localización y trazo del área donde se alojara la cimentación por el personal de topografía, señalizando el área de la excavación con líneas de cal.
3. Se realiza la excavación con equipo mecánico o manual hasta aproximadamente 10 cms. arriba del nivel de proyecto. Se sobre excavara lateralmente de tal manera que se pueda instalar la cimbra.
4. Se procede al descabece (demolición o saneamiento) de las pilas o pilotes hasta el nivel de desplante de la cimentación (si hay pilas o pilotes), retirando el producto de la demolición en camión de volteo al sitio autorizado.
5. Se procede al afine de la excavación a mano. Si se excedió la excavación, se rellenara y compactara el suelo con vibrocompactador, bailarinas o rodillos, lo que sea más práctico. El grado de compactación del relleno será 95% del tipo de prueba especificada, o lo que indique los dibujos o especificaciones del cliente.
6. Se iniciará la construcción de la plantilla, dejando un cárcamo de bombeo en una esquina de la cimentación (si el nivel de desplante es inferior al nivel freático, ver fig. 6). El espesor de la plantilla será el que indique los planos aprobados, pero no será menor a 5 cms.



Figura 5. Plantilla de concreto pobre

La resistencia del concreto de la plantilla será de 100 kg/cm² o el que indiquen los dibujos aprobados. La tolerancia en el nivel de desplante de la cimentación (N.D.C.) será de ± 2 cms., a menos que se especifique otra cosa en los documentos del cliente.

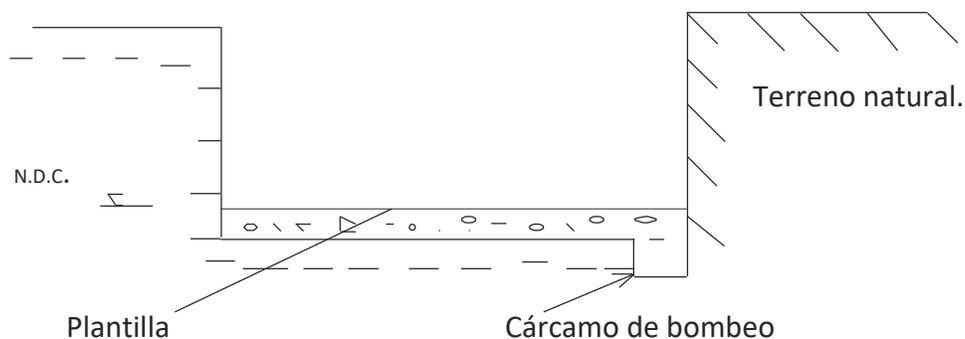


Figura 6. Plantilla con un cárcamo de bombeo en una esquina

7. Se trazan los límites de las zapatas o bases de cimentación sobre las plantillas para la colocación del armado del acero de refuerzo, conforme a los planos aprobados.
8. Se realiza la colocación del acero de refuerzo en la cantidad y diámetros indicados en los dibujos aprobados y registrándolo.

9. Se instala la cimbra, metálica o de madera, sujetándola adecuadamente con amarres, torsales, moños y apuntalándola adecuadamente.
10. Se verifica topográficamente las dimensiones geométricas de las bases o zapatas, la alineación y el plomeo de la cimbra, el nivel superior de concreto y del acero de refuerzo para verificar su recubrimiento.
11. Se procede a colocar anclas y embebidos (placas, conduit, etc.) sujetándolo correctamente al acero principal para evitar que se mueva de su posición durante el colado.



Figura 7. Colocación de anclajes para recibir equipo de mucha altura

No es permitido soldar las anclas o embebidos al acero principal, se puede colocar acero auxiliar si se requiere.



Figura 8. Anclajes para recibir estructura de equipo

12. Se realizarán los preparativos para la colocación del concreto, entre los principales se indican los siguientes:
 - Accesos para la bomba de concreto y/o el carro olla.
 - Chequeo topográfico final. (Acero embebido, acero de refuerzo y cimbra).
 - Instalación de alumbrado si es necesario.
 - Agua suficiente.
 - Vibrocompactadores del concreto en buen estado y suficiente cantidad.
13. Se realiza el pedido o fabricación del concreto en sitio, con las características indicadas en los dibujos aprobados (dosificación, resistencia, revenimiento, uso de aditivos, etc.).
14. Se lleva a cabo la colocación del concreto, cuidando su adecuada compactación a través de un buen vibrado.

15. Después de retirar la cimbra se procede al curado del concreto con riegos de agua o con membranas aprobadas; si el curado se realiza con agua debe ser durante 7 días.
16. Se eliminan los alambres utilizados para los amarres de la cimbra y se resana el concreto.
17. Se procede posteriormente al colado de dados de cimentación.
18. Finalmente se procede a los rellenos, para nivelar el terreno excavado, hasta los niveles de proyecto. Se verificara en caso de que se especifique el grado de compactación de los mismos.

3.3.6. Procedimiento técnico para armado de acero de refuerzo para concreto

Desarrollo

En el pedido de varilla debe considerarse un 5% de desperdicio, así como prever una cantidad adicional para la fabricación de silletas, separadores y varillas adicionales para el armado auxiliar para fijación de embebidos. En caso de grandes longitudes, se considera la longitud de los traslapes para fines de cuantificación.

El solicitante del acero de refuerzo debe liberar el acero de refuerzo en el almacén verificado que corresponda a lo indicado en el pedido.

Se debe preparar un área adecuada para almacenar los atados de varillas, para la colocación de la mesa para doblar o habilitar el acero, para trazar, colocar la guillotina y para almacenar el acero ya habilitado.

El residente o jefe de área civil verifica que se tiene la última revisión de los planos del armado.

Normalmente existe un plano que resume la cantidad de varillas, así como su diámetro, tipo, longitud, peso y elementos a los cuales corresponde cada grupo de varillas. De acuerdo a este plano, se preparan y cortan, (con oxiacetileno cuando lo autorice el

supervisor del cliente o con guillotina) las cantidades de varilla de cada grupo con su longitud requerida.

Dependiendo del diámetro, se procede a realizar los dobleces necesarios, ya sea con dobladora o en forma manual, el doblez se realizará de acuerdo a la siguiente tabla:

DIAMETRO VARILLA	DIAMETRO DOBLES MIN.
No. 3 HASTA NO. 8	6 Ø
No. 9, 10 Y 11	8 Ø
No. 14 Y 18	10 Ø

Tabla 4. Mínimo diámetro de dobles

En la habilitación de acero se deberán considerar las especificaciones del ACI318 del capítulo 7 "detalles de refuerzo", para dobleces con relación a su diámetro, colocación del refuerzo, ganchos estándar, conexiones, etc.

Los amarres entre varillas se realizarán con alambre recocado para garantizar la correcta localización y separación del armado.



Figura 9. Armado de lecho inferior de losa



Figura 10. Armado de lecho superior de losa

3.3.7. Procedimiento técnico para colocación de embebidos en concreto

Desarrollo

Actividades preliminares

Estas actividades resultan de suma importancia, ya que consisten en revisar planos y especificaciones, requisitar oportunamente los materiales requeridos, liberarlos a la recepción, proceder a su habilitación en taller o en campo según sea el caso.

Dependiendo del embebido que se va a habilitar, el proceso puede llevarse a cabo en taller (torno, taladro, soldadura automática, etc.) o en campo, donde básicamente debe contarse con equipo de corte, pulidora, máquina de soldar, tarraja, etc.

Entre los embebidos más comunes tenemos:

- Anclas con o sin camisa (tubo)
- Tuberías
- Ductos
- Viguetas
- Pernos
- Placas
- Ángulos
- Canales
- Conduits

Actividades principales

Los embebidos de acero deberán llevar su propio anclaje o sistema de fijación, por lo general se sujetan al acero de refuerzo o se sueldan a acero adicional que se coloca con esa finalidad.

Se llevará a cabo la colocación del embebido que va a ser ahogado en concreto y se procede topográficamente a su localización, alineación y nivelación según sea aplicable.

No se permite soldar los embebidos de acero al acero de refuerzo principal. Los embebidos durante el colado pueden sufrir desplazamientos a la hora de vibrar el concreto, por lo cual serán revisados por el topógrafo inmediatamente después de colado el elemento para garantizar que su localización y nivel son correctos. En caso de que se encuentre algún embebido fuera de su posición, éste debe ser corregido.

Se debe tomar precauciones adicionales para verificar la localización y nivel de los pernos de anclaje, ya que es un embebido crítico ya que en ellos se fija equipo o estructura.

Las camisas (tubos) de las anclas, deberán taparse del extremo expuesto, para evitar la entrada de concreto en las mismas, igual se procederá con la tubería conduit.

Las anclas deberán protegerse para evitar que se impregnen de lechada, la protección puede ser con una manguera o envoltura de papel.

Para la liberación de los elementos eléctricos dentro de un elemento de concreto se debe checar que no se tenga ninguna interferencia con la base del equipo que se colocará posteriormente, marcando dicha base con hilo reventón para asegurarse de que no queden obstruidas las salidas de los tubos conduit.

Las tolerancias de localización y nivel serán las indicadas en los dibujos aprobados. Si no es proporcionada esta información se solicitará al cliente el criterio de aceptación.

Una vez descimbrado el elemento, se procede a limpiar la lechada de los embebidos, para dejarlos listos para el proceso siguiente.

Por su peso, algunos embebidos de acero se pueden apoyar directamente al acero de refuerzo inferior del elemento a colar, mediante silletas o soportes, y de ser necesario, se pueden aplicar puntos de soldadura al refuerzo adicional para garantizar su sujeción apropiada durante el colado y evitar desplazamientos.

Si por interferencia con el acero de refuerzo principal, se requiere cortar alguna varilla de refuerzo, se debe consultar al personal del departamento de aseguramiento de calidad para su aprobación.



Figura 11. Embebidos para drenajes aceitosos y sistema de tierras

3.3.8. Procedimiento técnico para instalación y apuntalamiento de cimbras

Desarrollo

Actividades preliminares

En el caso de cimbras permanentes para losas a base de lámina galvanizada, ésta no podrá ser colocada hasta que la estructura metálica haya sido alineada, plomeada y el

apriete de la tornillería esté concluido y aceptado por el inspector del departamento de aseguramiento de calidad.

Así mismo, deberán estar concluidas las actividades de aplicación de pintura en la estructura, la colocación y soldadura de los conectores sobre las vigas en las que se apoyara la losa de concreto.

En el caso de cimbras de madera temporales para cimentaciones, éstas no serán colocadas hasta que se haya realizado el trazo del elemento por el personal de topografía y esté concluida la colocación del acero de refuerzo en el elemento por colar.

Actividades principales

La cimbra se ajustará a las formas, líneas, niveles y calidad indicados en los planos y especificaciones.

La obra falsa deberá estar contraventada y unida adecuadamente entre sí, mantener su forma y posición durante su utilización esto le dará estabilidad.

Los moldes deberán unirse y sellarse lo mejor posible para evitar fugas de la lechada y de los agregados finos durante el vaciado y compactación.

No se permitirán separadores metálicos en el interior de los moldes.

Los pies derechos irán sobre terreno firme y estarán colocados sobre cuñas de madera de tal forma que se pueda controlar y corregir cualquier asentamiento.

El número de usos que se le dé a la cimbra dependerá del acabado que señale el proyecto.

Todas las aristas vivas llevarán un chaflán de 1" x 1".

Se coloca la frontera en el perímetro de la losa y se coloca chaflán para el goterón.



Figura 12 Cimbrado perimetral y colocación de anclajes embebidos

En cimbras donde se tengan claros mayores de 5 m. deberá entregarse el cálculo de la misma considerando cargas vivas y muertas.

Para la utilización de lámina galvanizada como cimbra permanente, esta será habilitada para su colocación, cortándose a la medida del claro a cubrir, haciendo los cortes necesarios en la interferencia con las placas de conexión de la estructura, tornillería, columnas, conectores, etc.; procediendo posteriormente a puntear la lámina con soldadura a las vigas que la soportarán así como lámina con lámina en los traslapes de éstas.

Cuando los claros entre vigas donde se instalará la lámina sean mayor o igual a 1.50 mts., ésta debe apuntalarse temporalmente en el centro del claro.

Se colocará el acero de refuerzo sobre la cimbra de lámina en caso de losas o sobre la plantilla de concreto, cuando se trate de cimentaciones.

Terminado de colocar el acero de refuerzo, se inicia la colocación de cimbra lateral, sobre el trazo marcado por el personal de topografía, armándose los tableros adecuadamente y previendo que el acero de refuerzo tenga el recubrimiento indicado en planos.

La cimbra de madera se habilita en tableros de acuerdo al elemento por colar, dándole una preparación a la cara de la cimbra que estará en contacto con el concreto, ésta preparación consiste en una aplicación desmoldante, con el fin de evitar la adherencia de la cimbra con el concreto.

Colocados los tableros laterales, se procede a la fijación de la cimbra o troquelamiento, asegurándose un tablero con otro con amarres de alambón o torsales de alambre recocido. Se puede utilizar también moños o varillas para sujetar la cimbra por ambos lados del elemento por colar, usándose además si se requiere sistemas de apuntalamiento a base de polines y en casos necesarios se utilizarán tensores de varilla amarrados o soldados según lo indique el Jefe de Área Civil.

Terminada de sujetar la cimbra lateral, se procede a un nuevo chequeo topográfico para verificar su alineación, plomeo y niveles.

Verificada topográficamente la colocación de la cimbra, se revisa y calafatea en las juntas para proceder al colado de concreto.

La evidencia de que la cimbra ha sido revisada y aprobada, será la firma del Jefe de Área Civil el inspector y el topógrafo.

3.3.9. Procedimiento técnico para inspección de materiales, mezclado, muestreo y colocación de concreto.

Desarrollo

1.- Inspección de materiales

Antes de la fabricación de un concreto, se debe inspeccionar los materiales (arena, grava, cemento y agua), para verificar que estos cumplen con las especificaciones de granulometría, sanidad y calidad de los mismos.

- a) Agregados. Los agregados para el concreto deberán cumplir con "Especificación para agregados de concreto" ASTM C33.

El tamaño máximo del agregado no será mayor que $1/5$ de la más angosta de las dimensiones entre lados de la cimbra, o $1/3$ de la profundidad de la losa, o $3/4$ " el mínimo espacio entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras o torones del preesfuerzo o ductos.

b) Agua. El agua usada para la fabricación del concreto debe ser clara y libre de aceite, ácido, alcalis, sales y materiales orgánicos u otras sustancias que pueden deteriorar el concreto o el acero de refuerzo.

c) Cemento. El cemento portland deberá cumplir en la "especificación para cemento portland"

Los responsables directos de llevar a cabo la inspección y chequeo de todos los componentes que intervienen en la fabricación del concreto, será el personal del departamento de aseguramiento de calidad.

2.- Mezclado

Después de la inspección de los materiales, se procederá a la fabricación del concreto en la olla revolvedora, cuidando el buen mezclado de los materiales, su dosificación y secuencia de mezcla, de acuerdo con el procedimiento del proveedor de concreto.

Se observará que la mezcla sea de una apariencia uniforme y todos los materiales se hayan distribuido adecuadamente.

El tiempo de mezclado de un concreto dependerá del volumen de la mezcla, el grado de endurecimiento, el tamaño de los agregados y el tipo de la olla revolvedora, después de agregar todos los materiales en la olla revolvedora.

3.- Muestreo del concreto

El concreto deberá muestrearse para cada clase de concreto colocado con resistencia de proyecto mayor o igual a 150 kg/cm^2 ; el muestreo se hará una vez cada 125 m^3 de concreto, o una vez por cada 400 m^2 de área, pero el muestreo nunca será menor a una vez por día.

Cada muestra de concreto constará de 6 cilindros, los cuales serán manejados, curados y probados 2 cilindros a 7 días, 2 cilindros a 14 días y 2 a los 28 días. El resultado individual de cada cilindro probado a 28 días no será menor de la resistencia de proyecto especificada en los planos o documentos aprobados.



Figura 13. Recepción de concreto por laboratorio en sitio

4.- Preparación del elemento

Antes de iniciar el colado de cualquier elemento de concreto se debe verificar lo siguiente:

- La localización del elemento con topografía conforme a ejes, niveles y dimensiones de acuerdo a lo indicado en el procedimiento de trazo y nivelación
- Se verificará que la cimbra este bien fija, limpia y no tenga espacios por donde se escape la lechada, de acuerdo a lo indicado en el procedimiento de la cimbra.
- Se deberá tener el área o elemento a colar debidamente cimbrado y troquelado, alineado, nivelado, limpio y humedecido al menos 3 horas antes de ser colado.
- El acero de refuerzo cumpla con los diámetros y recubrimientos indicados en los dibujos aprobados para construcción del proyecto y esté libre de aceite, lodo, oxido excesivo o cualquier otra sustancia indeseable.

- Se retirará el agua en exceso dentro de los moldes o cimbras, así como pedazos de madera, tierra, papeles y todo material extraño ajeno al elemento.
- Se verificara que los embebidos y anclas que indiquen los dibujos estén correctamente colocados y fijados.

Una vez cumplido lo anterior y finalizado cada uno de los puntos, se procederá a informar a los responsables de las disciplinas.

Se debe contar con el chequeo y aprobación del personal de las áreas civil, mecánica, eléctrica, de topografía y de aseguramiento de calidad. La liberación del elemento para permitir el colado se documentará en un formato específico, sin este formato previamente aprobado no se debe proceder al colado del elemento.

Posterior al chequeo por el personal de supervisión de cada especialidad y las indicaciones si las hubiera fueron atendidas, se procederá a preparar el equipo necesario para el colado, así como el personal suficiente y adecuado. Se verificara la disponibilidad de energía eléctrica, equipo para revenimiento y muestreo del concreto.

5.- Transporte del concreto

El transporte del concreto al área de colocación será en camión con revolvedora el cual debe estar limpio de mezclas anteriores.

Las ollas de transporte deben garantizar que el concreto fresco es mantenido con uniformidad dentro de la bacha y evitar segregaciones.

6.- Colocación del concreto

Al llegar el concreto al sitio de colocación se documentara la fecha del colado, la hora de fabricación del concreto, la hora de llegada a la obra, revenimiento, F'c del concreto, volumen de concreto en la olla, numero de muestra tomada y número de remisión, para lo cual se usara un formato de " Control de Vaciado de Concreto " o en el formato del subcontratista en caso de que el subcontratista registre esta información con el fin de evitar duplicar información.

El revenimiento de concreto será de acuerdo a lo indicado en ACI, como se indica a continuación:

Revenimiento menor que 5 la tolerancia será ± 1.5 cm.

Revenimiento entre 6 y 10 la tolerancia será ± 2.5 cm.

Revenimiento mayor que 10 la tolerancia será ± 3.5 cm.



Figura 14. Prueba de revenimiento del concreto de cada olla revolvedora que llega al sitio

La temperatura máxima permitida para concretos normales será de 30°C a la hora del muestreo, y para concretos masivos será de 23°C.

El concreto será depositado casi en su posición final tanto como sea posible, para evitar segregación durante el vibrado o corrimiento.



Figura 15.- un grupo de personas capacitadas para vaciar el concreto en capas de 40 cms por cada bomba

El concreto será manejado de tal manera que se mantenga todo el tiempo plástico y fluido para que con facilidad entre en los espacios del refuerzo.

El concreto parcialmente endurecido o contaminado por materiales extraños no deberá ser depositado.

Concreto reemplado o concreto que ha sido remezclado después de la mezcla inicial no será usado sin la aprobación del inspector.

La altura máxima de caída libre del concreto será de 1.5m. Deben colocarse en capas horizontales que no excedan 60 cm.

Todo el concreto deberá ser consolidado con vibradores durante su colocación y se tendrá especial cuidado en su instalación alrededor del refuerzo y embebidos y en la esquina de los elementos.



Figura 16. Concreto compactado con vibradores de 1 1/2" de diámetro

7.- Curado.

Después de terminada la colocación, se protegerá el concreto de secado prematuro, excesivo frío y calor.

En los elementos colados que no se ha retirado la cimbra, moje la cimbra de madera hasta que esta sea removida pero no más de 7 días. Una vez removida la cimbra, o en caras del elemento que no tienen cimbra, se debe curar el concreto después del secado inicial por cualquiera de los siguientes métodos:

- Saturación continua en agua o aspersión de agua por un mínimo de 7 días.
- Aplicación de materiales de tipo cartón mojado que pueden preservar la humedad, el tiempo que debe permanecer húmedo son 7 días mínimo.
- Aplicación de membranas que puedan aislar el concreto del medio ambiente, estas membranas cumplirán con la norma ASTM C171.
- Aplicación de componentes de curado conforme a norma ASTM C309, aplicar los componentes de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, después que el brillo del agua del concreto se ha disipado y el acabado de la superficie está terminado. La cantidad de material aplicado no debe exceder 200 ft²/gal.

Para superficies rugosas realizar dos aplicaciones que no excedan de 200 ft²/gal (18.58m²/gal.) por cada aplicación. No aplicar estos productos en las áreas de concreto que estarán ligadas con un colado posterior.



Figura 17. Curado por inundación de la superficie usando barreras de retención de arena

8.- Juntas de concreto

Juntas de Aislamiento.- Estas juntas son definidas en los planos de proyecto o por requerimiento constructivo, permite movimientos horizontales y verificables o por requerimientos constructivos, permite movimientos horizontales y verticales entre las caras colindadas y partes fijas de una estructura, se debe colocar antes del inicio del colado un material aislante como celotex en las partes que así se requieran, posteriormente cuando el concreto haya endurecido se colocara encima de la junta un compuesto de sellado comprensible.

Juntas de Contracción.- Estas juntas permiten el movimiento en el mismo plano de la losa o induce el agrietamiento causado por la contracción por secado y térmica en los sitios preseleccionados, estas se forman ya sea aserrando una ranura recta en el concreto después de cuatro a doce horas posteriores al endurecimiento del concreto colando una tira perforada o haciendo una ranura en el concreto fresco. En cualquiera de los casos descritos la profundidad desarrollada será de un cuarto del peralte de la

estructura. El espaciamiento entre juntas dependiendo del peralte del elemento podrá ser desde 2.4 a 7.6m.

Se deberá eliminar todo el material suelto por medio de barras, cinceles, etc., dejando completamente escarificada el área de contacto que presenta la junta así como la limpieza de polvo y residuos de escarificado.

Si la inspección muestra una condición satisfactoria se procederá al saturado de humedad de la superficie del concreto endurecido, y la colocación de un aditivo recomendado para unir concreto viejo con concreto nuevo (Fester Bond o similar).

Juntas de Colado en trabes de cimentación.- Las juntas de colado en trabes de cimentación se deben localizar donde lo indique el proyecto o a una distancia de " L/4" del eje de las columnas donde "L" es la longitud del claro. Además, la junta deberá hacerse con una inclinación de 45°, antes de cimbrar para el siguiente colado, deberá hacerse un escarificado con una profundidad mínima de 5mm; dicha superficie escarificada deberá humectarse perfectamente antes de realizar el colado de la siguiente sección.

3.4. Responsabilidades en el vaciado del concreto masivo.

- Gerente de Sitio: Es el responsable de la aprobación, e implementación del procedimiento.
- Superintendente de Construcción: Es el responsable de la planeación, ejecución aplicación de este procedimiento en el lugar de los trabajos.
- Residente de Área: Es responsable de seguir todas las instrucciones acerca de Éste procedimiento y realizar el reporte de inspección anexo en este procedimiento. Es responsable de inspeccionar, documentar y verificar los trabajos de la construcción, también atestigua las pruebas realizadas al concreto en estado fresco y solicita al laboratorio de pruebas la evidencia de los resultados de resistencias del concreto para notificar al Superintendente sobre cualquier desviación en el proceso.

- Jefe de Gestión de Calidad: Es responsable de revisar la correcta aplicación de los trabajos además de los documentos incluyendo el reporte de inspección, de todos los factores que intervendrán en la construcción.
- Personal de Seguridad: Es el responsable de detectar posibles riesgos en el desarrollo de las actividades, así como de vigilar las áreas que estén en condiciones limpias y seguras, antes y durante la ejecución de los trabajos.
- Personal de Obra: Son los responsables de ejecutar los trabajos de acuerdo a las indicaciones dadas por los supervisores responsables de obra.

3.5. Desarrollo del vaciado de concreto masivo desde la perspectiva practica

Durante el proceso de planeación del evento (desde 4 semanas previo a la fecha prevista) se realizan reuniones de seguimiento para revisar cada punto con la anticipación necesaria, entre todos los mandos medios y altos de los involucrados (subcontratista, contratista y cliente), esto con la finalidad de que se contemplen todas las variables, sean de responsabilidad de una u otra parte, o en algunos casos compartida. En estas reuniones se establecen los coordinadores por cada parte para asegurar que haya orden antes, durante y al final del colado.

Dos días antes del colado se lleva a cabo un simulacro de inicio del evento para verificar que todo está en orden, se prueban todos los vibradores, se espera a que caiga la noche para encender el alumbrado y se realiza un recorrido por parte de los coordinadores para verificar si todo está en condiciones, de esta forma hay oportunidad de hacer los ajustes necesarios el día previo al evento.

Para este momento ya deberá estar totalmente colocado el acero de refuerzo y la cimbra troquelada, así como verificados topográficamente los paños del elemento, la posición de anclajes y embebidos, todo esto se incluye en un protocolo debidamente revisado y firmado por todas las disciplinas (topografía, civil, mecánico, eléctrico), mismo que en algunas ocasiones el cliente solicita que lo incluyan para asegurarse de

que se han hecho todo lo necesario para asegurar que el elemento estructural quedará construido de acuerdo a planos aprobados para construcción.

La hora de inicio queda establecida desde las reuniones de seguimiento y una hora antes de iniciar deberán estar en sitio todos los participantes (personal de seguridad, calidad, construcción y supervisión) para llevar a cabo una reunión de inicio de jornada (RIJ), en la que se refrescan las actividades del colado, se mencionan los distintos riesgos a que estarán expuestos durante el evento, y se indica la forma de actuar para que dichos riesgos estén controlados. Los coordinadores dan el banderazo de inicio de fabricación todo mundo queda en posición para atender el evento desde lo que le toca hacer.

Con la debida humectación de la plantilla o concreto de limpieza como se suele llamar también al desplante de la cimentación, se da inicio al vaciado, ya sea con una, dos o tres bombas dependiendo de la magnitud del elemento de concreto, una vez iniciado no deberá suspenderse por ningún motivo que no sea fuerza mayor, ya que cualquier interrupción provocará la necesidad de hacer intervenir a la firma de ingeniería para que revise y dictamine si la junta fría causa o no problemas colaterales, así como el diseño de la preparación de la junta de colado, lo cual la mayoría de las veces termina en demolición del elemento incompleto para reiniciar todo el proceso y esto genera retrasos en el programa de construcción, pleitos y sobrecostos, que nadie quiere asumir, por tal motivo en este tipo de colados se debe buscar a toda costa evitar la interrupción del suministro y colocación del concreto.

El laboratorio de sitio deberá verificar desde la primer olla el revenimiento y la temperatura llevando un registro de los valores para que estén dentro de lo indicado en la especificación de construcción del proyecto o lo indicado por ACI, aceptando o rechazando según sea el caso, el concreto rechazado por temperatura y revenimiento mayor al especificado deberá ser regresado y desechado y por ningún motivo se permitirá arreglarlo. Un concreto rechazado por revenimiento y temperatura menor a la especificada podría ser colocado pero dependerá de las condiciones climatológicas del lugar, y la autoridad para aceptarlo será un supervisor nivel 2 certificado por ACI.

Es muy importante que las plantas tengan muy bien controladas sus dosificaciones para que se tengan la menor cantidad de rechazos, ya que una cantidad grande de rechazos continuos podría llevar el vaciado a tener una junta fría, lo cual ya mencionamos que es lo que se debe tratar de evitar a toda costa, porque en este caso sería responsabilidad del proveedor de concreto.

El personal asignado a la colocación del concreto trabaja muy bien coordinado para que el concreto sea compactado mediante el vibrado de una manera adecuada, colocándolo en capas no mayores a 40 cms y manteniendo el sentido de colado según la dimensión más corta del elemento.

Para atender cualquier eventualidad con respecto al desalineamiento de la cimbra, y ubicación de embebidos, una cuadrilla de topografía y otra de carpinteros se dedican durante el tiempo que dure el colado únicamente a verificar que se mantengan en la posición indicada en planos. Estas cuadrillas al final del evento realizan una verificación completa de todo el elemento y se registra en un reporte post colado de manera que si hubiera algo fuera de tolerancia aun con el concreto fresco pueda ser llevado hasta una posición que cumpla con las tolerancias permisibles.

El acabado final en la superficie del elemento se lleva a cabo con una cuadrilla destinada solo para esta actividad, y detrás de esta se va colocando el sistema de curado previsto, el cual normalmente se hace a base de agua sobre la superficie superior contenida con bordos de arena durante 7 días continuo.

Para verificar los diferenciales de temperaturas y temperaturas máximas dentro del concreto se colocan termopares en diferentes puntos de manera que se obtengan valores representativos del núcleo del elemento y del concreto en la superficie, estos valores se toman durante los siguientes 28 días posteriores al colado.

4. Consideraciones básicas para el colado del concreto masivo

A mi criterio la consideración más importante que se debe tener con el concreto masivo es la temperatura que se genera con la hidratación del cemento que si se sale de control puede ocasionar juntas frías que pueden llevar a la demolición del elemento ya colado generando retrasos en la obra, sobrecostos y problemas con el cliente. Se le da el nombre de junta fría cuando el proceso de vaciado es interrumpido por alguna causa durante un tiempo en el cual el concreto comenzó a fraguar, ese inicio de fraguado se puede comprobar cuando insertas el vibrador y no entra o deja un hueco en el lugar donde penetra. Si el proceso de vaciado continúa ahí se entiende que existe una junta fría. A diferencia de la junta fría la junta de construcción es planeada y bien definida la sección en la cual se dejara esa junta entre concreto nuevo y concreto viejo, que normalmente se establece donde no afecta estructuralmente el diseño del elemento que se esté colando. Para este hecho se deben de tener todo muy bien calculado de manera que se verifiquen ciertos aspectos como son:

- Las plantas dosificadoras y camiones de transporte del concreto.
- Rutas de acceso a la obra.
- Personal y equipo involucrado en el colado masivo.

Plantas dosificadoras y camiones de transporte del concreto:

Se deben verificar cuatro aspectos importantes, el primero es el personal involucrado en la planta dosificadora así como los operadores de camiones de concreto que deben estar capacitados para la actividad que realizaran, deben de estar dados de alta en el seguro y contar con el equipo de seguridad adecuado.

El segundo aspecto a revisar es todo el equipo que se va a utilizar para la elaboración del concreto y deberá tener un certificado de calibración por un laboratorio certificado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación A.C.). Como son basculas para el pesaje de la arena, grava y cemento, el contador de volumen de agua y el dosificador de aditivos. Los camiones deberán tener una bitácora de mantenimiento así como un

cuentavuelgas para que no exceda el número de vueltas en el tiempo que tardara en llegar a la obra. También se debe tener en cuenta que la planta dosificadora puede llegar a fallar por qué se debe de contar con una planta dosificadora de emergencia. Es muy importante que se cuente con los camiones necesarios y bombas para que el vaciado sea continuo, lo cual se logra teniendo una frecuencia de llegada al sitio de 8 a 10 minutos entre cada camión revolvedor por cada bomba de vaciado, con esto se evitara las juntas frías ya mencionadas por cuestiones imputables al equipo de transporte y bombeo, para esto es de suma importancia que se analice detalladamente el ciclo de ida y vuelta de los camiones, considerando cualquier imprevisto de tráfico, lluvia, nevada, etc.

El tercer aspecto es revisar que todos los materiales a utilizar en la mezcla cumplan con las especificaciones de las normas ACI, en caso de requerir pruebas a los materiales, estas se deben realizar; una buena forma de asegurarse del cumplimiento de este punto es verificando que cada material cuente con su certificado de calidad emitido por una entidad debidamente certificada.

Y por último el cuarto aspecto que se debe revisar es el laboratorio en planta, el cual antes que todo debe estar certificado ante la EMA, que cuente con el equipo necesario para las pruebas de revenimiento y de muestreo de concreto, así como el equipo necesario para realizar las pruebas solicitadas por la especificación del cliente, tales pueden ser verificar el contenido de aire incluido y contenido de cemento.

Rutas de acceso al sitio de ubicación del colado Masivo

Es muy importante verificar y asegurar que los accesos de las diferentes plantas se tengan en buenas condiciones, de preferencia en la medida de lo posible se solicita al proveedor que instale una planta en el sitio junto al proyecto, aunque normalmente esto encarece el costo del concreto y se opta por suministrar de las plantas más cercanas. Como medida preventiva también se revisa las vías alternas por cualquier imprevisto durante el vaciado, como puede ser un accidente de cierre de vialidad, una lluvia torrencial, una manifestación etc, esto ya dependerá de cada lugar y sus condiciones particulares.

Equipo y personal en sitio

Normalmente para asegurar que se tenga todo controlado en este punto, se elabora una lista de verificación, la cual contempla:

- Cantidad de vibradores de concreto (eléctricos, de combustión y neumáticos)
- Cantidad de llanas metálicas tipo avión
- Carpas necesarias para prevenir daños por lluvia
- Cantidad y ubicación de generadores eléctricos así como interruptores
- Cantidad y ubicación de lámparas para alumbrado durante el turno nocturno
- Equipo de mantenimiento a caminos de acceso (retroexcavadoras, motoconformadoras y volteos)
- Pipas de agua para riego de caminos y para curado del concreto al término del vaciado
- Puntos de hidratación del personal (Carpas, termos de agua y café)
- Preparación de pileta de lavado de ollas
- Equipo móvil de mantenimiento y reparación de Camiones de transporte y bombeo de concreto
- Cantidad de personal operario y de supervisión para cada turno considerado.
- Personal y equipo de topografía para verificación de embebidos (anclajes, conduits, placas, etc)
- Equipo y personal de laboratorio de sitio requerido según el volumen y tiempo de colado (técnicos certificados por ACI para pruebas de concreto, conos para verificar revenimiento, termómetros calibrados para checar la temperatura del concreto)

- Equipo y personal médico (ambulancias y paramédicos)
- Permisos de circulación y aviso a la población en caso necesario.

4.1. ¿Qué factores influyen para que una concreteira coloque una planta dosificadora junto al proyecto en construcción?

Son muchos los factores que se toman en cuenta para que una planta dosificadora sea instalada en sitio.

Empezando por la ubicación del proyecto, si está cerca o alejada de una zona urbana esto influye en el tiempo de transporte del concreto.

Dependiendo también del clima de la zona debido a que si es un clima muy caluroso el tiempo de fraguado es menor y puede llegar a endurecerse durante el transporte y si es un clima frío por el contrario ese tiempo de fraguado aumenta.

Si el lugar del proyecto en construcción es muy lluvioso se tiene que tomar en cuenta las rutas de acceso y el lugar de construcción debido que la lluvia puede causar desastres que pueden afectar a la hora de realizar algún colado.

El factor costo beneficio es el más relevante aunque en algunos casos el constructor para evitar riesgos se decide por la opción más costosa para asegurar un colado bien ejecutado. Este análisis costo beneficio pone en consideración los costos de materiales, maquinaria y mano de obra contra el beneficio que se vaya a obtener teniendo una dosificadora en sitio o transportando el concreto desde las plantas dosificadoras que tiene el proveedor.

4.2. De acuerdo a la experiencia ¿Cuánto volumen se avanza en determinado tiempo?

En realidad el rendimiento de volumen de concreto colocado en una hora te lo da la planta dosificadora que aproximadamente son 50 m³ por planta dosificadora.

Este volumen por hora podría variar dependiendo de que la planta opere en optimas condiciones, también depende de que el ciclo de la ruta de ida y vuelta de los camiones que resulten de dicho estudio. El otro factor es que los materiales (agua, cemento, arena y aditivos) sean suministrados de manera coordinada y efectiva para que no interfiera en el proceso de dosificación.

4.3. Control de la temperatura

Los cuatro elementos de un programa de control de temperatura efectivo, cualquiera o todos los cuales se pueden usar para un proyecto de concreto masivo en particular, son:

- Control del contenido de material cementoso, donde la elección del tipo y cantidad de materiales cementantes puede disminuir el potencial de generación de calor del concreto;
- Enfriamiento previo, donde el enfriamiento de los ingredientes logra una temperatura más baja del concreto cuando se coloca en la estructura;
- Enfriamiento posterior, donde la eliminación del calor del concreto con serpentines de enfriamiento integrados limita el aumento de temperatura en la estructura; y
- Gestión de la construcción, donde se realizan esfuerzos para proteger la estructura de los diferenciales excesivos de temperatura mediante el conocimiento del manejo del concreto, la programación de la construcción y los procedimientos de construcción.

El control de temperatura para una estructura pequeña no puede ser más que una sola medida, como restringir las operaciones de colocación a períodos de frío en la noche o durante el clima frío. En el otro extremo, algunos proyectos pueden ser lo suficientemente grandes como para justificar una amplia variedad de medidas de control separadas pero complementarias que pueden incluir la selección prudente de un sistema de cemento de baja generación de calor, que incluye:

- El uso de las puzolanas;
- El cuidadoso control de la producción de las clasificaciones de agregados y el uso de agregados de gran tamaño en mezclas eficientes con bajos contenidos de cemento;
- El enfriamiento previo de los agregados y el agua de mezcla (o la mezcla de hielo en lugar de la mezcla de agua) para hacer posible una baja temperatura del concreto cuando se coloca;
- El uso de la incorporación de aire y otros aditivos químicos para mejorar las propiedades frescas y endurecidas del concreto;
- El uso de dimensiones de bloque apropiadas para la colocación;
- La coordinación de los horarios de construcción con cambios estacionales para establecer alturas de elevación y frecuencias de colocación;
- El uso de equipos especiales de mezcla y colocación para colocar rápidamente el concreto enfriado con la mínima absorción de calor ambiental;
- El enfriamiento por evaporación de las superficies mediante curado con agua;
- La disipación del calor del concreto endurecido mediante la circulación de agua fría a través de tuberías incrustadas; y
- El aislamiento de las superficies para minimizar las diferencias térmicas entre el interior y el exterior del concreto.

Es práctico enfriar agregados gruesos, algo más difícil de enfriar agregados finos, y práctico mezclar una porción o toda el agua de mezcla agregada en forma de hielo. Como resultado, las temperaturas de colocación de 10 ° C y menores son factibles y, a veces, se especifican. Las temperaturas más bajas se pueden obtener con más dificultad.

La inyección de nitrógeno líquido en el agua de la mezcla también se ha utilizado de manera efectiva para bajar la temperatura del concreto para trabajos de concreto masivo. En la mayoría de los casos, se puede lograr una temperatura de colocación de menos de 18 ° C con la inyección de nitrógeno líquido. El concreto enfriado es ventajoso en la proporción de la mezcla porque el requerimiento de agua disminuye a medida que la temperatura desciende. Las temperaturas de colocación especificadas deben establecerse mediante estudios de temperatura para determinar qué se requiere para satisfacer el diseño.

El principal medio para limitar el aumento de la temperatura es controlar el tipo y la cantidad de materiales cementosos. El objetivo de los estudios de dosificación de concreto es alcanzar un contenido de material cementoso no mayor que el necesario para la resistencia del diseño. El factor limitante para alcanzar este bajo nivel de material de cemento suele ser la necesidad de usar una cantidad mínima de partículas del tamaño de cemento únicamente para proporcionar trabajabilidad en el concreto. Sin el uso de agentes de trabajabilidad suplementarios, como las puzolanas, la incorporación de aire u otros aditivos químicos, un proyecto masivo de concreto puede experimentar una lucha continua para mantener la trabajabilidad mientras mantiene el bajo contenido de material cementoso que mejor protege contra el agrietamiento.

La especificación ASTM para el cemento portland Tipo II contiene una opción que permite limitar el calor de hidratación a 290 kJ / kg a los 7 días. El uso de una puzolana como reemplazo retrasa más y reduce la generación de calor. Este retraso es una ventaja, excepto que cuando se usan bobinas de enfriamiento, el período de post-enfriamiento puede extenderse. Si la mezcla se dosifica de modo que el contenido de materiales de cemento se limite a no más de 139 kg / m³, el aumento de temperatura para la mayoría del concreto no excederá de 19 ° C.

4.4. Vibrado del concreto masivo según el ACI

Equipo de vibración

El concreto masivo que tenga agregados de tamaño mayor a 40 mm y un bajo contenido de cemento representa un especial problema de vibración cuando se utilizan consistencias de revenimiento bajo. Esta condición requiere que, para una compactación adecuada, se cuente con un poderoso equipo que satisfaga los requerimientos del grupo 5 en el cuadro 5.1. En los estados unidos generalmente se utilizan vibradores neumáticos. La entrada de aire debe ser grande y la potencia del vibrador debe ser la suficiente para permitir una compactación adecuada. En áreas densamente reforzadas se pueden necesitar vibradores con diámetros pequeños a fin de penetrar entre las varillas y lograr una compactación adecuada.

Prácticas de vibración

Las capas se deben construir mediante capas múltiples de 30 a 50 cm, dependiendo del tamaño de los agregados. Tales capas se pueden compactar bien si hay cierta penetración del vibrador en las capas inferiores. Las secciones muy reforzadas pueden necesitar capas más delgadas y requerir de mayor atención a fin de asegurar que el acero de refuerzo quede totalmente cubierto por el concreto.

Cada capa está formada por franjas de 1.8 a 3.6 m de ancho. El extremo de cada capa superior debe apoyarse 1.2 a 3.6 m en la capa de abajo, de modo que no se mueven cuando se vibre la franja adyacente o las capas inferiores colocadas a lo largo del extremo. Este procedimiento produce un efecto escalonado en las capas. Luego se completa la colocación en toso su espesor y área con una exposición mínima de la superficie. Esta práctica disminuye el calentamiento del concreto pre enfriado y el problema de las juntas frías entre las capas en climas calurosos. También facilita la colocación en climas húmedos.

Para una compactación efectiva del concreto masivo, el personal que maneje los vibradores debe seguir un procedimiento sistemático. El vibrador debe insertarse en forma vertical en las partes más altas de las pilas depositadas de concreto con

espacios uniformes y luego reinsertarse como sea necesario para aplanar el concreto a la profundidad adecuada y a lo largo de toda el área. Luego las sucesivas colocaciones deben vibrarse en forma sistemática permitiendo que el vibrador penetre en toda la profundidad de la capa anterior pero manteniéndose alejado de los extremos delanteros. Los extremos que están en contacto con las franjas anteriores que ya hayan sido coladas deben entretorse completamente. Cada operador de vibrador debe tener un área especial de trabajo. El vibrado debe continuar en cada punto hasta que deje de salir aire atrapado. Dependiendo de la mezcla y del revenimiento, esta operación toma de 10 a 15 segundos. Las inmersiones deben espaciarse y prolongarse durante lapsos de tiempo suficientemente largos para que no quede duda de que la compactación está completa, no solo cerca de la superficie sino en todo el espesor de la capa y aun debajo de ella.

La parte superior del bloque terminado debe quedar nivelada y sin huellas de pasos, con el objeto de facilitar la limpieza subsecuente de las juntas. La vibración final debe efectuarla un operador de vibrador calzado con “zapatos de triplay para nieve”, empleando un vibrador más pequeño si es necesario. Al concluirse la compactación, la parte superior del agregado grueso debe estar aproximadamente al nivel de la superficie del concreto.

La cantidad de concreto que se puede manejar con un vibrador depende de la capacidad de este último, de la experiencia y la diligencia del operador y de la respuesta del vibrador a la mezcla particular de concreto que se está compactando. En condiciones óptimas, una cuadrilla eficiente puede compactar hasta 40 m³ por hora por vibrador. Alrededor de las piezas ahogadas y cuando se emplean cimbras complicadas, dicha cantidad puede reducirse hasta menos de la mitad.

En Europa, Japón y Canadá se han empleado con éxito vibradores múltiples a base de cuadrillas de niveladoras, grúas y montacargas hidráulicos. Una de las niveladoras extiende y nivela el concreto listo para compactarse; le sigue otro con tres o más vibradores montados en el frente. El empleo exitoso de este procedimiento requiere cimbras abiertas con un mínimo de separadores. Se debe tener cuidado al voltear la

primera niveladora de empuje para que las orugas de la segunda no excaven dentro del concreto.

Grupo	Diametro de la cabeza (cm)	Frecuencia recomendada, vibradores por minuto (Hz)	Valores sugeridos de:			Valores aproximados de:		Aplicación
			Momento excéntrico (cm-kg)	Amplitud promedio (cm)	Fuerza centrífuga (kgf)	Radio de acción (cm)	Velocidad de colado del concreto (m ³ /h por vibrador)	
1	3/4 a 1 1/2 (20 a 40)	9,000 a 15,000 (150 a 250)	0.03 a 0.1 (0.4 a 1.2)	0.015 a 0.03 (0.4 a 0.8)	100 a 400 (0.4 a 0.8)	3 a 6 (75 a 150)	1 a 5 (1 a 4)	Concreto plástico y fluido en elementos muy delgados o sitios estrechos. Puede emplearse para complementar vibradores mas grandes, en especial en presforzados, en los que los cables y ductos causan congestión en las cimbras. También se emplean para fabricar muestras para pruebas de laboratorio.
2	1 1/2 a 2 1/2 (30 a 65)	850 a 12,500 (140 a 210)	0.08 a 0.25 (0.9 a 2.9)	0.02 a 0.04 (0.5 a 1.0)	300 a 900 (1.3 a 4.0)	5 a 10 (125 a 250)	3 a 10 (2 a 8)	Concreto plástico en muros delgados, columnas, vigas, pilotes prefabricados, losas delgadas y a lo largo de juntas de construcción. Puede emplearse para completar vibradores mas grandes en sitios estrechos.
3	2 a 3 1/2 (50 a 90)	8,000 a 12,000 (130 a 200)	0.20 a 0.70 (2.3 a 8.1)	0.025 a 0.05 (0.06 a 1.3)	700 a 2,000 (3.1 a 8.9)	7 a 14 (175 a 350)	6 a 20 (5 a 15)	Concreto plástico rígido (revenimiento menos de 7.5 cm) en construcción general, como muros, columnas, vigas pilotes presforzados y losas pesadas. Vibrado auxiliar adyacente a las cimbras de concreto masivo y pavimentos. Puede ser de montaje múltiple para proporcionar vibrado interno a todo lo ancho de las losas de pavimentos.
4	3 a 6 (75 a 150)	7,000 a 10,500 (120 a 180)	0.7 a 2.5 (8.1 a 9)	0.03 a 0.06 (0.8 a 1.5)	1,500 a 4,000 (6.7 a 18)	12 a 20 (300 a 500)	15 a 40 (11 a 31)	Concreto masivo y estructural con revenimiento hasta de 5 cm, depositado en cantidades hasta de 3 m ³ en cimbras relativamente abiertas de construcción sólida (centrale de energía, pilas para puentes y cimentaciones). También auxiliar en la construcción de presas cerca de las cimbras y alrededor de los elementos empotrados y el acero de refuerzo.
5	5 a 7 (125 a 175)	5,500 a 8,500 (90 a 140)	2.25 a 3.50 (26 a 40)	0.04 a 0.08 (1.0 a 2.0)	2,500 a 6,000 (11 a 27)	16 a 24 (400 a 600)	25 a 50 (19 a 38)	Concreto masivo en presas de gravedad, pilas grandes, muros masivos, etc. Se requieren dos o mas vibradores que operan simultáneamente para colocar y compactar cantidades de concreto de 3 m ³ o mas, depositadas de una sola vez en la cimbra.

Tabla 5. Variedad de características, comportamiento y aplicaciones de los vibradores internos, vibradores de flechas flexibles y con motor en la cabeza

4.5. Problemas y soluciones en colados masivos

4.5.1. Fallas en vibradores de concreto en colado de cimentación de Turbina de Gas en El Sauz Qro.

Volumen total del elemento: 660 M³

Dosificadoras: Una activa en la Ciudad de Querétaro (35 M³/Hra) y otra en stand by

Otra activa en San Juan del Rio (28 M³/ Hra)

Hora de inicio: 5:00 Hrs

Hora de terminación planeada: 16:00Hrs

Hora de terminación real: 18:00Hrs

Se inició el colado con 12 vibradores con motor de gasolina con cabezal de 1.5" y dos neumáticos con cabezal de 2". Alrededor de las 10:00 Hrs se tenían solo 7 vibradores de motor de gasolina y uno neumático, pues los otros habían presentado fallas que los dejaron fuera de servicio.

En ese momento se decidió llamar al arrendador del equipo menor para que suministrara otros 6 vibradores con lo cual completábamos los 12 iniciales, y solamente se suministraron 5 unidades con motor a gasolina ya que no contaba con ningún otro de aire.

Debido a que eran equipos usados se siguieron presentando fallas en los de motor de gasolina, pero para minimizar estos problemas se solicitó también al proveedor que enviara a uno de sus mecánicos para que estuviera solucionando las fallas que se presentaran.

Al término del evento solo se tenían en operación efectiva 6 vibradores de gasolina y uno neumático, que eran suficientes para lograr un adecuado compactado del concreto a todo el elemento masivo.

Esta experiencia nos puso muy cerca de que el colado se suspendiera por falta de vibradores, con lo cual habríamos tenido una junta fría sin control, desencadenando así sobrecostos y retrasos en el programa de construcción, y con ello multas muy fuertes por entrega tardía del proyecto.

Lo anterior nos dio como aprendizaje que para este tipo de colados masivos, de larga duración, se debe contar con un mínimo de 6 vibradores nuevos, y de 6 a 8 usados en buenas condiciones, con cabezales de 1.5" como mínimo, pero de preferencia de 2".

4.5.2. Falla en apuntalamiento del cimbrado en extremo oeste de cimentación de Turbina de gas de Villa de García, Nuevo León.

Volumen de concreto: 720 M3

Dosificadoras: Una en sitio y otra en camino a Santa Catarina (a 15 Kms del sitio)

Hora de inicio: 5:00 Hrs

Hora de terminación planeada: 17:00 hrs

Hora de terminación real: 20:00 Hrs

El vaciado dio inicio de manera normal después de un día lluvioso, se verificó la cimbra de madera, todo se vislumbraba perfecto para tener un colado sin contratiempos.

El suministro desde las plantas dosificadoras fue estudiado para asegurar un vaciado continuo, al tener una en sitio el ciclo de las ollas transportadoras se completaba en 40 minutos (carga de materiales 10 min, traslado 5 min, verificación de laboratorio de sitio 5 min, bombeado a la cimentación 8 min, lavado de olla 7 min, retorno a dosificadora 5 min), se contaba con 6 ollas (4 en tránsito y 2 listas para entrar en acción en caso de cualquier contingencia). La otra dosificadora estaba a una distancia muy corta, así que por ese lado estaba todo controlado.

El personal preparado para atender el evento, se tenían organizados para que una cuadrilla compuesta por albañiles, carpinteros y fierros trabajara desde las 5:00 am

hasta las 13:00 hrs y otra cuadrilla para terminar el colado y dar el acabado en la superficie expuesta, tanto la superficie de acabado final como las superficies que tendrían una junta de colado para dar continuidad a los pedestales que recibirían el generador.

Los pedestales que soportarían la turbina tendrían que ser colados de forma monolítica con toda la cimentación, mismos que estaban ubicados a la mitad de toda la longitud de la cimentación, y en estos estaban instalados unos juegos de anclas de 2" de diámetro y 1.80 mts de longitud.

Al realizar el cambio de turno a las 13:00 hrs, se llevaba un 75 % del vaciado, por lo que se veía muy fácil para terminar sin inconvenientes, sin embargo a las 14:00 hrs la cuadrilla de topografía reporta que los anclajes se habían movido 15 mm hacia el oeste, en el mismo sentido en que se estaba llevando a cabo el colado, pues debido al reblandecimiento del terreno el apuntalamiento de la frontera oeste cedió al empuje generado por el concreto sobre el corrugado del acero de refuerzo. Con esto estábamos 10 mm fuera de tolerancia, ya que se tenía especificado en planos una desviación máxima permisible de 5 mm. Para resolver esta situación imprevista se tenía que actuar muy rápido pues si no lográbamos hacer llegar los anclajes a su posición en un tiempo corto, antes de que endureciera el concreto, tendríamos un verdadero problema, pues demoler el elemento sería desastroso para el equipo, ya que involucraba sobrecostos y retrasos en el programa de construcción.

Sin detener el curso del vaciado tuvimos que emplear un diferencial de 5 ton, 2 tirsos de 1 ton y cables de acero que normalmente se usan para los izajes de equipo, en este caso había que jalar los juegos de anclas desde unos puntos fijos que se implementaron de forma rápida fuera de la cimentación en el extremo este. Esta maniobra tardó cerca de 2 hrs, tiempo en el cual el vaciado se realizó de manera muy lenta por la gran cantidad de personal involucrado, logrando meter a tolerancia la ubicación de anclajes y en paralelo se tuvo también que reforzar con más puntales en el extremo oeste para asegurar que no se desplazara más esa frontera.

4.5.3. Aparente junta fría en finalización de colado masivo de cimentación de Turbina de Gas en CCC Tierra Mojada, de Zapotlanejo Jalisco.

Volumen de concreto: 985 M3

Dosificadoras: Una en Ocotlan, Jal (40 Kms de distancia) y Dos plantas en Guadalajara (45 Kms de distancia)

Hora de inicio: 19:00 Hrs

Hora de terminación planeada: 03:00 hrs del día siguiente

Hora de terminación real: 7:45 Hrs del día siguiente

Todo se iba dando de acuerdo a lo planeado, teniendo algunos retrasos por parte del suministro, debido al tráfico que se presentó en las vías de transporte desde las plantas dosificadoras de Guadalajara, algo que no se contempló debido a que era sábado y se suponía que estarían despejadas las vías de acceso desde las dosificadoras hasta el sitio.

Este retraso no representaba ningún riesgo para el logro del objetivo, ya que la periodicidad con la que estaban llegando las ollas fue tal que el vaciado se estaba llevando de forma continua, y las 3 horas que se tenían para vaciar el concreto desde que era cargado a la olla revolvedora hasta que era vertido al elemento (por el retardante incluido en la carga), eran suficientes para que se acomodara de manera adecuada.

Sin embargo cuando se estaba acercando el final del vaciado, cuando solo faltaban 70 m3 para terminar, el residente del contratista hizo la medición y para no tener desperdicio según sus cálculos con 50 M3 era más que suficiente para completar, lo cual sucedió a las 3:15 am, entonces a las 4:15 fue cargada la última olla con 8 M3 para completar los 50 M3 solicitados para el cierre, y ahí se da la sorpresa que no esperábamos y que nos metió en problemas, faltaban otros 20 M3, entonces a toda prisa se procede a la carga de este ajuste final que para ese momento ya eran las 5:45

am, y la discusión se presentó precisamente en la primera de estas últimas tres ollas que se terminó de cargar a las 5:55, ya que ésta llegó al sitio a las 7:40 de la mañana, o sea que el concreto de esta olla se tenía que ligar con el concreto de la olla que se había cargado a las 4:15, ya tenía más de las tres horas que el retardante ofrecía (3Horas 25 minutos).

En ese momento se tuvieron que hacer las pruebas físicas del concreto instalado, insertando el vibrador al concreto elaborado desde las 4:15, concluyendo por parte del contratista que aún se encontraba en estado líquido y se procedió a su colocación, esto propició que el cliente levantara una “No conformidad”, requiriendo así de un estudio más profundo del tema, para soportar de una manera más técnica lo que se había concluido ahí.

El proveedor realizó una serie de ensayos en su laboratorio de la zona con este tipo de concreto, para demostrar que el fraguado final del concreto con este tipo de retardante para 3 hrs, se presenta en la realidad hasta las 5 hrs posteriores a su elaboración, este reporte sirvió de soporte para cerrar la “No conformidad” levantada para este caso.

4.6. Ejemplo real de un colado masivo de una cimentación para una turbina de gas en el estado de Jalisco

Se realizará el colado masivo de la cimentación de la Turbina de Gas con un volumen requerido para realizarse monolíticamente de 985.00 m³, de concreto $f'c=300$ kg/cm², con agregado máximo de 20 mm, relación agua-cemento de 0.5, con temperatura máxima le 23°C. Con dimensiones de 38.555 metros de longitud por 15.11 metros de ancho en la sección Oeste, 13.11 metros en la sección central y 10.20 metros en la sección Este, la sección Oeste tiene una pendiente de 4 cm y la sección Este tiene una zona sobresaliente de 0.450 de longitud por 1.030 de ancho orientada hacia el norte, con una altura de 2.00 metros.

Cabe mencionar que se dejara una pendiente del 0.5% el cual iniciara en el eje del elemento y concluyendo en el lado norte y sur del mismo, el cual se ha incluido en el volumen del edificio. Por lo que se dejaran identificados previo al colado los niveles de terminación de colado.

Antes de realizar la colocación de concreto en la cimentación de la Turbina de Gas, se deberán de confirmar que los trabajos de preparación son correctos, se tendrá un formato de liberación el cual tendrá que ser llenado y firmado antes del colado, este formato está relacionado con la adecuada colocación y Ubicación de las cimbras, colocación del acero de refuerzo, instalación y fijación de embebidos, así como la limpieza del elemento.

El espesor de las capas para el colado con vibración no deberá exceder de 40 centímetros y se deberá evitar interrupciones.

El tiempo máximo para la descarga de concreto no excederá 3 horas a partir de que se realice la carga en la olla revolvedora.

Para evitar la generación de una junta fría durante la ejecución se deberá de hacer un seguimiento continuo del fraguado de las capas ya dispuestas, debiendo disponer la capa inmediata superior antes del proceso del fraguado de la capa inferior.

Para la colocación de concreto en la cimentación de la Turbina de Gas se tiene previsto utilizar dos bombas telescópicas de 38 m de brazo (mínimo) con capacidad de bombeo de 60m³/hora, las cuales estarán ubicadas de la siguiente manera: la primera será colocada en el lado norte, de acuerdo al eje de la turbina de Gas, la segunda estará por el lado sur de igual manera de acuerdo al eje de la turbina de Gas, de tal manera que desde esa localización alcancen perfectamente a cubrir los 38.555 m de longitud de la cimentación.

Se contará con una bomba telescópica de respaldo, la cual estará en sitio a disposición de un posible contratiempo, con alguna de las que este bombeando.

Todo equipo de vibrado, iluminación de área de colado, señalamiento de rutas de entrada y salida de unidades, punto de reunión del personal, áreas de hidratación, botes de basura, instalación de laboratorio para muestreo y toma de muestras, zona de almacén con provisiones, fosa de lavado y la cantidad de moldes suficientes de laboratorio, deberán ser revisados una hora previo al colado.

Una vez llegadas las ollas revolvedoras a la obra serán inspeccionadas por el laboratorio de calidad, en esta inspección se verificará que tengan una temperatura como mínimo de 10° C y como máximo 23° C, así como un revenimiento de 14+-3.5 centímetros, y no haber sobrepasado el tiempo de colocación el cual nos dice que se tendrá un concreto de trabajabilidad extendida hasta 3 horas (se usara el aditivo Iso retard 280), si alguna de las condiciones antes mencionadas no llegaran a estar dentro de los rangos mencionados, la olla será rechazada y tendrá que salir del proyecto sin tirar el concreto (llevándose a planta y realizar una nueva carga).

Se dará inicio a la colocación a las 19:00 horas comenzando el colado por el lado Este, tomando como punto de partida el centro de la cimentación y desplazando el brazo de las bombas hacia los extremos, para de ahí regresar al centro y repetir la misma operación, no será permitido el vaciado directo del concreto a una altura mayor que 1.5 metros; por lo que se realizara la apertura de huecos sobre el armado superior para que la manguera de la bomba entre por ahí y se ubique a una altura menor de 1.5 metros.

La distancia entre cada hueco no excederá los 3.00 m, contemplando que eso nos permitirá que el concreto que sea vaciado en cada uno de los huecos se unifique con el del hueco anterior.

Se contará con una cuadrilla de fierros para que antes de finalizar la colocación del concreto cierren los huecos efectuados en las parillas y el acero quede en la posición adecuada conforme a proyecto, otra de las ventajas al colocar el concreto por los huecos de la parrilla superior es que nos permitirá realizar un vaciado de concreto más limpio, al no estar dejando residuos de concreto en el armado del lecho superior.

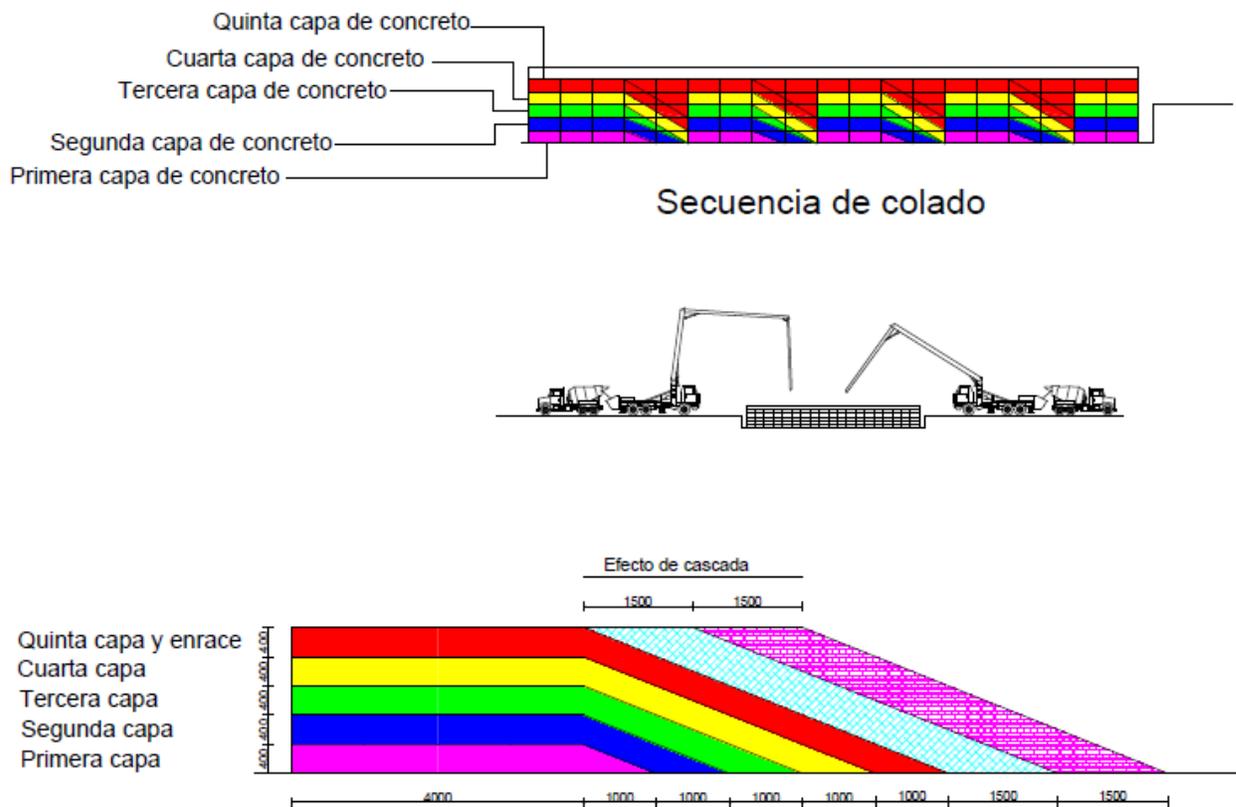


Figura 19. Proceso de colocación de concreto masivo

Como ya fue mencionado la colocación de concreto será en capas de 40 cm. en cascada, esto es que realizaremos una primera capa de 40 cm con una longitud aproximada entre 4 a 6 m. Para de ahí regresar a refrescar el concreto y colocar una segunda, tercera, cuarta y quinta capa de 40 cm, durante la colocación de concreto se tendrá que monitorear la temperatura ambiente, en caso de estar a temperaturas por debajo de los 5° C se tendrán que colocar 8 tambos metálicos los cuales contendrán desperdicio de madera para encender fogatas al perímetro del elemento, esto con el fin de mitigar la baja temperatura (esto se realizara en caso de ser necesario).

Se prevé que al terminar de vaciar la 5ª capa estemos terminando la colocación del concreto, de tal manera que la primera zona en llenarse será el lado este de la turbina de Gas y la última zona será el lado oeste de la misma, con lo que permitirá que el personal encargado de dar el acabado al concreto inicie por las áreas grandes y

termine en el lado donde se tienen los muros del generador, los cuales no llevarán acabado en su interior, dejándolos con un acabado rugoso (escarificado) para los colados posteriores.

Se tendrá un especial cuidado en la cimbra del lado oeste, la cual recibirá un esfuerzo mayor, ya que ahí será el término del colado (se tendrá una revisión continua del apuntalamiento en el lado poniente).

Se contará con un equipo de 8 vibradores con cabezal de 1 ½", con lo que se logrará asegurar la expulsión del aire interior en todo el concreto vertido en el elemento y lograr la unión entre el concreto y las barras de refuerzo, así como disminuir la permeabilidad del concreto.

Se contará con 4 vibradores de respaldo de 1 ½", los vibradores tendrán que ser probados 1 hora antes de comenzar el colado y así verificar su correcto funcionamiento. El vibrador debe sumergirse a toda la profundidad del concreto fresco, y hasta la capa anterior la cual se encuentra en estado plástico. De esta manera se puede eliminar un plano débil en la unión de las 2 capas y se obtiene concreto monolítico.

Para el vibrado se deberán considerar los siguientes puntos:

1. Se deberá de introducir el vibrador en forma vertical.
2. El vibrador se tendrá que desplazar de manera lenta y en forma vertical, así conseguiremos que quede bien compactada toda la profundidad y al sacarlo de forma vertical evitaremos que se marque el punto de salida.
3. Los vibradores no deberán emplearse para mover concreto en sentido lateral, la inserción del vibrador tendrá que ser espaciada 1.5 veces el radio de acción del mismo, una vez introducido en el concreto penetrara 5 a 10 centímetros máximo la capa inferior y se retirara lentamente.

El vibrador será sumergido en el concreto evitando el exceso de vibrado que ocasione segregación (de acuerdo al ACI apartado 318 el proceso de vibrado

debe realizarse de acuerdo al tipo de mezcla y asentamiento de esta, aplicando la experiencia del personal, por lo que se recomienda de 5 a 10 segundos de acuerdo a la consistencia de la mezcla lo que debe garantizar la compactación tanto superficial como interna).

4. En los vibradores los fabricantes indican el radio de acción de su equipo. La distancia entre dos puntos de vibrado debería ser aproximadamente una vez y medio el radio de acción, de manera que se traslapen y no queden zonas sin afección de vibrado. En todas las capas es recomendable acercar el vibrador a esquinas y recovecos para garantizar que los finos se recolquen consiguiendo esas formas, pero con precaución de no golpear a la cimbra.
5. Evitar utilizar el vibrador para “mover” el concreto. Para rebajar cúmulos de concreto no se debe introducir en la cima del cúmulo, sino ir pinchando alrededor hasta que se vaya repartiendo por su peso.
6. El acabado de la superficie será semi pulido, durante el acabado se tendrá cuidado para lograr tener una superficie plana.

La duración de la colocación de concreto está estimada en relación a la producción del concreto en las dosificadoras, esto es 42 m³ por hora de cada una de las dosificadoras (42 m³ x 3 dosificadoras = 126 m³ por hora) si calculamos una producción mínima de 120.00 m³ por hora, entonces dividimos 985.00 m³ (volumen total) entre 120 m³/hora, estimamos una duración de 8 horas de inicio a fin de la colocación del concreto, se deberá registrar en el reporte de camiones revolvedores, hora de inicio y terminación, volumen por unidad, consistencia de la mezcla, condiciones ambientales y notas sobre el muestreo del concreto que lleva a cabo laboratorio de control y la planta de concreto como numero de cilindros para pruebas de resistencia, temperaturas y revenimientos.

f'c (kg/cm ²)	Rev (cm)	TMA (pulg)	Cemento tipo	Rel A/C	Temp. Máxima ° C	Tipo de colado
300	14 +/- 3.5	3/4"	CPC 40	0.5	23°	Masivo

Tabla 6. Notas de muestreo del concreto

En base al volumen del elemento, se dispondrá de 1 muestra de 6 cilindros para ensayos a compresión por cada 42 m³ de concreto, cumpliendo lo requerido por normatividad.

Se llevará a cabo la revisión de la temperatura y el revenimiento establecido por proyecto a cada camión; el revenimiento será de 14 cm. y deberá mantenerse en el rango de ± 3.5 cm como lo indica el ACI 318-14, en caso de que exceda este, se procederá a devolver el camión revolador a la planta de concreto y bajo ninguna circunstancia se deberán llevar a cabo ajustes en campo.

Para la verificación de la temperatura del concreto se tiene considerado realizar un estudio, con termopares.

El curado del elemento se realizará al término del acabado del concreto, colocando en la superficie una capa de bajo alfombra (Bajo Alfombra es un polietileno expandido, el cual también se usa en la construcción para protección, aislante acústico y térmico.) plástico y un espejo de agua de 5 cm, el cual se estará vigilando constantemente para que durante los 7 días posteriores al colado como mínimo, conservando siempre este espejo de agua colocando chaflán de mortero pobre de 10 cm en todo el perímetro, la cuál será removida al término del curado.

El uso de termopares nos permitirá vigilar el comportamiento de temperatura que tendrá la cimentación.

El equipo básico que se requiere para el desarrollo de los trabajos de colocación de concreto se describe a continuación:

Equipo	Cantidad	Observaciones
Vibradores de 1 1/2"	8 Pza	Mas 4 Pza de respaldo
Bomba telescopica de 38 metros	2 Pza	Mas 1 de respaldo
camion revolvedor	60 Pza	Para cubrir los 120 m3 por hora (20 ollas por planta)
Generador de energia de 40 Kva	1 Pza	Las torres de iluminacion tambien tienen generador para toma de 127 volts
Reglas metalicas	4 Pza	
Vehiculo transporte de personal	1 Pza	
Allanadora	2 Pza	Para dar el acabado a las areas donde se requiera
Flota para concreto, tipo avion	1 Pza	
Herramienta menor	1 Pza	Cucharas, palas, flotas, avion, Helicoptero
Camion pipa de agua	20,000 lts	Para el curado posterior al vaciado de concreto
Torres de iluminacion	9 Pza	6 para Turbina, 1 para laboratorio y 1 para alumbrar el camino, 1 para lavado de ollas.
Equipo topografico	2 Pza	Estacion total y nivel
Ambulancia	1 Unidad	

Tabla 7. Equipo requerido

Categoria	No.
Gerente de sitio	1
Superintendente	1
Residente de obra	2
Supervisor de seguridad	2
Residente de calidad	1
Cabo fierrero	1
Cabo carpinteros	1
Cabo albañil	1
Operador de vibrador	8
Ayudante de vibrador	8
Oficial Carpintero	2
Oficial Fierro	2
Oficial Albañil	8
Ayudantes generales	8
Laboratorista	4
Ayudante de laboratorio	1
Bandereros	6
Supervisor de obra civil	1
Supervisor de calidad	1
Electrico	1

Tabla 8. Fuerza de trabajo

Producción de Concreto:

Para garantizar la producción y suministro de concreto se deberá considerar los siguientes puntos con CEMEX:

Inspección previa de Dosificadora:

Se hará una inspección visual y una lista de verificación de las condiciones mecánicas, eléctricas y de seguridad y de calidad de los equipos y en general de las Dosificadoras para verificar que las plantas funcionan correctamente.

En caso de requerirse se realizarán los mantenimientos preventivos y correctivos a los equipos que sean detectados con posibilidad de falla de acuerdo a lo indicado por personal operativo de la Planta quien registra sus mantenimientos de la dosificadora.

Se solicitará a CEMEX que, para el día del colado de la cimentación de la Turbina de Gas, tenga un técnico en planta dosificadora para reparación inmediata en caso de cualquier falla (Uno por dosificadora), y un técnico que atestigüe los ensayos de concreto.

Respaldo de Dosificadora:

El suministro de concreto para la cimentación de la Turbina de Gas, se tendrán 3 plantas suministrando concreto continuamente más una planta como respaldo para cualquier eventualidad, por lo que los materiales (agregados, cemento y agua) deberán estar al 100% antes del colado de este evento.

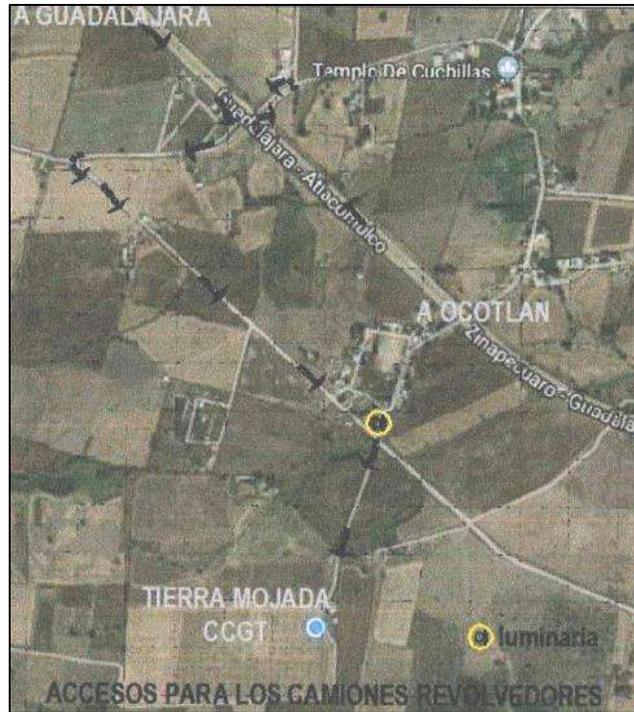


Figura 20. Accesos para camiones revolvedores

Los camiones revolvedores de concreto entran por la pista Guadalajara-Atzacmulco, este mismo camino es el retorno hacia sus dosificadoras respectivas.

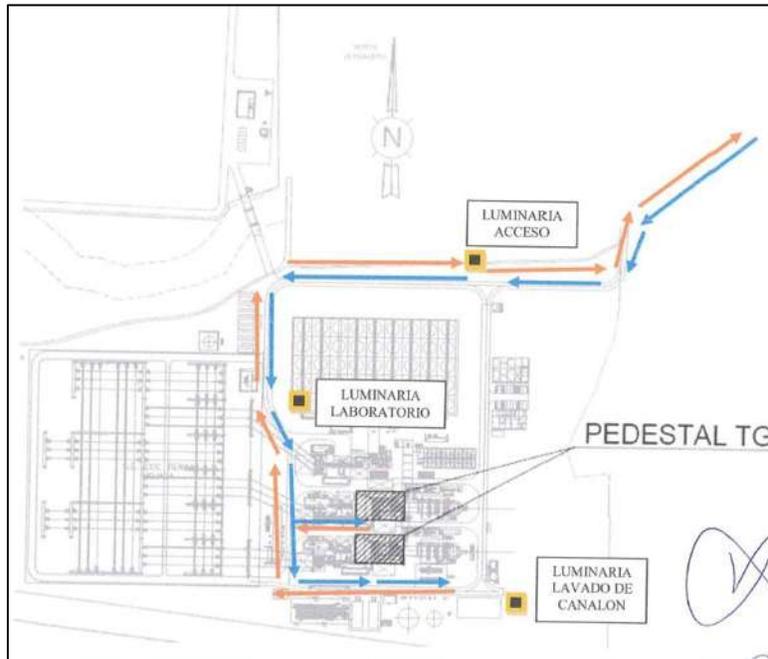


Figura 21. Iluminación en el área

Los camiones revolvedores dentro de la obra no deberán exceder los 10 km por hora, se colocará una luminaria en la entrada de la obra y otra a mitad del camino, para indicar la ruta que deberán seguir para llegar a vaciar sus camiones.



Figura 22. Planta de circulación y localización de la turbina de gas

Seguridad y salud ocupacional

Seguridad

A) Antes de la Actividad

- a) Permiso de trabajo y AST autorizado con 24 horas de anticipación.
- b) Prueba de iluminación 24 a 48 horas antes del colado, según se establece en la Nom- 025-STPS-2008.
- c) Señalización de todo el circuito (desde la Autopista hasta la obra) de tránsito de ollas con su banderero, límites de velocidad, etc., según lo plasmado en el Lay Out.
- d) Revisión de Equipo de protección personal requerido para un colado, botas de hule (para el personal que este directamente trabajando sobre el concreto), guantes de hule, guantes de carnaza, gafas, chaleco, casco.

- e) Previo al inicio de la actividad, se realizará charla pre tarea en la cual se mencionarán los riesgos para el personal involucrado, así como las medidas, tanto en materia de seguridad y salud, como las de medio ambiente establecido en el presente protocolo.

Se contará con el procedimiento de preparación y respuesta a emergencias para el colado masivo de la turbina de vapor, así como con el plan de tránsito para el colado masivo de la turbina de gas.

B) Medidas de prevención durante el colado

- a) En zanjas, cimentaciones y en general en excavaciones, deben colocarse topes en las orillas para los camiones de transporte de materiales, la señalización debe ser visible durante la noche.
- b) La maniobra para abrir las ollas debe realizarse usando guantes de seguridad utilizando la palanca diseñada para ello.
- c) En caso de realizar la colocación del concreto mediante bombeo, la tubería de la bomba se apoyará sobre caballetes, debidamente arriostrados en caso de ser necesario.
- d) La manguera de vertido será soportada por operarios, para evitar caídas por chicoteo de la misma.
- e) Antes del inicio del colado de una sección, se debe prever un camino de tabloncillos y triplay sobre los que puedan sustentarse los operarios de la manguera.
- f) El manejo, montaje y desinstalación de la tubería de la bomba de concreto, será dirigido por un especialista en seguridad que revise y prevea la formación de obstrucciones internas. Para ello, se deberán evitar los codos de radio reducido.
- g) Después de concluido el bombeo, lavar y limpiar el interior de las tuberías.

- h) Antes de iniciar el bombeo de concreto se deberá preparar el conducto, engrasando las tuberías y bombeando mortero de dosificación, para evitar la formación de obstrucciones y tapones.
- i) Antes del vertido del concreto debe comprobarse la estabilidad del conjunto cimbrado.
- j) Realizar desde plataformas, torretas o andamio tubular el colado en los remates de cimbras.
- k) El vertido del concreto se realizará repartiéndolo uniformemente en el interior del cimbrado por lotes regulares.
- l) Se realiza la limpieza necesaria en el área de muestreo (laboratorio) y en el área de bombeo.

Salud Ocupacional

- a. Monitoreo de la Tensión Arterial y alcoholímetro a operadores de las bombas y al personal que realizará el colado.
- b. Se contará con una isla para hidratación y comida del personal que se encuentre trabajando, cercano al área de colado para evitar transitar por lugares sin iluminación
- c. Se ubicarán sanitarios portátiles cerca del área de colado en cantidad de 1 por cada 20 trabajadores, de acuerdo con lo establecido en el plan de gestión ambiental del proyecto.
- d. La ambulancia estará ubicada en punto de reunión de la TG.
- e. Deberá contarse con tres Brigadistas de Emergencia para apoyo de servicio médico.
- f. Se aplicará el Procedimiento de Preparación y Respuesta a Emergencias para el Masivo de la Turbina de Gas.

Medio Ambiente

Todos los residuos que se generen durante el evento serán minimizados por medio de botes o bolsas de plástico y serán retirados al área correspondiente de residuos. Las unidades de transporte de concreto deberán lavar el canalón en el área autorizada para ello y se realizara vigilancia del personal de supervisión.

Riesgos	Severidad del daño	Probabilidad	Control
Emisiones a la atmósfera de partículas sólidas por tránsito de vehículos	Medio bajo	Medio	Presentar un programa de riego de vialidades (camino de ingreso y dentro del proyecto). Respetar los límites de velocidad establecidos 30 km/hr en caminos de ingreso al proyecto y 10 km/h dentro del proyecto.
Emisiones a la atmósfera por equipo y maquinaria	Medio bajo	Medio	Presentar los mantenimientos preventivos y verificación vehicular de las ollas y bombas.
Residuos sólidos urbanos	Medio bajo	Alto	Se deberá contar con contenedores para la segregación de residuos generados durante la actividad.
Derrames accidentales de hidrocarburos de los equipos (ollas, bombas)	Bajo	Bajo	Plática de seguridad de inicio. Contar con un kit para derrame, colocar membranas plásticas debajo de las bombas de concreto y preparación de confinamiento contra derrames de hidrocarburos. Limpieza del área. Contar con recipiente para el acopio de los residuos peligrosos generados, debidamente etiquetados. Almacenamiento y disposición final.
Residuos de manejo especial (residuos de concreto)	Medio bajo	Alto	Se deberá contar con un área para lavado de canalones lo suficientemente para la cantidad de ollas a utilizar, el cual deberá estar señalizado, acordonado y protegido con membrana plástica.
Agua residual	Bajo	Bajo	Contar con sanitarios portátiles cerca de área de colado en cantidad de 1 por cada 20 trabajadores de acuerdo con lo establecido en el plan de gestión ambiental.

Tabla 9. Riesgos y control ambientales

Previo al inicio de la actividad, se realizará charla pre tarea en la cual se mencionaran las medidas tanto en materia de seguridad, salud y medio ambiente establecidas en el presente protocolo.

5 Conclusiones

El concreto masivo como tal ya se ha estado utilizando durante muchos años aproximadamente más de 100 años utilizándose esta mezcla, aunque en México tiene menos de 70 años aunque también es un tiempo considerable. Se han tenido varios progresos a partir 1900 aunque realmente en la actualidad no existen progresos grandes porque todos los problemas que se han presentado ya los han resuelto como es el más relevante el calor de hidratación y las medidas para disminuirlo y no afecte la construcción.

El calor de hidratación que genera el concreto masivo puede llegar a altas temperaturas hasta el punto de hacer cambiar de volumen al elemento y con esto se genere agrietamiento que afecta directamente a las propiedades del mismo. Para evitar esto se tienen varios métodos como es el más utilizado en cimentaciones el pre-enfriamiento de los materiales.

El pre-enfriamiento de los materiales básicamente consiste en pre-enfriar los agregados con aire frío o agua fría antes de la preparación de los lotes, así como también es utilizado el hielo triturado adicionado en la mezcla esto es utilizado en la mayoría de las construcciones masivas y donde las temperaturas son muy altas como es en el norte de México o costas se procura que el concreto sea colocado con una temperatura menor a los 10 °C.

El cemento utilizado en esta mezcla que se recomienda es el tipo II y MH por su bajo calor de hidratación que genera. Las puzolanas de tipo natural han resultado efectivas en la reducción de la expansión del concreto que puede llegar a superar en un 90% su reducción. Lo cual también se ha encontrado que las puzolanas reducen el calor generado en el concreto haciendo de este material algo efectivo para controlar la temperatura.

Glosario

Abrasión

Acto o proceso de desgaste por fricción, o los efectos resultantes de este proceso, con movimiento de los detritos generados, debido a la acción de diversos factores.

Absorción

Proceso mediante el cual, un líquido o una mezcla de gases y líquido, es incorporado a los poros de un cuerpo sólido acompañado por lo general de un cambio físico o químico en el material del cuerpo absorbente.

Ademado

Método de defensa utilizado para sostener o detener provisionalmente las paredes de una excavación que ha de alojar una cimentación o bien obras de drenaje, ductos, tuberías, gasoductos, etc.

Agregado grueso

Es de uso común y generalizado, es uno de los principales componentes del concreto; por este motivo, la calidad de la grava triturada es de vital importancia para asegurar que la estructura del concreto cumpla con su propósito.

Agregado fino

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente.

Agrietamiento

Es la rotura que alcanza todo el espesor del elemento constructivo, dejándole inútil para su posible función estructural, y debilitado para la de envoltura, resultando partido en dos.

Alternancia de la humectación

Humedecer o empapar en distintos lapsos de tiempo con agua un material o parte de una obra o edificio. Se utiliza para lograr un mejor agarre entre materiales o mejorar el curado del concreto evitando su desecación.

Alternancia del secado

Es el secado en distintos lapsos de tiempo de la humedad relativa lo cual depende de la temperatura, la relación agua-cemento y el área de la superficie expuesta del concreto.

Apuntalamiento

Sistema compuesto por una serie de puntales o postes que actúan en conjunto destinados a asegurar y ofrecer sostén a estructuras; por lo general son transitorios y se emplean en casos de inestabilidad estructural hasta la reparación o demolición.

Aristas vivas

Intersección en un ángulo exterior entre dos molduras o superficies.

Arrastre de aire

Inclusión de diminutas burbujas de aire en el concreto u hormigón mediante la adición de algún material durante la molturación o mezcla, para reducir la tensión superficial del agua, con lo que se consiguen propiedades mejoradas para el producto final.

Capacidad de sangrado

Es la capacidad de un concreto recién vaciado para que el agua suba lo menos posible a la superficie esto se debe a la buena calidad de agua utilizada, la exacta relación agua-cemento y la correcta vibración.

Cavitación

La cavitación es la formación de bolsas y burbujas de vapor en un medio líquido inicialmente homogéneo. Puede definirse mecánicamente como la ruptura del medio de líquido continuo bajo el efecto de tensiones excesivas.

Coefficiente de expansión térmica

Es el incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura; por lo general, se expresa como un cambio fraccionario en las medidas por unidad de cambio de temperatura.

Coefficiente térmico

Flujo de calor por grado de temperatura entre dos ambientes isoterms y por unidad de superficie de una de las caras isoterms de un cerramiento, dado, que separa ambos ambientes.

Cohesión

Resistencia al corte del terreno cuando la presión normal efectiva es nula.

Comportamiento térmico

Este comportamiento se refiere al calor generado por la hidratación dentro de un elemento de concreto, en el cual se pueden generar problemas si no se controla.

Composición mineralógica

Los materiales pétreos utilizados para la elaboración de concreto son las rocas. Éstas son agregados de partículas minerales muy grandes y sin forma determinada que se encuentran en la naturaleza. Son ejemplos, los granitos, mármoles y pizarras. Estos son materiales muy apreciados en la construcción, por ser muy resistentes a las condiciones medioambientales, pero presentan el inconveniente de tener un coste alto.

Concreto pobre

El concreto pobre o concreto de limpieza es un tipo de concreto adecuado para regularización o protección mecánica de superficies, así como para proteger el acero de refuerzo de impurezas que pudieran darse al hacer contacto con el terreno en el desplante del elemento estructural de concreto.

Concreto masivo

El Concreto Masivo es como cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen las medidas necesarias para hacer frente a la generación de calor por hidratación del cemento y el consecuente cambio de volumen, con el fin de minimizar el agrietamiento.

Craqueo

Es un proceso químico por el cual se quiebran moléculas de un compuesto produciendo así compuestos más simples.

Descabece de pilas

Procedimiento previo al montado de la armadura de cimentación que se realiza picando el hormigón de baja calidad que queda en la parte superior del pilote, llamado cabeza, por ello, la operación mencionada se denomina descabezado.

Diferencial térmico

El manejo de la temperatura del concreto, no solo en estado fresco sino también en estado endurecido, esto con el fin de conocer algunas medidas que controlen la generación de calor y su cambio de volumen para evitar el agrietamiento y la aparición de fisuras a causa de este efecto.

Grado de hidratación

La hidratación del cemento es el proceso mediante el cual este material, al mezclarse con el agua, reacciona y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante.

Junta fría

cuando el proceso de vaciado es interrumpido por alguna causa durante un tiempo en el cual el concreto comenzó a fraguar, ese inicio de fraguado se puede comprobar cuando insertas el vibrador y no entra o deja un hueco en el lugar donde penetra. Si el proceso de vaciado continúa ahí se entiende que existe una junta fría.

Lechada

una mezcla de cemento, arena fina y agua, que se utiliza para sellar fisuras o grietas en un enladrillado o piso, y así evitar que se filtre el agua hacia las losas o techos y finalmente aparezcan dichas humedades en las habitaciones de una construcción.

Pre-enfriamiento

Es la acción de enfriar los materiales que se utilizaran en la mezcla de concreto con agua fría o hielo para que al momento que es colocado en su posición final, la temperatura interna y externa del elemento durante su proceso de endurecimiento no aumente demasiado.

Presiones de confinamiento

Suma de la presión litostática (o de carga de todos los materiales que están encima) más la presión de fluidos (en poros y rocas), suele ser agua y petróleo.

Tensión

La tensión, por su parte, es el estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen.

Tensiones cortantes

La tensión cortante o tensión de corte es aquella que, fijado un plano, actúa tangente al mismo. Se suele representar con la letra griega tau En piezas prismáticas, las tensiones cortantes aparecen en caso de aplicación de un esfuerzo cortante o bien de un momento torsor.

Torzales

Hilos de alambre torcido que sujetan y refuerzan los elementos de cimbra.

Trabajabilidad

Se entiende como el esfuerzo requerido para transportar, colocar, compactar y darle acabado al concreto en estado fresco.

Traslapes

Empalme, del acero de refuerzo dado por especificaciones.

Troquelamiento

Procedimiento constructivo empleado para apuntalar cimbras, estructuras de acuerdo al proyecto.

Bibliografía

207, A. C. (2006). *Guide to Mass concrete*. ACI.

309, (2007). Compactación del concreto

<https://es.thefreedictionary.com/ademado>

<http://cemexparaindustriales.com/>

<https://www.arqhys.com/construccion/construccion-diccionario.html>

Procedimiento para colado de una turbina de gas

Procedimientos técnicos

Tesis de postgrado “El concreto masivo” Ing. Luis Candelas Ramírez