

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTADO DEL ARTE DEL CONCRETO PARA OPTIMIZAR SU EFICIENCIA CON
EL USO DE ADITIVOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RICARDO ARMANDO CALIXTO SILVA

Lima- Perú

2013

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido culminar este trabajo y darme salud para lograr mis metas.

A mi madre Luz y a mi padre Walter; por el apoyo constante, por sus consejos y por haberme inculcado valores como la perseverancia y la responsabilidad.

A mi hermana menor, por motivarme cada día a ser una persona de bien, y ser su ejemplo.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 4 |
| LISTA DE FIGURAS | 5 |
| LISTA DE CUADROS | 6 |
| LISTA DE GRÁFICAS | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| CAPÍTULO I: INVENCIÓN Y EVOLUCIÓN DEL CONCRETO | 9 |
| 1.1 INVENCIÓN. | 9 |
| 1.2 EVOLUCIÓN DEL CONCRETO. | 9 |
| 1.2.1 El siglo XIX: cemento Portland y concreto armado. | 10 |
| 1.2.2 El siglo XX: auge de la industria del concreto. | 10 |
| 1.2.3 Los últimos sesenta años. | 14 |
| CAPÍTULO II: MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO Y SU EVOLUCIÓN. | 17 |
| 2.1 MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLA EN CONCRETO. | 17 |
| 2.2 PASOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA. | 18 |
| 2.3 EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA EN CONCRETO. | 23 |
| 2.3.1 Método del Comité 211 del ACI. | 24 |
| 2.3.2 Método Walker. | 28 |
| 2.3.3 Método por la relación agua/cemento. | 32 |
| 2.3.4 Método del módulo de finura de la combinación de los agregados. | 34 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE ADITIVOS AL CONCRETO Y SU EVOLUCIÓN A FUTURO. | 36 |
| 3.1 ADITIVO PARA EL CONCRETO. | 36 |
| 3.1.1 Grupos de aditivos para concretos. | 36 |
| 3.1.2 Clasificación de aditivos para concretos. | 37 |
| 3.1.3 Componentes de los aditivos. | 39 |
| 3.2 REALIDAD EN EL PERÚ SOBRE ADITIVO PARA EL CONCRETO. | 43 |
| 3.3 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN Y CON ADITIVO. | 45 |
| 3.3.1 Ensayo de máxima compacidad. | 45 |
| 3.3.2 Metodología de diseño. | 46 |
| 3.3.3 Dosificación con aditivo. | 51 |
| 3.4 MERCADO DE ADITIVOS. | 54 |
| 3.4.1 Sika Perú. | 54 |
| 3.4.2 Z Aditivos. | 55 |
| 3.4.3 Chema. | 56 |
| 3.5 NANOTECNOLOGÍA APLICADA A LA EVOLUCIÓN DEL CONCRETO. | 57 |
| 3.5.1 Principio de utilización de la nanosílice. | 57 |
| 3.5.2 Nanosílice. | 57 |
| 3.6 CONCRETO TRANSLÚCIDO. | 61 |
| 3.6.1 Cualidades. | 61 |
| 3.6.2 Comercialización. | 61 |
| 3.6.3 Preparación. | 61 |
| 3.6.4 Desventajas. | 62 |

| | |
|---|-----------|
| 3.7 PREDICCIÓN CON REDES NEURONALES. | 63 |
| 3.7.1 Definición de redes neuronales. | 63 |
| 3.7.2 Descripción de la red. | 63 |
| 3.7.3 Predicción de la resistencia a la compresión con el MATLAB. | 65 |
| | |
| CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | 70 |
| 4.1 CONCLUSIONES. | 70 |
| 4.2 RECOMENDACIONES. | 71 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA. | 72 |
| | |
| ANEXOS. | 74 |

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia está orientado al desarrollo del diseño de mezcla del concreto haciendo énfasis en el uso de aditivos para optimizar su eficiencia específicamente mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

El Perú es un país de alta sismicidad y geografía variada. Nuestras serranías tienen alturas que superan los 4500 metros sobre el nivel del mar, humedades relativas que pueden descender hasta 35% y temperaturas que pueden ser menores de -22°C y llegar hasta 25°C .

La selva se caracteriza por lluvias copiosas, temperaturas altas, arenas de módulo de finura muy bajo, ausencia de agregado grueso, y escasa agua potable.

La costa es abundante en arenales y presenta temperaturas que pueden alcanzar los 39°C , además de lluvias muy escasas.

También con ayuda de los programas de cómputo de uso actual y las tecnologías que se vienen usando a nivel mundial se logra analizar y exponer algunos capítulos de este informe que busca seguir un rumbo de investigación y desarrollo en el Perú.

Finalmente este trabajo pretende ser un aporte más al conocimiento del concreto y, específicamente, a los procedimientos a seguir para el diseño de mezcla con el uso de aditivos y su desarrollo a través del tiempo, además de su evolución hasta la actualidad.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N° 2.1: Foto de Lima a inicios del Siglo XX..... | 23 |
| Figura N° 3.1: Tamaño de partícula..... | 59 |
| Figura N° 3.2: Ventana del Workspace mostrando la matriz de entrada..... | 66 |
| Figura N° 3.3: Ventana del Matlab mostrando el entrenamiento de la net..... | 67 |
| Figura N° 3.4: Ventana del Matlab mostrando la red neuronal entrenada..... | 68 |
| Figura N° 3.5: Ventana del Matlab entregando el vector resistencia..... | 68 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro N° 2.1: Pasos en el diseño de mezcla..... | 22 |
| Cuadro N° 2.2: Pasos en el Método del Comité 211del ACI..... | 27 |
| Cuadro N° 2.3: Pasos en el Método Walker..... | 31 |
| Cuadro N° 2.4: Pasos en el Método por la relación agua/cemento..... | 33 |
| Cuadro N° 2.5: Pasos en el Método del módulo de finura de la combinación de los agregados..... | 35 |
| Cuadro N° 3.1: Resultados de ensayos de compacidad..... | 45 |
| Cuadro N° 3.2: Diseño Obtenido..... | 49 |
| Cuadro N° 3.3: Diseño obtenido para asentamiento en el rango de 3" – 4"..... | 50 |
| Cuadro N° 3.4: Diseño final para 1 m ³ | 51 |
| Cuadro N° 3.5: Diseño final para 1 m ³ con aditivo..... | 53 |
| Cuadro N° 3.6: Muestra de ensayos en laboratorio de 17 probetas de concreto..... | 63 |
| Cuadro N° 3.7: Muestra de ensayos en laboratorio de 17 probetas de concreto..... | 64 |
| Cuadro N° 3.8: Descripción de cada fila de los componentes de mezcla..... | 64 |
| Cuadro N° 3.9: Vector resistencia a la compresión..... | 65 |
| Cuadro N° 3.10: Cuadro comparativo..... | 69 |

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica N° 3.1: Peso unitario compactado del agregado global.....46

INTRODUCCIÓN

El concreto juega un rol determinante en el desarrollo nacional además es un material indispensable por su versatilidad la que nos permite su utilización en todo tipo de formas estructurales así como en los climas más variados y las condiciones geográficas.

Por tal motivo constituye un desafío para el ingeniero ofrecer al usuario el máximo de seguridad y que tenga el menor costo compatible con las exigencias.

El presente trabajo se ha dividido en 4 capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el primer capítulo, se muestra como marco teórico la invención del concreto y su evolución cronológica.

En el segundo capítulo, se describe el método de diseño de mezcla del concreto así como sus aplicaciones.

En el tercer capítulo, se muestra la aplicación de aditivos al concreto y su evolución a futuro.

Finalmente en el cuarto y último capítulo, se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones producto del desarrollo del presente trabajo.

CAPÍTULO I: INVENCION Y EVOLUCION DEL CONCRETO

1.1 INVENCION

La historia del concreto constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas. Se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente. Así, en el Antiguo Egipto se utilizaron diversas pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para poder unir sólidamente los sillares de piedra; como las que aún perduran entre los bloques calizos del revestimiento de la Gran Pirámide de Guiza. [9]

Las primeras referencias sobre un aglomerante con características similares al concreto están dadas por Plinio, autor romano. [13]

En sus construcciones los romanos empleaban materiales puzolánicos mezclado con cal para preparar morteros hidráulicos o concretos. Los mejores concretos empleados en las más famosas construcciones romanas, fueron hechos de ladrillo roto, cal, puzolana. El panteón de Adriano es un ejemplo de una de las primeras dosificaciones cuyos buenos resultados se evidencian hasta la fecha. [13]

1.2 EVOLUCION DEL CONCRETO

Tras la caída del Imperio romano el concreto fue poco utilizado, posiblemente debido a la falta de medios técnicos y humanos, la mala calidad de la cocción de la cal, y la carencia o lejanía de tobas volcánicas; no se encuentran muestras de su uso en grandes obras hasta el siglo XIII, en que se vuelve a utilizar en los cimientos de la Catedral de Salisbury, o en la célebre Torre de Londres, en Inglaterra. Durante el renacimiento su empleo fue escaso y muy poco significativo. [9]

1.2.1 El siglo XIX: cemento Portland y concreto armado

Joseph Asphin y I. C. Johnson patentaron a mediados del 1824 el Cemento Portland, obtenido de caliza arcillosa y carbón calcinado a alta temperatura denominado así por su color gris verdoso oscuro, muy similar a la piedra de la isla de Portland. Isaac Johnson obtiene en 1845 el prototipo del cemento moderno elaborado de una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura, hasta la formación del clinker; el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron su uso para gran variedad de aplicaciones, hacia finales del siglo XIX. [1]

El concreto, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de sollicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); la inclusión de varillas metálicas que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

La invención del concreto armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para “la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego”. El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de concreto armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895. [10]

1.2.2 El siglo XX: auge de la industria del concreto

A principios del siglo XX surge el rápido crecimiento de la industria del cemento, debido a varios factores: los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran producir cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular; y los métodos de transportar concreto fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903

y 1907. Con estos adelantos pudo elaborarse cemento Portland en grandes cantidades y utilizarse ventajosamente en la industria de la construcción. [9]

Maillart proyecta en 1901 un puente en arco de 38 metros de luz sobre el río Inn, en Suiza, construido con vigas cajón de concreto armado; entre 1904 y 1906 diseña el puente de Tavanasa, sobre el río Rin, con 51 metros de luz, el mayor de Suiza. Claude A.P. Turner realiza en 1906 el edificio Bovex de Minneapolis (EE.UU.), con los primeros pilares fungiformes (de amplios capiteles). [16]

Nace en 1904 el National Association of Cement que años más tarde cambia de nombre a American Concrete Institute, entidad sin fines de lucro por la educación técnica para la sociedad, la cual trata los asuntos relacionados con el concreto y el desarrollo de soluciones a los problemas. En 1910 la Asociación emite el primer Código de Construcción con Concreto.

Le Corbusier, en los años 1920, reclama en *Vers une Architecture* una producción lógica, funcional y constructiva, despojada de retóricas del pasado; en su diseño de Casa Domino, de 1914, la estructura está conformada con pilares y forjados de concreto armado, posibilitando fachadas totalmente diáfanas y la libre distribución de los espacios interiores. [16]

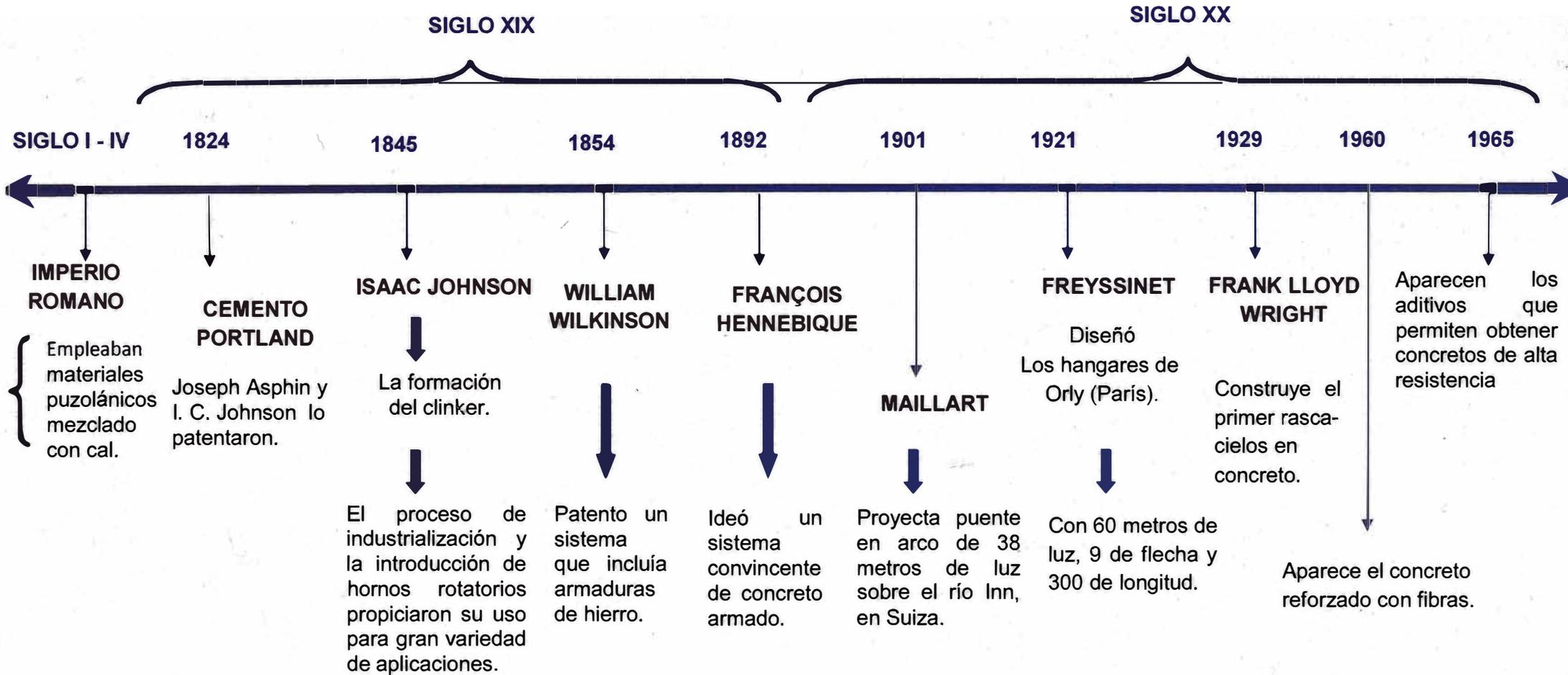
Los hangares de Orly (París), diseñados por Freyssinet entre 1921 y 1923, con 60 metros de luz, 9 de flecha y 300 de longitud, se construyen con láminas parabólicas de concreto armado, eliminando la división funcional entre paredes y techo. En 1929 Frank Lloyd Wright construye el primer rascacielos en concreto. [16]

En la década de 1960 aparece el concreto reforzado con fibras, incorporadas en el momento del amasado, dando al concreto isotropía y aumentando sus cualidades a flexión, tracción, impacto, fisuración, etc. En los años 1970, los aditivos permiten obtener concretos de alta resistencia, la incorporación de monómeros, genera hormigones casi inatacables por los agentes

químicos o indestructibles por los ciclos hielo-deshielo, aportando múltiples mejoras en diversas propiedades del concreto. [16]

Los grandes progresos en el estudio científico del comportamiento del concreto armado y los avances tecnológicos, posibilitaron la construcción de rascacielos más altos, puentes de mayor luz, amplias cubiertas e inmensas presas. Su empleo será insustituible en edificios públicos que deban albergar multitudes: estadios, teatros, cines, etc. Muchas naciones y ciudades competirán por erigir la edificación de mayor dimensión, o la más bella, como símbolo de su progreso que, normalmente, estará construida en concreto armado.

DIAGRAMA HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL CONCRETO



1.2.3 Los últimos sesenta años

En 1952 se utiliza por primera vez cenizas, provenientes de la combustión del carbón, como material de reemplazo de una parte del cemento. En 1954, el American Concrete Institute, a través de su Comité 613, incluye el procedimiento para el diseño directo de concretos con y sin aire incorporado para determinar la cantidad de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. [13]

En 1963, el investigador norteamericano Gilkey, que ya en 1923 había formulado serias observaciones a la denominada Ley de Abrams, propone una versión ampliamente modificada de dicha Ley, propuesta que descansa en sus estudios de 1923 y en las investigaciones de Walker, Bloem y Gaynor en la Universidad de Maryland. Su teoría sostiene que no solo debe darse importancia a la relación agua-cemento, sino también a factores tales como la relación cemento-agregado, y la granulometría, dureza, resistencia, perfil, textura superficial y tamaño máximo del agregado empleado. [13]

También comienza en la década un desarrollo de los aditivos como modificadores de las propiedades del concreto. Acelerantes y plastificantes, incorporadores de aire, retardadores y acelerantes de fragua, impermeabilizantes, inhibidores de la corrosión, fungicidas, etc., crean nuevos desafíos a los ingenieros y los diseños de mezcla entran a una etapa experimental a nivel de trabajos de laboratorio. Ya en estos días no se acepta un diseño que previamente no haya sido analizado y experimentado a nivel de laboratorio y/u obra.

En la década de los 70, los investigadores Walker y Gaynor, al investigar los factores que afectan la resistencia del concreto confirman que en las mezclas medias, la resistencia es más alta para los menores tamaños máximos del agregado grueso siempre que se mantenga constante la relación agua-cemento. Estos trabajos eliminan definitivamente el error de quienes sostenían que los concretos más fuertes deberían obtenerse con el empleo del agregado grueso más grande posible desde que los concretos con

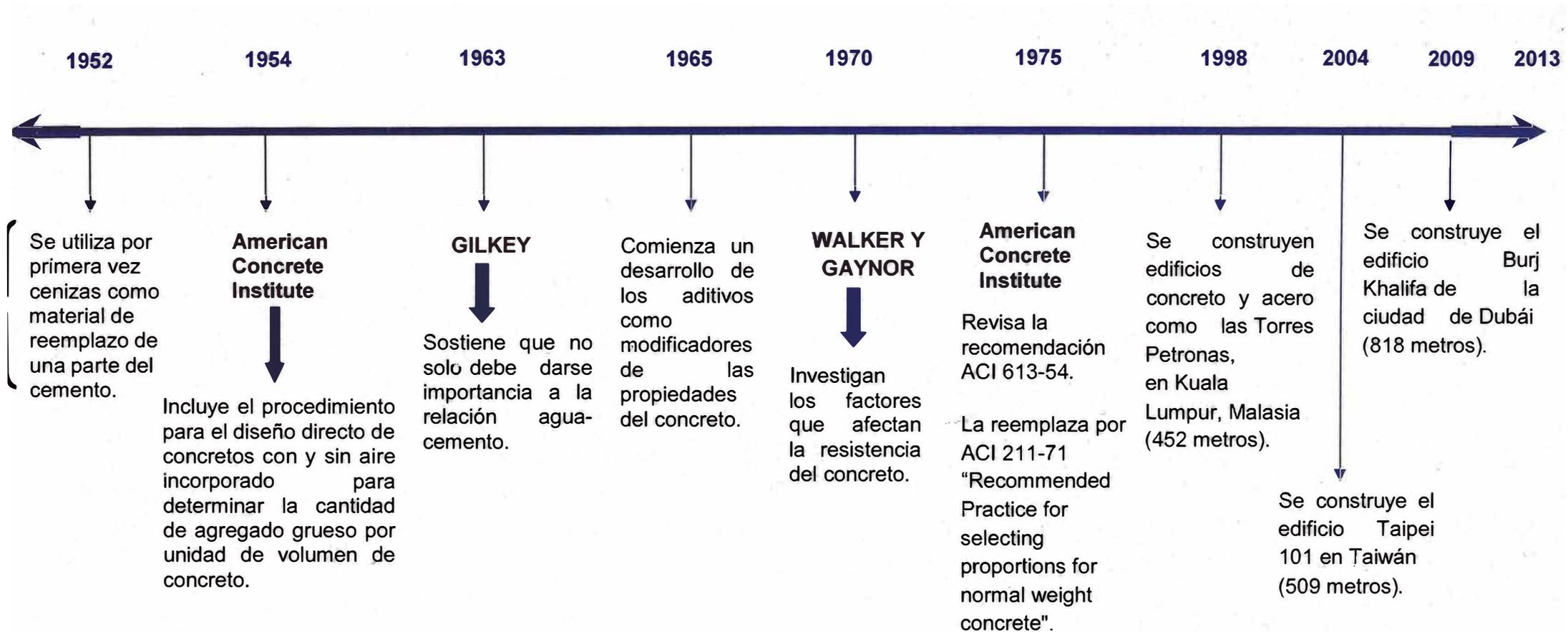
agregado grande requerían menos agua y por lo tanto tendrían una menor relación agua-cemento para un contenido de cemento dado.

También en la década de los 70, el American Concrete Institute revisa la recomendación ACI 613-54 y la reemplaza por ACI 211-71 "Recommended Practice for selecting proportions for normal weight concrete", la cual ha experimentado diversas modificaciones hasta el año 1995. [13]

Entre 1965 y 2011 ya se hace difícil seguir la historia de la evolución del proceso de diseño de mezclas. Muchos son los protagonistas y países implicados. Algo hay en común, obtener un concreto que cumpla con todos los requisitos establecidos por el ingeniero proyectista, que ofrezca al usuario el máximo de seguridad, y que tenga el menor costo compatible con las exigencias anteriores.

Los edificios más altos del mundo poseen estructuras de concreto y acero, tales como las Torres Petronas, en Kuala Lumpur, Malasia (452 metros, 1998), el edificio Taipei 101 en Taiwán (509 metros, 2004), o el Burj Dubai de la ciudad de Dubái (818 metros, 2009), en el siglo XXI. [13]

DIAGRAMA HISTORIA DE LOS ÚLTIMOS 60 AÑOS



CAPÍTULO II: MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO Y SU EVOLUCIÓN

2.1 MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLA EN CONCRETO

Los ingenieros han llegado a tomar plena conciencia del rol determinante que juega el concreto en el desarrollo nacional. La adecuada selección y el conocimiento profundo de los materiales integrantes de la mezcla; así como el conocimiento de las propiedades del concreto; los criterios de diseño de las proporciones de la mezcla más adecuada para cada caso, el proceso de puesta en obra; el control de la calidad del concreto y los más adecuados procedimientos de mantenimiento y reparación de la estructura, son aspectos a ser considerados cuando se construye estructuras de concreto que deben cumplir con los requisitos de calidad, seguridad, y vigencia en el tiempo que se espera de ellas.

La demanda del concreto ha sido la base para la elaboración de los diferentes Diseños de Mezcla, ya que estos métodos permiten a los usuarios conocer no sólo las dosis precisas de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla. Los Métodos de Diseño de mezcla están dirigidos a mejorar calificativamente la resistencia, la calidad y la durabilidad en todos los usos que pueda tener el concreto.

El diseño de mezclas es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

Existen diferentes métodos de Diseños de Mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aún así se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos; sin embargo existe la posibilidad de seleccionar alguno según la ocasión.

El adecuado proporcionamiento de los componentes del concreto dan a este la resistencia, durabilidad, comportamiento, consistencia, trabajabilidad y otras propiedades que se necesitan en determinada construcción y en

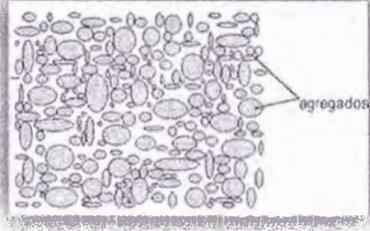
determinadas condiciones de trabajo y exposición de este, además con el óptimo proporcionamiento se logrará evitar las principales anomalías en el concreto fresco y endurecido como la segregación, exudación, fisuramiento por contracción plástica y secado entre otras.

2.2 PASOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA

Los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto. Ellos deben efectuarse independientemente del procedimiento de diseño seleccionado. [3]

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|---|
| A | Estudiar cuidadosamente los requisitos indicados en los planos y en las especificaciones de obra. |  |
| B | Seleccionar la resistencia promedio requerida para obtener en obra la resistencia de diseño especificada por el proyectista. En esta etapa se deberá tener en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación de la compañía constructora, así como el grado de control que se ha de ejercer en obra. |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| C | <p>Seleccionar, en función de las características del elemento estructural y del sistema de colocación del concreto, el tamaño máximo nominal del agregado grueso.</p> |  |
| D | <p>Elegir la consistencia de la mezcla y expresarla en función del asentamiento de la misma. Se tendrá en consideración, entre otros factores la trabajabilidad deseada, las características de los elementos estructurales y las facilidades de colocación y compactación del concreto.</p> |  |
| E | <p>Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen del concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire incorporado o atrapado, en la mezcla.</p> |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|---|
| F | <p>Determinar el porcentaje de aire atrapado o el de aire total, según se trate de concretos normales o de concretos en los que expresamente, por razones de durabilidad, se ha incorporado aire, mediante el empleo de un aditivo.</p> |  <p>Diagrama que muestra una mezcla de agregados (partículas de diferentes formas y tamaños) con burbujas de aire incorporadas. Una etiqueta 'agregados' apunta a las partículas sólidas.</p> |
| G | <p>Seleccionar la relación agua cemento requerido para obtener la resistencia deseada en el elemento estructural. Se tendrá en consideración la resistencia promedio seleccionada y la presencia o ausencia de aire incorporado.</p> |  <p>Fotografía que muestra a un trabajador en un andamio o plataforma elevada, realizando labores de construcción o mantenimiento en un sitio de obra.</p> |
| H | <p>Seleccionar la relación agua cemento requerido por condición de durabilidad. Se tendrá en consideración los diferentes agentes externos e internos que podrían atentar contra la vida de la estructura.</p> |  <p>Fotografía que muestra a un trabajador aplicando un producto (posiblemente un aditivo o un tratamiento) sobre una superficie de concreto o metal.</p> |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|--|
| I | <p>Seleccionar la menor de las relaciones agua cemento elegidas por resistencia y durabilidad, garantizando con ello que se obtendrá en la estructura la resistencia en compresión necesaria y la durabilidad requerida.</p> |  |
| J | <p>Determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto, en función del volumen unitario de agua y de la relación agua cemento seleccionada.</p> |  |
| K | <p>Determinar las proporciones relativas de los agregados fino y grueso. La selección de la cantidad de cada uno de ellos en la unidad cúbica de concreto está condicionada al procedimiento de diseño seleccionado.</p> |  |
| L | <p>Determinar, empleando el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado está en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.</p> |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|--|
| M | Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados finos y gruesos. |  |
| N | Ajustar las proporciones seleccionadas de acuerdo a los resultados de los ensayos de la mezcla realizados en el laboratorio. |  |
| O | Ajustar las proporciones finales de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados bajo condiciones de obra. |  |

Cuadro N° 2.1: Pasos en el diseño de mezcla

2.3 EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA EN CONCRETO

En los inicios del siglo XX, todas las edificaciones se basaban en muros de adobe o ladrillo, con muros de quincha o ladrillo en el segundo nivel. Los entresijos y techos eran con viguetas de madera, excepto en el caso de bóvedas o cúpulas que podían ser de madera, ladrillo o piedra.



FIGURA 2.1: Foto de Lima a inicios del Siglo XX.

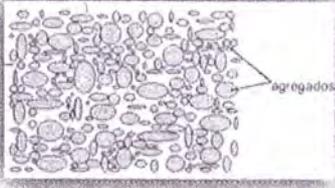
Entre 1920 y 1930 se da un gran desarrollo de la ciudad de Lima, con nuevas avenidas, plazas y edificaciones importantes tales como de la Plaza de Armas, la Plaza San Martín y las calles y avenidas del centro histórico.

La mayoría de los primeros diseños en concreto se hacen por compañías extranjeras. Los libros de consulta eran europeos, de esta manera la tecnología en el concreto se iba desarrollando y se aplicaban métodos en el diseño de mezcla que se van a enumerar en este capítulo:

2.3.1 Método del Comité 211 del ACI. [3]

Independientemente que las características finales del concreto sean indicadas en las especificaciones técnicas o dejadas al criterio profesional responsable del diseño de la mezcla, las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto pueden ser determinadas, cuando se emplea el método del Comité 211 del ACI, siendo la secuencia que a continuación se indica:

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 1. | Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora. |  |
| 2. | Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso. |  |
| 3. | Selección del asentamiento. |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 4. | Selección del volumen unitario del agua de diseño. |  |
| 5. | Selección del contenido de aire. |  |
| 6. | Selección de la relación agua/cemento por resistencia y durabilidad. |  |
| 7. | Determinación del factor cemento. |  |
| 8. | Determinación del contenido de agregado grueso. |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 9. | Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso. |  |
| 10. | Determinación del volumen absoluto del agregado fino. |  |
| 11. | Determinación del peso seco del agregado fino. |  |
| 12. | Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso. |  |

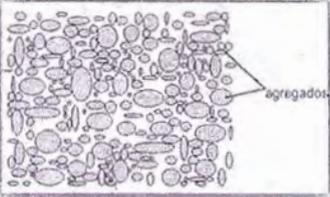
| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|---|
| 13. | Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado. |  |
| 14. | Determinación de la proporción en peso de diseño y de obra. |  |
| 15. | Determinación de los pesos por tanda de una bolsa. |  |

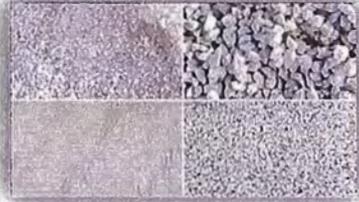
Cuadro N° 2.2: Pasos en el Método del Comité 211 del ACI.

2.3.2 Método Walker. [3]

Las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto pueden ser determinadas, cuando se emplea el Método de Walker, siguiendo la secuencia que a continuación se indica:

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 1. | Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora. |  |
| 2. | Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso. |  |
| 3. | Selección del asentamiento. |  |

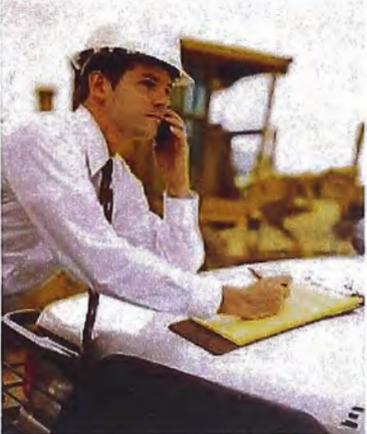
| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 4. | Selección del volumen unitario del agua de diseño. |  |
| 5. | Selección del contenido de aire. |  |
| 6. | Selección de la relación agua/cemento por resistencia y durabilidad. |  |
| 7. | Determinación del factor cemento. |  |
| 8. | Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua y aire. |  |

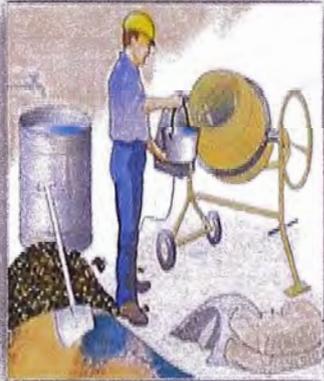
| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|--|
| 9. | Determinación del volumen absoluto del agregado total. |  |
| 10. | Determinación del porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado. |  |
| 11. | Determinación del volumen absoluto del agregado grueso. |  |
| 12. | Determinación de los pesos secos de los agregados fino y grueso. |  |
| 13. | Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado. |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|---|--|
| 14. | Determinación de la proporción en peso de diseño y de obra. |  |
| 15. | Determinación de los pesos por tanda de una bolsa. |  |

Cuadro N° 2.3: Pasos en el Método Walker.

2.3.3 Método por la relación agua/cemento. [3]

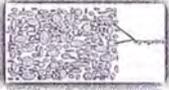
| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 1. | <p>Cuando no se disponga de la información referida a un registro de ensayo de obra aceptable, o no se tiene información de los resultados de mezclas de prueba, podrá seleccionarse la relación agua/cemento, para concretos con o sin aire incorporado, en función de la resistencia característica. Debiendo este procedimiento ser aprobado por la inspección.</p> |  |
| 2. | <p>Para el empleo de la relación agua/cemento, se requiere un permiso especial de la inspección debido a que diferentes combinaciones de ingredientes producen concretos de muy variada resistencia para una relación agua/cemento dada.</p> |  |
| 3. | <p>Todo diseñador debe considerar que la relación agua/cemento con resistencia en compresión del concreto, necesariamente debe ser muy conservadora. Por ello, este método debe ser aplicado únicamente para estructuras previas, y en las que no está justificado el costo adicional de mezclas de prueba.</p> |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|--|
| 4. | <p>Por la misma razón, para concretos por encima de los 245 kg/cm². de resistencia a la compresión, es imperativo que la selección de las proporciones de la mezcla se efectúa en base a experiencia de obra o información suministrada por mezclas prueba.</p> |  |
| 5. | <p>La relación agua/cemento deberá ser empleada únicamente en concretos preparados con cemento portland normales que cumplan con los requisitos de resistencia indicados por las Normas. La relación agua/cemento no deberá ser empleada para concretos pesados o livianos, o aquellos preparados empleando aditivos que no sean incorporadores de aire.</p> |  |
| 6. | <p>Los concretos preparados con proporciones seleccionadas por la relación agua/cemento, deberán cumplir igualmente con los requisitos especiales de exposición (durabilidad) y los criterios para los ensayos de resistencia en compresión.</p> |  |

Cuadro N° 2.4: Pasos en el Método por la relación agua/cemento.

2.3.4 Método del módulo de finura de la combinación de los agregados. [3]

En el método del módulo finura de la combinación de agregados, los contenidos de agregados fino y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación principalmente, función de la relación agua/cemento y del contenido total del agua, expresados a través del contenido de cemento en la mezcla.

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|---|
| 1. | Determinación de la resistencia promedio. |  |
| 2. | Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso. |  |
| 3. | Selección del asentamiento. |  |
| 4. | Selección del volumen unitario del agua. |  |
| 5. | Selección del contenido de aire. |  |
| 6. | Relación agua/cemento (resistencia y durabilidad). |  |
| 7. | Factor cemento. |  |
| 8. | Cálculo del volumen absoluto de la pasta. |  |
| 9. | Volumen absoluto del agregado. |  |

| ITEM | DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO | ILUSTRACIÓN |
|------|--|---|
| 10. | Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados. |  |
| 11. | Cálculo del porcentaje de agregado fino en relación al total del agregado. |  |
| 12. | Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados. |  |
| 13. | Pesos secos de los agregados. |  |
| 14. | Valores de diseño. |  |
| 15. | Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado. |  |
| 16. | Determinación de la proporción en peso. |  |
| 17. | Determinación de los pesos por tanda de una bolsa. |  |

Cuadro N° 2.5: Pasos en el Método del módulo de finura de la combinación de los agregados.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE ADITIVOS AL CONCRETO Y SU EVOLUCIÓN A FUTURO

3.1 ADITIVO PARA EL CONCRETO

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y cuya inclusión tiene como objeto modificar algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto. [11]

El comportamiento de los diversos tipos de cemento Portland está definido dentro de un esquema relativamente rígido, ya que pese a sus diferentes propiedades, no pueden satisfacer todos los requerimientos de los procesos constructivos. Existen consecuentemente varios casos, en que la única alternativa de solución técnica y eficiente es el uso de aditivos.

Cada vez se va consolidando a nivel internacional el criterio de considerar a los aditivos como un componente normal dentro de la Tecnología del Concreto moderna ya que contribuyen a minimizar los riesgos que ocasiona el no poder controlar ciertas características inherentes a la mezcla de concreto original, como son los tiempos de fraguado, la estructura de vacíos el calor de hidratación, etc.

3.1.1 GRUPOS DE ADITIVOS PARA CONCRETOS

Se pueden distinguir dos grupos principales:

Modificadores de la reología, que cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, trabajabilidad, etc.

Modificadores del fraguado, que adelantan o retrasan el fraguado o sus condiciones. [11]

3.1.2 CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS PARA CONCRETOS

Para el desarrollo de los diferentes tipos de aditivos, los clasificaremos desde el punto de vista de las propiedades del concreto que modifican, ya que ese es el aspecto básico al cual se apunta en obra cuando se desea buscar una alternativa de solución que no puede lograrse con el concreto normal.

➤ **Aditivos acelerantes. [11]**

Sustancia que reducen el tiempo normal de endurecimiento de la pasta de cemento y/o aceleran el tiempo normal de desarrollo de la resistencia.

Proveen una serie de ventajas como son:

- a) Desencofrado en menor tiempo del usual
- b) Reducción del tiempo de espera necesario para dar acabado superficial
- c) Reducción del tiempo de curado
- d) Adelanto en la puesta en servicio de las estructuras
- e) Posibilidad de combatir rápidamente las fugas de agua en estructuras hidráulicas
- f) Reducción de presiones sobre los encofrados posibilitando mayores alturas de vaciado
- g) Contrarrestar el efecto de las bajas temperaturas en clima frío desarrollado con mayor velocidad el calor de hidratación, incrementando la temperatura del concreto y consecuentemente la resistencia.

En general lo acelerantes reducen los tiempos de fraguado inicial y final del concreto.

➤ **Aditivos incorporadores de aire. [11]**

El congelamiento del agua dentro del concreto con el consiguiente aumento de volumen, y el deshielo con la liberación de esfuerzos que ocasionan contracciones, provocan fisuración inmediata si el concreto todavía no tiene suficiente resistencia en tracción para soportar estas tensiones o agrietamiento paulatino en la medida que la repetición de estos ciclos va fatigando el material.

A fines de los años cuarenta se inventaron los aditivos incorporadores de aire, que originan una estructura adicional de vacíos dentro del concreto que permiten controlar y minimizar los efectos indicados.

➤ **Aditivos reductores de agua. [11]**

Son compuestos orgánicos e inorgánicos que permiten emplear menor agua de la que se usaría en condiciones normales en el concreto, produciendo mejores características de trabajabilidad y también de resistencia al reducirse la Relación Agua/Cemento.

Trabajan en base al llamado efecto de superficie, en que crean una interfase entre el cemento y el agua en la pasta, reduciendo las fuerzas de atracción entre las partículas, con lo que se mejora el proceso de hidratación.

Usualmente reducen el contenido de agua por lo menos en un 5% a 10%.

➤ **Aditivos retardadores.**

Tienen como objetivo incrementar el tiempo de endurecimiento normal del concreto, con miras a disponer de un período de plasticidad mayor que facilite el proceso constructivo. Su uso principal es en vaciados complicados y/o voluminosos, donde la secuencia de colocación del concreto provocaría juntas frías si se emplean mezclas con fraguados normales. Además de vaciados en clima cálido, en que se incrementa la velocidad de endurecimiento de las mezclas convencionales.

3.1.3 COMPONENTES DE LOS ADITIVOS

Los materiales químicos que constituyen a los aditivos se clasifican en:

- Los Lignosulfonatos.- Son productos producidos a partir de la lignina, que forma parte de la composición de las maderas, durante el proceso de la fabricación de la pulpa de papel. Los Lignosulfonatos usados son predominantemente cálcicos o sólidos con un contenido de azúcar entre el 1 % y 30 %.
- Los Ácidos Hidroxicarboxílicos.- Son productos químicos que tienen en sus moléculas grupos hidroxilos y carboxilos. Se producen a partir de materias primas puras de madera, ya sea por medios químicos o bioquímicas, presentando alta pureza. Son reductores de agua a bajas dosificaciones y retardantes de fraguado a altas dosificaciones.
- Los Polímeros Hidroxilados.- Son derivados de los polisacáridos, tales como la maicena, por hidrólisis parcial. Estos materiales son estables bajo condiciones alcalinas de las composiciones que contienen los cementos y se comportan como efectivos reductores de agua.
- El cloruro de calcio.- Ingrediente muy usado para elaborar el aditivo acelerador de fragua, cabe mencionar que existe un riesgo al usar cloruro de calcio ya que aumenta la posibilidad de corrosión en el acero de refuerzo por lo que su empleo debe efectuarse en forma muy controlada.
- Materiales inorgánicos insolubles.- Tienen una porosidad interna muy grande como algunos plásticos, ladrillo molido, arcilla expandida, arcilla pizarrosa, etc. Estos materiales se muelen a tamaños muy pequeños y por lo general deben tener una porosidad del orden del 30% por volumen de esta manera se obtiene el componente para el aditivo incorporador de aire. También se puede obtener incorporador de aire con el material inorgánico sillar de la región de Arequipa, que como se sabe es un material de origen volcánico con porosidad del orden del 25% al 30%, que podría ser una opción barata y eficiente, por lo que debería investigarse con mayor profundidad en este sentido.

- Soluciones de resinas sintéticas.- Podemos encontrarlos en los curadores químicos que si bien es cierto no está incluido dentro de la definición clásica de aditivos, pues no reaccionan con el cemento, podríamos considerarlos ya que se añaden a la superficie del concreto vaciado para evitar la pérdida del agua y asegurar que exista la humedad necesaria para el proceso de hidratación, además se usan en nuestro medio.
- Resinas de madera.- Podemos encontrarlos en los incorporadores de aire que se encuentran en el mercado de forma líquida o en polvo soluble en agua la cual está constituida por sales la cual se obtiene de las resinas de madera. Una de las ventajas de estos incorporadores, es que el aire introducido funciona además como un lubricante entre las partículas de cemento por los vacíos adicionales en su estructura.

Mecanismo de Acción.

Los efectos físico-químicos que tienen lugar en los concretos pueden resumirse en:

- 1) Reducción de Agua.-** Los concretos que contienen aditivos con lignosulfonatos, requieren de 5% a 10% menos de agua que los concretos normales. Las sales del ácido carboxílico hidroxilado reducen el contenido de agua de 5% a 8%, ya sea en concreto con o sin aire incluido.

Este aditivo químico de actividad superficial origina los siguientes procesos:

- a) Reducción de la tensión interfase.- Llamado también efecto de superficie entre el cemento y el agua en la pasta, reduciendo las fuerzas de atracción de las partículas, con lo que se mejora el proceso de hidratación.
- b) Incremento en el potencial electro-cinético.- Son los llamados aniónicos, que al reaccionar con el cemento inducen iones cargados negativamente

que se repelen causando la dispersión y separación entre las partículas sólidas y un efecto lubricante muy importante al reducirse la fricción interna.

Estos procesos son originados por las reacciones químicas de los grupos funcionales ácidos e hidróxidos fundamentales del aditivo con los productos de hidratación inicial del cemento de la fase Ca_3Al (aluminato tricálcico) principalmente y en alguna extensión con los de la fase Ca_3Si (silicato tricálcico).

Como resultado de los procesos anteriormente indicados, los concretos en los que se ha incorporado este aditivo requieren menor cantidad de agua de mezclado, dando como resultado una consistencia determinada y un aumento de la resistencia debido a la reducción de la relación agua/cemento.

2) Retardo de Fraguado.- Los concretos que contienen aditivos con lignosulfonatos, requieren de 5% a 10% menos de agua que los concretos normales. Las sales del ácido carboxílico hidroxilado reducen el contenido de agua de 5% a 8%, ya sea en concreto con o sin aire incluido.

El retardo de fraguado, se debe principalmente a:

- a) La presencia del aditivo en la superficie del cemento, dependiendo entre las fuerzas entre el aditivo y la superficie.
- b) Los grandes iones y moléculas del aditivo que son absorbidas por la superficie de las partículas del cemento.

A consecuencia de estos procesos, se impondrá una barrera adicional a la difusión de los productos de la hidratación, y por lo tanto, el proceso de endurecimiento se hace más lento.

3) Inclusión de Aire.- Los lignosulfonatos son inclusores de aire en diversos grados, generalmente en proporciones de 2% a 6%, aunque se sabe del empleo de dosis más elevadas. Este aditivo elaborado a base de agentes tenso-activos que adicionado al concreto genera microburbujas que se reparten uniformemente en la masa del concreto.

Existe un campo muy grande de materiales con los cuales se pueden obtener incorporadores o inclusores de aire, sin embargo no todos pueden producir la estructura de vacíos adecuada para combatir el hielo y deshielo, lo que ha motivado una gran labor de investigación por parte de los fabricantes y científicos para hallar las combinaciones más eficientes contra el fenómeno.

4) Acelerante de fragua.- El acelerante usado como ingrediente de muchos productos comerciales es el cloruro de calcio ($\text{Cl}_2 \text{Ca}$).

Su mecanismo de acción se da reaccionando con el Aluminato Tricálcico y actuando además como catalizador del silicato tricálcico provocando la cristalización más rápida en la forma de cristales fibrosos.

3.2 REALIDAD EN EL PERÚ SOBRE ADITIVOS PARA EL CONCRETO

En la actualidad, muchos de estos productos existen en el mercado, y los hay en estado líquido y sólido, en polvo y pasta.

En nuestro país, no es frecuente el empleo de aditivos por la creencia generalizada de que su alto costo no justifica su utilización en el concreto de manera rutinaria; pero si se hace un estudio detallado del incremento en el costo del metro cúbico de concreto (incremento que normalmente oscila entre el 0.5 al 5% dependiendo del producto en particular), y de la economía en mano de obra, horas de operación y mantenimiento del equipo, reducción de lazos de ejecución de las labores, mayor vida útil de las estructuras, etc.; se concluye en que el costo extra es sólo aparente en la mayoría de los casos, en contraposición a la gran cantidad de beneficios que se obtienen.

Adicional a esto, hay mucho desconocimiento sobre el uso y potencialidades de los aditivos, ya que al no ser productos de gran disponibilidad y consumo en el mercado local, son relativamente pocos los profesionales que tienen la oportunidad de emplearlos e investigar sus posibilidades con los materiales y condiciones locales.

Este círculo vicioso de no usar aditivos por su alto costo, los precios elevados de estos por ser el mercado pequeño y la poca investigación en cuanto a sus posibilidades en nuestro medio, trae como consecuencia el que en términos de desarrollo tecnológico en el Perú, la experiencia en su empleo es limitada sólo a algunos proyectos de cierta importancia, no existiendo una tecnología local organizada que comparta, aproveche y difunda los avances internacionales en este campo.

En las zonas de la Sierra del Perú donde se producen ciclos de hielo y deshielo, así como alternancias de temperatura que inducen fases de clima cálido y frío en un tiempo corto, es necesario el empleo de aditivos incorporadores de aire y acelerantes de fraguado para conjurar estos efectos, adicionalmente a las consecuencias no investigadas aún de la implicancias de la altura en el comportamiento del concreto.

En los más de cinco mil Kilómetros de Costa con ciudades y pueblos aledaños donde se emplea concreto armado en la construcción, es imperativo el uso de reductores de agua que hagan el concreto mas impermeable y durable contra la corrosión de las armaduras.

En la Selva aún desconocida en muchos aspectos, el empleo de agregados es un reto para el desarrollo de soluciones técnicas regionales, donde la gran cantidad de resina vegetal disponible, ofrece un campo ideal para el desarrollo de aditivos que pudieran colaborar en resolver dichos problemas. Como ejemplo podemos mencionar a los plastificantes retardadores que contienen los siguientes productos en porcentajes relativos al peso del cemento: El almidón, el bicarbonato de sodio, el ácido tartárico, la celulosa, el azúcar y resinas de maderas.

Cabe mencionar que las normas ASTM C-260 y C-494 establecen los requisitos que deben cumplir los aditivos para poder emplearse en concreto, siendo una herramienta útil para verificarlos, pero que no reemplaza a la prueba efectiva con el cemento, la mezcla y las condiciones de obra particulares que enfrentemos, en que debe cuidarse de comprobar su efectividad en forma científica, evaluando con métodos y pruebas estándar las propiedades que se modifican , de manera de poder cuantificarlas y obtener conclusiones valederas.

3.3 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN Y CON ADITIVO

La selección de las proporciones de los agregados a usar y de las cantidades de todos los componentes del concreto en el diseño de mezclas; deben ser los más adecuados y la combinación más conveniente y económica.

Para el diseño de mezcla del concreto patrón se siguieron referencias de tablas del ACI 211, y para la proporción de los agregados de halló por el método de máxima compacidad de los agregados.

3.3.1 ENSAYO DE MÁXIMA COMPACIDAD

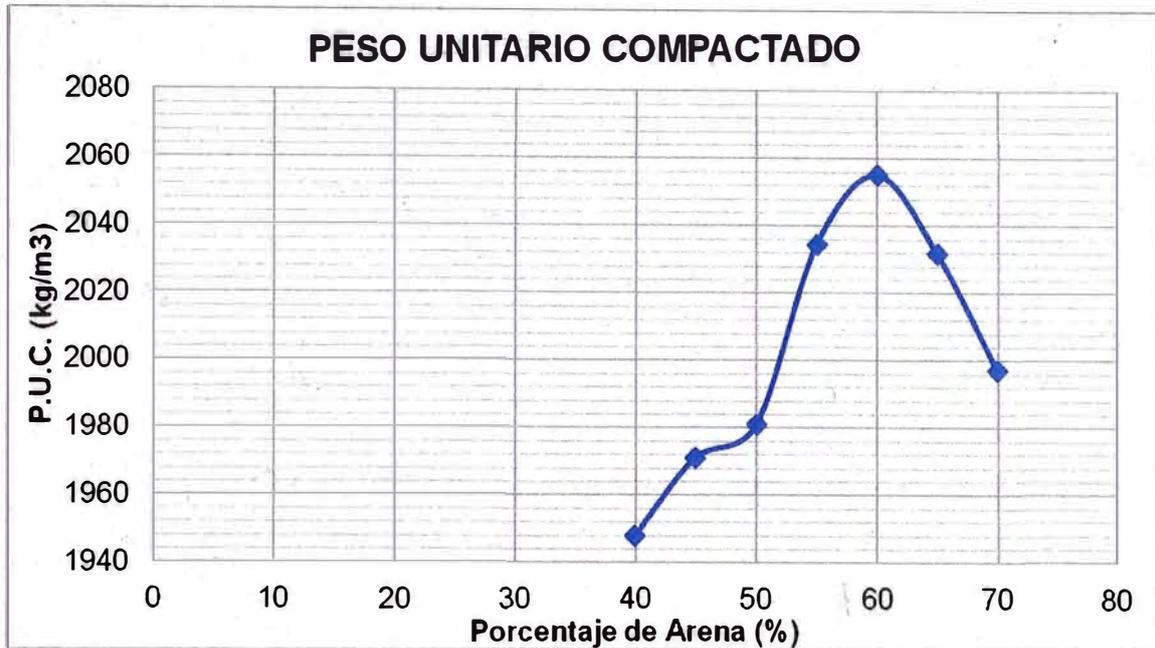
Con este ensayo se obtiene el máximo peso unitario compactado, y por medio de esto encontrar los porcentajes de arena y piedra que nos permita tener un mejor acomodo de los agregados y obtener una reducción de vacíos en el concreto. [14]

Por esto, el parámetro que nos definirá la mejor combinación de agregados será el máximo peso unitario compactado, para esto se tomaron porcentajes de arena y de piedra con variaciones porcentuales de 5% obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro N° 3.1: Resultados de ensayos de compacidad

| PROPORCIÓN DE AGREGADOS | | P.U.C. (Kg/m ³) |
|-------------------------|------------|--------------------------------|
| ARENA (%) | PIEDRA (%) | |
| 40 | 60 | 1947.87 |
| 45 | 55 | 1971.22 |
| 50 | 50 | 1980.92 |
| 55 | 45 | 2034.71 |
| 60 | 40 | 2055.39 |
| 65 | 35 | 2031.85 |
| 70 | 30 | 1997.14 |

Gráfica N° 3.1: Peso unitario compactado del agregado global.



En el cual se observa que el máximo peso unitario compactado lo dan las proporciones de arena/piedra de 60/40. Luego de esto se procedió a realizar el diseño de mezclas hallando el comportamiento de la resistencia de las proporciones cercanas a las de arena/piedra de 60/40.

3.3.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

- Elección de la relación agua/cemento (a/c), para el presente diseño la resistencia a la compresión a los 28 días es 200 kg/cm² por tanto de acuerdo a la tabla del ACI 211 la relación agua/cemento de 0.7 (Ver Anexo D).
- Elección del asentamiento: 3"-4".
- Estimación del aire atrapado para el Tamaño Máximo Nominal (T.M.N.) de 3/4" es de 2.0% referenciado de la tabla del ACI.
- Estimación del cemento para 1m³ es de 280 kg por metro cúbico.
- Calculando la cantidad de agua en la mezcla.

$$\text{Cantidad de agua} = \text{cemento} \cdot (a/c) = 196 \text{ kg/m}^3$$

f) Cálculo de volumen total de agregado en la mezcla.

$$\text{Vol. De agregado por m}^3 = 1 - (\text{vol. Agua} + \text{vol. cemento} + \text{vol. Aire})$$

$$\text{Vol. De agregado por m}^3 = 0.695 \text{ m}^3$$

g) Por el ensayo de máxima compacidad se tiene los porcentajes en peso de los agregados grueso y fino.

| | |
|-------------------------|-------|
| Porcentaje arena (%) = | 60.00 |
| Porcentaje piedra (%) = | 40.00 |

Propiedades del agregado fino

P.U.S. =1648.02 kg/m³

P.U.C. =1854.02

P.E. =2600.25

%absorción=1.716%

C.H.=2.25%

MF=3.04

Propiedades del agregado grueso

P.U.S. =1415.41 kg/m³

P.U.C. =1563.03

P.E. =2761.97

%absorción=1.145%

C.H.=3.8%

MF=6.865

T.M.N.=3/4

h) Cálculo del volumen de los agregados en estado seco por metro cúbico.

$$\text{Vol. arena} = [(\% \text{arena} / P.E \text{ arena}) / ((\% \text{arena} / P.E \text{ arena}) + (\% \text{piedra} / P.E \text{ piedra}))] * \text{vol. Agregados}$$

$$\text{Vol. Piedra} = [(\% \text{piedra} / P.E \text{ piedra}) / ((\% \text{arena} / P.E \text{ arena}) + (\% \text{piedra} / P.E \text{ piedra}))] * \text{vol. Agregados}$$

| | |
|------------------------------------|-------|
| Volumen arena (m ³) = | 0.427 |
| Volumen piedra (m ³) = | 0.268 |

i) Cálculo del peso de los agregados en estado seco por metro cúbico.

$$\text{Peso seco arena} = \text{vol. arena} * \text{peso específico arena}$$

$$\text{Peso seco piedra} = \text{vol. piedra} * \text{peso específico piedra}$$

| | |
|--------------------|---------|
| Peso arena (kg) = | 1110.31 |
| Peso piedra (kg) = | 740.21 |

j) Corrección del peso de los agregados por humedad.

$$\text{Peso húmedo de la arena} = \text{peso seco arena} * (1 + (\text{C.H. arena} / 100))$$

$$\text{Peso húmedo de la piedra} = \text{peso seco piedra} * (1 + (\text{C.H. piedra} / 100))$$

| | |
|--------------------|---------|
| Peso arena (kg) = | 1135.29 |
| Peso piedra (kg) = | 743.02 |

k) Corrección del agua de diseño.

$$\text{Agua de arena} = \text{peso seco arena} * (\% \text{ Abs. arena} - \% \text{ C.H. arena})$$

$$\text{Agua de piedra} = \text{peso seco piedra} * (\% \text{ Abs. Piedra} - \% \text{ C.H. piedra})$$

Corrección del agua = agua de arena + agua de piedra

Agua corregida = agua inicial + corrección de agua

| | |
|-----------------------|--------|
| Agua corregida (lt) = | 195.73 |
|-----------------------|--------|

Obteniéndose así el diseño detallado en el cuadro 4.1 para las siguientes características:

| | |
|-----------------------------|--------|
| Agua (kg/m ³) = | 196.00 |
| Relación a/c = | 0.70 |
| Arena (%) = | 60.00 |
| Piedra (%) = | 40.00 |

Cuadro N°3.2: Diseño Obtenido

| Materiales | DISEÑO SECO | | | DISEÑO EN OBRA | | | |
|----------------|--------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|--------|--------|
| | Peso (kg) | Volumen (m3) | DUS (Dis. Unit.) | Peso (kg) | DUO (Dis. Unit.) | CANT. | UNID. |
| Cemento | 280.00 | 0.089 | 1.000 | 280.00 | 1 | 1 | bolsas |
| Agua | 196.00 | 0.196 | 2.205 | 195.73 | 0.69905 | 29.71 | lt. |
| Arena | 1110.31 | 0.427 | 4.805 | 1135.29 | 4.05462 | 172.32 | Kg. |
| Piedra | 740.21 | 0.268 | 3.015 | 743.02 | 2.65364 | 112.78 | Kg. |
| Aire | | 0.020 | | | | | |
| Asentamiento = | 3/4" | | | | | | |

Se busco lograr un asentamiento que se encontrase en el rango de 3" – 4", para ello se varió la cantidad de agua, pero manteniendo constante la relación a/c y la relación de arena/piedra la obtenida del ensayo de máxima compacidad. [14]

| | |
|-----------------------------|--------|
| Agua (kg/m ³) = | 210.00 |
| Relación a/c = | 0.70 |
| Arena (%) = | 60.00 |
| Piedra (%) = | 40.00 |

Cuadro N° 3.3: Diseño obtenido para asentamiento en el rango de 3" – 4".

| Materiales | DISEÑO SECO | | | DISEÑO EN OBRA | | | |
|----------------|--------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|--------|--------|
| | Peso (kg) | Volumen (m3) | DUS (dise.Unit.) | Peso (kg) | DUO (dise.unit.) | CANT. | UNID. |
| Cemento | 300.00 | 0.095 | 1.000 | 300.00 | 1 | 1 | bolsas |
| Agua | 210.00 | 0.210 | 2.205 | 215.95 | 0.71983 | 30.59 | lt. |
| Arena | 1077.81 | 0.415 | 4.353 | 1095.33 | 3.65111 | 155.17 | Kg. |
| Piedra | 718.54 | 0.260 | 2.732 | 721.79 | 2.40595 | 102.25 | Kg. |
| Aire | | 0.020 | | | | | |
| Asentamiento = | 3 1/4" | | | | | | |

Por lo cual se obtiene el siguiente diseño patrón:

Cuadro N° 3.4: Diseño final para 1 m³.

| MATERIALES | DISEÑO PARA 1 M3 | |
|------------|------------------|--------|
| | CANTIDAD | UNIDAD |
| Cemento | 300.00 | Kg. |
| Agua | 215.95 | Lt. |
| Arena | 1095.33 | Kg. |
| Piedra | 721.79 | Kg. |

3.3.3 DOSIFICACIÓN CON ADITIVO

El aditivo a usar es un aditivo líquido que reduce la retracción por secado del concreto hasta en un 50%. El aditivo cumple con los requerimientos de retracción establecidos para el uso de aditivos en concreto especificado por la norma Suiza SIA 162 y no produce efectos indeseables en la calidad del concreto. [15]

El aditivo es especialmente apropiado para la producción de concreto nuevo o de segunda etapa de alto desempeño y durabilidad, de baja retracción química y por secado.

De esta forma la durabilidad de las estructuras es mayor. El aditivo puede ser empleado para todas las estructuras donde existan requerimientos de limitación del ancho máximo de fisuras de acuerdo con la norma Suiza SIA 162 3-33 y ENV 1992-Eurocódigo 2.

Los principales usos son:

- Tanques de agua potable o servida donde se requiera baja permeabilidad por reducido número y tamaño de fisuras.
- Vigas postensadas.
- Placas de pisos con mayor espaciamiento en las juntas.
- Encamisado o recrecimiento de columnas, teniendo en cuenta el diseño estructural y las precauciones de esta hoja técnica.
- Concretos en ambientes agresivos.

Debe considerarse que el ancho de fisura no solamente depende del diseño de la mezcla de concreto sino del diseño adecuado del acero de refuerzo y el sistema constructivo a emplear. El curado es necesario en el empleo de este tipo de concreto. [15]

Ventajas

El aditivo mejora la cohesión en los poros del concreto, de esta forma se reduce la pérdida de agua y en consecuencia la retracción es menor.

Reducción de la retracción por secado de hasta en un 50% dependiendo del diseño de mezcla del concreto. No modifica las resistencias finales del concreto. [15]

Modo de empleo

Dosis recomendadas: 1.0% al 4.0% del peso del cemento.

Adición:

El aditivo puede ser adicionado en el agua de amasado o vertido simultáneamente a ella durante el mezclado del concreto. Una vez adicionado mezclar a alta revolución durante al menos 1 minuto hasta observar homogeneidad en la mezcla de concreto.

El aditivo puede ser combinado con agentes incorporadores de aire para la producción de concreto resistente a las sales de deshielo. Permite reducir considerablemente la permeabilidad del concreto.

El aditivo no contiene cloruros u otro tipo de agente promotor de corrosión en el acero de refuerzo. Puede en consecuencia ser empleado en estructuras de concreto reforzado y pretensado. [15]

Datos técnicos

Base: Combinaciones de hidróxidos.

Aspecto: líquido café.

Densidad: 1.0 kg/l ± 0,02 kg/l.

pH : 10.5 ± 0.5. [2]

Diseño con aditivo

Para el diseño con aditivos se usara 4% del peso del cemento ya que en los datos técnicos que se menciono anteriormente se recomienda una dosis entre el 1 y 4 % del peso del cemento. Se calculó la cantidad de aditivo para un metro cúbico de concreto con la dosificación requerida.

Volumen de aditivo = 4% * (peso del cemento)

Cuadro N° 3.5: Diseño final para 1 m³ con aditivo.

| MATERIALES | DISEÑO PARA 1 M3 | |
|------------|------------------|--------|
| | CANTIDAD | UNIDAD |
| Cemento | 300.00 | Kg. |
| Agua | 203.95 | Lt. |
| Arena | 1095.33 | Kg. |
| Piedra | 721.79 | Kg. |
| Aditivo | 12 | Kg. |

3.4 MERCADO DE ADITIVOS

3.4.1 SIKA PERÚ

Sika Perú S.A. fue fundada el 08 de Agosto de 1994, como filial de Sika AG, firma internacional Suiza fundada en el año 1910.

Sika Perú S.A. cuenta con una amplia red de distribuidores autorizados en todo el país, complementando el sistema de mercadeo de los productos Sika. Con su departamento de Investigación y Desarrollo busca siempre responder las necesidades particulares de cada mercado, como un compromiso primordial con nuestros clientes.

Entre las principales obras se encuentran: Transvase Olmos, Consorcio Tren Eléctrico, Proyecto Especial Chavimochic, Canal Chato, Planta Huachipa, Mall Aventura Plaza, Proyecto Huascacocha y Reservorios Piura. [15]

Historia

Entre 1990 y 1995, 16 nuevas filiales fueron fundadas. Especialmente en Asia, Europa Oriental y en América Latina, reforzando su presencia. A pesar de ello, la década de 1990 no fue fácil. Sika combatía situaciones recesivas así como poca rentabilidad, que se atribuye a la fuerte competencia y el aumento de precios de las materias primas. La solución se logró mediante la renuncia a negocios menos lucrativos, tales como la construcción de robots para rehabilitar líneas de alcantarillado, la fabricación de productos para la construcción de carreteras y su negocio de membranas impermeables Sarna.

Desde el año 2000, Sika resume sus competencias básicas de la siguiente manera: sellado, pegado, amortiguación, refuerzo y protección. Desde el techo hasta el piso, Sika intento convertirse en el líder del mercado en estas disciplinas tecnológicas.

Desde 2006, todas las actividades de marketing y las ventas han estado orientadas a través de nuevas unidades de negocio, dirigido a los cuatro

grupos de clientes más importantes "de Distribución", "Contratistas", "Concreto" e "Industria". [15]

3.4.2 Z ADITIVOS

Z Aditivos, empresa 100% peruana líder en la fabricación de aditivos para la construcción, con una línea completa en el mercado de súper adhesivos impermeabilizados. Z Aditivos, una compañía que fabrica y comercializa aditivos para el concreto con cerca de 113 productos para la industria de la construcción, con 25 años en el mercado nacional consolidándose como empresa peruana líder en el sector. [19]

Historia

Z. Aditivos S.A. fue fundada como una empresa familiar en el año de 1987, habiendo cumplido ya 25 años al servicio de la industria en el Perú. Se inicio en el distrito del Rímac en un local de aproximadamente 80 m² con un stock reducido (12 productos); luego ya en 1992 se aumento la producción (30 productos), debido al aumento en la variedad de los productos ofrecidos tuvo que mudarse a un local más amplio en la Panamericana Norte en la zona industrial del distrito de Independencia, ya en 1998 con 90 productos aproximadamente y con la maquinaria especializada, se trasladaron al distrito de Chorrillos a un local de 1000 m² y en el cual se encuentran actualmente con miras de ampliar la empresa una vez más.

La empresa cuenta con sus propios canales de distribución. Tienen distribuidoras en Piura, Chiclayo, Trujillo, Lima, Arequipa, Cusco. Además cuenta con un ISO 9001 que ofrece calidad de funcionamiento a los clientes. Z aditivos exporta a varios países tanto en Sudamérica como en Centroamérica. [19]

3.4.3 CHEMA

Chema es una empresa fundada hace más de 41 años por Fernando Maggi Vega, quien creó la primera empresa peruana fabricante de aditivos y productos para la construcción, colocándose a la vanguardia del mercado nacional y extranjero. Chema posee tres modernas plantas de fabricación con tecnología de punta en Lima, Arequipa y Chiclayo, donde elabora sus productos con los más altos estándares de calidad contando para ello con la certificación ISO 9001 en todos sus procesos de fabricación, venta y distribución.

El reconocimiento a la calidad de sus productos se ha manifestado mediante la obtención de diversos premios a lo largo de su trayectoria permitiendo ingresar a competitivos mercados extranjeros como Ecuador, Colombia, Costa Rica y Estados Unidos. [4]

Historia

Las empresas ITICSA y CHEM MASTER DEL PERÚ S.A. fueron fundadas hace 41 años por Fernando Maggi Vega, quien creó la primera empresa peruana productora de aditivos y productos para la construcción. Desde entonces Chema es protagonista y líder en su género, colocándose a la vanguardia de este mercado por encima de competidores extranjeros y nacionales. Desde su fundación ha participado en las obras de ingeniería civil más importantes y de mayor relevancia en la historia de nuestro país.

Durante el año 2009, Chema ha inaugurado dos modernas plantas en las ciudades de Chiclayo y Arequipa, contribuyendo así con el desarrollo económico de estas regiones y la descentralización del país. [4]

3.5 NANOTECNOLOGÍA APLICADA A LA EVOLUCIÓN DEL CONCRETO

3.5.1 PRINCIPIO DE UTILIZACIÓN DE LA NANOSÍLICE

Los aditivos fueron perfeccionándose y se crearon los superplastificantes con los que se llegó hasta 1000 Kg/cm² de resistencia a la compresión. Luego se incorporó la microsíllice con la que se llegó hasta 1500 Kg/cm² de resistencia a la compresión. Todo este avance está basado en el principio de que en la pasta de cemento hay vacíos y en la medida de que haya menos vacíos la resistencia aumenta, es así que se ha incursionado con la adición de microsíllice en un primer momento, pero aún siguen subsistiendo pequeños poros en el concreto que pueden ser ocupados por nanopartículas, este es el caso de la nanosíllice la cual aumentará la resistencia a la compresión, así como también habrá mejoras en otras propiedades. [18]

Las investigaciones sobre el desarrollo de mortero con nanosíllice en el 2007 desarrolladas por Byung Wan Jo, Chang Hyun Kim y Jae Hoon Lim, publicadas en la KSCE Journal of Civil Engineering, dan como resultado de los exámenes que la nanosíllice se comporta bien no solo como una pasta para el relleno para mejorar la microestructura, sino que también como un activador para promover reacciones puzolánicas.

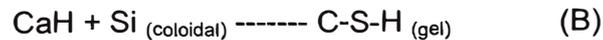
3.5.2 NANOSÍLICE

➤ Definición

Nanosíllice es una sílice coloidal que consiste en partículas micro-finas de dióxido de silicio amorfo (SiO₂), dispersas en el agua. La superficie de las partículas de SiO₂ es cargada por los iones hidroxilo formados por la pérdida de protones de las moléculas de agua en los espacios entre los átomos de oxígeno de la estructura del SiO₂.

Teóricamente las nanopartículas de sílice coloidal reaccionan con los iones de calcio producidos durante las etapas de la hidratación del cemento(A), formando un gel de silicato de calcio (CSH) (B). En otras palabras, el mecanismo químico es similar a la reacción puzolánica, pero con un componente de alta pureza con una superficie específica muy alta (alrededor

de 50000 m²/kg) y activa como se muestran en las expresiones a continuación. [5]



➤ Características y propiedades de la nanosílice

La nanosílice SIKA STABILIZER 100 es proporcionado por la empresa SIKA y se presenta en forma líquida. [15]

A) Descripción

Sika stabilizer 100 es un líquido transparente basado en sílice coloidal.

B) Usos

Sika stabilizer 100 es usado cuando se requiere controlar la estabilidad, la segregación y la pérdida de agua del concreto haciéndolo más cohesivo resistente al ataque por sulfatos.

C) Ventajas

Sika stabilizer 100 incrementa la resistencia a edades tempranas y también mejora las resistencias finales. Disminuye la permeabilidad. Ideal para la fabricación de concretos durables específicamente resistentes al ataque por sulfatos. Mejora la cohesividad de concretos autocompactantes. Disminuye el rebote en concretos proyectados.

D) Modo de empleo

Dosis recomendada: 0.1 % a 1.5 % del peso de cemento, exceso en las dosificaciones puede afectar la manejabilidad.

Adición: Sika stabilizer 100 puede ser adicionado al concreto con el agua de mezclado, se recomienda el empleo de dosificadores por peso o volumen para una adecuada dosificación. Se recomienda mezclar entre

90 y 180 segundos dependiendo del tipo de mezclador. Utilizar acompañado de aditivos reductores de agua de alto poder.

El efecto puede variar dependiendo del tipo de cemento usado. Se deben hacer evaluaciones con los materiales y bajo las condiciones de la obra para determinar la dosis ideal.

E) Datos técnicos

Apariencia liquido inodoro y transparente.

Densidad 1.1kg/cm³.

➤ Aplicación de la nanosílice

Uso conjunto de la nanosílice estabilizada y la microsílice en concretos expuestos al ambiente marino específicamente en el Mar Caribe. Se contó con la colaboración de Ulmen (España) y Tecnosil (Brasil). [17]

El diferente tamaño de partícula convierte a ambos materiales en adiciones silícicas activas totalmente diferenciadas, tanto por su eficiencia como por el fundamento de su actuación, lo que proporciona propiedades diferentes a los productos elaborados con ellos por separado. Su efecto es totalmente complementario. [17]

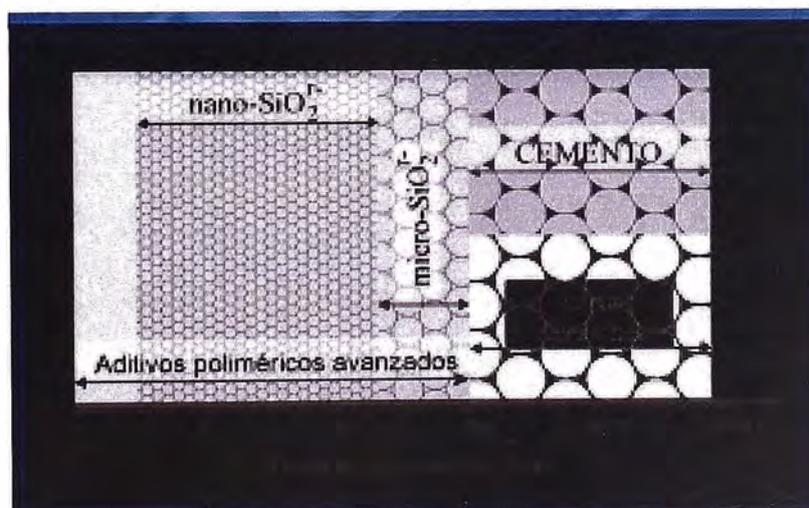


FIGURA N°3.1: Tamaño de partícula

Las consecuencias sobre las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con el uso de la nanosílice y microsílice son entre otras:

- Menor relación agua/cemento para una determinada consistencia en concretos de altas prestaciones.
- Buena mantención de la trabajabilidad o docilidad (asentamiento del cono de Abrams) incluso en climas cálidos.
- Permite reemplazar determinada cantidad de cemento manteniendo las propiedades e incluso mejores.
- Un aumento de la resistencia mecánica inicial y mayor resistencia mecánica con igual e incluso menor contenido de cemento Portland.
- Mayor resistencia a la segregación y a la exudación superficial, lo que le confiere además un mejor acabado superficial.
- Una permeabilidad extremadamente reducida al agua del concreto y gran resistencia al transporte por difusión de especies iónicas; mayor durabilidad frente al ataque del agua de mar debido a los iones sulfato y al ingreso de los iones cloruro, y una menor carbonatación.

3.6 CONCRETO TRANSLÚCIDO

El concreto translúcido es un concreto polimérico diseñado bajo patente Mexicana, que incluye cemento, agregados y aditivos. Permite el paso de la luz y desarrolla características mecánicas superiores a las del concreto tradicional. Este producto permite levantar paredes casi transparentes, más resistentes y menos pesadas que el cemento tradicional. [6]

La estructura de este concreto permite hasta un 70% el paso de la luz, haciéndolo ideal para el ahorro de luz eléctrica y el uso de materiales de acabado como yeso y pintura logrando así una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. El producto podría ser valioso en la construcción de edificios ecológicos, ya que posibilitaría la moderación e incluso mitigación del paso de calor. [6]

3.6.1 CUALIDADES

Las cualidades del concreto translúcido son poder alcanzar una resistencia de hasta 450 kg/cm²; al mezclarse se sustituye la grava y la arena por resinas y fibras; y ofrecen una consistencia impermeable junto con una mayor resistencia al fuego. [7]

El concreto translúcido representa un avance en la construcción de plataformas marinas, presas, escolleras y taludes en zonas costeras, ya que bajo el agua sus componentes no se deterioran y es 30 por ciento más liviano que el concreto convencional. Su fabricación es igual a la del concreto común. [7]

3.6.2 COMERCIALIZACIÓN

Actualmente el cemento translúcido se comercializa en dos formas: prefabricado y el aditivo llum. [7]

3.6.3 PREPARACIÓN

La preparación de los concretos no requiere equipo especial, se realiza con la maquinaria convencional. El curado también es tradicional, igual al que se usa en obra, sin requerir de tratamientos térmicos o de laboratorio especiales. [6]

Sobre su utilización en la construcción de casas ubicadas en zonas de sismos sería igual que emplear el concreto tradicional, porque no cambia su naturaleza, ambos son quebradizos y en general no presentan tanta resistencia a los terremotos. [2]

3.6.4 DESVENTAJAS

Una de las desventajas es que por su alto grado de transparencia, las estructuras internas de la construcción quedan a la vista, lo que al cabo de un tiempo podría resultar antiestético pero gracias a los avances tecnológicos de la ingeniería civil se está buscando la forma de que con un buen acabado, el acero de las columnas y otros materiales, puedan ser agradables para la vista al grado de obtener una apariencia natural y muy orgánica.

Otra desventaja es que al ser por el momento un concreto no normado como concreto estructural pese a su alta resistencia a la compresión y otras propiedades físicas su uso es exclusivo como elemento arquitectónico, o como divisor de ambientes donde se requiera mayor cantidad de luz.

3.7 PREDICCIÓN CON REDES NEURONALES

3.7.1 DEFINICIÓN DE REDES NEURONALES

Una red neuronal artificial es un procesador distribuido en paralelo de forma masiva que tiene una tendencia natural para almacenar conocimiento de forma experimental y lo hace disponible para su uso.

Las redes neuronales artificiales son conocidas también como modelos conexionistas. Las conexiones sirven para transmitir las salidas de unos nodos a las entradas de otros. El funcionamiento de un nodo es similar al de las neuronas biológicas presentes en el cerebro. [8]

3.7.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED

La matriz de entrada son los datos obtenidos de las tesis de grado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. la matriz antes mencionada está formada por 5 filas que son las variables conocidas de cada diseño de mezcla y 15 columnas que es la cantidad de probetas ensayadas a esfuerzo a la compresión.

Cuadro N° 3.6: Muestra de ensayos en laboratorio de 17 probetas de concreto.

| | columna 1 | columna 2 | columna 3 | columna 4 | columna 5 | columna 6 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| fila 1 | 300 | 356.4 | 402 | 482.2 | 662.5 | 356.4 |
| fila 2 | 215.95 | 196 | 201 | 217 | 265 | 196 |
| fila 3 | 1095.33 | 762.4 | 712.1 | 647.3 | 369.5 | 818.1 |
| fila 4 | 721.79 | 1050.4 | 1047 | 1007.7 | 1023.2 | 1009.7 |
| fila 5 | 5.34 | 5.32 | 5.38 | 5.43 | 5.89 | 5.22 |

| | columna 7 | columna 8 | columna 9 | columna10 | columna11 | columna12 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| fila 1 | 402 | 482.2 | 662.5 | 356.4 | 402 | 482.2 |
| fila 2 | 201 | 217 | 265 | 196 | 201 | 217 |
| fila 3 | 747.5 | 701.4 | 435.8 | 866.9 | 795.1 | 745.9 |
| fila 4 | 1029.7 | 966 | 955.7 | 960.1 | 981.2 | 920.7 |
| fila 5 | 5.32 | 5.32 | 5.72 | 5.12 | 5.22 | 5.22 |

| | columna 13 | columna 14 | columna 15 | columna 16 | columna 17 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|
| fila 1 | 662.5 | 356.4 | 402 | 482.2 | 662.5 |
| fila 2 | 265 | 196 | 201 | 217 | 265 |
| fila 3 | 510 | 915.9 | 842.6 | 790.5 | 583.3 |
| fila 4 | 880.2 | 910.3 | 932.9 | 875.3 | 805.6 |
| fila 5 | 5.52 | 5.02 | 5.12 | 5.12 | 5.32 |

Fuente: Cachay Huamán, Rafael “Diseño de mezclas, método del agregado global y modulo de finura para concretos de mediana a alta resistencia”, Tesis de grado, Lima, Perú, 1995.

Cuadro N° 3.7: Muestra de ensayos en laboratorio de 6 probetas.

| | Columna 18 | Columna 19 | Columna 20 | Columna 21 | Columna22 | Columna 23 |
|--------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| fila 1 | 477.78 | 466.67 | 477.78 | 477.78 | 587.5 | 410 |
| fila 2 | 219.67 | 210 | 215 | 215 | 235 | 205 |
| fila 3 | 736 | 692.15 | 730.45 | 780.18 | 710.21 | 820.42 |
| fila 4 | 946.26 | 1007.66 | 942.42 | 891.03 | 811.12 | 936.99 |
| fila 5 | 5.45 | 5.77 | 5.84 | 5.24 | 5.49 | 5.61 |

Fuente: Flores Huamani, Mauro “Estudio de las propiedades del concreto pesado de alta resistencia utilizando cemento portland tipo I y un aditivo superplastificante”, Tesis de grado, Lima, Perú, 2005.

Cuadro N° 3.8: Descripción de cada fila de los componentes de mezcla.

| | |
|--------|---------|
| fila 1 | Cemento |
| fila 2 | Agua |
| fila 3 | Arena |
| fila 4 | Piedra |
| fila5 | M.F.G. |

Se define el vector esfuerzo a la compresión; éstos son los resultados a los cuales se desea llegar, además serán usados 15 valores para entrenar la red neuronal.

Cuadro N° 3.9: Vector resistencia a la compresión.

| | |
|---------|-------|
| fila 1 | 259.4 |
| fila 2 | 337.2 |
| fila 3 | 349.2 |
| fila 4 | 351.5 |
| fila 5 | 373.7 |
| fila 6 | 336.3 |
| fila 7 | 364 |
| fila 8 | 368.8 |
| fila 9 | 375.5 |
| fila 10 | 344.2 |
| fila 11 | 340.8 |
| fila 12 | 372 |
| fila 13 | 389 |
| fila 14 | 370 |
| fila 15 | 370.8 |

3.7.3 Predicción de la resistencia a la compresión con el MATLAB. [8]

La forma más fácil de crear una red neuronal en MATLAB es usar una de las funciones de creación de redes del ToolBox de redes neuronales, como las funciones `fitnet`, `feedforwardnet`, `train`. Las funciones antes mencionadas se encuentran en la versión 2011 del Matlab.

El flujo de trabajo para el proceso general de diseño de la red neuronal tiene seis pasos:

- Colectar la data.
- Crear la red.
- Configurar la red.
- Inicializar los pesos y las constantes.
- Entrenar la red.
- Validar la red (análisis post-entrenamiento).
- • Usar la red.

La predicción que mejor se adapta a las verdaderas resistencias a la compresión es la calculada utilizando la red neuronal con la función fitnet con 10 neuronas.

Se describe a continuación el procedimiento para predecir la resistencia a la compresión de 23 muestras recabadas de las tesis de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil.

- a. Se realiza el entrenamiento de la red neuronal con las muestras donde se conoce la resistencia a la compresión. La matriz de entrada está formada por los 15 primeros valores indicados en el cuadro N° 3.1 donde se tiene 5 filas que son las variables descritas en el cuadro N°3.3.
- b. Los $f'c$ de cada muestra se indican en el vector de resistencia a la compresión cuyos valores están en el cuadro N° 3.4.
- c. Con ayuda de la ventana del Workspace del Matlab se guarda la matriz de entrada; en este caso los datos están almacenados en la variable "x" y el vector de resistencia a la compresión en la variable T. Ambas variables se encuentran en el archivo "predecir_fprimac" (ver figura N° 3.2).

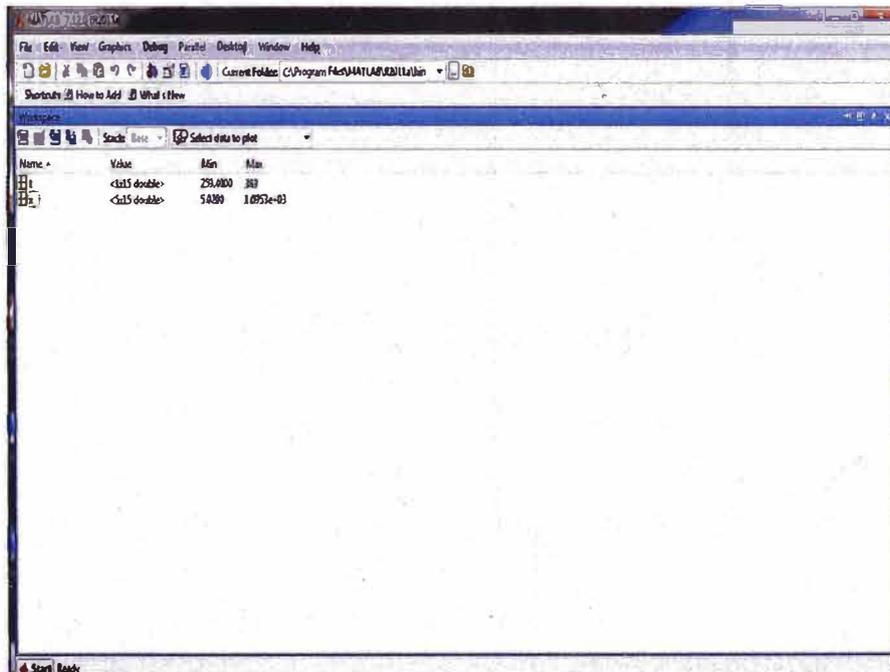


Figura N° 3.2 Ventana del Workspace mostrando la matriz de entrada

- d. La codificación del programa para ajuste de curva se llama "ROBIN_fitnet_10vers2" (ver Anexo A).
- e. En el Matlab se escribe el nombre "ROBIN_fitnet_10vers2" y se ejecuta el programa para calcular los pesos óptimos de la red neuronal que permite predecir la resistencia a la compresión.
- f. El programa se entrena varias veces (ver figura N° 3.3) hasta que el promedio de error de las 15 muestras sea mínima.

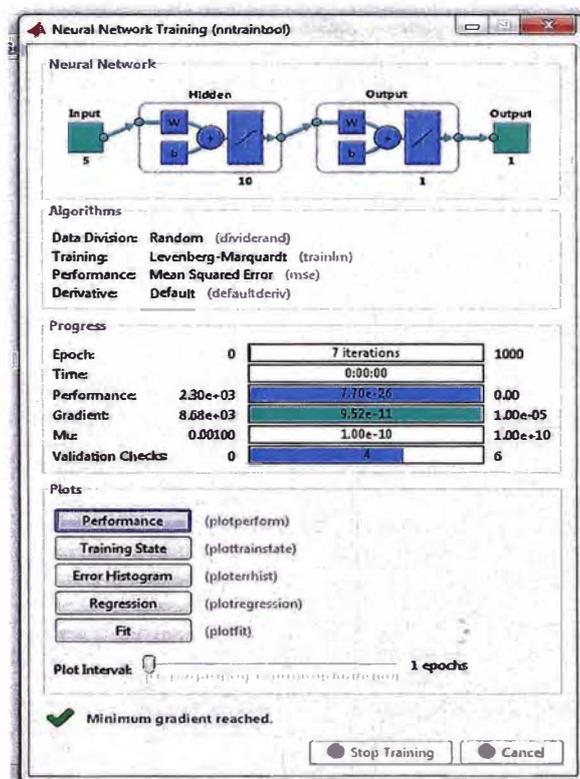


Figura N° 3.3 Ventana del Matlab mostrando el entrenamiento de la net

- g. Una vez obtenido el error mínimo lo que vamos a utilizar del programa es la red neuronal entrenada que se guarda en un icono cuya forma es un cubo que se conoce como net.

El error promedio es 0.87 %. (Ver figura N° 3.4).

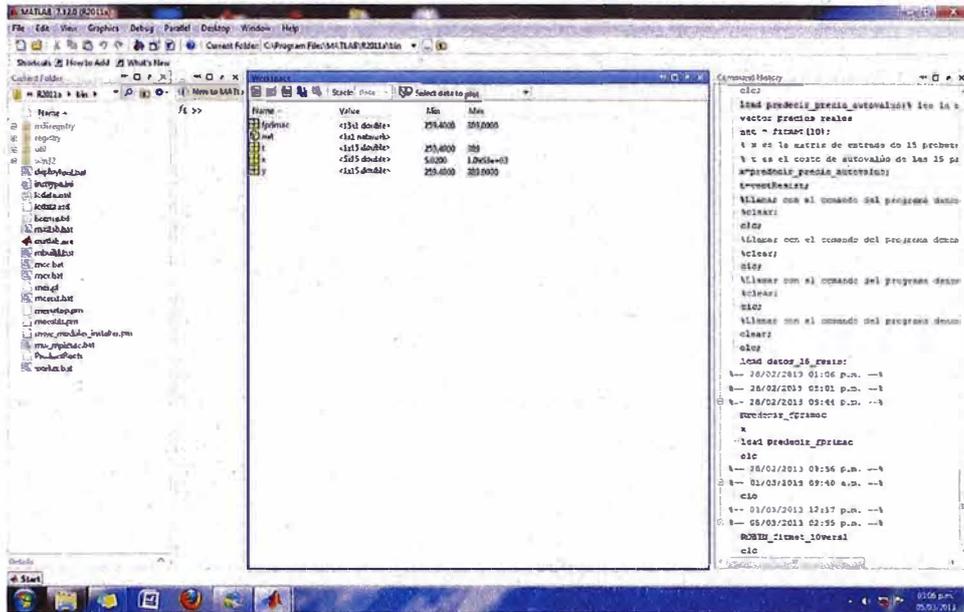


Figura N° 3.4 Ventana del Matlab mostrando la red neuronal entrenada

h. Ingresamos las 23 muestras y con la net entrenada, codificamos el programa "fitnet_23muestras" (ver Anexo C).

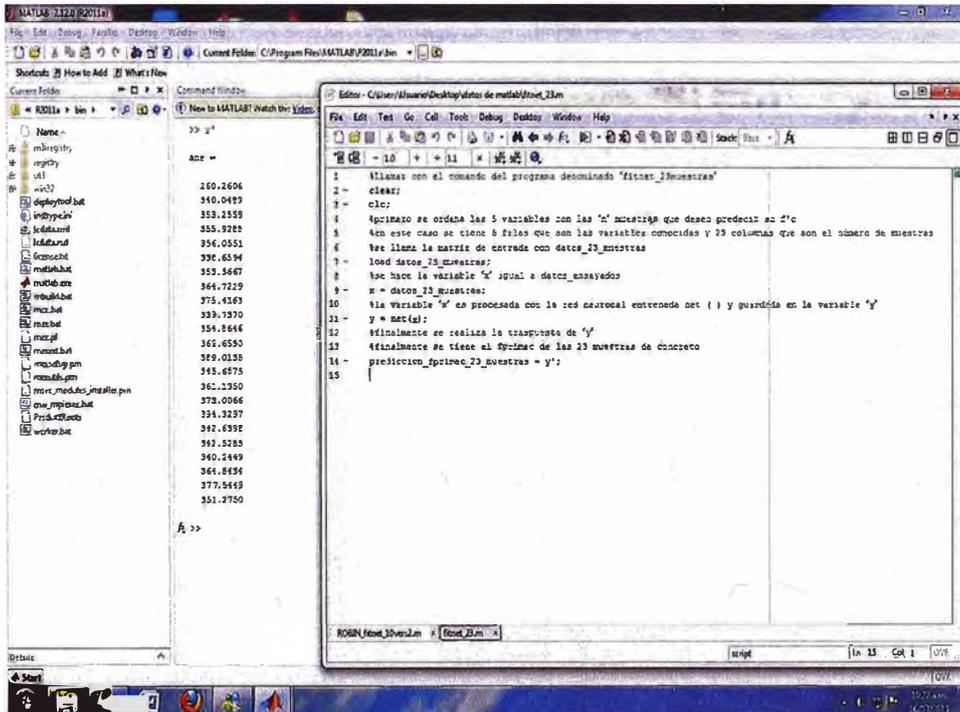


Figura N° 3.5 Ventana del Matlab entregando el vector resistencia

Cuadro 3.10: Cuadro comparativo.

| F'C DE LAS MUESTRAS | F'C CON MATLAB | ERROR (%) |
|---------------------|----------------|-----------|
| 259.4 | 260.2 | 0.31 |
| 337.2 | 340 | 0.82 |
| 349.2 | 353.2 | 1.13 |
| 351.5 | 355.9 | 1.24 |
| 373.7 | 356.1 | 4.94 |
| 336.3 | 338.6 | 0.68 |
| 364 | 353.4 | 3.00 |
| 368.8 | 364.7 | 1.12 |
| 375.5 | 375.4 | 0.03 |
| 344.2 | 339.7 | 1.32 |
| 340.8 | 354 | 3.73 |
| 372 | 369.7 | 0.62 |
| 389 | 389 | 0.00 |
| 370 | 345.7 | 7.03 |
| 370.8 | 361.1 | 2.69 |
| 366.8 | 373 | 1.66 |
| 384.17 | 394.3 | 2.57 |
| 342.37 | 342.6 | 0.07 |
| 352.15 | 342.5 | 2.82 |
| 352.15 | 340.4 | 3.45 |
| 352.15 | 364 | 3.26 |
| 397.34 | 377.5 | 5.26 |
| 342.4 | 351.2 | 2.51 |

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La industria, en el Perú, fabrica aditivos pero donde radica el desarrollo es en la investigación y creación de nuevos aditivos, de ésta manera serian más económicos y de uso masivo.
- Un gran obstáculo en el camino de la investigación, es no contar con recursos suficientes. La gran mayoría de las investigaciones se realizan con la inversión de empresas, las mismas que invierten con la finalidad de ofrecer sus productos y una vez que lo consiguen dejan de invertir.
- Para realizar un estado del arte es necesario conocer el antes del diseño de mezcla y hacia donde apunta el desarrollo del diseño, así el lector tendrá una visión general del tema.
- Conociendo y clasificando los componentes de los aditivos se llegarían a conocer otros aditivos siempre y cuando se siga profundizando en el tema mediante investigaciones posteriores.
- Se puede predecir el resultado de un ensayo de resistencia a la compresión con un error bajo, tomando en cuenta los parámetros que se explican en el presente informe y gracias a la ayuda del software de programación que existe hoy en día.
- Con el uso de redes neuronales es posible tomar más parámetros de los que se mencionan en el informe es decir más componentes de mezcla para el diseño de concreto como por ejemplo la cantidad de aditivo incorporador de aire.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable que la mezcla seleccionada sea preparada bajo condiciones de laboratorio controladas, ya que se puede apreciar si el concreto tiene las propiedades que se consideran necesarias. Por otro lado, el diseño no puede ser considerado satisfactorio hasta que el concreto se prepare bajo condiciones de obra, asegurándose que las propiedades de la mezcla son las que realmente se desea y que el concreto puede ser preparado en obra como lo requieren las especificaciones.
- El empleo de tablas y gráficos, y los resultados con que ellos se obtengan, deben ser siempre considerados sólo como una primera etapa en la selección de las proporciones de la mezcla, debiendo ser seguidos, siempre que ello sea posible, por la preparación de mezclas de prueba tanto en obra como en laboratorio.
- Debe considerarse que cada mezcla es un caso diferente, que no existen recetas únicas para todos los casos, y que la intervención del ingeniero en la selección de las proporciones de los diferentes materiales de la unidad cúbica de concreto, convierten a este proceso tanto en una ciencia como en un arte.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agrupación de Fabricantes de Cemento de Cataluña. Las edades del cemento, en <http://www.ciment-catala.org>.
2. Arquicity,(2013).Hormigón translúcido sin fibra óptica <http://www.arquicity.com/>.
3. Cachay Huamán, Rafael “Diseño de Mezclas, método del agregado global y modulo de finura para concretos de mediana a alta resistencia”, Tesis de grado, Lima, Perú, 1995.
4. CHEMA, (2013). Historia, <http://www.iticsa.com/>.
5. Collepardi M., Ogoumah Olagot, Troli R., Simonelli F., (2004). “Combination Silica Fume, Fly Ash and Amorphous Nano-Silica in Superplasticized High-Perfomance Concretes”, Enco Enginnering Concrete, Italia.
6. Concretos translúcidos (2009). “Concretos translúcidos” (en español). Grupo FBX. <http://www.concretostranslucidos.com/>.
7. El Universal, (2006). Luz a través del concreto, <http://www.eluniversal.com.mx/>.
8. Enriquez Cañazaca, Robin Vidal “Predicción del costo de autovalúo de viviendas mediante redes neuronales con aplicación al centro poblado Santa Cruz-Vegueta-Huaura”, Tesis de grado, Lima, Perú, 2012.
9. Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado. Historia del hormigón.
10. James Strike, Salvador; Pérez Arroyo, María Jesús (2004). De la construcción a los proyectos. Ed. Reverté.

11. Gomero Cervantes, Berta Wendy “Aditivos y Minerales para el concreto”, Lima, Perú, 2001.
12. Rivva López, Enrique “Concretos de Alta Resistencia”, Instituto de la Construcción y la Gerencia, Lima-Perú, 2002.
13. Rivva López, Enrique “Diseño de Mezclas”, segunda edición, Lima-Perú, 2012.
14. Rodríguez Dávila Pamela, (2010). Estudio del concreto con aditivo reductor de contracción, utilizando cemento portland tipo I, Perú.
15. Sika Perú S.A. - Sika Group, (2013). Productos, <http://www.per.sika.com/>.
16. Solá-Morales Rubió, Ignasi (2001). Introducción a la arquitectura. Conceptos fundamentales.
17. Talero Rafael, Téllez Elena, Bayarri Rubén, Fortuño José Manuel, Pompiani Roberto y Delgado Alberto. Simposio de la Química aplicada a la Construcción. Nanosílice estabilizada y microsílice para materiales cementantes expuestos al ambiente marino. Aplicación al caso del Mar Caribe. 2012. La Habana, Cuba.
18. Wan Jo, Chang Hyun Kim, and Jae Hoon Lim, (2007). “Investigations on the Development of Powder Concrete with Nano-Silice Particles”, KSCE Journal of Civil Engineering, EE.UU.
19. Z ADITIVOS S.A., (2013). Historia, <http://www.zaditivos.com.pe/>.

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO DEL PROGRAMA

**ANEXO B: DESCRIPCIÓN DE LOS COMANDOS DEL PROGRAMA EN
MATLAB**

ANEXO C: CODIFICACIÓN PARA PREDECIR EL F 'C DE "N" MUESTRAS

**ANEXO D: RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DEL CONCRETO.**

Anexo A: Código del programa

```
%Llamar con el comando del programa denominado
"ROBIN fitnet 10vers2"
%clear;
clc;
load predecir fprimac;% lee la matriz de entrada y el vector resis
net = fitnet(10);
% x es la matriz de entrada de 15 probetas
% t es el fprimac de las 15 probetas
[net,tr] = train(net,x,t);
y = net(x);
fprimac=y';
yabs=abs(y);
d=t-yabs;
dabs=abs(d);
i=t.^-1 ;
e=dabs.*i;
error=abs(e);
error_fitnet=error';
error_promedio=mean(error)*100
maximo_error=max(error)*100
minimo_error=min(error)*100
```

Anexo B: Descripción de los comandos del programa en Matlab

fit.- Es un comando de ajuste de curvas.

fitnet.- Es una función del Matlab que es una red neuronal apropiada para ajuste de curvas, la cual nos ayudara a predecir el f 'c sin importar la cantidad de datos.

load.- Es el comando que carga los datos de un archivo en el espacio de trabajo; en el presente informe carga las matrices "x" y "t".

net.- Es un comando que crea una red.

train.- Es una función que enseña o entrena una red. En el presente informe ayuda a entrenar una red de 15 datos reales.

view.- Es un comando que permite ver los datos de las matrices de ingreso y ver los resultados en la ventana de comandos.

Anexo C: Codificación para predecir el f'c de "n" muestras

```
%Llamar con el comando del programa denominado "fitnet 23muestras"  
clear;  
clc;  
%primero se ordena las 5 variables con las "n" muestras que deseo  
predecir su f'c  
%en este caso se tiene 5 filas que son las variables conocidas y  
23 columnas que son el número de muestras  
%se llama la matriz de entrada con datos 23 muestras  
load datos_23_muestras;  
%se hace la variable "x" igual a datos_ensayados  
x = datos_23_muestras;  
%la variable "x" es procesada con la red neuronal entrenada net (  
y guardada en la variable "y"  
y = net(x);  
%finalmente se realiza la traspuesta de "y"  
%finalmente se tiene el fprimac de las 23 muestras de concreto  
prediccion_fprimac_23_muestras = y';
```

Anexo D: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

| RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'cr) (kg/cm ²) | RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO | |
|--|---|-------------------------------|
| | CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO | CONCRETO CON AIRE INCORPORADO |
| 450 | 0.38 | --- |
| 400 | 0.43 | --- |
| 350 | 0.48 | 0.4 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 200 | 0.7 | 0.61 |
| 150 | 0.8 | 0.71 |