



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Métodos de diseño del Hormigón Hidráulico para obras Hidráulicas



Autor: Danay Esther Ojeda Antunes

Tutor: Dr. C. Segundo Pereda Hernández.

Santiago de Cuba 2020

Dedicatoria.

Este trabajo se lo dedico de forma especial a mi papá que me brindó su apoyo incondicional, amor y sacrificio, para que lograra todo lo que soy hoy en día, gracias papi por estar presente en el momento más importante en mi vida.

Te Amo.

Agradecimientos.

Durante los 5 años de mi formación como ingeniera han estado presentes personas a las que no quiero dejar de agradecer por todo el apoyo y la atención en los momentos más difíciles de la carrera.

Es por ello que doy gracias a:

Al Dios todo poderoso por permitirme vivir estos momentos de tanta dicha y alegría a pesar de las dificultades del camino.

A mi papá y mi mamá por su amor, sacrificio y dedicación en todo momento para la cual no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí durante toda mi vida, solo puedo decirles que los amo y estoy súper orgullosa de ser su hija.

A mi hermanita que de una forma u otra siempre me apoyó, te quiero mucho mi amor.

A mi tutor Segundo por atenderme con la mayor disposición, dedicarme todo el tiempo posible y darme la confianza de que todo va a salir bien.

A mi abuelita Gloria que la quiero con todo mi corazón, hoy tengo la dicha de que esté en mi vida y espero que sea por siempre.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

A mi abuelita Ofelia por estar pendiente de mí, aunque hoy no esté presente en nuestras vidas siempre te recordaré, te amo.

A mi tía Maritza y a todos los que conviven con ella que siempre me han brindado apoyo en los momentos que más lo he necesitado.

A mi tía Damaris y su esposo que siempre han demostrado preocupación por mí en todo momento.

A mis tías Nancy y Marcia que, aunque no estén presente en mí día a día siempre me han apoyado y dado aliento de superación.

A mi tío José Ángel, que, aunque sea el dolor de cabeza de la familia me ha brindado apoyo cuando lo he necesitado.

A mi tía Nelly y mi tío Dani que los adoro, por darme su apoyo incondicional y estar presentes siempre con la mayor disposición de ayudar.

A toda mi familia de Dos Ríos mis más sinceros agradecimientos, que, aunque no lo crean una pequeña frase hace que todo tu pensamiento cambie y eso es lo que han logrado, hacerme ver que cada día que pasa tengo que tener una meta nueva de superación.

A toda mi familia por su apoyo incondicional durante estos años difíciles de estudio.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Aunque hoy no estés conmigo te debo mucho Nelsito, gracias por tu apoyo incondicional en los momentos difíciles que afronté en los primeros años de mi carrera, tú y tu familia son unos de mis motores impulsores los amo a todos.

A Onel por tener la paciencia de soportarme todo el tiempo y estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos y ser mi mayor guía en todo este largo camino que hemos recorrido juntos. No puedo dejar de mencionar el apoyo incondicional de toda tu familia, en especial a tu mamá, los quiero mucho.

A todos mis compañeros del aula y mis amigos por regalarme siempre una sonrisa.

A los profesores de la facultad de forma general por brindarme su valioso tiempo en ayudarme con dudas y en ideas de cómo realizar mi trabajo de una mejor manera y calidad.

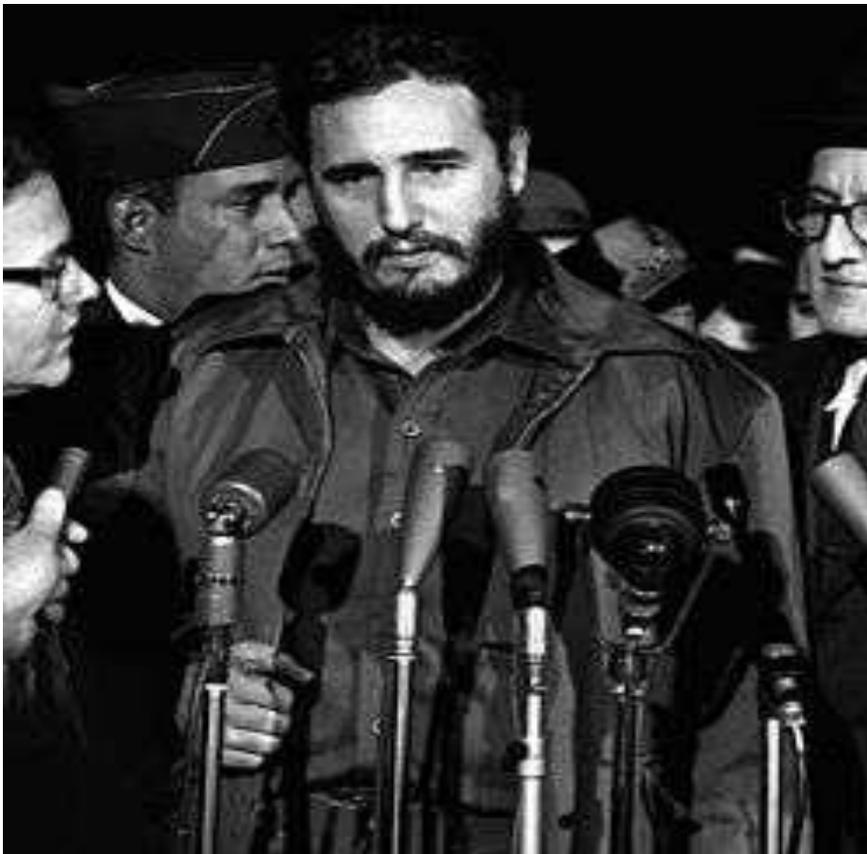
Al colectivo de profesores por estar siempre dispuesto a ayudar, en especial a los de mi tribunal por ayudarme a mejorar mi exposición en las pre-defensas y mejorar mi trabajo de forma general.

A todos mis más sinceros agradecimientos.

Pensamiento

“...debemos estar contentos, pero no satisfechos...quedan muchas cosas por hacer.”

Fidel Castro Ruz



Resumen.

El hormigón hidráulico es posiblemente uno de los materiales más antiguos empleado en la construcción y por tanto ampliamente conocido y reconocido como el más universal de los materiales, el cual se destaca por la variedad de usos y posibilidades dadas sus características físicas, lo que nos permite asumir que debido a su abundante divulgación, no es necesario dedicar párrafos a su estudio, motivo por el cual el presente trabajo lo dedicaremos exclusivamente al diseño de las mezclas de hormigón hidráulico, lo que está justificado porque en la carrera de Ingeniería Hidráulica existen problemas de comprensión por los estudiantes de segundo año del plan E reflejado en los resultados de las evaluaciones, de modo que en éste documento se reflejará en detalle los tres métodos de diseño, o sea, el método del profesor Bolomey, el método del Dr. Vitervo O`Reilly y el método del Instituto Americano de Concreto (ACI).

Nuestra intención es seleccionar al que resulte más adecuado entre los tres, para lo cual emplearemos entre otros métodos de investigación, el análisis de los resultados los dos últimos segundos años del plan de estudios E.

Summary.

The hydraulic concrete is possibly one of the materials older employee in the construction and therefore broadly well-known and grateful as the most universal in the materials, which stands out for the variety of uses and possibilities given by its physical characteristics, what allows us to assume that due to its abundant popularization, it is not necessary to dedicate paragraphs to its study, reason for which the present work will dedicate it exclusively to the design of the mixtures of hydraulic concrete, what is justified because in the specialization of Hydraulic Engineering problems of understanding exist for the students of second year of the plan E, reflected in the results of the evaluations, so in this document we will be reflected in detail the three design methods: the method professor's Bolomey, the method of the Dr Vitervo O`Reilly and the method of the American Institute of Concrete (ACI).

Our intention is to select the one that is more appropriate among the three, for that which we will use among other investigation methods, the analysis of the results the last second two years of the plan of studies E.

Índice.

Introducción.....	11
Capítulo I: Breve análisis histórico del hormigón hidráulico.....	16
1-Características del hormigón.....	16
1.1-Materiales componentes.....	16
1.2-Clasificación del hormigón.....	17
1.3-Los aglomerantes.....	19
1.3.1-Aglomerantes Minerales.....	19
1.3.2-Aglomerantes Hidráulicos.....	20
1.3.3Aglomerantes No Hidráulicos.....	20
1.4-Áridos.....	21
1.5-Propiedades de los materiales de construcción.....	21
1.6-Obras hidráulicas.....	25
1.6.1-La presa de las Tres Gargantas.....	27
1.6.2-Canal de Panamá.....	28
1.6.3-Embalse La Yaya (Guantánamo).....	28

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

1.6.4-Trasvase Este-Oeste.....	28
1.7-Métodos para el diseño de las mezclas de hormigón hidráulico.....	28
Capítulo II. Análisis de los métodos de diseño del Hormigón Hidráulico.....	31
2.1-Método de Bolomey.....	31
2.1.1-Método de diseño.....	32
2.2-Método de Vitervo A. O'Reilly Díaz.....	44
2.3-Para determinar la composición óptima de un hormigón.....	44
2.4-Método para dosificar mezclas de hormigón. (Ejemplo).....	48
2.5-Método del ACI.....	51
Capítulo III. Conclusiones generales y Recomendaciones.....	53
Conclusiones Generales.....	54
Recomendaciones.....	55
Bibliografía.....	56

Introducción.

El hormigón hidráulico es un material de construcción imprescindible en las obras de cualquier tipo, pero en el caso de las obras hidráulicas alcanza un valor especialmente importante tomando en consideración las propiedades que el mismo debe manifestar durante su uso, particularmente cuando se emplea en obras especiales, como lo son canales de diversas designaciones, obras de toma, estaciones de bombeo, etc.

Hormigón hidráulico.

Poderosa mezcla de **cemento tipo portland, grava, arena, agua** y a veces con la adición de algún otro material que le confiera a la mezcla una cualidad deseable de manera especial y al final se convierte en una piedra permanente con la ventaja que ofrece el hecho de poder moldearlo antes de su fraguado, generando estructuras.

Es conveniente señalar que los componentes del hormigón hidráulico han de ser tomados dentro de condiciones de normalización, de tal manera que cada uno de ellos cumpla con las cualidades que deben poseer de acuerdo con el tipo y características de los elementos que se construyen, garantizando la resistencia y durabilidad de la obra.

Reseña histórica

Este material fue encontrado en Internet el 12 de mayo del 2020.

El hormigón es un producto de construcción empleado desde la antigüedad. En Grecia existieron acueductos y depósitos de agua, hechos con este producto y cuyos restos fueron encontrados y eran hormigones elaborados con cales grasas, puzolanas y ladrillos pulverizados.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Los romanos lo emplearon en sus grandes obras públicas, como el puerto de Nápoles mandado a construir por el emperador Calígula y así lo extendieron por todo su Imperio, la forma se la daban con moldes de madera o encofrados.

A partir del descubrimiento del cemento Portland en Inglaterra en el año 1811, se da un salto cualitativo y cuantitativo de gran envergadura, ya que comienzan a realizarse investigaciones y estudios para mejorar su calidad. Antes de su descubrimiento se emplearon como aglomerantes la grasa, cal y cementos naturales.

A mediados del siglo XIX aparecen las primeras construcciones de hormigón utilizándose el cemento, primero se comenzó a usar en las obras marítimas y más tarde con el desarrollo de la siderurgia (producción de acero) en forma de hormigón armado, que es el reforzado con barras de acero, en puentes y depósitos, habiéndose extendido su empleo tanto en obras públicas como urbanas.)

En la **época actual** se ha logrado que el hormigón tenga una alta calidad y la unión con el acero ha posibilitado la construcción de obras de todo tipo. Cada día con la experiencia y la investigación, surgen nuevas técnicas de preparación y aplicación, con el fin de aprovechar al máximo todas las buenas cualidades de este producto.

La utilización de hormigón hidráulico tiene gran **importancia** por ejemplo: los materiales que se emplean en su fabricación son fáciles de encontrar; se puede utilizar tanto en estructuras monolíticas como en prefabricadas; tiene un bajo nivel de gastos en la fabricación de estructuras; permite la mecanización total en su elaboración; se adapta fácilmente a cualquier tipo de molde, debido a su plasticidad ,se moldea a temperatura normal ,no necesita calor ;se pueden emplear aditivos para mejorar sus propiedades ;además es resistente al fuego por lo menos hasta 400°C.

❖ Formulación del proyecto de investigación especificando:

En la presente investigación se plantea como **situación problemática** los resultados de los alumnos en los últimos años de la carrera, donde la calidad de las evaluaciones es muy baja, además actualmente existen varias metodologías para el

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

diseño de mezclas de hormigón, la de Bolomey, la del Dr. O'Reilly y últimamente la del Instituto Americano de Concreto (ACI), los resultados mencionados se han producido empleando las dos primeras, sin embargo en opinión de nuestro tutor la del ACI puede resultar la más asequible, cuestión ésta que queda por demostrar.

El problema de investigación es conocer cuál de los tres métodos que se analizarán puede resultar el más conveniente y asequible para el diseño del hormigón hidráulico.

El objeto de investigación

El hormigón hidráulico.

Como campo de acción

El hormigón hidráulico

El objetivo general

Hacer un análisis comparativo de las bondades de los métodos de diseño del hormigón hidráulico y determinar cuál de ellos sería más conveniente para enseñarlo en el segundo año de la carrera plan E.

Objetivos específicos:

1-Investigar la eficiencia en el tema en los últimos 2 años de la carrera de Ingeniería Hidráulica plan E.

2-Definir según los resultados precedentes las principales dificultades de los cursantes en su paso por el tema.

Para dar cumplimiento a tal problemática surge la siguiente:

Hipótesis

Con el uso de un método de diseño de más fácil comprensión y facilidad de cálculo, se podrá obtener una mayor eficiencia en el decursar de la carrera, en el tema Hormigón Hidráulico.

❖ Estructura de la investigación:

Resumen:

Introducción:

Capítulo I: Conocer los diferentes métodos empleados, tanto en el ámbito nacional como internacional, pasando por las diferentes obras hidráulicas que empleen dicho material.

Capítulo II. Análisis de los tres métodos antes mencionados.

Aquí se desarrollan los tres métodos que se analizarán haciendo un ejemplo práctico, que nos permita hallar las diferencias concretas entre ellos.

Capítulo III. Conclusiones y Recomendaciones.

Bibliografía.

Anexos.

Capítulo I: Breve Análisis histórico del Hormigón Hidráulico.

Capítulo I: Breve análisis histórico del Hormigón Hidráulico.

1- Características del hormigón.

A simple vista nos podemos dar cuenta que el hormigón es una piedra artificial de color gris, que ha logrado endurecer después de un largo proceso, podemos percibir su resistencia a las cargas y también a los agentes agresivos del medio ambiente.

La forma que adopta es variada, puede ser rectangular, cuadrada, en fin, la que adquiera del molde. Si lo tocamos, nos damos cuenta de su dureza y si intentamos con nuestros brazos levantar una parte grande de él, no podríamos, necesitaríamos equipos, ya que su peso promedio es de 2400 Kg/m³.

Debido a la avanzada tecnología desarrollada en su fabricación, desde el momento de realizar el diseño de la dosificación de los componentes, se deben prefijar las propiedades que tendrá, como: la resistencia mecánica, peso e impermeabilidad.

El hormigón una vez elaborado, al igual que los morteros, debe aplicarse en un plazo mínimo establecido, debido al fraguado rápido del cemento de aproximadamente 1 hora.

1.1- Materiales componentes.

El hormigón está constituido por cuatro materiales.

- Árido grueso (piedra).
- Árido fino (arena).
- Aglomerante (cemento).

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- Agua.

Para elaborar el hormigón se puede utilizar todos los tipos de cemento: Portland, Aluminoso, Puzolánicos, de Escorias, etc.

En nuestro caso solo emplearemos el cemento Portland nacional para la fabricación de un hormigón hidráulico corriente.

❖ Todo en el hormigón no es **ventaja** también nos puede presentar **desventajas** como, por ejemplo:

- Gran peso de los elementos, pero se compensa utilizando equipos para su transportación y colocación.
- Baja resistencia a la tracción (10 ó 15 veces inferior a la compresión), pero se compensa utilizando acero de refuerzo, esto es en el hormigón armado, ya que la armadura soporta las tensiones provocadas por la tracción.

1.2-Clasificación del hormigón:

Según el tipo

Existen diferentes tipos de hormigones los que se emplean en actividades determinadas. a) Simples: Son aquellos donde intervienen los cuatro materiales componentes fundamentales (árido grueso y fino, aglomerantes y agua) y se dividen en:

- Terrazo: para producir efectos estéticos con superficies pulidas y brillantes.
- Refractarios: para resistir altas temperaturas como en las paredes de los hornos.
- Ciclópeos: para hormigones masivos como en las presas, donde se llenan volúmenes utilizando piedras grandes, generalmente rajón o rajoncillo.

b) Armados: Son aquellos donde interviene el acero para absorber los esfuerzos, además de los cuatro componentes fundamentales, se divide en:

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- Normales: para uso en elementos estructurales normales, como en columnas, vigas y losas.
- Pretensado: para uso en elementos estructurales, tensando el acero (estirándolo) antes de colocar el hormigón en el molde para hacerlo más rígido.
- Postensado: Para uso en elementos estructurales tensando el acero, después de verter el hormigón para ganar en resistencia.

Según los áridos a emplear pueden ser

a) De áridos compactados: Es el que más se usa. El empleo de vibradores incrementa la compactación. b) De áridos porosos: Logran hormigones ligeros (menos peso, con gases o espuma incorporada a la masa). c) De áridos especiales: Para funciones determinadas como resistir el calor y las reacciones químicas.

Según el aglomerante a emplear

De acuerdo a esta clasificación pueden ser:

- De cemento (es el de mayor uso).
- De yeso.
- De cal.
- Combinados.

Según la masa volumétrica

Se clasifican de la siguiente forma:

a) Muy pesados: Masa volumétrica mayor de 2500 Kg/m³, se utiliza en estructuras especiales empleando áridos de gran peso.

b) Pesados: Masa volumétrica entre 2200 y 2500 Kg/m³, se usa en estructuras portantes, utilizando áridos triturados pesados.

c) Aligerados: Masa volumétrica entre 1800 y 2200 Kg/m³, se utilizan en estructuras portantes empleando áridos triturados pesados, pero se aligera con orificios en la pieza.

d) Ligeros: Masa volumétrica entre 500 y 1800 Kg/m³, se utiliza en estructuras exteriores, de protección, usando áridos porosos. Los hormigones ligeros tienen menor conductividad térmica en comparación con los pesados, por eso se utilizan por lo general en estructura exteriores de protección.

1.3-Los aglomerantes

Son sustancias empleadas para adherir partículas y fibras orgánicas e inorgánicas para formar componentes resistentes, duros y/o flexibles.

Esto es debido generalmente a las reacciones químicas que ocurren cuando el aglomerante es calentado, mezclado con agua y/u otros materiales, o simplemente expuesto al aire.

Hay cuatro grupos principales de aglomerantes:

- Aglomerantes minerales.
- Aglomerantes bituminosos.
- Aglomerantes naturales.
- Aglomerantes sintéticos.

1.3.1-Aglomerantes Minerales

Estos se dividen en tres categorías:

- Aglomerantes hidráulicos, los cuales requieren agua para endurecer y desarrollar resistencia.
- Aglomerantes no hidráulicos, los cuales sólo se pueden endurecer ante la exposición al aire.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- Aglomerantes termoplásticos, los cuales se endurecen cuando se enfrían y se vuelven suaves cuando son calentados nuevamente.

1.3.2-Aglomerantes Hidráulicos

- El aglomerante hidráulico más utilizado es el cemento tipo Portland.
- Los aglomerantes hidráulicos generalmente están disponibles en forma de polvo fino: mientras más finos son pulverizados (usualmente en un molino), más grande es el área de superficie específica (de la suma de las partículas) por unidad de peso. Y mientras más es el área de superficie, más efectiva y completa es la reacción química con el agua al hacer contacto.
- A causa de su afinidad al agua, los aglomerantes hidráulicos deben ser almacenados en condiciones absolutamente secas, para evitar un fraguado y endurecido prematuro. Incluso el aire húmedo puede causar hidratación.

1.3.3 Aglomerantes No Hidráulicos

- El aglomerante no hidráulico más común es la arcilla, que está presente en la mayoría de tierras, causando que se endurezcan al ser secadas y se ablande cuando son humedecidas. Sus principales aplicaciones son en construcciones de tierra y en la fabricación de productos de arcilla cocida.
- Otro aglomerante no hidráulico común es la cal, con alto contenido de calcio o magnesio. El endurecimiento depende de su combinación con el dióxido de carbono del aire (carbonatación), por el cual éste nuevamente se vuelve carbonato de calcio (piedra caliza).

Las cales raramente son empleadas como el único aglomerante cementoso y usualmente reaccionan con la arcilla o alguna puzolana para formar un cemento hidráulico.

El yeso es un aglomerante no hidráulico que se encuentra naturalmente como una arena o roca suave cristalina. El nombre químico es sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Mediante un calentamiento aproximadamente a 160°C, se produce sulfato de calcio semi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), más conocido como «mortero de París», el cual cuando es mezclado con el agua se fragua en 8 a 10 minutos.

1.4-Áridos.

Aunque los áridos no tienen participación en el fraguado y endurecimiento del hormigón, no por ello dejan de influir notablemente en las propiedades físicas, químicas y mecánicas. De aquí la necesidad de dedicar a los áridos toda la atención que merecen como uno de los constituyentes que influye en muchas propiedades del hormigón y por tanto en su calidad.

❖ ¿Qué son los áridos?

Los áridos son materiales inertes naturales o artificiales que se pueden emplear tal como se encuentran en la naturaleza o triturados y que tienen aplicación para la confección de hormigones al ser conglomerados por medio del cemento.

De acuerdo con la naturaleza del árido, sus características dependerán de las cualidades de las rocas de procedencia, es decir, los áridos pueden proceder de **rocas ígneas o sedimentarias o metamórficas**. Las características de estas rocas se estudian paralelamente en la asignatura Geología para Ingenieros, que se imparte en este mismo año y semestre.

En el caso de los áridos artificiales, proceden de cualquiera de las rocas antes mencionadas, pero es necesario elaborarlos por medios mecánicos o a veces son subproductos de la fabricación de otros materiales, por ejemplo: escoria de altos hornos, cenizas, arcillas o esquistos dilatados, perlita dilatada, etc.

1.5-Propiedades de los materiales de construcción.

Se dividen en propiedades físicas, químicas y mecánicas

- 1- Las propiedades físicas están relacionadas con aquellas propiedades que vinculan el peso y el volumen del material, como por ejemplo con su

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

permeabilidad a líquidos y gases y otras propiedades como la conductividad calórica etc.

- 2- Las propiedades químicas se evalúan a través de su resistencia al ataque de sustancias que pueden hacer reacciones químicas en los materiales y causar transformaciones importantes o deteriorarlos.
- 3- Las propiedades mecánicas caracterizan la capacidad de los materiales para resistir los esfuerzos provocados por fuerzas externas, como por ejemplo fuerzas de compresión, de flexión o de cizalladura.

Una de las propiedades más importantes de los áridos es el peso específico real.

La Granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de un árido.

La granulometría de los áridos es importante por su influencia sobre el comportamiento del hormigón en cuanto a docilidad y compacidad, así como las resistencias del mismo.

La determinación de la granulometría se realiza cuando el árido pasa por unas series de tamices y observando los % de retenidos en cada uno de ellos, esta determinación se hace separadamente para la piedra y la arena.

Conociendo la proporción de arena y piedra que entra a formar parte de un hormigón y la granulometría de estos áridos, se emplean diferentes métodos para hallar la granulometría del árido conjunto.

Los áridos utilizados en el hormigón presentan dos tipos de granulometría:

Granulometría continua: cuando en la granulometría de un árido están representados todos los tamaños de las partículas del mismo.

Granulometría discontinua: cuando faltan algunos tamaños intermedios.

Con una granulometría continua se puede obtener una compacidad adecuada y un menor gasto de cemento, mientras que con la granulometría discontinua se hace necesario el reforme del árido (cambiar los huecos)

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

En el hormigón se emplean **partículas de áridos** a partir de 0.15mm hasta un tamaño que sea compatible con el tipo de elemento, el refuerzo y del método de colocación. Para fijar este último se utilizan el concepto de tamaño máximo de áridos que definiremos posteriormente. Utilizándose en el hormigón áridos con un tamaño máximo de 16mm.

Normas de acuerdo con su tamaño.

En construcciones se utilizan:

Polvo de piedra (material que pase por el tamiz 9.52 mm (3/8") y de un 95% por el tamiz 4.76 (#4). Granito, gravilla, piedra picada (hormigón), macadán, rajoncillo, rajón. A continuación, se muestran los áridos según sus dimensiones.

Arena...menor de 5 mm de diámetro (4,76 mm, tamiz No 4).

Granito.....2,38-----9,52 mm.

Gravilla..... 6,35-----19,0 mm.

Piedra picada...12,7-----39,8 mm

Macadam..... 16.0-----38,0 mm.

Rajoncillo.....16-----152 mm.

Rajón.... más de 152mm.

La Granulometría de las arenas según Feut se clasifican en:

5mm – 2 mm – gruesa.

2 mm – 0.5 mm – medias

0.5mm-0.15 mm – finas.

Según Feut, la máxima compacidad proporciona la máxima resistencia por lo que el número de huecos y la superficie total de los granos deben ser mínimos. Las curvas

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

de isocompacidad de las diferentes mezclas preparadas permitieron hacer las conclusiones siguientes:

- ❖ Las arenas de un solo tamaño son las menos compactas.
- ❖ La ausencia de granos finos conduce a compacidades escasas.
- ❖ La arena más compacta se compone del 60% de granos gruesos y del 40% de granos finos, con la ausencia total de los medianos.

Para obtener la máxima compacidad es necesario mezclar piedras (áridos Gruesos) y arenas (áridos Finos) en proporciones tales que la curva granulométrica resultante se adopte a curvas conocidas siendo empleadas las siguientes:

Curvas de Füller – Thompson.

$$r (\%) = 100 (1 - \sqrt{d/D}) ; r = \% \text{ del total de áridos.}$$

d = luz de malla

D = tamaño máximo del árido.

Curva de Füller.

$$PY = 100 \sqrt{d/D} ; Py = \% \text{ que pasa por el tamiz.}$$

d = luz de malla.

D = tamaño máximo del árido.

Curvas de Bolomey

$$p = a + (100 - a) \sqrt{d/D} ; p = \% \text{ que pasa por el tamiz}$$

a = tabla (consistencia y tipo de árido)

d = luz de malla

D = tamaño máximo del árido.

Especificaciones de los áridos para hormigón hidráulico:

Árido fino

Arena natural o artificial (4.76 mm a 0.149)

Árido grueso

Piedra Picada, gravas (76.2 mm a 2.38 mm)

Clasificación

Piedra Picada: 76-38, 63-38, 38-19, 38-13, 19-10, 13-5 mm.

Arena: 5 mm –0.15 mm

1.6-Obras hidráulicas

Se entiende por **obra hidráulica** o **infraestructura hidráulica** a una construcción, en el campo de la ingeniería civil, ingeniería agrícola e ingeniería hidráulica, donde el elemento dominante tiene que ver con el agua. Se puede decir que las obras hidráulicas constituyen un conjunto de estructuras construidas con el objetivo de controlar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.

Generalmente se consideran obras hidráulicas:

- Canales, que pueden constar de diversos elementos como por ejemplo:
 - Bocatomas de derivación.
 - Compuerta de entrada.
 - Controles de nivel del agua en el canal.
 - Ver Compuerta AMIS, estas se utilizan para controlar el nivel del agua en estanques y canales aguas arriba de la compuerta.
 - Ver Compuerta AVIS, se utilizan para controlar el nivel del agua en canales aguas abajo de la compuerta.
 - Dispositivos para la medición del caudal.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- Dispositivos de seguridad.
- Balsa de agua, considerando las construidas artificialmente.
- Cruces:
 - Canal de riego con dren -->puente canal
 - Canal de riego o de drenaje con caminos rurales -->alcantarilla o puente.
- Presas, que pueden constar de las siguientes partes:
 - Vertedero o aliviadero.
 - Descarga de fondo
 - Cuencas de disipación
 - Bocatomas para los diversos usos del embalse.
 - Escalera de peces
 - Obras provisionales durante la construcción.
- Estaciones de bombeo, que pueden constar de las siguientes partes:
 - Canal de aproximación.
 - Reja para el desbaste y la retención de finos.
 - Cámara de succión.
 - Bomba.
 - Motor, el que puede ser de muy diversos tipos y consecuentemente exigir infraestructura de apoyos diferentes, como pueden ser: estaciones de transformación de energía eléctrica o depósitos de combustible.
 - Línea de impulsión.
 - Dispositivo para amortiguar el golpe de ariete.
- Esclusas, que pueden constar de las siguientes partes:
 - Áreas de espera a la entrada y salida de la esclusa.
 - Reservas de agua para el llenado de la esclusa.
 - Canales de llenado y vaciado.
 - Compuertas.
 - Dispositivos electro-mecánico para inmovilizar y mover los barcos.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- Sistema de abastecimiento de agua potable.
- Sistema de recogida de aguas residuales.
- Sistemas de riego.
- Sistemas de drenaje..
- Recarga de acuíferos, Pozos de absorción.
- Trasvase de cuenca.

❖ Las **obras hidráulicas** son empleadas en cualquier parte del mundo, todas estas emplean **hormigón hidráulico** ejemplo:

1.6.1-La presa de las Tres Gargantas

Situada en el curso del río Yangtzé en China posee la planta hidroeléctrica y de control de inundaciones más grande del mundo. Se terminó en el año 2009. Una docena de ciudades y miles de pueblos fueron engullidos por las aguas, obligando a desplazarse a más de un millón y medio de personas; **La presa Itaipú** en Suramérica y otras pertenecen al grupo de instalaciones que emplean el hormigón hidráulico.



Presa de las Tres Garganta.



Esclusas de la presa de las Tres Gargantas

Fuente: (Wikipedia el 17 de marzo del 2020).

1.6.2-Canal de Panamá.

Canal de navegación, ubicado en Panamá, en el punto más angosto del Istmo de Panamá, entre el Mar Caribe y el Océano Pacífico. Inaugurado el 15 de agosto de 1914, ha acortado el tiempo de comunicación marítima interoceánica. Proporciona una vía de tránsito corta y relativamente barata. Estados Unidos y China son los principales usuarios del Canal.

En Cuba también podemos mencionar un sinnúmero de obras donde empleamos el hormigón hidráulico, como, por ejemplo:

1.6.3-Embalse La Yaya (Guantánamo)

La importancia de La Yaya no estriba sólo en sus dimensiones excepcionales, que la sitúan entre las 3 presas más grandes del país, ni en su alto valor como obra de ingeniería, sino también y por encima de todo, en los previstos beneficios que toda la región del municipio Niceto Pérez y Caimanera en el abasto y el riego.

1.6.4-Trasvase Este-Oeste

Catalogada como la obra hidráulica más importante del siglo XXI en Cuba, su objetivo es desviar agua desde las cuencas de los ríos que nacen en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa a las llanuras fértiles del norte de Holguín, Las Tunas, nordeste de Camagüey y el centro y norte del Valle del Cauto.

1.7-Métodos para el diseño de las mezclas de hormigón hidráulico.

El interés por la aplicación de métodos para el diseño de las mezclas de hormigón se evidencia muy tempranamente en nuestro país. La gran versatilidad de la construcción en hormigón y las crecientes exigencias técnicas especificadas para este material llevaron a diversos investigadores a conjugar investigación, experiencia y empirismo en la búsqueda de un método para encontrar la dosificación de materiales que garantizaran la obtención de un hormigón con las características que más se ajustasen a la necesidad que tuvieran en cada caso, teniendo en cuenta además el costo de su producción. Esta búsqueda aún continúa y no ha llevado a un

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

método único ni por lo menos exacto; sin embargo, si ha definido varios procedimientos, unos más empíricos que otros, que se basan en el ensayo y error. Actualmente existen varias metodologías para el diseño de mezclas de hormigón, en el presente trabajo proponemos solo un estudio de los diferentes métodos empleados en la facultad como son: El método de Bolomey, el del Dr. O'Reilly y últimamente la del Instituto Americano de Concreto (ACI).

**Capítulo III: Análisis de los
métodos de diseño del
Hormigón Hidráulico.**

Capítulo III. Análisis de los métodos de diseño del Hormigón Hidráulico

Como planteamos en el capítulo anterior, nuestro interés es en hacer una descripción de solo los métodos que se emplean en la actualidad en la carrera de ingeniería hidráulica, es decir los métodos de Bolomey, el del Dr. O'Reilly y en último lugar el del Instituto Americano de Concreto (ACI).

En éste capítulo, nos concretaremos solo a describir teóricamente los tres procedimientos y enviaremos para los anexos un ejemplo de cada uno con sus respectivas indicaciones y tablas correspondientes.

2.1-Método de Bolomey.

Este método puede ser considerado como un perfeccionamiento del método de Füller; los datos para efectuar la dosificación por este método suelen ser los mismos que los utilizados por el método de Füller. La cantidad de agua necesaria por metro cúbico de hormigón se determina utilizando las mismas tablas que en el método de Füller. Para la determinación del tamaño máximo del árido se sigue el mismo criterio utilizado en el método anterior, la cantidad de agua necesaria por metro cúbico de hormigón se determina utilizando las mismas tablas que en el método de Füller. Para determinar en qué proporción se mezclan las distintas fracciones de árido, es en éste punto donde se aportan las modificaciones respecto al método anterior, pues Bolomey utiliza una curva de granulometría variable en función de la consistencia deseada en el hormigón y la forma de los áridos, mientras que Füller considera una curva de granulometría ideal. Para ajustar la curva granulométrica de Bolomey el sistema de tanteos no varía con respecto al utilizado por Füller, pero el basado en los

módulos granulométricos si aporta algo nuevo, ya que Bolomey considera el cemento como un árido más.

Un hormigón para que sea satisfactorio tiene que cumplir determinadas propiedades en su estado fresco que permitan el mezclado, transportación, colocación y compactación con los medios que se disponen para efectuar estas operaciones de un modo eficiente.

Una vez endurecido tiene que cumplimentar determinadas propiedades que permitan efectuar adecuadamente las funciones a él encomendadas, además debe garantizar la permanencia de estas propiedades a través del tiempo y ser económico.

Para satisfacer todo lo anterior es necesario que cuando se proceda a diseñar una mezcla de hormigón se dispongan los siguientes datos:

- planos con las dimensiones y disposición de las armaduras del elemento.
- tecnología utilizada para la fabricación del mismo.
- condiciones del medio ambiente en que va a encontrarse el elemento.
- propiedades que se requieren del hormigón.
- la forma del control de fabricación que se utilizará.

Con el conocimiento de estos datos, se procede a hacer la selección entre los materiales que se dispongan y aquellos que reúnan las características adecuadas desde el punto de vista técnico-económico. Para realizar lo anterior se deben disponer de los datos de los ensayos de los materiales.

Una vez seleccionados los materiales, se procederá al cálculo preliminar de las cantidades necesarias para la confección de un metro cúbico de hormigón. Para este fin se emplean diferentes métodos, explicaremos uno de ellos a continuación:

2.1.1-Método de diseño:

El procedimiento a seguir en este método de diseño consta de las siguientes etapas:

1-Fijar el tamaño máximo del árido.

Se debe realizar antes de la elección de los materiales, ya que es uno de los criterios de selección empleado.

2-Determinación de la relación agua –cemento a emplear.

3-Determinación de las cantidades de agua y de cemento necesarias para fabricar un metro cúbico de hormigón.

4-Determinación de las proporciones en que han de mezclarse los áridos.

5-Calcular las cantidades de áridos necesarios para fabricar un metro cúbico de hormigón.

6-Ajuste necesario a la dosificación de acuerdo con los resultados de las mezclas de prueba.

1-Fijar el tamaño máximo del árido.

Cuanto mayor sea el tamaño del árido, menos agua se necesitará para obtener una consistencia dada, como consecuencia podemos reducir la cantidad de cemento y el hormigón será más económico.

Sin embargo, el tamaño máximo del árido tiene que limitarse a un valor máximo que permita las distintas etapas de fabricación del hormigón y que quede con la cantidad requerida.

Generalmente el tamaño máximo del árido se ve limitado por las dimensiones del elemento y por la separación entre el acero del refuerzo. A continuación se exponen los criterios por los cuales se puede seguir para fijar el tamaño máximo del árido, tomando en consideración los dos factores antes mencionados.

a. Dimensiones del elemento.

En realidad, la que interesa es la dimensión mínima del elemento para que no se cree el efecto de pared, es decir la disminución de la laborabilidad de la mezcla en

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

los espacios cerca de los encofrados, debido a que los granos de tamaño $D_{m\acute{a}x}$, se separan en las paredes dificultando la compactación de la mezcla.

Por lo anterior el tamaño máximo del árido debe ser tal que:

$$D_{m\acute{a}x} \leq 1/5L$$

Donde:

L=dimensión mínima del elemento en milímetros.

$D_{m\acute{a}x}$ =tamaño máximo del árido en milímetros.

Si la construcción es poco reformada y de pequeña altura puede ser:

$$D_{m\acute{a}x} \leq 1/4L$$

En el caso de losas fabricadas horizontalmente, en las cuales la compactación se puede realizar de forma eficiente puede calcularse por:

$$D_{m\acute{a}x} \leq 1/3L \text{ hasta } D_{m\acute{a}x} - 1/2L$$

La Norma Cubana establece para todos los elementos una sola expresión:

$$D_{m\acute{a}x} \leq L/3$$

b. Separación entre el acero de refuerzo

La separación que interesa, es la mínima neta entre barras de acero por donde tenga que pasar el hormigón durante la fabricación del elemento. Por lo anterior el tamaño máximo del árido debe de ser tal que:

$$D_{m\acute{a}x} \leq 2/3E$$

Dónde:

E= Espacio libre mínimo horizontal entre las barras de refuerzo en mm

$D_{m\acute{a}x}$ = tamaño máximo del árido en mm

La Norma Cubana establece:

$$D_{\text{máx}} \leq 0.8 E$$

Después de calculado el tamaño del árido para los dos factores a y b se escoge la expresión que de menor valor numérico ya que satisfacen los dos requisitos.

En algunos casos los métodos utilizados para la colocación o el transporte del hormigón imponen restricciones al tamaño máximo del árido a utilizar, por ejemplo: cuando el transporte del hormigón es mediante bomba; cuando la colocación del hormigón es bajo agua utilizando tubos; en estos dos casos $D_{\text{máx}}$ tiene que ser menor que $1/5$ del diámetro del tubo utilizado ($D_{\text{máx}} \leq 1/5d$, donde d =diámetro del tubo).

En hormigones de alta resistencia a compresión, no es conveniente utilizar a menudo áridos de elevado tamaño máximo, ya que la tendencia del mismo a fallar por adherencia hace que se limite a un valor máximo con la finalidad de aumentar la superficie de adherencia entre el árido y el mortero.

Las expresiones matemáticas dadas anteriormente pueden dar un valor numérico que no se ajuste a los tamaños comerciales que aparecen en el mercado, por lo que debe seleccionar un árido comercial que cumpla la condición establecida.

La tabla 1 (Anexos) sirve para seleccionar el tamaño máximo comercial según el resultado de la expresión de $D_{\text{máx}}$.

Partiendo de los resultados se procede a seleccionar de entre dos materiales disponibles el árido grueso de menor calidad, por lo general se toma el árido de mayor máximo que cumple la expresión anterior.

2 -Determinación de la relación agua –cemento a emplear

Generalmente la relación en peso entre el agua y el cemento (a/c) que va a tener el hormigón se determina según dos criterios:

a. Resistencia a un esfuerzo determinado que tenga que resistir el hormigón, generalmente a compresión.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

b. Medio ambiente en que estará ubicado el hormigón endurecido.

A continuación, se muestra como se determinan ambas relaciones agua-cemento (a/c):

a. Determinación de la relación (a/c) según la resistencia a compresión, generalmente se utilizan fórmulas matemáticas que se han determinado en las investigaciones.

En este caso se utilizará la conocida Fórmula de Bolomey.

$$R'_{bm} = a_k \sigma_c (c/a - 0.5) \quad (1)$$

Siendo necesario conocer R'_{bk} , a_k y σ_c

$$R'_{bm} = \frac{R'_{bk}}{(1 - \delta)} \quad (2)$$

La fórmula anterior permite pasar de Resistencia Característica (R'_{bk}) a Resistencia Media (R'_{bm}).

Si se sustituye y se despeja la relación agua-cemento

$$a/c = \frac{1}{0.5 + \frac{R'_{bm}}{a_k \sigma_c}} \quad (3)$$

Donde:

R'_{bk} = Resistencia característica a compresión del hormigón.

δ = coeficiente que depende del grado de control de fabricación del hormigón (en la tabla 2 (Anexos) aparecen los valores).

a_k = depende de algunas características del árido que se va a utilizar, en la tabla 3 (Anexos) se dan los valores de a_k para varios tipos de áridos)

σ_c = depende del tipo de cemento que se va a utilizar. Siendo σ_c la resistencia media en Kg/cm² (MPa) del cemento a la misma edad del Hormigón, a los 28 días.

Ver Tabla 4 (Anexos): Valores del coeficiente a_k .

A continuación, se dan las recomendaciones para los Cementos Cubanos (Tabla 5).

Los valores de σ_c a los 28 días para los distintos tipos de cementos se dan a continuación en (Tabla 6) (Anexos).

Tablas 7,8, 9, 10 y 11 se dan los valores de relación agua-cemento calculados por la fórmula 1 para distintas resistencias características, grados de control, características del árido, σ_c y $\lambda=1,00$.

Nota válida para las tablas anteriores:

Generalmente no son recomendables hormigones con relación agua-cemento menores de 0,35 ya que resultan muy difíciles de trabajar, ni hormigones con relación agua-cemento mayor de 1.00, ya que requieren mucha agua y poco cemento siendo por lo general de muy baja calidad. En el caso que resulte necesario aumentar o disminuir la relación agua cemento es conveniente seleccionar otros materiales (cemento y/o áridos) que permitan obtener un valor razonable. No obstante, se puede dar el caso que, para determinadas técnicas de fabricación, materiales, condiciones de uso, etcétera, se permitan valores mayores de 1,00 o menores de 0,35.

Después de determinada la relación (a/c) teniendo en consideración la resistencia a compresión a un esfuerzo determinado se pasa a tomar en consideración el medio ambiente en que estará ubicado el hormigón.

b. Medio ambiente en que estará ubicado el hormigón endurecido

Las investigaciones o la experiencia son las que pueden indicar cuál es la relación agua-cemento máxima recomendada para el hormigón que se va a encontrar en un determinado medio.

En la Tabla 12 (Anexos) se muestran las relaciones agua-cemento máximas recomendadas para diferentes grados de exposición de los elementos en clima moderado (según ACI).

Después de determinadas las relaciones agua-cemento, tomando en consideración los criterios a y b u otro criterio que sea necesario, se continuará el diseño de la mezcla de hormigón con la relación agua-cemento más baja de forma tal que se puedan satisfacer todos los requisitos o propiedades del hormigón.

3- Determinación de las cantidades de agua y cemento necesarias para fabricar un m³ de Hormigón.

La experiencia o la práctica pueden indicar la cantidad de agua necesaria para cada caso y esta va a estar determinada por la consistencia o laborabilidad requerida por el proceso de fabricación del elemento.

Tabla 13 (Anexos): Asentamientos en el Cono de Abrams recomendados de acuerdo con el tipo de elementos y las condiciones de colocación y compactación.

A medida que las condiciones de fabricación del elemento sean más difíciles es conveniente dentro de cada rango tomar asentamientos mayores. Si el hormigón resulta fácil de colocar y compactar es aconsejable tomar dentro de cada rango los valores menores de asentamientos. Aunque el valor mínimo para compactación manual (picado) es 3 cm, por lo general es conveniente para este método de fabricación no utilizar asentamientos menores de 5 cm.

Algunos otros criterios para elegir el asentamiento se dan a continuación:

-Si la compactación se va a realizar con pisones el asentamiento debe estar entre 1 y 5 cm.

-Si la compactación no puede realizarse manualmente o con vibradores y el hormigón debe compactarse por su propio peso el asentamiento debe ser de 15 a 18 cm.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- Para transportar el hormigón con bomba el asentamiento debe estar entre 4 y 8 cm.
- Para el transporte del hormigón en camiones hormigoneros el asentamiento debe ser mayor de 2 cm.
- El rango de asentamiento o asentamiento tomado debe ser compatible con los criterios antes dados u otros que la práctica indique.

Después de elegido el asentamiento se puede determinar la cantidad de agua necesaria para 1 m³ de hormigón utilizando las (Tablas14 y 15)(Anexos) según se utilicen áridos obtenidos de la trituración de las rocas o que en el hormigón intervengan como árido fino la arena gris de mar.

Para entrar en las Tablas14 y 15 es necesario estimar que el hormigón va a tener una cantidad de cemento determinada; pudiendo ser esta 300, 400, 500 o 600 Kg/m³ de hormigón.

Teniendo la cantidad de agua necesaria para 1m³ de hormigón y la relación agua-cemento determinada anteriormente, se procede a determinar la cantidad de cemento.

$$\text{La relación agua-cemento} \rightarrow a/c = \frac{A}{C} \quad (4)$$

$$C = \frac{A}{a/c} \quad \text{Ó} \quad C = A * \frac{c}{a}$$

Dónde:

A= Cantidad de agua necesaria para 1m³ de hormigón.

a/c =Relación agua-cemento determinada en la etapa 2.

C=cantidad de cemento necesaria por 1 m³ de hormigón.

Si se utilizaran para determinar la cantidad de agua las tablas14 y 15 y si la cantidad de cemento calculada difiere en más de 50 Kg con la estimada, es necesario ir de nuevo a las tablas anteriores según el caso y determinar una nueva cantidad de

agua estimando ahora con una cantidad de cemento más cercana a la calculada. El proceso puede repetirse hasta que la cantidad calculada no difiera en más de 50 Kg con la estimada.

4- Determinación de las proporciones en que han de mezclarse los áridos

La mezcla de áridos debe satisfacer las especificaciones de granulometría para el hormigón que se diseña.

La composición granulométrica de la mezcla de áridos va a depender de la laborabilidad necesaria de la mezcla de hormigón.

Para disminuir el consumo de cemento en el hormigón, sería conveniente que la mezcla de áridos utilizados tuviera el mínimo de huecos con la superficie específica mínima, cosa que es imposible de lograr, debido a que para disminuir la cantidad de huecos es necesario adicionar material fino, con lo cual se incrementaría la superficie específica.

Debido a la contradicción anterior, hay que establecer un compromiso de acuerdo con la necesidad o no, de disminuir el volumen de huecos de la mezcla de áridos. Este compromiso se establece teniendo en cuenta las exigencias de laborabilidad de las mezclas y los factores que intervienen en la misma.

Veamos esto, en algunos ejemplos.

Ejemplo I: Si la mezcla requiere para satisfacer el requisito de resistencia a compresión, el uso de una cantidad elevada de cemento, la cantidad de pasta presente va a ser grande por lo cual la mezcla de áridos puede admitir una cantidad mayor de huecos, permitiendo reducir en este caso la superficie específica, esto se logra usando una arena más gruesa o usando menos cantidad de arena.

En el caso contrario, si la mezcla tiene un contenido pequeño de cemento, la cantidad de pasta presente va a ser reducida, por lo que es necesario reducir el volumen de huecos, lo cual se lograría utilizando una arena con granulometría más fina o incorporando un material fino adicional, si las condiciones de resistencia lo

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

permiten, este es el caso de los morteros de albañilería en los que se les adiciona cebo y el hormigón cuando se le añade es una cantidad adicional de arena muy fina. También es factible en el caso de que se esté utilizando una arena gruesa, lograr el mismo efecto aunque con menos efectividad incrementando la cantidad de arena.

Ejemplo II: Supongamos que se va a fabricar un mismo elemento en condiciones similares exceptuando la compactación, la cual se va a efectuar en uno por picadas y en el otro por vibración.

En el primer caso la energía de compactación que se va a utilizar es pequeña, para lo cual requiere que la fricción sea reducida, en este caso como vimos anteriormente es necesario que la capa de mortero lubricante sea mayor, por lo cual la cantidad de árido fino a utilizar debe ser mayor que en el caso del hormigón que va a ser compactado por vibración, en el cual la energía de compactación es más potente, lo que permite admitir una mayor fricción en el hormigón necesitando una capa de mortero de lubricación menor.

Ejemplo III: El hormigón se va a transportar mediante bomba a través de un tubo de 10 cm de diámetro.

En este caso la relación entre el área del contacto y el volumen de hormigón, es muy grande por lo cual la fuerza de fricción debe ser reducida, sino toda la fuerza ejercida por la bomba sería consumida por la fricción, no pudiéndose transportar el hormigón, de lo anterior se desprende que la capa de mortero lubricante debe ser mayor, además el hormigón debe tener poca tendencia a la segregación ya que, al separarse el árido grueso del mortero, la fricción se incrementaría.

Por estas razones este hormigón debe contener mayor cantidad de arena y pasta que en las otras tecnologías de transportación.

De todo lo expuesto anteriormente, se comprenderá que no existe una curva granulométrica única, que sea satisfactoria para todos los casos de fabricación de elementos de hormigón, no obstante, se va a utilizar la Curva Granulométrica ideal

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

de Bolomey, como una primera aproximación de la granulometría que deben complementar los áridos y con ello calcular la proporción con que deben ser mezclados.

Posteriormente en la mezcla de prueba debe corregirse esta proporción para que satisfaga los requisitos de laborabilidad y economía.

La curva granulométrica de Bolomey se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ pasado por un tamiz determinado} = a + (100 - a) \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (\text{relación en volumen}).$$

Donde:

a=factor que depende de la consistencia de la mezcla y el tipo de árido, ver en la tabla16.

d=abertura del tamiz cuyo porcentaje pasado requiere determinar en mm.

D=tamaño máximo del árido grueso en mm.

Esta granulometría tiene en cuenta además de los finos de la arena, los del cemento, por lo que debe determinarse la granulometría de los áridos para distintos contenidos de cemento.

En la (tabla17) se dan las granulometrías ideales de Bolomey, para áridos triturados de diferentes tamaños, para distintos contenidos de cemento y una consistencia de 5 a 11 cm (a=16).

Una vez determinada la curva granulométrica se procederá a calcular los %en que deben mezclarse los áridos que se disponen para que satisfagan lo mejor posible dichas curvas.

Para lo cual se utilizarán los métodos para mezclar áridos dados anteriormente.

5-Calcular las cantidades de áridos necesarios para fabricar 1 m³ de hormigón

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Para determinar las cantidades de materiales necesarios para fabricar 1 m³ de hormigón no basaremos en el hecho de que la suma de los volúmenes absolutos de los materiales tiene que ser igual a 1 m³ de hormigón (1000L)

$$\frac{P_c}{\gamma_c} + Pa + \sum \frac{P_g}{\gamma_g} + 10 \alpha = 1000 \quad (5)$$

$$\frac{P_c}{\gamma_c} + Pa + \frac{P_{g1}}{\gamma_{g1}} + \frac{P_{g2}}{\gamma_{g2}} + 10 \alpha = 1000$$

Donde:

P_c= Peso del cemento en Kg.

γ_c= Peso específico del cemento.

P_a= Peso del agua en Kg.

P_g= Peso de cada tipo de árido en Kg.

γ_{g1} = Peso específico del árido fino.

γ_{g2}= Peso específico del árido grueso.

α= Contenido de aire en %. (En caso de hormigón sin aire introducido se puede tomar α=0)

Como se desconoce hasta el momento el peso de cada tipo de árido, en la ecuación aparecen tantas incógnitas como áridos se utilicen. Valiéndose de las proporciones en que se mezclan los áridos determinados en la etapa 4 se pueden plantear tantas ecuaciones como sean necesarias para resolver el problema.

6-Ajustes necesarios a la dosificación de acuerdo con los resultados de las mezclas de pruebas:

La última etapa corresponde a confeccionar la mezcla de prueba, para comprobar si el hormigón reúne las propiedades necesarias para los cuales fue diseñado. Para lo anterior, hay que valerse de los conocimientos ya adquiridos del Hormigón Hidráulico y ajustar la dosificación en el sentido que sea necesario.

Ver ejemplo de cálculo en los anexos (Ejemplo 1)

2.2-Método de Vitervo A. O'Reilly Díaz

El hormigón es una mezcla íntima de áridos finos y gruesos, o sea, grava y arena con cemento Portland y agua, que una vez unidos y pasado unos minutos, comienza a endurecerse, pasando primeramente por el fraguado hasta llegar a veces hasta las dos horas y después obtener su condición y forma definitiva, el hormigón recién obtenido se endurece, tanto en el aire como en el agua, a partir del cual se comprueba su resistencia a la compresión a los 28 días.

Existen diferentes métodos o procedimientos para diseñar las mezclas de hormigón, teniendo todas en común la relación agua cemento.

El hormigón obtenido por éste método, es más compacto, es decir, con menos poros, mejorando por tanto su durabilidad, lo que lo hace ideal para las estructuras de hormigón armado. El comité del ACI define la durabilidad del hormigón de la siguiente manera "La capacidad para resistir la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro, es decir, el hormigón duradero retendrá su forma original, su calidad y su servicio cuando sea expuesto a su medio ambiente.

2.3-Para determinar la composición óptima de un hormigón

Hay que realizar ensayos de laboratorio cuyos procedimientos son:

- 1- Establecer experimentalmente la relación óptima de la mezcla de áridos finos y áridos gruesos.
- 2- Determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de la mezcla.

- 3- Fijar la cantidad de cemento justamente necesaria para obtener una resistencia deseada.
- 4- Determinar la característica "A" de la grava.

Determinación de la relación óptima de los áridos gruesos y finos.

- 5- Según la investigación de O'Reilly y otros, se ha comprobado que el factor de la forma del árido grueso es decisivo y más fuerte que el factor de la granulometría, por lo que no es posible determinar la relación óptima de los áridos gruesos y finos por los métodos basados en la granulometría ideal de Füller-Thompson.
- 6- El método más preciso es el experimental, que se basa en la determinación del porcentaje de vacíos de la mezcla de áridos finos y gruesos. El porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos de la mezcla de áridos señalarán la composición óptima y por tanto se necesitará una cantidad mínima de cemento.
- 7- Esto se hace por la vía de tanteos, hay que ensayar las mezclas de los áridos con las proporciones en peso de la arena y la grava siguientes:
35:65; 40:60; 45:55; 50:50; 55:45; 40:60.
- 8- Como primer paso hay que determinar por el método normalizado el peso unitario compactado de la mezcla de áridos (PUCm) según la norma ASTM C-29-78 de cada una de las mezclas ya señaladas.
- 9- Primeramente, se determina el peso específico corriente de las mezclas de áridos, también con los materiales secos. Para obtenerlo tenemos que determinar el peso específico de la arena y el árido grueso que estamos ensayando por separado. El peso específico corriente de la mezcla se calcula matemáticamente por la fórmula:

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$$PEC_m = \frac{PEC_a \% A + PEC_g \% G}{100} \quad (6)$$

Dónde:

PEC_m= Peso específico corriente o aparente de la mezcla de áridos.

PEC_a= Peso específico corriente o aparente de la arena.

% A= Porcentaje de la arena en la mezcla.

PEC_g= Peso específico corriente o aparente del árido grueso (grava).

% G= Porcentaje de la grava en la mezcla.

10-Ejemplo: Se determina el peso específico corriente de la arena, PEC_a=2260 kg/m³ y el peso específico corriente de la grava, PEC_g = 2640 kg/m³. El peso específico corriente de la mezcla de áridos en la proporción de 35% de arena y 65 % de grava será:

$$PEC_m = \frac{2620 \% 35 + 2640 \% 65}{100} = 2633 \text{Kg/m}^3$$

11-La misma mezcla de áridos en proporciones de 40 % de arena y 60 % de grava, tendrá un peso específico corriente de:

$$PEC_m = \frac{2620 \% 40 + 2640 \% 60}{100} = 2632 \text{Kg/m}^3$$

12-Y de este modo se calcularán los restantes PEC_m para todas las relaciones de arena y grava.

13-Sobre la base del peso específico corriente de la mezcla de áridos y el peso unitario compactado podemos determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla de áridos

$$14- \text{ Porcentaje de vacíos} = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \times 100 \quad (7)$$

15-Determinando el por ciento de vacíos para para c/u de las combinaciones, se elige la que tenga menor porcentaje de vacíos como la óptima para fabricar nuestro hormigón.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

- 16- ¿Qué pasa si se emplean dos tipos diferentes por su granulometría de áridos gruesos?
- 17- Por ejemplo, gravilla (desde 6,35 mm hasta 19 mm) y grava (desde 12,7 a 38 mm). Se determina el porcentaje de vacíos mínimos de la mezcla de áridos gruesos a utilizar y después esta mezcla óptima se mezclará con la arena en las seis proporciones ya conocidas hallando posteriormente el mínimo de vacíos de la mezcla de áridos gruesos y finos.

Determinación de la cantidad de agua necesaria para una consistencia requerida.

- 18- Para determinar la cantidad requerida, elaboramos una mezcla de hormigón con la laborabilidad que necesitamos, por ejemplo, con asentamiento de 6 cm medido en el cono de Abrams.
- 19- El diseño de la mezcla es como sigue:
- 20- La proporción de los áridos finos y gruesos los fijamos sobre la base de la composición óptima según explicamos anteriormente.
- 21- La cantidad de cemento, se determina sobre la base de la experiencia, de manera que esté relacionada aproximadamente con la resistencia requerida.
- 22- Cantidad de agua. Se fija como elemento de referencia también según la experiencia.
- 23- Con estos datos calculamos la cantidad de materiales necesarios para elaborar 6 probetas cilíndricas.
- 24- Para determinar exactamente la cantidad de agua, ponemos en una bandeja metálica con las dimensiones apropiadas para mezclar a mano los componentes de
- 25- la mezcla, donde primeramente se colocan los áridos (piedra y arena) mezclándolos hasta homogenizar, después se coloca el cemento y se mezcla hasta que la mezcla tenga un color uniforme, finalmente se coloca una cantidad de agua menor que la prefijada y se determina su consistencia con el asentamiento en el cono de Abrams, (y nos da un valor, por ejemplo, 2 cm). Posteriormente se hace una nueva mezcla de la misma

manera y con una mayor cantidad de agua, midiendo nuevamente el asentamiento (y nos da por ejemplo 4 cm) de esta manera se repite el ensayo auxiliado por el cono de Abrams, hasta que por aproximación determinemos la cantidad total de agua necesaria para lograr el asentamiento deseado. Esta cantidad de agua debe ser corregida de acuerdo con la humedad superficial de la arena.

26- Además de determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida con esta mezcla, se preparan 6 probetas y se determina la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días. Como estos datos los emplearemos para determinar el coeficiente A del árido grueso. Tenemos que repetir el ensayo no menos de tres veces para asegurar la exactitud de los resultados y exigir en el laboratorio mucho cuidado, pues una vez determinada la característica A de las gravas podemos diseñar todos los tipos de mezclas que haremos con ella.

27- En esta etapa es necesario y determinante hacerle todos los ensayos normalizados a los áridos y el cemento que se empleen.

Determinación de la característica A del árido grueso.

28- Para determinar la característica A del árido grueso, se usarán los datos de los ensayos ya realizados, como es la resistencia a la compresión promedio del hormigón a los 28 días, obtenidas sobre la base de 9 probetas (tres ensayos) y la resistencia del cemento empleado a los 28 días. Se usará para ello la siguiente ecuación:

$$A = \frac{R_h}{R_c(M1.V + M2)} \quad (8)$$

Dónde:

A= Característica del árido grueso.

Rc= Resistencia del cemento utilizado en MPa.

M1 y M2= Valores dependientes de la consistencia del hormigón (tabla 5)

V= Valor dependiente de la relación agua-cemento (tabla6)

Rh= Resistencia promedio del hormigón de prueba a los 28 días.

Determinación de la cantidad de cemento.

En el caso de los ensayos explicados con anterioridad, se utiliza una cantidad aproximada de cemento, según la experiencia, ahora podemos determinarla exactamente con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\frac{Rh}{RcA} - M2}{M1} \quad (9)$$

Dónde:

V= Valor dependiente de la relación agua-cemento (tabla 5.2) (Anexos).

Rh= Resistencia del hormigón a la compresión que queremos obtener, MPa.

Rc= Resistencia a compresión del cemento, MPa (el que estamos usando).

M1 y M2= valores dependientes de la consistencia del hormigón (tabla 5.1)(Anexos).

A=Característica del árido grueso utilizado.

2.4-Método para dosificar mezclas de hormigón. (Ejemplo 2)

Primer paso: Se determina el peso específico corriente (PEC) y el peso unitario compactado (PUC) de la grava y la arena secadas en la estufa.

Segundo paso: Determinar el PUCm de las mezclas secas de arena y grava en las proporciones 35:65; 40:60; 45:65; 50:50; 55:45; 60:40.

Tercer paso: Se calcula el PECm de cada mezcla anterior:

$$PECm = \frac{PECa.\% A + PECg.\% G}{100} \quad (6)$$

Cuarto paso: Se calcula el % de vacíos de cada mezcla anterior

$$V = \frac{PECm - PUCm}{PECm} \times 100 \quad (7)$$

Quinto paso: Con la mezcla óptima de áridos, que es la que posee la menor cantidad de vacíos, se fabrican 20 litros de mezclas de hormigón con la consistencia y resistencia buscadas, colocando la cantidad de cemento y agua deseada y con ello:

- 1- Queda determinada la cantidad de agua, por tanteo para un As requerido.
- 2- Se fabrican 18 testigos de prueba para romper a los 28 días con la a/c obtenida.
- 3- Al mismo tiempo se determina la resistencia Rc del cemento usado a los 28 días.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Sexto paso: Con los datos obtenidos se calcula la característica A de la grava usada mediante:

$$A = \frac{R_h}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)} \quad (8)$$

Dónde:

R_h = Resistencia promedio del hormigón obtenido de la rotura de las 18 probetas.

R_c = Resistencia del cemento a los 28 días.

M_1 y M_2 = Valores que dependen de la consistencia del hormigón. (Tabla 5)(Anexos)

V = Valor que depende de a/c (tabla 6)(Anexos)

Séptimo paso: Con la característica A del árido grueso, se determina la cantidad de cemento necesario para un hormigón de consistencia y resistencia determinadas mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\frac{R_h}{R_c A} - M_2}{M_1} \quad (9)$$

Octavo paso: Determinado el valor de V y por tanto $w = a/c$ podemos determinar la cantidad de cemento realmente necesaria:

$$C = a/w \quad (10)$$

Donde:

a = es la cantidad de agua utilizada en la investigación para obtener un A_s necesario.

Noveno paso: Conocida la cantidad de agua y de cemento podemos determinar la cantidad de áridos (arena y grava) de acuerdo con la proporción de la arena y grava) tomando en cuenta la proporción de la mezcla óptima, partiendo de la cantidad de materiales necesarios para producir 1 m³ de hormigón con un 2 % o 3 % de aire ocluido (atrapado durante la manipulación).

Ver ejemplo práctico en anexos (ejemplo2)

2.5-Método del ACI

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de hormigón ordinario, incluidos el ajuste por humedad de los áridos y la corrección a las mezclas de prueba.

1. El primer paso contempla la selección del asentamiento, cuando éste no se especifica, el informe del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de asentamiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el hormigón, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros.

2. La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados del encofrado, el espesor de la losa y el espacio libre entre barras individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una laborabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el hormigón sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado asentamiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del hormigón, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.

3. Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del asentamiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando hormigón sin y con aire incluido.

4. Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los

límites especificados las pruebas con valores bajos. En una segunda tabla aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa.

5. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres y la relación agua-cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.

6. Para el sexto paso del procedimiento el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de hormigón, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de hormigón, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de hormigón, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.

7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del hormigón, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia. Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.

8. El octavo paso consiste en corregir las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

9. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del hormigón, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el asentamiento y la ausencia de segregación y exudación, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el asentamiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del hormigón, el informe

ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el hormigón.

Ver ejemplo práctico en anexos (**ejemplo 3**)

Capítulo III: Conclusiones generales y Recomendaciones.

Conclusiones generales

- 1- Se ha evidenciado que resulta más asequible por la forma de proceder entre los tres métodos de diseño de mezclas de hormigón el método del ACI, no solo por el hecho de que prácticamente todo el procedimiento está apoyado en la experiencia y las características del material por lo que se resuelve sin empleo de fórmulas complejas.
- 2- Las soluciones están completamente tabuladas, aunque es necesario aclarar que se tiene que tener un conocimiento previo de las características del elemento que se quiere construir a fin de poder seleccionar los parámetros más adecuados al elemento.
- 3- Los tres métodos analizados poseen dos pasos que son comunes: En cualquiera de los métodos es necesario calcular de la misma forma el tamaño máximo del árido por cuanto ello solo depende de las condiciones del elemento y las características del hormigón, y al final en el momento de determinar las cantidades de los componentes del hormigón, se emplean los mismos cálculos.
- 4- Una dificultad que nos encontramos es que las tablas del Instituto Americano de concreto (ACI) por sus siglas en inglés están en ese idioma por lo cual no ha sido empleado en el tema de hormigón hidráulico en la carrera.

Recomendaciones:

- 1- Sería conveniente que la cátedra de idioma inglés tome el método ACI para el entrenamiento en el idioma inglés a los educandos del año correspondiente de tal manera que sepan trabajar con el juego de tablas y las recomendaciones del método.
- 2- Que el departamento guía de la carrera oriente al docente para que prepare un material con los resultados de la presente tesis.

Bibliografía

- ❖ Clasificación del hormigón ,visitado el 2 de marzo del 2020,disponible en internet)
- ❖ Las obras hidráulicas, visitado el 17 de marzo del 2020, disponible en Wikipedia).
- ❖ Colectivo de autores ISPJAE ,Materiales de la Construcción, la Habana 1985
- ❖ Prof. Dr .Arq. Gayoso Blanco Regino. Diseño del Hormigón. Evolución y Práctica en Cuba. Ciudad Habana –Agosto 2006.

Anexos

Método de Bolomey

Ejemplo de cálculo I

Se va a fundir un canal cuya sección aparece a continuación, por el cual una vez construido circulará agua de mar. La medición de los materiales se realizará en volumen. Para el mezclado del Hormigón se puede disponer de una hormigonera de un saco o de otra de dos sacos, la primera produce 1.5 m³/h y la segunda 3 m³/h. Se desea analizar las características que debe reunir este Hormigón, seleccionar la hormigonera apropiada y determinar los métodos de transporte, compactación y curado del Hormigón.

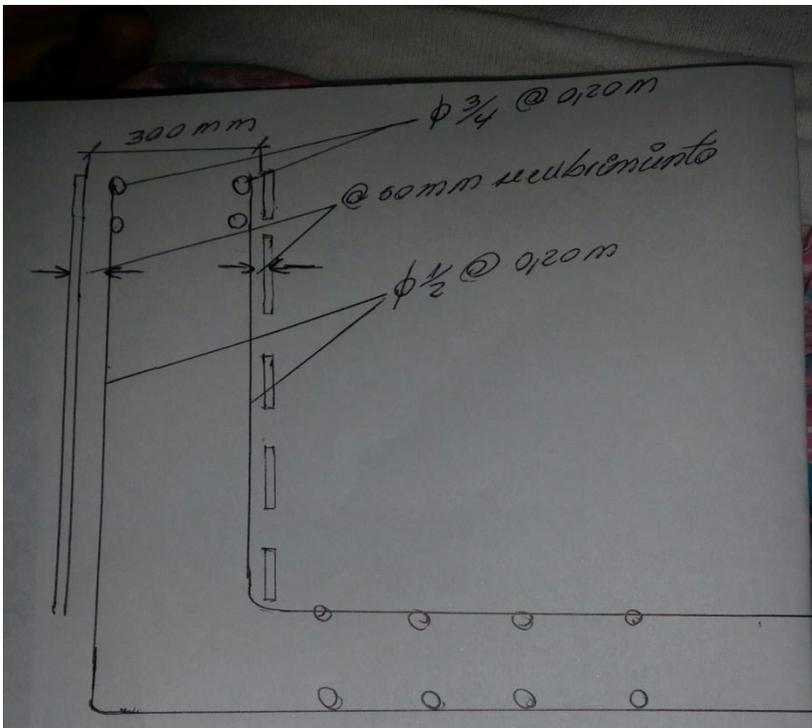


Figura 1

Datos importantes.

1- Características del Hormigón.

Como por este hormigón va a circular agua de mar, una vez construido el canal, es necesario que sea resistente al ataque de los sulfatos.

Como primera medida debemos tratar que el hormigón sea lo menos permeable posible, para lo cual es recomendable garantizar,

- a) Una relación agua-cemento adecuada. Para este tipo de estructura, donde es posible la saturación continua o intermitente se recomienda en la tabla 12 una relación de agua-cemento máxima de 0,44.
- b) Utilizar un método de compactación que garantice la completa compactación del hormigón con la mínima cantidad de agua.
- c) Disminuir al máximo la exudación, siempre que sea posible. Para contrarrestar los factores de la exudación se debe realizar un curado húmedo intenso, con el fin de quitarle continuidad a los capilares o canales producidos por la exudación.
- d) Si es posible se deben utilizar aditivos fluidificantes que permitan disminuir la cantidad de agua del hormigón sin perjudicar la laborabilidad.
- e) Utilizar áridos con una granulometría y forma adecuada.
- f) Cubrir la superficie del hormigón endurecido con una película impermeable al ataque a que va a estar sometida la estructura, por ejemplo una pintura asfáltica.

Con los cuidados anteriores garantizamos una baja permeabilidad además el cemento y los áridos deben ser resistentes al medio agresivo. En este caso se pueden utilizar cemento puzolánico y un árido con un porcentaje de absorción bajo.

2- Selección de la hormigonera.

- a) Volumen de la placa del piso: $3,00 \cdot 5,00 \cdot 0,20 = 3,00$ metros cúbicos de Hormigón.
- b) Volumen de las paredes: $2(1,50 \cdot 5,00 \cdot 0,20) = 3,00$ metros cúbicos de Hormigón.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

El tiempo de colocación del hormigón entre dos capas sucesivas, para que no se produzcan juntas frías, va a depender, entre otras cosas del contenido y tipo de cemento, de la temperatura, consistencia de la mezcla y va a oscilar de acuerdo con estos factores entre 0,5 y 2 horas .Podemos tomar un valor medio de una hora .Si comenzamos la fundición por la losa, en un solo sentido, se pueden presentar juntas frías en la unión de la losa con las paredes.

Analizar los dos tipos de hormigoneras con que podemos contar en este caso.

Hormigoneras de 1,5 metros cúbicos por horas: Si fundimos con esta hormigonera la función de la losa tardaría dos horas, por lo cual se formaría una junta fría en la unión de las paredes con la losa.

En la figura 2 están representados los tiempos transcurridos por cada templa al terminar la fundición .Esta hormigonera produce una templa de aproximadamente 0,125 m³ cada cinco minutos.

En la figura 2 se nota al menos que el primer cuarto de la losa construida está demasiado endurecido o fraguado al terminar la fundición (más de 1,5 horas de fundida) por lo que se formaría una junta fría en esta zona, en la unión de la losa con la pared.

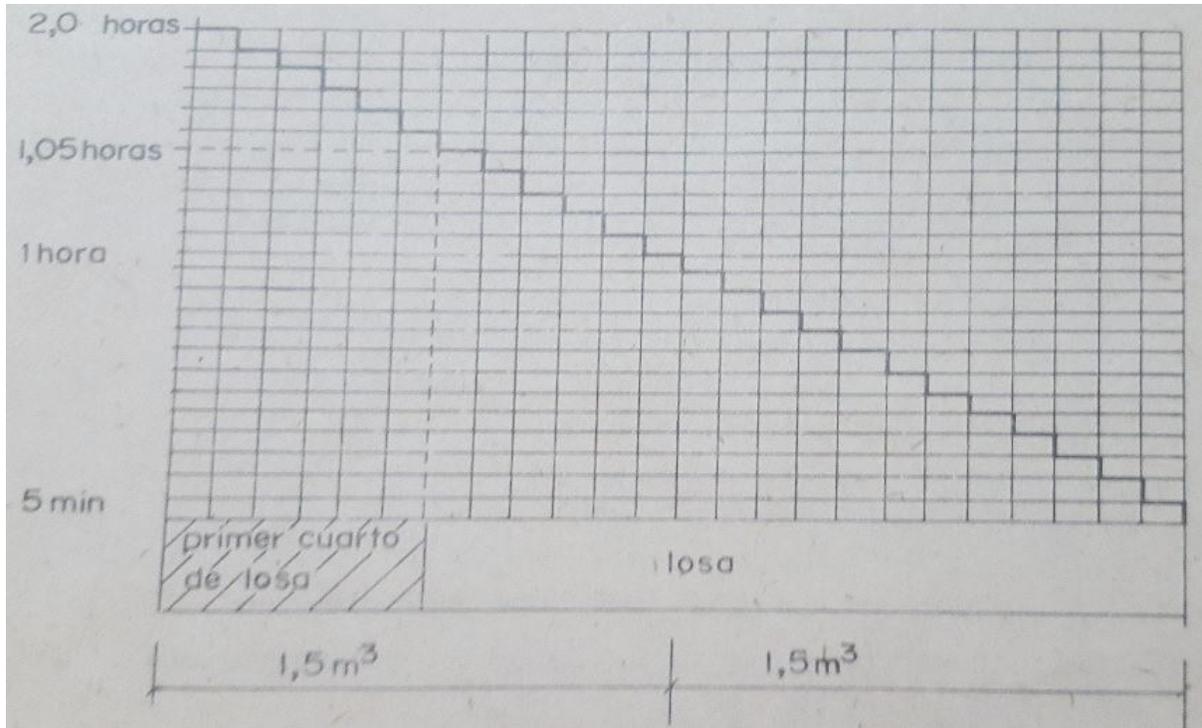


Figura 2

Se pudiera pensar en fundir la losa en dos capas de 10cm ,de esta forma el hormigón de más tiempo de colocado en la última capa tendría 1 hora ,con lo cual se evitaría la junta fría ,pero esta solución debido a que el espesor de la capa es muy reducido complicaría la construcción .

- Hormigonera de 3 metros cúbicos por hora: Si fundimos con esta hormigonera empleando un tamaño de capa igual al espesor de la losa, tendremos que el hormigón de más tiempo de colocado tendría una hora, con la cual bajo condiciones medias es aceptable .Por lo que por el momento seleccionamos esta hormigonera.

Analicemos ahora las paredes del canal.

El área en planta de los dos muros es:

$$2(5,00 \cdot 0,20) = 2 \text{ metros cuadrados.}$$

En hormigón reforzado los espesores de capa pueden ser de 15 a 50 cm como máximo .El espesor de la capa dependerá igualmente del equipo que se va a utilizar

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

en la compactación y del volumen de hormigón disponible de manera que al colocar una nueva capa la anterior no haya endurecido demasiado.

El volumen de hormigón que disponemos con esta hormigonera es de tres metros por horas y el área en planta de los muros es de dos metros cuadrados, por lo tanto podemos fundir una altura de:

$$\frac{3 \text{ m}^3/\text{h}}{2 \text{ m}^2} = 1,5 \text{ m/h}$$

Podemos seleccionar una altura de capa de 30 cm que daría:

$$\frac{1,5 \text{ m}}{0,30 \text{ m}} = 5 \text{ capas en una hora}$$

Por consiguiente se colocarán capas cada 12 minutos.

Al asumir el tamaño de la capa, debemos tener en cuenta el equipo de compactación, por lo tanto este espesor de 30 cm deberá ser compatible con el equipo utilizado para la compactación.

3-Metodo de transporte.

El método de transporte constara de una parte horizontal y vertical

a) Transporte horizontal.

Debido a que vamos a utilizar una hormigonera de poca capacidad, la podemos colocar a una distancia cercana a la fundición, por ejemplo unos 15 metros, por lo que el transporte horizontal será por vagones .Un vagón transporta adecuadamente 60 litros de hormigón aproximadamente (aunque su capacidad generalmente es de 70 litros).

Como la capacidad de la hormigonera es de 250 litros cada 5 minutos ,cuatro vagones podrán transportar esta cantidad ;es decir, que cuatro vagones tendrían que

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

transportar el hormigón desde la hormigonera a la obra ,verterlo y regresar a la hormigonera en cinco minutos ,que es completamente factible.

b) Transporte vertical.

Para fundir la losa se requiere en realidad un transporte vertical y uno horizontal ;debido a que se trata de una cantidad pequeña de hormigón ,el transporte mas adecuado sería utilizar una canal .En los muros se puede verter directamente desde arriba ,debido a que la altura es inferior a dos metros.

4-Compactación.

Como este hormigón va a estar en un ambiente agresivo es necesario obtener un hormigón muy denso, por lo cual se debe utilizar un método que permita compactar adecuadamente hormigones con una cantidad de agua reducida. Para ello es conveniente utilizar en la compactación vibradores, que dada las características de la construcción, deben ser vibradores internos.

5-Curado

Este hormigón debe ser lo menos permeable posible.

A pesar de todas las medidas que tomemos, el hormigón siempre va a presentar canales producidos por la exudación, por lo que es conveniente que los muros pierdan continuidad por la presencia de productos de la hidratación del cemento. Para el curado se puede cubrir la superficie de la base del canal con sacos húmedos y se deben mojar continuamente los encofrados de las paredes, también antes de colocar el hormigón se debe humedecer el terreno.

Il Determinar las cantidades de materiales necesarios para fabricar el hormigón para el canal, si se quiere que tenga a los 28 días una resistencia característica de 200Kgf/ cm² (20Mpa).Escoger los materiales adecuados de acuerdo con las características de los disponibles:

Cementos disponibles: P-250; P-350; P-450

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Pesos específicos: 3,15

Peso unitario: 15000 Kg/m³

Áridos gruesos disponibles Ay B

Áridos Gruesos%Pasado

Granulometría

TamizAB

1 1/2" (38,1mm)	100	-
1" (25,4mm)	75	-
3/4" (19,1mm)	55	100
1/2" (12,7mm)	32	70
3/8" (9,52mm)	18	48
#4(4,76mm)	5	14
#8(2,38mm)	0	10
#16(1,19mm)		7
#30(0,59mm)		5
#50(0,295mm)		0

Peso específico corriente: 2,63 2,58

Peso específico saturado: 2,65 2,64

Peso específico aparente: 2,66 2,75

Por ciento de absorción: 0,8 2,5

Peso único suelto: 1350 Kg/m³ 1400 Kg/m³

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Peso único compactado: 1470 Kg/m³ 1510 Kg/m³

El árido grueso es obtenido de la trituración de las rocas y tiene buena forma.

Árido fino (arena)

Granulometría

Peso específico corriente: 2.60

Peso específico saturado: 2.64

Peso específico aparente: 2.71

Por ciento de absorción: 1.4

Peso unitario suelto: 1450 Kg/m³

Peso unitario compactado: 1600 Kg/m³

La arena es obtenida de la trituración de las rocas y tiene buena forma.

Tamiz	%Pasado
3/8" (9.52mm)	100
#4 (4.76mm)	90
#8 (2.38mm)	70
#16 (1.19mm)	46
#30 (0.59mm)	27
#50 (0.295mm)	17
#100 (0.149mm)	4

Diseño de la mezcla

1-Fijar el tamaño máximo del árido

Considerando la dimensión mínima del elemento:

$D_{\text{máx.}} \leq 1/4 \times 200$

$D_{\text{máx.}} \leq 50\text{mm}$

Considerando la separación neta del refuerzo por donde tiene que pasar el hormigón durante la colocación.

$D_{\text{máx.}} \leq 2/3 E$

$E = 120\text{mm} - 12,7\text{mm} = 107,3\text{mm}$

$D_{\text{max}} \leq 2/3 \times 107,5$

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$D_{\max} \leq 71,5\text{mm}$

Lo que limita el tamaño máximo es la dimensión mínima del elemento. $D_{\max} \leq 50\text{mm}$.

El árido comercial más cercano es de 38,1mm (Ver tabla1)

Tabla 1: Seleccionar el tamaño máximo comercial según el resultado de la expresión (D_{\max})

D_{\max}	Tamaño comercial
mayor o igual a 76mm	3"(76,2mm)
76,2-38,1mm	1 1/2"(38,1mm)
38,1-19,1mm	3/4"(19,1mm)
19,1-9,52mm	3/8"(9,52mm)
9,52-4,76mm	#4(4,76mm)
4,76-2,38mm	#8(2,38mm)
2,38-1,19mm	#16(1,19mm)

El árido grueso A es de tamaño máximo 1 1/2", (38,1mm) mientras que el árido grueso B es de tamaño máximo 3/4", (19,1mm). Seleccionamos el árido grueso A para continuar el diseño de la dosificación de hormigón.

2-Determinación de la relación agua-cemento a emplear

De acuerdo con la resistencia a compresión necesaria: según Bolomey.

$R'_{bm} = a_k \delta_c (c/a - 0.5)$ $a_k = 0,50$. Los áridos son obtenidos de la trituración de las rocas, con buena granulometría y buena forma. (Tabla 4).

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Tabla4: Valores del coeficiente a_k .

ak	Características y condiciones que deben reunir los áridos
0,55	a. Áridos de yacimientos naturales con forma aproximadamente redondeada en los cuales los áridos en su conjunto cumplen la siguiente relación $l/d \leq 1,5$. b. Áridos con buena granulometría.
0,50	a. Áridos de yacimientos con forma aproximadamente redondeada ,en las cuales los áridos en su conjunto cumplen la relación $l/d \leq 1,5$. b. Áridos en los que no se cumplen las especificaciones de granulometría pero las desviaciones no son muy grandes .
0,50	a. Áridos obtenidos de la trituración de las rocas con forma aproximadamente cubica en los cuales en su conjunto cumplen la relación $l/d \leq 1,5$. b. Áridos con buena granulometría.
0,45	a. Áridos de forma elongada $1,5 < l/d \leq 3$ b. Áridos en que se cumplen las especificaciones de granulometría ,pero las desviaciones no son muy grandes
0,40	a. Áridos de forma de aguj a o lajosa $l/d > 5$ b. Áridos con mala granulometría
0,40	Arena con más del 50%de un tamaño de grano .

$\sigma_c = 350 \text{ Kg/ cm}^2$ (35Mpa)(es la resistencia media del cemento P-250 a los 28 días ver tabla 6

Tabla 6: Valores de δ_c a los 28 días para los distintos tipos de cementos (estos puedenno ser los definitivos)

Tipo de cemento	$\delta_c \text{Kg/ cm}^2$ (Mpa)
P-250	350(35)
P-350	400(40)
P-450	500(50)

Se escogió este cemento debido a la resistencia característica que se pide al hormigón R'_{bk} es 200Kg/ cm^2 (20Mpa).Ver tabla 5.De la ecuación de Bolomey:

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Tabla 5: Recomendaciones para los cementos cubanos.

Tipo de cemento	Recomendaciones
P-250	Puede usarse en cimentaciones en ambientes de agresividad media ,en los hormigones para pavimentaciones ,cimentaciones de máquinas ,morteros de albañilería ,algunas producciones de asbesto cemento y en general en hormigones en masa y armados con una resistencia característica no mayor de 250Kgf/cm ² (25Mpa),incluyendo Prefabricados
P-350	Puede usarse en cimentaciones de maquinarias que han de entrar en servicio en un tiempo corto ,en hormigones donde se necesite un desencofrado relativamente rápido ,en la producción de piezas de asbesto – cemento y prefabricados de hormigón y en general de hormigones en masa y armados con una resistencia característica no superior a 380Kgf/ cm ² (38Mpa)
P-450	Sirve para hormigones de muy alta resistencia o con desencofrado rápido .Debe usarse solamente en hormigones donde se requieran resistencias características superiores a los380Kgf/ cm ² (38Mpa).Se debe tener en cuenta que las dosificaciones con mucho cemento producen fisuras por retracción .

$$R'_{bm} = \frac{R'_{bk}}{(1-\lambda\delta)} \quad (2)$$

$R'_{bk}=200\text{Kgf/ cm}^2$ (20Mpa).

$\lambda=1,00$ (se considera el número de ensayos mayor que 30).

$\delta=0,15$ a $0,20$ (obras con control medio de fabricación, medición de los materiales por volumen, ver tabla 2).

Tabla 2: valores de δ para varios tipos de áridos.

Coeficiente δ	Grado de Control
Menos de 0,10	Laboratorio, medición por peso de los materiales y control riguroso.
0,10 a 0,15	Obras muy controladas con medición de los materiales por peso.
0,15 a 0,20	Obras con control medio de fabricación, medición de los materiales por volumen, en recipientes adecuados.
más de 0,20	Obras con poco o ningún control de fabricación, medición de los materiales por volúmenes, en recipientes no adecuados.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Podemos tomar un valor medio $\delta = 0,18$

$$R'_{bm} = \frac{200}{(1-0,18)} = 243 \text{Kgf/cm}^2 \text{ (24,3Mpa).}$$

Despejando c/a de la ecuación de Bolomey:

$$c/a = \frac{R'_{bm}}{(ak\delta c)} + 0,5 \rightarrow c/a = \frac{243}{(0,50 \times 350)} + 0,5 \rightarrow c/a = 1,88 \rightarrow a/c = 0,52$$

De acuerdo con el medio ambiente en que está ubicada la obra $a/c = 0,44$ (máxima recomendable, obtenida en la tabla 12)

Tabla 12: Relaciones a/c máximas recomendadas por el ACI para distintos elementos en diferentes medios.

Relaciones agua /cemento máximas recomendadas para diferentes grados de exposición de los elementos en clima moderado (según ACI)			
Tipo de Estructura	En aire	En la línea de agua o dentro del rango de fluctuaciones del nivel de agua o salpicadas por el agua	
		En agua dulce	El agua del mar o en contacto con suelos o aguas subterráneas con una concentración mayor de 0,2% de sulfatos
a. Secciones finas tales como: pilotes reforzados y tubos	0,53	0,49	0,40
b. Losas de puentes	0,49	0,49	0,44
c. Secciones finas tales como contenes, traviesas, hormigones arquitectónicos u ornamentales, y todas las secciones con menos de 2,5cm de hormigón por encima del acero de refuerzo	0,53	0,49	-
d. Secciones modernas tales como muros de contención, estribos, pilares, vigas.	*	0,53	0,44
e. Caras exteriores de hormigones masivos.	*	0,53	0,44
f. Hormigón depositado bajo agua	-	0,44	0,44
g. pavimentos	0,53	-	-

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

De acuerdo con las recomendadas de la tabla, se tomará para el diseño de la mezcla, en este caso de 0,44.

Siendo la resistencia a compresión calculada por Bolomey.

$$R'_{bm} = ak\delta c (c/a - 0.5) \quad (1)$$

$$a/c = 0,44 \rightarrow c/a = 2,27$$

$$R'_{bm} = 0,50 \times 350(2,27 - 0,5) \rightarrow R'_{bm} = 309 \text{Kgf/ cm}^2 \text{ (30,9Mpa).}$$

3-Determinación de las cantidades de agua y cemento necesarias para fabricar un metro cúbico de hormigón.

Seleccionamos primeramente el asentamiento que nos de la consistencia adecuada para el tipo de construcción y método de compactación.

Para tipo de elemento; losas y muro reforzado, y compactación con vibradores aparece un asentamiento máximo de 10cm y un mínimo de 5cm .Vamos a considerar un valor medio de 7cm. Ver en la tabla 13.

Tabla 13: Asentamientos en el Cono de Abrams recomendados de acuerdo con el tipo de elemento y las condiciones de colocación y compactación.

Tipo de elemento y condiciones de colocación	Asentamiento en el Cono de Abrams (cm)			
	Compactación manual (picado)		Compactación con vibración	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y cimentaciones reforzadas	13	5	8	3
Cimentaciones sin reforzar, cajones, paredes de subestructuras.	10	3	7	5
Losas, vigas y muros reforzados	15	8	10	5
Columnas, pilotes etcétera, elementos estrechos fundidos verticalmente.	15	8	10	5
Pavimentos	8	5	5	3
Construcciones masivas	8	3	5	2
Losas de puentes	10	5	7	3

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Ver en la tabla 14 para arena y árido grueso, obtenidos de la trituración de las rocas, estimando la cantidad de cemento como 600kg en un metro cúbico de hormigón, para tamaño máximo de 38,1mm (aproximadamente 1 1/2") y 7cm de asentamiento la cantidad de agua es de 205litro

Tabla 14; 15: Determinar la cantidad de agua.

(Tabla 14)

Peso de cemento en Kg por metro cubico de hormigón														
A S E N T A M I E N T O (CM)	300							400						
	Tamaño máximo en mm							Tamaño máximo en mm						
		76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38	1,19	76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38
0-2	170	180	190	200	210	220	230	175	185	195	205	215	225	235
3-5	175	185	195	205	215	225	235	180	190	200	210	220	230	240
6-8	180	190	200	210	220	230	240	185	195	205	215	225	235	245
9-11	185	195	205	215	225	235	245	190	200	210	220	230	240	250
12-14	190	200	210	220	230	240	250	195	205	215	225	235	245	255
14-16	195	205	220	225	235	245	255	200	210	220	230	240	250	260

Peso de cemento en Kg por metro cubico de hormigón														
A S E N T A M I E N T O (CM)	500							600						
	Tamaño máximo en mm							Tamaño máximo en mm						
		76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38	1,19	76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38
0-2	180	190	200	210	220	230	240	185	195	205	215	225	235	245
3-5	185	195	205	215	225	235	245	190	200	210	220	230	240	250
6-8	190	200	210	220	230	240	250	195	205	215	225	235	245	255
9-11	190	205	215	225	235	245	255	200	210	220	230	240	250	260
12-14	200	210	220	230	240	250	260	205	215	225	235	245	255	265
14-16	205	215	225	235	245	255	265	210	220	235	245	250	260	270

(Tabla 15)

Peso de cemento en Kg por metro cubico de hormigón														
A S E N T A M I E N T O (CM)	300							400						
	Tamaño máximo en mm							Tamaño máximo en mm						
		76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38	1,19	76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38
0-2	225	235	245	255	265	275	285	230	240	250	260	270	280	290
3-5	230	240	250	260	270	280	290	235	245	255	265	275	285	295
6-8	235	245	255	265	275	285	295	240	250	260	270	280	290	300
9-11	240	250	260	270	280	290	300	245	255	265	275	285	295	305
12-14	245	255	265	275	285	295	305	250	260	270	280	290	300	310
14-16	250	260	270	280	290	300	310	255	265	275	285	295	305	315

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Peso de cemento en Kg por metro cubico de hormigón														
A S E N T A M I E N T O (CM)	500								600					
	Tamaño máximo en mm								Tamaño máximo en mm					
		76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38	1,19	76,2	38,1	19,1	9,52	4,76	2,38
0-2	230	240	250	260	270	280	290	235	245	255	265	275	285	295
3-5	235	245	255	265	275	285	295	240	250	260	270	280	290	300
6-8	240	250	260	270	280	290	300	245	255	265	275	285	295	305
9-11	245	255	265	275	285	295	305	250	260	270	280	290	300	310
12-14	250	260	270	280	290	300	310	255	265	275	285	295	305	315
14-16	255	265	275	285	295	305	315	260	270	280	290	300	310	320

Con la relación $c/a=2,27$, la cantidad de cemento calculada será:

$$a/c = \frac{A}{C} \quad (3)$$

$$c = A(c/a)$$

$$c = 205 \times 2,27$$

$$c = 465 \text{ kg}$$

Como se estimó 600kg de cemento y el cálculo dio 465kg, una diferencia mayor de 50kg, se hace de nuevo la determinación del contenido de agua pero estimando con 500kg de cemento (tabla14).

La nueva cantidad de agua será 200litros, siendo la cantidad de cemento:

$C = 2,27 \times 200 = 454 \text{ kg}$, lo que es aceptable por cumplir con la condición expresada anteriormente.

4-Determinacion delas proporciones en que han de mezclarse los áridos

Ver en la tabla 16 donde se dan los valores de acuerdo con el asentamiento en cm y el tipo de árido.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Tabla 16: Valores del coeficiente de granulometría ideal de Bolomey

Valores del coeficiente de la granulometría ideal de Bolomey		
Asentamiento del Hormigón en cm	Valor de a	
	Áridos redondeados	Áridos triturados
<5	10	14
5-11	11	16
>11	12	18

Para un asentamiento de 6cm y áridos triturados, a toma el valor de 16.

El volumen de sólidos está formado por los áridos y el cemento , $1000-200=800$ =volumen de los sólidos en el m³ de hormigón.

$$\text{Volumen de cemento: } \frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{peso específico}} = \frac{454}{3,15} = 144 \text{ litros}$$

$$\text{Del volumen total de sólidos el cemento ocupará: } \frac{144}{3,15} \times 100 = 18\%$$

18%de cemento (%de cemento del sólido total en volumen).

Se obtienen las especificaciones de granulometría para a=16, en la tabla 17, con el 18% de cemento y el tamaño máximo 38,1mm.

Tabla 17: Granulometrías ideales de Bolomey, para áridos triturados de diferentes tamaños, para distintos contenidos de cemento y una consistencia de 5 a 11 cm(a=16).

Especificaciones de granulometría para a=16																		
Tamaño máximo en mm							% de cemento del sólido total en volumen											
1,19	2,38	4,76	9,52	19,1	38,1	76,2	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Tamices							% Pasado por cada tamiz											
#16	#8	#4	3/8	3/4	1 ^{1/2}	3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
30	16	8	4	3/8	3/4	1 ^{1/2}	75	74	74	73	73	72	71	71	70	69	68	67
50	30	16	8	4	3/8	3/4	55	54	53	52	51	50	49	47	46	45	43	41
100	50	30	16	8	4	3/8	41	40	39	37	36	34	32	31	29	27	25	23
200	100	50	30	16	8	4	33	31	30	28	27	24	22	21	18	16	14	11
	200	100	50	30	16	8	25	23	22	20	18	16	14	12	9	7	4	1
		200	100	50	30	16	31	19	17	15	13	11	9	6	4	1	0	0
			200	100	50	30	17	15	14	12	10	7	5	3	0	0	0	0
				200	100	50	14	12	10	8	6	4	1	0	0	0	0	0

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

					200	100	13	11	9	7	5	2	0	0	0	0	0	0
						200	12	10	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0

Especificaciones de los áridos

Tamiz% Pasado

1 1/2" (38,1mm)	100
3/4" (19,1mm)	72
3/8" (9,52mm)	50
#4(4,76mm)	34
#8(2,38mm)	24
#16(1,19mm)	16
#30(0,59mm)	11
#50(0,295mm)	7
#100(0,149mm)	4
#200(0,074mm)	2

A continuación empleamos el método gráfico de las mezclas de áridos. (Se determina la proporción en que se deben mezclar el árido grueso y el árido fino.

De la figura 3 se obtiene: 37%arido fino (arena) ;63%arido grueso (piedra)

Gráfico de mezcla de áridos

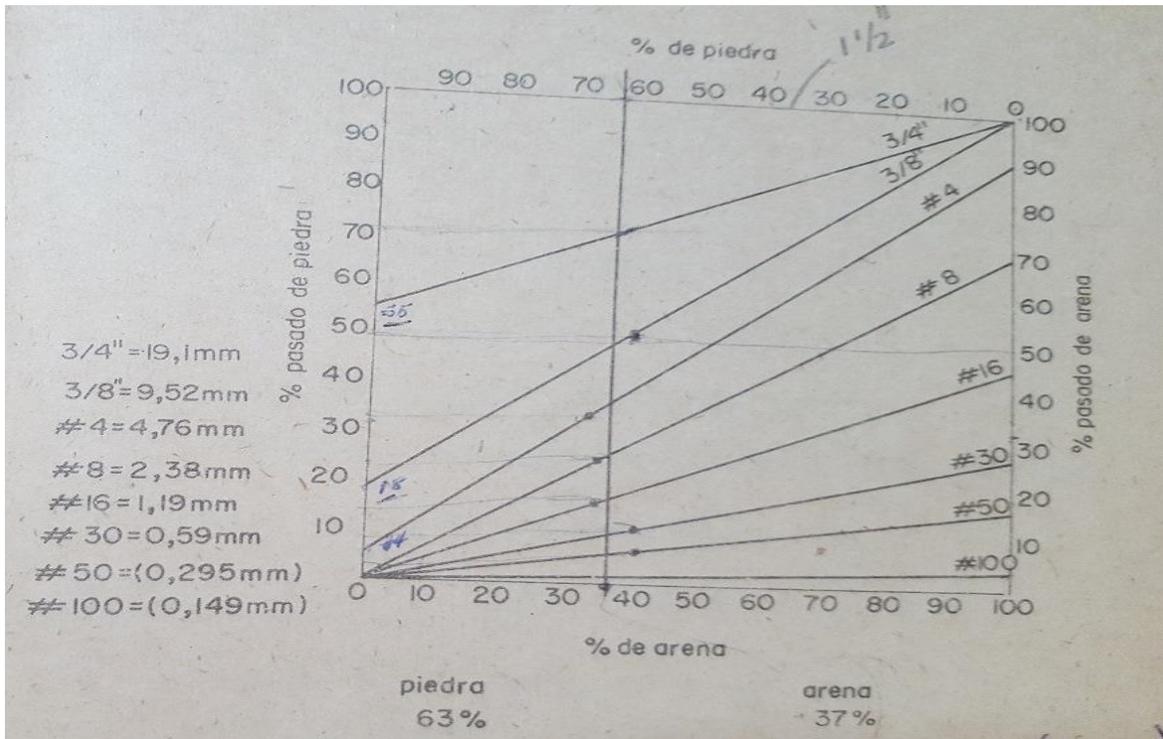


Figura 3

5-Calculo de las cantidades de áridos para obtener un metro **cúbicos** de hormigón.

$$\frac{Pc}{\gamma_c} + Pa + \sum \frac{Pg}{\gamma_g} + 10 \alpha = 1000 \quad (5)$$

$$Pc=454kg$$

$$\gamma_c=3,15$$

$$Pa=200kg$$

Pg1=peso del árido fino

Pg2=peso del árido grueso

$$\gamma_{g1}=2,64$$

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$$\gamma_g=2,63$$

Consideramos que la arena tiene humedad y que el árido grueso está seco.

$\alpha=0$ (hormigón sin aire introducido)

$$\frac{454}{3,15} + 200 + \frac{P_{g1}}{2,64} + \frac{P_{g2}}{2,63} = 1000$$

Del gráfico de mezclas de áridos se determinó:

$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{37}{63} = 0,58$$

$$P_{g1}=0,58P_{g2}$$

$$\frac{454}{3,15} + 200 + \frac{0,58P_{g2}}{2,64} + \frac{P_{g2}}{2,63} = 1000$$

$$144,126+200+0,219P_{g2}+0,380P_{g2}=1000$$

$$P_{g2}=1094\text{kg}$$

$$P_{g1}=0,58P_{g2}$$

$$P_{g1}=0,58 \times 1,094=634\text{kg}$$

$$P_{g1}=634\text{kg}$$

6- Dosificación final para un metro **cúbicos** de hormigón.

$$\text{Agua}=200\text{L}=200\text{kg}$$

$$\text{Cemento}= 454\text{kg}$$

$$\text{Árido grueso} =1094\text{kg}$$

$$\text{Árido fino} =634\text{kg}$$

$$\text{Suma}=2382\text{kg}$$

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

La suma de todos los materiales debe de estar alrededor de 2400kg.

Ahora corresponde hacer la mezcla de prueba en el laboratorio .Asumamos que la dosificación calculada cumplió con los requisitos necesarios cuando se comprobó en el laboratorio.

Calculo de cantidades necesarias de materiales para fabricar todo el hormigón del canal.

El volumen de hormigón necesario para todo el canal será:

$V_1=3,00$ metros cúbicos de la placa del piso.

$V_2=3,00$ metros cúbicos de las paredes.

$V=V_1+V_2=3,00+3,00=6,00$ metros cúbicos.

Cemento= $454 \times 6=2724$ kg

Árido grueso= $1094 \times 6=6564$ kg

Árido fino= $634 \times 6=3804$ kg

Sacos de cemento $2724/50 = 55$ sacos

Volumen del árido grueso= $\frac{6564}{1350} = 4,86\text{m}^3$

Volumen del árido fino= $\frac{3804}{1450} = 2,62\text{m}^3$

Peso unitario suelto del árido fino= 1350

Peso unitario suelto del árido grueso= 1450

Si por ejemplo para transportar los áridos a la obra se utilizan camiones de 6 metros cúbicos de capacidad con un camión de árido grueso y medio camión de árido fino (arena) prácticamente sobra material.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Calculo de las cantidades de materiales necesarios para una mezcla en la hormigonera de dos sacos de cemento, las cantidades de áridos y agua serán:

$$\frac{454}{50} = 9,1 \text{ sacos de cemento por metros cúbicos hormigón.}$$

$$\text{Cantidad de árido fino: } \frac{634}{9,1} \times 2 = 139\text{kg}$$

$$\text{Cantidad de árido grueso: } \frac{1094}{0,1} \times 2 = 240\text{kg}$$

$$\text{Cantidad de agua: } \frac{200}{9,1} \times 2 = 44\text{kg}$$

Las cantidades de materiales en peso para una mezcla son: dos sacos de cemento:

2x50=100kg de cemento

139kg de árido fino

240kg de árido grueso

44kg de agua

La dosificación puede ser expresada como una relación en peso entre las cantidades de cada material y la cantidad de cemento.

Cemento: árido fino: árido grueso: agua

$$\frac{100}{100} : \frac{139}{100} : \frac{240}{100} : \frac{44}{100}$$

1:1,39:2,40:0,44

Como en realidad en nuestra obra la medición de los materiales se va a hacer por volumen, vamos a realizar los cálculos correspondientes:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{100\text{kg}}{1500\text{kg/cm}^3} = 0,0666\text{m}^3 = 66,6\text{litros}$$

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$$\text{Volumen de árido fino} = \frac{139\text{kg}}{1450\text{kg/m}^3} = 0,095\text{m}^3 = 95,8\text{litros}$$

$$\text{Volumen de árido grueso} = \frac{240\text{kg}}{1350\text{kg/m}^3} = 0,1777\text{m}^3 = 177,7\text{litros}$$

Cantidades de materiales para una mezcla:

Dos sacos de cemento=66,6litros

Árido fino=95,8litros

Árido grueso=177,7litros

Agua=44litros

La dosificación puede ser expresada como una relación en volumen entre las cantidades de cada material y la cantidad de cemento.

Cemento: árido fino: árido grueso: agua

$$\frac{66,6}{66,6} : \frac{95,8}{66,6} : \frac{177,7}{66,6} : \frac{44}{66,6}$$

: 1,34:2,66:0,66

Corrección por humedad superficial en el momento de hacer la mezcla

Para medición en peso de los materiales

2sacos de cemento=100kg

139kg de árido fino

240kg de árido grueso

Suponemos que la arena tiene 6%de humedad superficial y que el árido grueso está seco (con0, 8%de absorción).

Corrección por humedad superficial:

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$$\frac{139\text{kg}}{94\%} = \frac{x\text{kg}}{100\%} \rightarrow x = \frac{100 \times 139}{94} = 148\text{kg}$$

La cantidad de agua en la arena = 148 - 139 = 9 kg = 9 litros

La cantidad de agua corregida por humedad superficial: 44 - 9 = 35 kg

Corrección:

$$\text{Absorción: } 240 \times \frac{0,8}{100} = 1,92\text{kg} \rightarrow \text{Considerando la mitad} = \frac{1,92\text{kg}}{2} = 0,96\text{kg}$$

La cantidad de agua corregida por humedad y absorción será: 35 + 0,96 = 35,96 kg

Dosificación final

2 sacos de cemento

240 kg de árido fino con humedad superficial

35,96 kg de agua

Para medición en volumen de los materiales

2 sacos de cemento

95,8 litros de árido fino

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Método de Vitervo A. O'Reilly Díaz.

Ejemplo de cálculo II

Determinar la composición gravimétrica de una mezcla de hormigón con las siguientes características:

Resistencia promedio a la compresión a los 28 días: 210 kg/cm².

Consistencia por el cono de Abrams: 8 cm.

Tamaño máximo del árido grueso: 38.1 mm

Además, tenemos los siguientes datos que aparecen en la tabla#1

Tabla 1. Áridos a utilizar (de los ensayos de laboratorio)

Áridos	Peso unitario compactado	Peso específico corriente
Arena	1591	2510
Grava (38.1mm)	1560	2450

Primer paso: Se determina la relación óptima de la mezcla de áridos. Haciendo mezclas de los áridos en las proporciones ya señaladas y a cada una de ellas se le determina el peso unitario compactado lo que reflejamos en la (tabla 5.9)

Tabla 2. Relación óptima de la mezcla de los áridos

Proporción % Arena: Grava	Peso unitario Compactado, Kg/m ³
35 : 65	1772
40 : 60	1798
45 : 55	1793
50 : 50	1784
55 : 45	1769
60 : 40	1750

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Se determina el peso específico corriente de cada una de las mezclas anteriores por:

$$PEC_m = \frac{PEC_a \cdot \% A + PEC_g \cdot \% G}{100} \quad (6)$$

$$PEC_m = \frac{2510 \cdot 35 + 2450 \cdot 65}{100} = 2471$$

$$PEC_m = \frac{2510 \cdot 40 + 2450 \cdot 60}{100} = 2474$$

$$PEC_m = \frac{2510 \cdot 45 + 2450 \cdot 55}{100} = 2477$$

$$PEC_m = \frac{2510 \cdot 50 + 2450 \cdot 50}{100} = 2480$$

$$PEC_m = \frac{2510 \cdot 55 + 2450 \cdot 45}{100} = 2483$$

$$PEC_m = \frac{2510 \cdot 60 + 2450 \cdot 40}{100} = 2486$$

Y con la serie de valores obtenidos se calculan los % de vacíos en la mezcla:

$$\%V = \frac{PEC - PUC}{PEC} \times 100 \quad (7)$$

$$\%V = \frac{2471 - 1772}{2471} \times 100 = 28,28$$

$$\%V = \frac{2474 - 1798}{2474} \times 100 = 27,32$$

$$\%V = \frac{2477 - 1793}{2477} \times 100 = 27,61$$

$$\%V = \frac{2480 - 1793}{2480} \times 100 = 28,06$$

$$\%V = \frac{2483 - 1769}{2483} \times 100 = 28,75$$

$$\%V = \frac{2486 - 1750}{2486} \times 100 = 29,60$$

Se organizan los resultados en una tabla para observarlos con más facilidad y de la misma se elige la relación óptima de la mezcla de áridos. Tabla 3

Tabla 3 Relación óptima de la mezcla de áridos.

Proporción % Arena- Grava	Peso específico Corriente kg/m ³	Peso unitario Compactado kg/m ³	% de vacío
35 : 65	2471	1772	28,28
40 : 60	2474	1798	27,32
45 : 55	2477	1793	27,61
50 : 50	2480	1784	28,06
55 : 45	2483	1769	28,75
40 : 60	2486	1750	29,61

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Se empleó un programa de computación para la solución automatizada de la relación óptima y aunque por la tabla nos corresponde tomar la relación 40:60 con un peso unitario mayor y un menor % de vacíos. En este caso el programa muestra una relación óptima de 43:57 y con ella trabajaremos.

Segundo paso: Determinar la cantidad de agua

En el laboratorio se produce una cantidad de hormigón utilizando la mezcla óptima obtenida y una cantidad de cemento similar a la que se acostumbra a usar para determinada resistencia. Durante el proceso de preparación se tendrá un estricto control de la cantidad de agua para obtener la consistencia (asentamiento) señalada.

De acuerdo con lo anterior, para este ejemplo tomamos una cantidad de agua igual a 175 kg/m^3 y de cemento de 350 kg/m^3 . Al mismo tiempo se tienen que ensayar el cemento del tipo o lote que se va emplear.

Una vez tomada la cantidad de agua requerida para un asentamiento deseado, se fabrican 18 probetas.

A los 28 días se someten las probetas de hormigón y las de cemento a la compresión y se analizan estadísticamente los resultados de manera que se tengan los datos necesarios para pasar a la etapa siguiente (tabla 4)

Los datos para este ejemplo son:

Tabla 4 Análisis estadístico de probetas de hormigón sometidas a esfuerzos de compresión.

Probeta	Resistencia a Compresión Kgf/cm ²
1-2	300
3-4	307
5-6	309
7-8	302
9-10	308
11-12	310
13-14	298
15-16	305
17-18	307
Promedio	305

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Cantidad de agua 175 kg/m³

Cantidad de cemento 350 kg/m³

Resistencia a la compresión a los 28 días

Del cemento.....270 kg/cm²

Del hormigón..... 305 kg/cm²

Tercer paso: Determinar la característica A de los áridos.

$$A = \frac{Rh}{Rc(M1.V + M2)} \quad (8)$$

Rc y Rh – son ya conocidas.

M1 y M2- se toman de la tabla 5.1 para los valores de asentamiento deseados. En este caso se toma de la tabla 5.2 el valor de V:

$$\text{Relación a/c} = w = \frac{175}{350} = 0.5$$

Con w= 0.50 se toma un valor de V= 0.3010, sustituyendo en la ecuación:

$$A = \frac{305}{370(4,1427 \cdot 0,3010 + 0,3375)} = 0,5202$$

Cuarto paso: Conocida la característica A del árido y la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia deseada, podemos calcular la dosificación del hormigón programado.

Aplicando la ecuación siguiente del método O' Reilly tendremos que:

$$V = \frac{\frac{Rh}{RcA} - M2}{M1} \quad (9)$$

Dónde: Rh= 210 kg/cm²

A= 0, 5202

Rc= 350 kg/cm²

M1 y M2 = De acuerdo con el asentamiento asumido = 8 cm; para nuestro caso, M1=4,1427 y M2=0,3375

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Sustituyendo:

$$V = \frac{\frac{210}{350(0,5202)} - 0,3375}{4,1427} = 0,1969$$

Con este valor V vamos a la tabla 5.2 y obtenemos el valor de w correspondiente. Si no coincide exactamente, se toma el más cercano.

Para $V = 0,1969$ y $w = 0,64$

Como

$w = a/c$ de donde $c = a/w$, podemos obtener la cantidad de cemento necesaria:

$$C = a/w \quad (10)$$

$$c = \frac{175}{0,64} = 275 \text{ kg/m}^3$$

Quinto paso: Conocidas las cantidades de cemento y agua necesarias para obtener la resistencia planificada del hormigón podemos calcular las cantidades de arena y grava para un metro cubico de hormigón.

Sabiendo que $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$ (1000 L), por lo que:

$$v_c + v_{ag} + v_{ar} + v_{\text{vacío}} = 1000$$

Podemos despejar el volumen de los áridos (arena + grava) = v_{ar}

$v_{ar} = 1000 - (v_c + v_{ag} + v_{\text{vacío}})$ y como conocemos los pesos específicos del cemento y del agua, tenemos:

$$v_{ar} = 1000 - \left(\frac{c}{\gamma_c} + v_{ag} + v_{\text{vacío}} \right)$$

Donde:

c = cantidad de cemento en peso. = 275 kg/m^3

γ_c = peso específico del cemento, para nuestro ejemplo = $3,14 \text{ kg/m}^3$

v_{ar} = volumen de los áridos (arena + grava) en litros

v_{ag} = Volumen de agua en litros. = 175 litros

$v_{\text{vacío}}$ = 2 % aire atrapado en el proceso de manipulación, por lo tanto en una primera aproximación tenemos: $v_{\text{vacío}} = 0,02 \times 1000 = 20 \text{ L}$

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

De esta manera obtenemos:

$\text{Var} = 1000 - \left(\frac{275}{3,14} + 175 + 20 \right) = 717,4 \text{ L}$ y determinando los pesos de los áridos por separado, tenemos:

$$\frac{\% A_{Par}}{\gamma_a} + \frac{\% G_{Par}}{\gamma_g} = \text{var}$$

Donde:

% A – Por ciento de arena en la mezcla: 43 %

% G – Por ciento de grava en la mezcla: 57 %

γ_a – peso específico de la arena = 2,51

γ_g – peso específico de la grava = 2,45

Par – peso total de los áridos.

$$\text{Par} \cdot \left(\frac{0,43}{2,51} + \frac{0,57}{2,45} \right) = 717,4$$

$\text{Par} = \frac{717,4}{0,4039} = 1776 \text{ kg}$, así, la dosificación final de nuestro hormigón será:

Materiales		En peso (Kg)	En volumen (L)
Arena	$1776 \times 0,43$	764	304
Grava	$1776 \times 0,57$	1012	413
Cemento	275	275	87,6
Agua		175	175
Total		2226	980

nota: Se debe hacer una nueva mezcla con esta composición y medir el asentamiento y ajustar la cantidad definitiva de agua, si es necesario, disminuir el agua.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

Tabla 5. Valores de M1 y M2 en dependencia del asentamiento.

Asentamiento cm	Valor M	Asentamiento cm	Valor M
As 3	M1 4,4470 M2 0,2930	As 10	M1 4,0219 M2 0,3572
As 4	M1 4,3843 M2 0,3014	As 11	M1 3,9615 M2 0,3674
As 5	M1 4,3239 M2 0,3101	As 12	M1 3,9011 M2 0,3780
As 6	M1 4,2635 M2 0,3189	As 13	M1 3,8407 M2 0,3888
As 7	M1 4,2031 M2 0,3281	As 14	M1 3,7803 M2 0,4000
As 8	M1 4,1427 M2 0,3375	As 15	M1 3,7199 M2 0,4115
As 9	M1 4,0823 M2 0,3472	As 16	M1 3,6595 M2 0,4233

TABLA 6 CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN SEGÚN W. (II)

W	valor v								
0,30	0,5229	0,40	0,3979	0,50	0,3010	0,60	0,2218	0,70	0,1579
0,31	0,5086	0,41	0,3872	0,51	0,2924	0,61	0,2147	0,71	0,1487
0,32	0,4946	0,42	0,3768	0,52	0,2840	0,62	0,2076	0,72	0,1427
0,33	0,4815	0,43	0,3665	0,53	0,2757	0,63	0,2007	0,73	0,1367
0,34	0,4685	0,44	0,3565	0,54	0,2676	0,64	0,1938	0,74	0,1308
0,35	0,4559	0,45	0,3468	0,55	0,2596	0,65	0,1870	0,75	0,1249
0,36	0,4437	0,46	0,3372	0,56	0,2518	0,66	0,1805	0,76	0,1192
0,37	0,4318	0,47	0,3279	0,57	0,2441	0,67	0,1739	0,77	0,1135
0,38	0,4202	0,48	0,3186	0,58	0,2366	0,68	0,1675	0,78	0,1079
0,39	0,4089	0,49	0,3098	0,59	0,2291	0,69	0,1612	0,79	0,1024

METODO ACI

Ejemplo de cálculo III

Tomaremos el mismo ejemplo del método de Bolomey desarrollado en el primer anexo, de modo que usaremos los mismos parámetros y condicionales que en él se expresan con su correspondiente esquema:

1-Cómo el asentamiento no se especifica, emplearemos la **tabla 6.3.1** para la selección, aquí necesitamos aclarar que debido a que el hormigón debe ser lo suficientemente impermeable por la condición de que pasará agua de mar de forma permanente, condición que exige se emplee un método de compactación que garantice una correcta impermeabilización, el cual es la vibración:

Tabla 6.3.1 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción*

Tipos de construcción	Asentamiento. mm.	
	Máximo ¹	Mínimo
Paredes de cimentación reforzadas	75	25
Cimentación en Cajones y Paredes de Subestructuras	75	25
Vigas y paredes reforzadas	100	25
Columnas y Edificios	100	25
Pavimentos y Losas	75	25
Hormigón masivo	75	25

El asentamiento puede ser incrementado cuando aditivos químicos sean usados, provee que el hormigón tratado con aditivos es igual que en la relación a/c baja y no exhibe una segregación potencial o una exudación severa.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

1→ Puede ser incrementado 25 mm con método de compactación diferente a la vibración.

Cómo se observa en la tabla hay un valor máximo de 75 mm y un mínimo de 25 mm, luego es recomendable emplear un valor medio, o sea, 50 mm.

2-Cómo se plantea en la metodología, el punto 2 coincide con la selección del tamaño máximo del árido, éste paso coincide con los dos métodos de diseño que hemos empleado anteriormente o sea, el método de Bolomey y el método del Profesor Vitervo O'Reilly.

De manera que después de cumplir con los requisitos de éste punto y acercarnos al tamaño comercial, tomaremos un tamaño máximo de **38 mm** (en la tabla aparece un valor de **37,5 mm**), lo cual es tolerable.

3-El tercer paso consiste en determinar el contenido de agua recomendable de acuerdo con el asentamiento requerido y el tamaño máximo con y sin aire ocluido según la tabla A6.3.3 (a).

Tabla A 6.3.3(a) Relación aproximada de agua y requerimiento del contenido de aire, para diferentes asentamientos y tamaño máximo de los agregados (SI)

Agua, kg/m ³ de el concreto para el tamaño máximo indicado nominal de agregado								
Asentamiento ,mm	9.5*	12.5*	19*	25*	37.5*	50* α	75 α	150 $\alpha\beta$
	β							
	Sin aire ocluido							
25 -50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 -100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 -175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado sin aire ocluido en el concreto, en%.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Con aire ocluido							
25 - 50	181	175	168	160	150	142	122	107

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

75 -100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 - 175	216	205	197	184	174	166	154	-

La cantidad de agua mezclada para el hormigón con aire ocluido, se basa en el aire total típico que satisface los requisitos como se muestra para el hormigón con exposición moderada (en la tabla)

Estas cantidades de agua son para usar con el cemento de los lotes de ensayo a 20-25 °C .Ellos se acercan a los límites máximos de los agregados angulares ,cumpliendo con las especificaciones ,el agregado rustico redondeado generalmente necesitara 18 Kg menos de agua para el hormigón sin aire ocluido y 15 Kg para el hormigón con aire ocluido .

El uso de agua reduciendo las mezclas químicas ASTM 494, puede también reducir el agua de mezclado en un 5% o más, el volumen de las mezclas liquidas se incluyen Como parte del volumen total del agua de mezclado.

- ❖ α → Los valores de asentamiento en hormigones conteniendo agregados mayores que 40 mm se basan, en los tés de asentamiento después de eliminar las partículas mayores que 40 mm por medio de cribado húmedo.
- ❖ $\alpha\beta$ → Estas cantidades de aguas mezcladas son para usarlos en el cemento calculado de los factores de los lotes ensayados cuando se usan agregados de 75 mm o 150 mm como máximos normales .Ellos son cantidades para agregados más razonablemente bien formados .
- ❖ δ → Recomendaciones adicionales para el contenido de aire y las tolerancias necesarias para el contenido de aire para el control en el campo ,dado en un numero de contenido de aire de documento ACI incluyendo ACI 201,345,318,301Y 302 Y ASTM 694,para hormigones con contenido de aire en los límites .Los requerimientos en otros documentos pueden no siempre ser exactamente iguales ,así las proporciones concretas pueden ser dadas en

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

la selección del contenido de aire ,que serán conocidas de las necesidades del trabajo y también conocer las especificaciones aplicables .

- ❖ $\xi \rightarrow$ Para hormigones conteniendo agregados grandes las cuales serán cribados húmedos por encima de 40 mm ,antes de ensayar para contenido de aire el porcentaje de aire esperado en el material de 40 mm deberá ser tabulada en la columna de 40 mm .Sin embargo el cálculo de las proporciones iniciales deben incluirse en el contenido como % del total .
- ❖ $\eta \rightarrow$ Cuando se usan agregados grandes en hormigones de bajo factor de cemento el aire ocluido necesario no será en detrimento de la resistencia .En la mayoría de los casos el agua de la mezcla es reducida suficientemente mejorando la relación agua- cemento y por consiguiente compensa el efecto ocluidor del aire ocluido en el hormigón .Generalmente por consiguiente para áridos de tamaños grandes el contenido de aire recomendado para una exposición extrema se consideraría nivelado aun cuando pueda haber una pequeña exposición de la humedad y al congelamiento .
- ❖ $\epsilon \rightarrow$ Estos valores están basados en el criterio de que un 9% de volumen de aire es necesario en la fase de mortero del hormigón .Cuando el volumen de mortero sea sustantivamente diferente del determinado en la práctica recomendada puede ser deseable calcular la necesidad del contenido de aire en vez de tomar el 9% del actual volumen del mortero .

De acuerdo con la tabla y los parámetros ya conocidos de los dos puntos anteriores tenemos:

- a) Para asentamiento $A_s=50$ mm y tamaño máximo del árido de 37,5 mm, corresponde con un valor de 166 kg de agua para 1 metro cúbico de hormigón el cual tiene además un 1% de aire atrapado (durante su manipulación y mezclado). Se aclara que se trata de un hormigón sin aire ocluido (intencionalmente).
- b) Para el caso que consideremos el hormigón con aire ocluido para las condiciones de la obra en cuestión, se toman los siguientes valores.
 $A_s=50$ mm.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$D_{max}=37,5$ mm (38 mm). (Tamaño comercial)

Cantidad de agua= 150 Kg/m³.

Sin embargo, en nuestro caso concreto por la instalación pasará agua de mar de manera permanente, por lo que por la propia tabla, debemos elegir la condición de “nivel de exposición severa” y por tanto se tomará un 5,5 % de aire ocluido.

4-En el cuarto paso se emplean para la solución dos tablas, Tabla 6.3.4(a) y la tabla 6.3.4 (b).

Tabla 6.3.4(a) Relación íntima entre la relación agua- cemento y la resistencia a compresión del hormigón (SI).

Resistencia de la compresión del hormigón a los 28 días, MPa*	Relación agua – cemento en peso	
	Sin aire ocluido	Con aire ocluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
40	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

- ❖ Valores estimados por términos medidos de los esfuerzos en el hormigón conteniendo más de un 2% de aire para hormigón sin aire ocluido y 6% de aire para hormigón con aire ocluido para una relación constante de la resistencia del hormigón respecto a la relación a/c se reduce según el aire contenido sea aumentado.
- ❖ La resistencia se basa en un cilindro de 152 o 305 mm curado en humedad continua por 28 días de acuerdo con la sección sobre el curado inicial y

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

curado de cilindro para chequeo de la adecuada proporción de laboratorio para la resistencia o como la base para la aceptación o el control de la calidad de ASTM método C31 para la fabricación y curado de la probeta in situ, estos son cilindros curados en agua en una temperatura de 23 \pm 1,7°C antes de ensayarlo o romper.

- ❖ Las relaciones en estas tablas asumen los máximos tamaños de los agregados de aproximadamente 19 a 25 mm. Para el origen dado del agregado la resistencia obtenida de acuerdo con la relación a/c aumentara en el tamaño máximo de los agregados disminuyen, ver la secciones 3.4 y 5.3.2.

Tabla 6.3.4 (b) Máximo permisible de la relación agua-cemento para hormigón en exposición extrema *(SI).

Tipos de Estructuras	Estructura con humedad continua o frecuentemente y expuesta a congelamiento y derretido	Estructura expuesta al agua marina o sulfatos
Secciones finas (barreras, anaqueles, antepecho, trabajos ornamentales y otras secciones con menos de una pulgada de recubrimiento)	0.45	0.40++
Otras Estructuras	0.50	0.45++

- ❖ Basado en el reporte de la ACI Comité 201.2R. Otros materiales cementosos que el cemento deberán tratarse de acuerdo con ASTM C618 Y C989.

+El hormigón con aire incluido

++ Si el cemento usado es resistente a los sulfatos (Tipo II O Tipo V de ASIMC150) se permite una relación a/c y puede ser incrementando en 0.05.

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

En este paso es necesario ya entrar con el criterio de resistencia ya establecido, el cual es de 250 Kg/cm². (25 MPa).

Como ya hemos razonado, en nuestro caso emplearemos la tabla 6.3.4 (b), por la condición ya analizada de nivel de exposición severa. De tal manera que nuestra obra coincide con el criterio de “otras estructuras” y por tanto coincide con un valor $a/c= 0,45^{++}$. En la propia tabla se plantea que para el caso de condiciones severas de trabajo del elemento como es el caso se puede agregar 0,05.

5-El quinto paso se refiere a la cantidad de cemento en masa que formará parte del hormigón en este momento se procede como en todos los métodos anteriores, es decir, conociendo la cantidad de agua que participará en el hormigón ya calculada en el paso 3. Sabemos que se empleará 150 kg o litros de agua y partiendo de que la relación $a/c=0,50$ tenemos:

$$150/C=0,50$$

$$C=150/0,50 =300 \text{ kg de cemento}$$

6-Para el sexto paso del procedimiento, el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de hormigón, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de hormigón, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de hormigón, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.

Para el caso de nuestro hormigón habría que calcular el módulo de finura de la arena, tomaremos un módulo de finura intermedio de 2,60, de modo que estamos en condiciones de emplear la **tabla.1.5.3.6**

Tabla A 1.5.3.6 Volumen de los agregados rústicos por unidad de volumen de hormigón (SI).

Diámetros máximos de agregados , mm	Volumen de agregados rústicos rodados secos ,volumen de concreto para diferentes módulos de finura por unidad + agregados finos			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Los volúmenes se basan en agregados a condiciones concretas en la ASTM C29, estos volúmenes son relacionados de la relación empírica para producir hormigón con un grado de laborabilidad apropiada para una construcción reforzada.

Para un hormigón menos laborables tales como los empleados en pavimentos ellos deben ser incrementados alrededor de un 10%. Para hormigones más laborables como los que a veces son necesarios cuando la colocación se hará por medio de bomba ellos pueden reducirse más de un 10 %.

Tomando en consideración los valores de la tabla correspondiente se obtiene un valor de árido grueso de 0,73 de manera que podemos emplear la fórmula general,

❖ **Calculo de las cantidades de áridos para obtener un metro cúbico de hormigón.**

Métodos de diseño del hormigón hidráulico para obras hidráulicas

$$\frac{P_c}{\gamma_c} + P_a + \sum \frac{P_g}{\gamma_g} + 10 \alpha = 1000L \quad (5)$$

$$P_c = 300 \text{ kg}$$

$$\gamma_c = 3,15$$

$$P_a = 150 \text{ kg}$$

P_{g1} = peso del árido fino

P_{g2} = peso del árido grueso

$$\gamma_{g1} = 2,64$$

$$\gamma_{g2} = 2,63$$

$$\alpha = 5,5\%$$

$$\frac{300}{3,15} + 150 + \frac{P_{g1}}{2,64} + \frac{P_{g2}}{2,63} + 10(5,5) = 1000$$

Del gráfico de mezclas de áridos se determinó:

$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{0,27}{0,73} = 0,37$$

$$P_{g1} = 0,37 P_{g2}$$

$$\frac{300}{3,15} + 150 + \frac{0,37 P_{g2}}{2,64} + \frac{P_{g2}}{2,63} + 10(5,5) = 1000$$

$$95,24 + 150 + 0,14 P_{g2} + 0,38 P_{g2} + 55 = 1000$$

$$P_{g2} = 1345,8 \text{ kg}$$

$$P_{g1} = 0,37 P_{g2}$$

$$P_{g1} = 0,37 \times 1345,8 = 497,9 \text{ kg}$$

$$P_{g1} = 497,9 \text{ kg}$$

5- Dosificación final para un metro cúbico de hormigón.

En peso	En Volumen.
Agua= 150kg.....	150 L
Cemento= 300kg.....	95,24 L
Árido grueso =1345,8kg.....	509,80 L
Árido fino =497,9kg.....	188,60 L
Aire =.....	55,0 L
Suma=2293,7kg.....	998,4 L