

Sindry Gabriela Asig Chiquín

PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE
CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS
DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM
EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA
VERAPAZ.



Asesor General Metodológico:
Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda

Universidad Rural de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2023

Informe final de graduación.

PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE
CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS
DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM
EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA
VERAPAZ.



Presentado al honorable tribunal examinador por:

Sindry Gabriela Asig Chiquín

En el acto de investidura previo a su graduación como Licenciada en Ingeniería
Civil con énfasis en Construcciones Rurales

Universidad Rural de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2023

Informe final de graduación.

PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE
CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS
DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM
EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA
VERAPAZ.



Rector de la Universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretario de la Universidad:

Licenciado Mario Santiago Linares García

Decano de la Facultad de Ingeniería:

Ingeniero Luis Adolfo Martínez Díaz.

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2023

Esta tesis fue presentada por la autora, previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales.

Prólogo

El presente documento ha sido preparado como una herramienta útil para ampliar y profundizar en el conocimiento de la tecnología del concreto específicamente sobre el diseño y los pasos a seguir para proporcionar una mezcla de concreto en base a las necesidades que existen en el medio.

Este documento está dirigido a los estudiantes universitarios y personas que se desarrollan dentro del ámbito de la construcción que desean adquirir y perfeccionar sus conocimientos para realizar un buen diseño de mezcla de concreto por el método ACI aquí expuesto.

Se elaboró conforme a los requerimientos establecidos por el Programa de Graduación de Universidad Rural de Guatemala y previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales, se realizó el presente trabajo de graduación titulada “Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz”.

Se utilizó información bibliográfica de libros y fuentes sobre diseño de concreto en conjunto de métodos, técnicas y herramientas relevantes para identificar la problemática central y darles una solución a los altos costos de los agregados utilizados actualmente en la mezcla de concreto que da lugar a riesgo de pérdidas financieras.

Se realizaron varias inspecciones y evaluaciones a través de la interacción y participación de los jefes y encargado de los diferentes departamentos que conforman la empresa, a quienes se les agradece el apoyo y se les dedica este trabajo, con quienes se compartieron experiencias con las cuales se espera haber aportado en su formación.

Presentación

La importancia fundamental de esta investigación se basa en proporcionar y facilitar al lector un mejor entendimiento sobre el diseño ACI para mezcla de concreto, en donde se debe tomar en cuenta diferentes elementos o factores; es necesario estudiar, conocer e investigar nuevas alternativas de agregados que permitan dar soluciones para mejorar la producción del concreto, en el cual se logre reducir costos y, en general, mejorar la calidad.

Es necesario destacar la necesidad de adaptar estos nuevos agregados a las condiciones técnicas, económicas y financieras, en el cual no representen un riesgo innecesario. Dentro de los anteriores ordenes de ideas se da un énfasis a las propiedades y características de los materiales que forman parte del concreto, quienes permitan mejorar cada vez más las relaciones beneficio/costo para la empresa, por ser el concreto la mayor fuente de ingreso dentro de la misma.

La propuesta para la solución de la problemática se realizó desde el mes de enero al mes de agosto del año dos mil veintidós, durante este tiempo se recopiló toda la información necesaria sobre la problemática que poseen en empresa Corporación San Francisco, el cual se concentra en los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM y que da lugar a pérdidas financieras.

Al implementar la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM, se reducirán los costos, pues estos agregados presentan una buena caracterización que ayudarán a reducir el consumo de cemento y agua en la mezcla de concreto, es necesario resaltar que los agregados utilizados para esta investigación fueron extraídos de la cantera llamada banco La Campana propiedad de empresa San Francisco; esta cantera abastecerá de agregados finos y agregado grueso.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Planteamiento del problema.....	2
I.2. Hipótesis.	3
I.3. Objetivos.....	3
I.3.1 Objetivo General.....	3
I.3.2 Objetivo Específico.....	3
I.4. Justificación	4
I.5. Metodología	5
I.5.1. Métodos	5
I.5.2 Técnicas.....	7
II. MARCO TEÓRICO	9
III. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	178
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	189
IV.1 Conclusiones.....	189
IV.2 Recomendaciones	190
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE CUADROS

Numero	Contenido	Pág.
1.	Componentes del cemento Portland.....	12
2.	Tipos de cemento según ASTM C150	12
3.	Tipos de cementos mezclados según norma ASTM C595.....	16
4.	Tipos de cementos hidráulicos según norma ASTM C1157.....	17
5.	Clasificación de las partículas del agregado según su forma.....	33
6.	Textura de los agregados.....	35
7.	Tamaño de la muestra para ensayo del agregado grueso.	38
8.	Densidad del agua.	48
9.	Tamaños de las muestras.....	53
10.	Cálculo de la gravedad específica en agregado fino.	72
11.	Masa mínima de la muestra.	74
12.	Cálculo de la gravedad específica del agregado grueso.....	77
13.	Muestra de ensayo del agregado.	80
14.	Masa de la carga por tipo de graduación.....	88
15.	Graduaciones de las muestras.	89
16.	Límites para sustancias perjudiciales en agregado fino.	94
17.	Muestra de agregado fino a ensayar.....	110
18.	Muestra de agregado grueso a ensayar.....	110
19.	Fracciones de agregado grueso y tamiz para determinar la pérdida.	113
20.	Consistencia del concreto.....	125
21.	Corrección para el efecto del alcohol isopropílico.....	137
22.	Requisitos del Método de Consolidación.....	155
23.	Requisitos de moldeado por varillado para cilindros.....	155
24.	Requisitos de moldeado por vibración.....	156
25.	Edades de ensayo y tolerancias admisibles.....	160
26.	Tiempo de transporte.....	166

27. Asentamientos máximos y mínimos de cono recomendados.....	170
28. Tamaño máximo del agregado grueso.	170
29. Relación entre agua/cemento y resistencia a la compresión.	173
30. Máxima razón de agua/cemento para exposiciones severas.	174
31. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	175
32. Estimación de la densidad del concreto fresco por peso.....	176
33. Jefes que consideran que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras ocasionadas por los altos costos de agregados.....	179
34. Jefes que indican que el incremento de los costos para elaborar mezcla de concreto es por los materiales que se utilizan actualmente.....	180
35. Jefes que indican que el costo de los materiales que se utilizan para una mezcla de concreto, influyen en la decisión de compra.....	181
36. Jefes que consideran que las ganancias se han visto afectadas por los altos costos de los agregados que se adquieren actualmente.....	182
37. Jefes que consideran que la disminución de clientes para la compra de concreto convencional (4000 PSI) se debe al precio que se maneja actualmente.....	183
38. Encargados que indican que cuentan con el diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.....	184
39. Encargados que tienen conocimiento del método ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional con resistencia (4000 PSI).....	185
40. Encargados que consideran que es necesario diseñar una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) con el método ACI elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.....	186
41. Encargados que consideran que se debe conocer la caracterización de los agregados extraídos de Banco La Campana, por medio de las normativas ASTM.....	187

42. Encargados que consideran que la implementación de los agregados extraídos de Banco La Campana en un diseño de mezcla para concreto convencional (4000 PSI) por medio del método ACI ayudará a reducir el consumo del cemento y por ende los costos..... 188

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Numero	Contenido	Pág.
1.	Jefes que consideran que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras ocasionadas por los altos costos de agregados.....	179
2.	Jefes que indican que el incremento de los costos para elaborar mezcla de concreto es por los materiales que se utilizan actualmente.....	180
3.	Jefes que indican que el costo de los materiales que se utilizan para una mezcla de concreto, influyen en la decisión de compra.....	181
4.	Jefes que consideran que las ganancias se han visto afectadas por los altos costos de los agregados que se adquieren actualmente.....	182
5.	Jefes que consideran que la disminución de clientes para la compra de concreto convencional (4000 PSI) se debe al precio que se maneja actualmente.	183
6.	Encargados que indican que cuentan con el diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.....	184
7.	Encargados que tienen conocimiento del método ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional con resistencia (4000 PSI).....	185
8.	Encargados que consideran que es necesario diseñar una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) con el método ACI elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.....	186
9.	Encargados que consideran que se debe conocer la caracterización de los agregados extraídos de Banco La Campana, por medio de las normativas ASTM.....	187
10.	Encargados que consideran que la implementación de los agregados extraídos de Banco La Campana en un diseño de mezcla para concreto convencional (4000 PSI) por medio del método ACI ayudará a reducir el consumo del cemento y por ende los costos.....	188

ÍNDICE DE IMÁGENES

Numero	Contenido	Pág.
1:	Materiales utilizados para concreto.....	9
2:	Porcentajes del volumen de los materiales en el concreto.	9
3:	Proceso de producción de cemento.	18
4:	Masa unitaria.....	21
5:	Transporte de cemento a granel.	23
6:	Ubicación del agua en la pasta de cemento hidratado.....	28
7:	Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas.	31
8:	Clasificación de los agregados.....	33
9:	Forma de los agregados.....	34
10:	Esfericidad y redondez de agregados.....	34
11:	Límites granulométricos del agregado fino.....	36
12:	Límites granulométricos del agregado fino.....	36
13:	Límite granulométrico del agregado grueso.	37
14:	Límites granulométricos del agregado grueso.	37
15:	Colocación de tamices de forma decreciente e introducir los agregados.....	39
16:	Distribución de tamaños de los agregados.	44
17:	Límite granulométrico de la combinación de agregados finos y gruesos.	44
18:	Agregado húmedo.	45
19:	Método de varillado para agregados según ASTM C29.	50
20:	Muestreo en un flujo de descarga.....	54
21:	Muestreo en una banda transportadora.	55
22:	Muestreo en pilas.	56
23:	Divisor de muestras para agregados gruesos.	59
24:	Divisores de muestras pequeñas para agregados finos.	60
25:	Distribución del agregado en la canaleta alimentadora.....	60
26:	Cuarteo sobre superficie dura, limpia y nivelada.....	62

27. Cuarteo sobre lona.....	63
28. Aplanamiento de la pila miniatura.	64
29. Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino.	65
30. Arena compactada en diferentes condiciones.	67
31. Procedimientos colorimétricos.....	69
32. Picnómetro con arena más agua.....	70
33. Desairado de la muestra a través del agitado manual.	70
34. Lectura de frascos Le Chatelier con muestra y agua desairadas.	72
35. Remoción y secado del agua superficial en la muestra.....	76
36. Masa en condición sss y peso aparente de la muestra.....	76
37. Tipos de porosidad que alojan humedad en el agregado.....	78
38. Separación por la sobresaturación en las partículas.....	78
39. Condiciones de humedad del agregado.....	79
40. Dimensiones de la máquina de Los Ángeles.	87
41. Máquina de los Ángeles.....	89
42. Agregados con alta y baja contracción.....	91
43. Reacción álcali-agregado.	97
44. Proceso de reacción álcali-agregado.	97
45. Tipos de reacción álcalis-agregados.....	98
46. Reacción álcali-sílice (RAS).....	99
47. Producción de agregados para concreto.....	118
48. Bancos de materiales.....	119
49. Procedimientos de compactación.....	123
50. Levantamiento y medición del revenimiento.....	124
51. Tipos de revenimiento.....	125
52. Segregación.	128
53. Medidor de aire volumétrico.....	134
54. Medidor de aire por presión tipo A.....	139
55. Medidor de aire por presión tipo B.	143

56. Estados de deformación de un material.	148
57. Esfuerzo-deformación del concreto.	149
58. Componentes de la deformación por contracción.	151
59. Factores que afectan la contracción del concreto.	153
60. Testigos para ensayos de compresión del concreto.	158
61. Modelos de fracturas típicos.	161
62. Relación de longitud a diámetro del espécimen.	162
63. producción en planta de concreto.	165
64. Vibrado del concreto.	167
65. Cantidad de agua y aire (1/m ³).	171

I. INTRODUCCIÓN

El concreto también llamado hormigón se define como una mezcla de material aglutinante compuesto de agregados (árido), agua y en ocasiones de aditivo, que al endurecerse forma un compacto igual a una piedra artificial que al transcurrir el tiempo soporta grandes esfuerzos de comprensión.

La resistencia, calidad y economía de un concreto está determinado principalmente, por las características y propiedades de los agregados, pues estos forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento del mismo, por ello se hace indispensable conocer a detalle sus componentes, en base a lo indicado, resulta importante contar con un método que logre integrar eficientemente los factores mencionados.

Dentro de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz los jefes y encargados de los diferentes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad, han manifestado que existe altos costo en los agregados que se utilizan para la elaboración de concreto convencional (4000 PSI), lo que propicia con cierta frecuencia riesgo de pérdidas financieras, por no obtener resultados a los esperados. Por ello se hizo necesario buscar nuevas alternativas de agregados que reduzcan el costo al producir concreto, se propone la creación de un diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana.

Para realizar la investigación se utilizaron, métodos y técnicas para la formulación y comprobación de hipótesis que proporcionan el análisis a través del coeficiente de correlación y proyección lineal, se redactaron boletas censales para demostrar la existencia de la problemática, posteriormente se procede a la tabulación de resultados obtenidos en donde se incluyen cuadros, gráficas y análisis, para finalmente se concluye con la presentación del informe final.

I.1. Planteamiento del problema

Guatemala en los últimos años se ha visto afectada por factores sociales (Pandemia de Covid-19), ambientales (Huracán Eta-Iota, lluvias intensas, derrumbes, socavamientos y deslizamientos), políticos y militares (Guerra entre Rusia y Ucrania) que la han llevado a una crisis económica; uno de los más afectados ha sido el sector constructivo, los materiales como el concreto, cemento, hierro, agregados, block, aluminio, zinc, hierro galvanizado son uno de los elementos que más han crecido exponencialmente sus valores durante los últimos años, subieron cuatro veces más que la inflación.

A raíz de lo que se vive en el país en los últimos cinco años en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz han tenido riesgo de pérdidas financieras por los altos costos de los agregados que utilizan actualmente, el alza de los precios se debe a factores como el incremento en la energía eléctrica, el aumento del valor del transporte por el combustible pues el precio del petróleo superó los cien dólares por barril afectaron a todas las industrias, se tiene problemas con la cadena de abastecimiento ya que el proveedor se ha visto en la necesidad de reducir a su personal al producir, ajustarse a inventarios por no contar con el stock para cubrir la demanda.

La empresa se ha visto obligada a buscar nuevas alternativas para abastecerse de agregado de buena calidad que cumplan con las normativas para cubrir la demanda de producción de concreto, por ser su principal fuente de ingreso.

Dentro de la empresa se cuenta con un banco propio de materiales llamado La Campana, del cual se desea extraer materiales pétreos para utilizarlos en sus mezclas de concreto, especialmente en el concreto convencional (4000 PSI), pero que aún no se han implementado por el desconocimiento de las características, propiedades y a la carencia de un método de diseño de mezcla de concreto adecuado en donde su proporcionamiento de materiales se adapten a las condiciones que se requieren.

I.2. Hipótesis

Una hipótesis es un pronóstico temporal de la cual se desarrollará una investigación. A continuación, se detallan las hipótesis formuladas a raíz de la problemática encontrada:

Hipótesis causal:

“El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”.

Hipótesis interrogante:

¿La carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, por los altos costos de agregados; es la causante de pérdidas financieras en los últimos cinco años?

I.3. Objetivos

En este apartado se exponen los objetivos tanto general como específico de la investigación que se pretenden alcanzar al realizar este trabajo de graduación:

I.3.1 Objetivo General

Disminuir el riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

I.3.2 Objetivo Específico

Reducir costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

I.4. Justificación

Para sobrevivir en el mundo competitivo del concreto, la empresa debe desarrollar y fabricar un producto de manera oportuna siempre con el cuidado de la resistencia, calidad y economía del mismo. Se debe determinar de manera eficiente las variables expuestas. Un nuevo diseño de mezcla debe de desarrollar formulaciones eficientes en los ajustes para cumplir con los requisitos del concreto, con la finalidad de utilizar una nueva alternativa de agregados que logren reducir algunos factores como lo es la adición de una cantidad demasiada elevada de los componentes que dan lugar a resultados indeseables en el producto.

El diseño ACI permite evaluar de manera consistente y económica la influencia de cada uno de los componentes de la mezcla, al implementarse dicho diseño se obtendrán grandes beneficios para la empresa, por ejemplo, el ahorro del 29% de cemento, es decir una reducción en la materia prima al producir un metro cúbico (m^3) de concreto, lo que indica que también se obtendrá un ahorro en el costo total de la producción, pues se encontraron los valores óptimos de la mezcla en donde se evita consumir más materia prima de lo necesario, lo cual representa un valor significativo, pero sin afectar la resistencia y calidad del concreto.

Al realizar la proyección sin proyecto el precio del concreto por metro cubico (m^3) irá en aumento hasta llegar a los 1,566.00 quetzales para el año 2027, lo cual da lugar a que exista riesgo de pérdidas financieras dentro de la empresa, al no crear e implementar un diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados que cumpla con las normativas ASTM.

En cambio, al implementar la propuesta con proyecto el precio del concreto por metro cubico (m^3) disminuye, para el año 2027 el precio será de 1,110.00 quetzales, pues se utilizarán agregados de Banco La Campana que cumplen con las normativas ASTM, que a su vez ayudará a disminuir el riesgo de pérdidas financieras de la empresa.

I.5. Metodología

Se utilizó para resolver el problema en investigación al diseñar sistemáticamente un estudio que garantizará resultados válidos y fiables que respondieran a las metas y objetivos trazados. Para la formulación de la hipótesis se utilizaron los métodos deductivos, analíticos y marco lógico, posteriormente para la comprobación de ésta, se logró a través de los métodos inductivo, estadístico y sintético. Tanto para la formulación como para la comprobación se utilizaron también técnicas; las cuales se describen a continuación:

I.5.1. Métodos

Métodos utilizados para la formulación de la hipótesis

Método deductivo

Se utilizó como estrategia para el razonamiento y deducción de una hipótesis o conclusión lógica a partir de una serie de variables; lo que permitió determinar las características de una realidad particular para obtener resultados, con la ayuda del método científico.

Esto ayudó a la formulación de la siguiente hipótesis: “El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”.

Método analítico

Con la ayuda de este método se logró identificar, interpretar y determinar los hechos observados de la problemática, obtenidos para la formulación de la hipótesis, al analizar la causa que se genera por la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco.

Método marco lógico

Esta herramienta ayudó a la estructuración de la matriz lógica para tener una visión más amplia de la situación existente y así poder trazar los objetivos tanto general como específico que generen resultados que contribuyan a la solución del problema.

Modelo de investigación y proyectos: Dominó

Se creó con el fin de proporcionar una visión estructural basado en la metodología del marco lógico, encapsulado en un cuadro en el que se enmarca el problema, propuesta y evaluación que van orientados a darle una solución a la problemática existente y alcanzar los objetivos delimitados.

Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Método inductivo

El método principal que se utilizó para la comprobación de la hipótesis fue el método inductivo, a través de este método se observó y se recolectaron los datos necesarios de la problemática identificada, lo que permitió conocer más el objeto en estudio, y así determinar las conclusiones y recomendaciones, según los resultados obtenidos en la investigación.

Método estadístico

Este método proporcionó datos cuantitativos a través de una serie de procedimientos secuenciales, que incluye la recolección, recuento, presentación, síntesis y análisis por medio de cuadros y gráficas para un mejor entendimiento de las boletas censales que contribuyeron a la comprobación de la hipótesis.

Método sintético

Después de interpretada la información recabada, se utilizó el método sintético para unificar las variables y así obtener las conclusiones, recomendaciones y resultados de la investigación realizada en empresa Corporación San Francisco.

I.5.2 Técnicas

Técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis

Lluvia de ideas

Esta técnica no estructurada estuvo dirigida a los grupos de trabajo, en específico a los Departamentos de Concreto y Control de Calidad de Empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, gracias a esta técnica se logró desplegar todas las ideas espontáneas y puntuales posibles para buscar soluciones a diversas situaciones y deficiencias que se tenían.

Observación directa

Esta técnica se utilizó en el Departamento de Concreto, lo cual permitió recolectar datos de forma directa de los factores involucrados en el objeto de estudio para lograr identificar la problemática que existe con el concreto convencional (4000 PSI), dentro de empresa Corporación San Francisco.

Investigación documental

Se determinó que dentro de la empresa no existe documentos similares o relacionados con la problemática investigada, se realizó este procedimiento con la finalidad de no duplicar esfuerzos en cuanto al trabajo de graduación que se desarrolló. Se utilizaron diferentes fuentes bibliográficas para indagar e interpretar documentos que exponen datos e información relevante en relación al diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI).

Entrevista

Esta técnica fue de gran utilidad ya que a través de ella se logró la recolección de datos a partir de la interacción, intercambio de ideas y opciones que se mantuvo con los jefes y encargados de los departamentos involucradas de empresa Corporación San Francisco, sobre la problemática planteada, con la finalidad de adquirir información más puntual.

Técnicas que se utilizaron para la comprobación de la hipótesis

Censo

Se realizó un censo por ser una población menor a 35 personas.

Para la comprobación de la variable dependiente (Y) o el efecto se censaron a los cuatro jefes de los siguientes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad. Para la comprobación de la variable independiente (X) o causa se censaron a los cinco encargados de los siguientes Departamentos: Concreto y Control.

Levantamiento de la información en campo

En este proceso se llevó a cabo la recolección y medición de datos sobre las variables en estudio, dicha información ayudó a la toma de decisiones y solución de la problemática. Se realizaron visitas a los Departamentos de Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco.

Cálculo del coeficiente de correlación

Esta técnica se utilizó para conocer la relación entre las variables con la finalidad de establecer la importancia de esta investigación, se obtuvo un coeficiente de 0.98, lo que indica que el comportamiento de estas variables se encuentra dentro del rango establecido $> + - 0.80$ a $< = + - 1$ por la universidad y que obedezca a la ecuación de la línea recta y en consecuencia se obtuvo también la proyección lineal.

Proyección

Con la ayuda de esta técnica se pudo visualizar y analizar de una manera rápida el comportamiento de las variables para los años futuro y el impacto negativo que pueda generar al no implementar la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM. A su vez ayudó a observar que al implementar la propuesta en los próximos cinco años se reducen los costos del concreto, esto da lugar a que disminuya el riesgo de pérdidas financieras.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. Concreto

Es un material compuesto que consiste principalmente de conglomerante formado por una mezcla de cemento y agua dentro del cual se incrustadas las partículas o fragmentos del agregado y en ocasiones se utilizan aditivos para mejorar las propiedades del mismo. (Norma Técnica Guatemalteca NTG 41006, 2019).

Es el resultado que se obtiene de la mezcla de cemento con agregados finos, grueso, agua y aditivos, lo que produce una masa plástica que puede ser manejable y firme con cierta facilidad; que al disipar estas características al pasar las horas se vuelve rígida y comienza a ganar resistencia en su estado sólido. (Delgado, 2014).

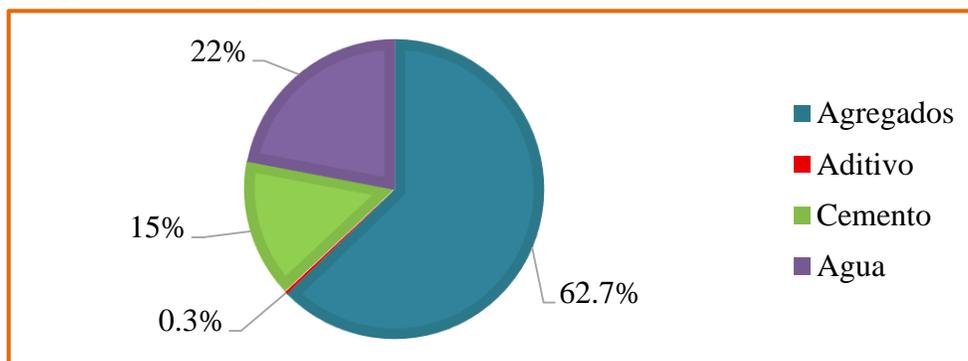
Imagen 1: Materiales utilizados para concreto.



Fuente: (ACEROS AREQUIPA, 2019).

A continuación, se muestran las proporciones de los materiales en el concreto:

Imagen 2: Porcentajes del volumen de los materiales en el concreto.



Fuente: (Laza, 2014).

II.2 Materiales utilizados en el concreto

Cemento

Es un polvo fino de color gris a marrón que se obtiene de la calcinación de una mezcla de piedra caliza, arcilla y formado principalmente de cristales minerales como silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico), los cuales contribuyen al 90% del peso del cemento. (de Lopez, 1989).

Todo tipo de cemento contiene en su estructura los cuatro compuestos principales, pero también existen otros compuestos que juegan un papel importante en el proceso de hidratación que, al reaccionar con el agua, crean combinaciones que le dan al concreto características conocidas. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Fundamentos del concreto, 2004).

La hidratación comienza al entrar el cemento en contacto con el agua, lo cual da lugar a que se forme una capa de fibra en la superficie de cada partícula de cemento, esta capa se extiende gradualmente hasta que se conecta con la capa fibrosa de otra partícula de cemento o se adhiere al material adyacentes. El crecimiento de la fibra conduce al endurecimiento y desarrollo progresivo de la resistencia. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

La hidratación o curado continuará mientras existan condiciones favorables de temperatura, humedad y espacio para la formación de productos de hidratación. A medida que continúa la hidratación, el concreto se vuelve más rígido y resistente. La mayor parte del desarrollo de la hidratación y de la resistencia se produce en el primer mes, pero con la ayuda de estos factores de manera adecuada, esto continuará lentamente durante un periodo más largo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

En la antigüedad los constructores utilizaban arcilla para unir piedras y formar una estructura rígida. El concreto más antiguo lo descubrieron en 7000 años AC y fue encontrado en 1985. En 500 años AC, la producción de concreto a base de cal llegó a la antigua Grecia pues los griegos usaban materiales a base de cal como aglomerantes. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Los romanos utilizaron la puzolana como material cementante, pero, en el siglo II AC, extrajeron cenizas volcánicas fina cerca de Pozzuoli; al suponer que era arena, la mezclaron con cal y crearon una mezcla más resistente a las anteriormente. El descubrimiento tuvo un efecto importante en la industria de la construcción. Esta ceniza volcánica, contenía sílice y alúmina, que, al combinarse con la cal, producen cemento puzolánico. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

El perfeccionamiento del cemento portland es el resultado de una continua investigación científica e industrial para producir cemento natural de alta calidad. La invención del cemento Portland se atribuye al inglés Joseph Aspdin. En 1824, patentó un producto que llamó cemento Portland pues se producía concreto en un color similar a la piedra caliza natural extraída en la isla de Portland en el Canal de la Mancha. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Tipos de cemento

Cemento Pórtland

Es un producto simple obtenido por trituración fina de Clinker calcinado a partir de una mezcla íntima, compacta y homogénea de materiales como la arcilla y materiales calcáreos, sin adiciones posteriores a la calcinación, excepto de yeso calcinado, con un contenido no superior al 3%”. (Araujo, 2018).

Los principales componentes del cemento Portland como también las cantidades sugeridas para su combinación se detallan a continuación: (Araujo, 2018).

Cuadro 1: Componentes del cemento Portland.

Componente	Rangos %
Cal (CaO)	60 - 67
Sílice (SiO ₂)	17 - 25
Alúmina (Al ₂ O ₃)	3 - 8
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	0.5 - 6
Óxido de magnesio (MgO)	0.1 - 4
Trióxido de sulfuro (SO ₃)	0.1 - 2.5
Álcalis (K ₂ O + Na ₂ O)	0.4 - 1.3
Agua y bióxido de carbono (H ₂ O + CO ₂)	1

Fuente: (Araujo, 2018).

Los cementos Portland se producen de acuerdo con las especificaciones ASTM C150 y ASTM C1157. La ASTM C150, los ocho tipos de cementos que existen las designaron con números romanos (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Cuadro 2: Tipos de cemento según ASTM C150.

Norma ASTM C150			
Cemento	Denominación	Características	Usos
Tipo I	Normal	Adecuado para todo uso donde no se requiere de propiedades especiales y en algunas ocasiones se incluye aire.	Pavimentos, pisos, puentes, tanques, embalses, tubería, mampostería y prefabricados.

*Tipo IA	Normal con aire incluido	Con las mismas especificaciones que la anterior, pero con aire incluido.	Como el anterior donde se desea incluir aire en el concreto.
Tipo II	Moderada resistencia a los sulfatos	Para controlar el ataque por sulfatos, tiene propiedades de moderada resistencia a los sulfatos porque contiene no más del 8% de aluminato tricálcico (C3A).	Miembros expuestos al suelo o aguas subterráneas y agua del mar, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal pero no severa.
*Tipo IIA	Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido	Como el anterior, pero con aire incluido.	Elementos a fundir en donde requieren incluir aire.
Tipo III	Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)	Brinda resistencia a edades tempranas, en menos de una semana. Sus partículas son muy finas. En clima frío su utilización permite la reducción del tiempo de curado.	Se utiliza al querer remover los encofrados lo antes posible o al ser puesta en servicio una la estructura.
*Tipo IIIA	Alta resistencia inicial con aire incluido	Alta resistencia inicial con aire incluido	Igual al anterior con la diferencia que en esta se incluye aire en el concreto.

Tipo IV	Bajo calor de hidratación	Se utiliza para disminuir la cantidad de calor generado por la hidratación. Este cemento genera resistencia en un proceso más lento que otros cementos. Este tipo de cemento no siempre está disponible en el mercado.	Se utiliza en estructuras de concreto masivo como: presas por gravedad, en donde el aumento de la temperatura se genera por el calor y que durante el endurecimiento deba ser minimizada.
Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos	La alta resistencia a los sulfatos se origina a la baja cantidad de aluminato tricálcico, el cual es menor al 5%. Es importante destacar que no tolera una exposición severa a los sulfatos si tiene alta relación agua/cemento.	Se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos principalmente donde el suelo y el agua tienen alta concentración de sulfatos. No es resistente a los ácidos y sustancias altamente corrosivas (ASTM C452 ensayo de expansión).

Fuente: Autoría Propia. Diseño y Control de Mezclas de Concreto_PCA, 2004.

* ASTM C150 proporciona especificaciones para tres tipos de cementos con aire incorporado: Tipos IA, IIA y IIIA, durante la producción, se tritura una pequeña cantidad de material incorporado de aire con el Clinker. Estos cementos producen un

concreto con mayor resistencia al hielo-deshielo por contener pequeñas burbujas de aire, que se distribuyen uniformemente y se separan por completo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Cementos Hidráulicos Adicionados (Mezclados O Compuestos)

En estos tipos de cementos básicamente sustituyen el Clinker con un material puzolánico que se endurece con bajo la compresión del hidróxido de calcio a temperatura ambiente en contacto con la cal y el agua. (Shaw, 2019).

Puede ser añadido en plantas de concreto o en las mezcladoras manuales como único material cementante o en la mezcla con otros materiales cementantes suplementarios. Los cementos adicionados se producen mediante la trituración homogénea de dos o más materiales finos como lo es el cemento portland, escoria granulada de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, arcilla calcinada, otras puzolanas, cal hidratada y la combinación de estos materiales. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Cemento adicionado binario: Es una mezcla homogénea por trituración y combinación de Clinker y escoria, puzolanas o filler. (Shaw, 2019).

Cemento adicionado ternario: Es una mezcla homogénea por la trituración y mezcla de Clinker y dos puzolanas diferentes, escoria de alto horno y puzolana, puzolana-caliza y escoria-caliza. (Shaw, 2019).

Los cementos hidráulicos mezclados deben estar conforme la norma ASTM C595, la cual establece los cinco tipos de cementos de uso general adicionados tal como se indica en el cuadro siguiente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Cuadro 3: Tipos de cementos mezclados según norma ASTM C595.

Cemento	Denominación	Características	Uso
Tipo IS	Portland alto horno	Posee del 25 al 70 % de escoria de alto horno.	Todo tipo de construcciones.
Tipo IP Y Tipo P	Portland Puzolánico	Contiene del 15 al 40% de puzolana.	Tipo IP se utiliza para la construcción en general. Tipo P se utiliza en construcciones que no necesita altas resistencias al inicio.
Tipo I (PM)	Portland modificado con puzolana	La cantidad de puzolana es menor al 15%.	Todo tipo de concreto en general
Tipo S	Escoria o siderúrgico	La cantidad mínima de escoria debe ser de 70%.	Para la elaboración de concreto a excepción del concreto estructural y utilizado también en la preparación de mortero.
Tipo I (SM)	Portland modificado con escoria	La cantidad de escoria debe ser menor al 25%.	Construcciones de concreto en general.

Fuente: Autoría Propia. Diseño y Control de Mezclas de Concreto PCA, 2004.

La ASTM C1157 establece que un cemento adicionado o cemento Portland modificado como el cemento que contiene una cantidad mayor al 15% de adición mineral. La ASTM C1157 proporciona seis tipos de cementos hidráulicos: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Cuadro 4: Tipos de cementos hidráulicos según norma ASTM C1157.

Cemento	Denominación	Características	Uso
Tipo GU	Uso general en la construcción	Para todo tipo de aplicaciones donde no requiera propiedades especiales.	Pavimentos, pisos de concreto armado, puentes, concreto para prefabricado y otras aplicaciones donde se usa el cemento tipo I.
Tipo HE	Alta resistencia a temprana edad	Proporciona alta resistencia al concreto en edades tempranas, en menos de una semana.	Es usado al necesitar remover las cimbras (encofrados) lo más temprano posible.
Tipo MS	Resistencia moderada a los sulfatos	Para controlar el ataque moderado por sulfatos. Se debe preparar el concreto con baja relación agua/cemento para que se garantice la resistencia a los sulfatos.	Estructuras de drenaje, Miembros expuestos al suelo o aguas subterráneas y agua del mar, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal pero no severa.
Tipo HS	Alta resistencia a los sulfatos	Concreto expuesto a los sulfatos.	Estructuras con altas concentraciones de sulfato.
Tipo MH	Moderada generación de calor de hidratación	Posee calor de hidratación moderado en el cual se controla la temperatura.	Elementos o estructuras de concreto masivo, apoyos espesos de puentes y presas.
Tipo LH	Bajo calor de hidratación	Se utiliza al disminuir a la cantidad de calor	Para uso en concreto masivo donde se

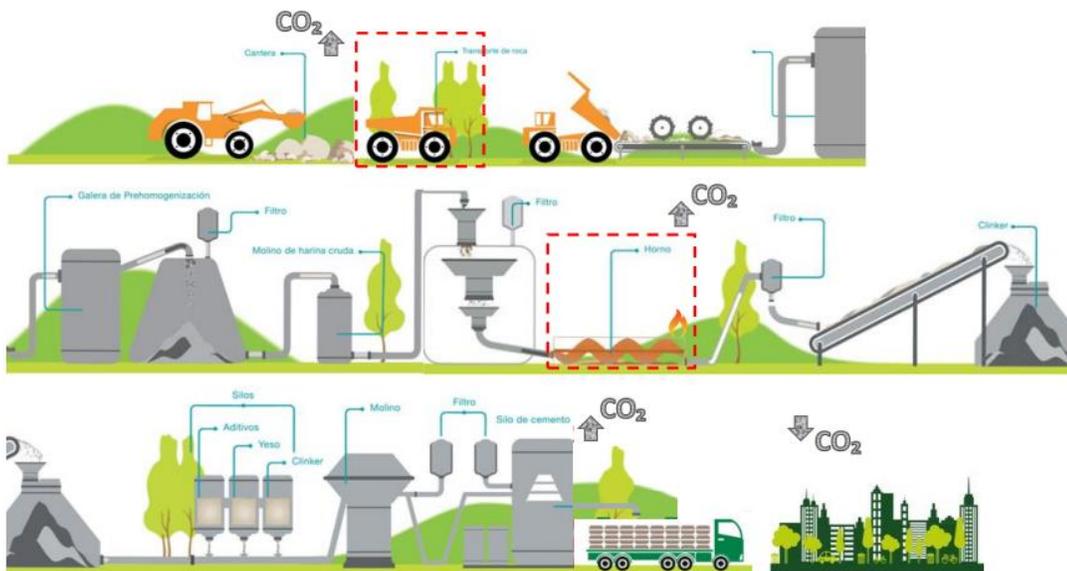
		<p>generado por la hidratación, tiende a proporcionar una resistencia más lenta que otros cementos.</p>	<p>disminuya la temperatura resultante del calor producido durante su proceso de endurecimiento.</p>
--	--	---	--

Fuente: Autoría Propia. Diseño y Control de Mezclas de Concreto_PCA, 2004.

Proceso de producción de cemento

A continuación, se grafica el proceso que conlleva la producción de cemento (Cementos Progreso, 2019)

Imagen 3: Proceso de producción de cemento.



Fuente: (Cementos Progreso, 2019)

- Extracción de materia prima
- Trituración y prehomogenización
- Molienda de harina cruda.
- Trituración y prehomogenización
- Molienda de harina cruda.

- f. Clinkerización
- g. Molienda de cemento.
- h. Empaque y despacho.

En todo el proceso de estas operaciones, se sigue un estricto control de calidad para garantizar que se cumplan y superen los estándares nacionales e internacionales para los diferentes tipos de cemento. Tradicionalmente, en Centroamérica, el peso neto del cemento empacado es de 42.5 kg (93.7 lb). (Cementos Progreso, 2019)

Propiedades físicas

Finura (superficie específica)

Es la propiedad física más importante del cemento y dado que la reacción de hidratación se produce en la superficie de la partícula, entre más pequeña es la partícula, más rápido se desarrolla la resistencia. Por lo tanto, se puede obtener cemento con alta resistencia inicial simplemente al moler el mismo Clinker más fino que el cemento ordinario. Este aumento de la resistencia es evidente desde el principio. (Herrera, y otros)

La finura del cemento impacta en el calor de hidratación pues se desarrolla más rápido en los cementos más finos. Entre mayor es el grado de finura mejor será la trabajabilidad del concreto con la misma cantidad de agua; en estas condiciones en el cemento fino también presenta una desventaja lo que hace que genere una mayor retracción, pero esto se compensa con el hecho de requerir una aplicación menor de agua para la trabajabilidad. Por otro lado, el cemento más fino tiende a exudar menos. (Herrera, y otros).

Existen dos métodos que se utilizan en la medición de la superficie específica:

El método más utilizado es el permeabilímetro de Blaine, con él se mide la superficie específica gracias a la permeabilidad al aire de una capa de cemento de superficie y

densidad normalizada. Entre más fino sea el cemento, menor permeabilidad existe en el paso del aire a través de los orificios que hay entre las partículas. (Herrera, y otros)

En el segundo método se utiliza el turbidímetro de Wagner, el cual se establece en la ley de Stokes, este método indica que las partículas del material obtienen diferentes velocidades de precipitación al encontrar un líquido. La turbidez generada se mide con una célula fotoeléctrica. (Herrera, y otros).

Perdida por calcinación

Es el proceso de calentamiento de un espécimen de cemento con masa establecida a una temperatura de 900°C a 1000°C de manera constante. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004)

Masa Volumétrica (densidad, masa unitaria)

Se define como la masa de partículas de cemento por unidad de volumen más el aire entre las partículas. Por tal razón es una buena práctica medir el cemento en masa y no por volumen ya que esta puede variar formidablemente por su manejo y almacenamiento. (Herrera, y otros)

“El cemento tiene una densidad de partículas solidad de 3.120 a 3.160 Kg/m³. Para las dosificaciones se toma el 3.100 Kg/m³”. (Herrera, y otros).

Gravedad específica (densidad relativa)

“Se establece por la división de la masa volumétrica del cemento por la densidad del agua a 4°C, la cual es 1.0 Mg/m³ (1.0 g/cm³, 1000 kg/m³ o 62.4 lb/pies³)”. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Imagen 4: Masa unitaria.



Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Propiedades químicas

Calor de hidratación

El calor de hidratación es el calor producido por la reacción entre el cemento y el agua. El calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, de los cuales los compuestos exotérmicos más significativos son C_3A y el C_3S . El contenido del cemento, la finura del cemento y la temperatura también son componentes que aumentan el calor de hidratación. En los primeros tres días se produce mucho calor de hidratación, pero con una la mayor producción en las primeras 24 horas.(Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Propiedades mecánicas

Resistencia mecánica

El tipo de cemento, la composición y la finura del mismo tienen una gran influencia en la resistencia a la compresión. Es incorrecto suponer que dos tipos de cemento con los mismos requerimientos de resistencia producirán un concreto de la misma resistencia sin cambiar la relación de mezcla debido a las variables en las propiedades de los agregados, elaboración, manejo y condiciones ambientales. (Claros, 2013)

Cuidado del cemento en obra

El propósito del cuidado es evitar su humectación, ya que esto crea grumos y masas compactas que al estar incrustados en el concreto no participarán en el proceso de endurecimiento, lo cual perjudica sus propiedades y resistencia. (Herrera, y otros).

Almacenamiento del cemento

El cemento se ha suministrado durante mucho tiempo en sacos de papel, pero actualmente la tendencia es distribuirlo a granel, transportarlo en cisternas y almacenarlo en silos. (Claros, 2013).

Para sacos

- a. La bodega debe ser cerrada, con una buena ventilación, y con techo.
- b. No apilar más de 10 sacos y mantenerlos separados entre ellos, sin tener contacto con las paredes.
- c. Colocar los sacos sobre una tarima que tenga una altura de separación del suelo de 10 a 15 cm, para evitar la humedad.
- d. Colocar de tal manera que los sacos más antiguos se saquen para utilizar primero.
- e. En temporada de lluvia envolver las pilas con nylon.
- f. Ordenar los sacos por clase, grado o marca.
- g. El almacenamiento no debe ser mayor a tres meses.
- h. Si al utilizar cemento se nota la presencia de grumos y estos se deshacen al apretarlo con los dedos es aceptable, de lo contrario se tamiza y se puede utilizar en concretos en donde no se requiera mayor resistencia. (Herrera, y otros).

Comprar cemento a granel tiene varias ventajas:

- a. Mayor economía en la compra de cemento.
- b. Un mejor manejo en descarga, almacenamiento y manipulación.
- c. Menos pérdida, al no tener sacos deteriorados o mojados. (Claros, 2013).

En silos

- a. Ideales para planta de concreto.
- b. El cemento estará mejor protegido a los cambios del clima.
- c. La vida útil máxima del cemento es de cuatro a seis meses.
- d. Los silos deben limpiarse regularmente, para usar el cono muerto que generalmente se forma alrededor de sus salidas para que no permanezca adentro por mucho tiempo. (Herrera, y otros)
- e. Como el cemento es a granel, evitar almacenar más del 80% de la capacidad del silo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Imagen 5: Transporte de cemento a granel.



Fuente: (Claros, 2013).

Aditivos

Los aditivos son componentes del concreto que se agregan a la mezcla y se utilizan para cambiar las propiedades del concreto en su estado fresco o endurecido durante su curado, haciéndolo más adecuado para los requisitos y especificaciones de cada elemento según el trabajo que se necesite desempeñar. (Silva, 2016).

Las peculiaridades obtenidas mediante el uso de los aditivos, que en muchos casos no se pueden obtener por otros métodos o de manera económica, incluyen:

- a. Mejorar las propiedades de las mezclas de concreto de acuerdo a los requerimientos.
- b. Mantener la calidad del concreto en circunstancias ambientales severas durante el proceso de mezclado, transporte, colocación y curado. (Silva, 2016).

La ASTM C494 clasifica los aditivos en:

Tipo A Aditivos reductores de agua o Plastificante:

Permite reducir la cantidad de agua necesaria para lograr una determinada consistencia en el concreto. Se agregan al concreto de bajo revenimiento y baja relación agua/cemento para producir un concreto de alto asentamiento, pero trabajable. (Silva, 2016).

Su uso también ayuda a reducir la exudación y segregación, al colocarlo. Sus principales características son mejorar la trabajabilidad del concreto en estado fresco y/o reducir la cantidad de agua utilizada para un asentamiento definido. (Silva, 2016).

Tipo B Retardante:

Se utilizan para extender por más tiempo el fraguado del concreto, también reduce las pérdidas por asentamiento y prolonga la trabajabilidad, se utilizan principalmente para verter concreto en clima cálido al contrarrestar el efecto de la aceleración de alta temperatura en el transporte del concreto a distancias largas. (Silva, 2016).

Tipo C Acelerante:

Se utilizan para mejorar la tasa de hidratación y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto. El uso de acelerantes a base de cloruro de calcio contribuye a aumentar la contracción por secado debido al mayor contenido de iones de cloruro, por lo cual

debe usarse con mucho cuidado, su uso excesivo puede aumentar ocasionar corrosión en la armadura, decoloración del concreto y agrietamiento estructural. (Silva, 2016).

Estos tipos de aditivos se utilizan comúnmente para dar un acabado más rápido en losas, en donde la colocación del concreto es en clima frío, también para reducción del tiempo de desencofrado e impermeabilización. (Silva, 2016).

Tipo D Plastificante retardante:

Reduce la cantidad de agua que se utiliza para obtener una mezcla de cierta consistencia y retrasar su fraguado. (Silva, 2016).

Tipo E Plastificante acelerante:

Reduce la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla de cierta consistencia y acelerar el fraguado como la resistencia a una etapa temprana. (Silva, 2016).

Tipo F Superplastificante:

Reduce la cantidad de agua en la de mezcla en un 12% para alcanzar una consistencia establecida en el concreto. (Silva, 2016).

Tipo G Superplastificante retardante:

Reduce la cantidad de agua en la de mezcla en un 12% para alcanzar una consistencia establecida en el concreto y con ello prolongar por más tiempo su fraguado. (Silva, 2016).

Tipo H Superplastificante acelerante:

Este aditivo reduce el agua de mezclado a un 12% para lograr una consistencia establecida en el concreto, como también acelera el fraguado y la resistencia a edades tempranas. Dentro de este grupo existen otros aditivos resistentes al agua o colorantes que también son muy importantes. (Silva, 2016).

Agua:

El agua es un componente del concreto a través del cual el cemento sufre una reacción química que le confiere sus propiedades de fraguado y endurecimiento para formar un sólido junto a los agregados. El agua se clasifica en dos: agua de mezclado y agua de curado. (Guzmán, 2001).

Agua de curado:

Es el agua que se utiliza para hidratar la pasta cemento en su proceso de curado sin ser interrumpido hasta que el concreto alcance sus propiedades básicas como lo es la humedad y temperatura. (Guzmán, 2001).

Agua de mezclado:

Este tipo de agua se define como la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida por unidad de volumen de cemento presente en esa unidad de volumen para formar una lechada efectivamente hidratada, con una fluidez que proporcione lubricación en los agregados al mezclarse. (Guzmán, 2001).

“La pasta de cemento es una mezcla plástica de cemento y agua que adquiere una nueva estructura a medida que el cemento se hidrata. Esta nueva estructura es la formación del llamado gel de cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta. El agua en la pasta hidratada se halla en dos formas primordiales: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable.” (Guzmán, 2001).

a. Agua de hidratación (no evaporable):

“Forma parte del agua inicial de mezclado que reacciona químicamente con el cemento y el cual pasa a formar parte del gel sólida del cemento. También se llama no evaporable porque parte de la pasta hidratada se mantiene a 0% de humedad ambiental y a una temperatura del 110°C”. (Guzmán, 2001).

b. Agua evaporable:

Es el tipo de agua que al estar presente en la pasta se puede evaporar al 0% de humedad relativa al ambiente y 110°C de temperatura, pero que no es completamente libre. La característica única del gel de cemento es la creación de una gran superficie interna que molecularmente atrae parte del agua que se evapora y mantenerse así. En la Imagen 6 se observa el agua que se evapora, él cual puede tener tres condiciones diferentes, al depender qué tan cerca este de la superficie del gel: (Guzmán, 2001).

Agua de absorción:

Es la capa molecular de agua que se adhiere a la superficie del gel a través de la atracción molecular. La distancia entre el agua absorbente y la superficie del gen varía entre 0 a 0.0000001 mm. Debido a que afecta el comportamiento del concreto bajo carga también se le llama agua activa. (Guzmán, 2001).

Agua capilar:

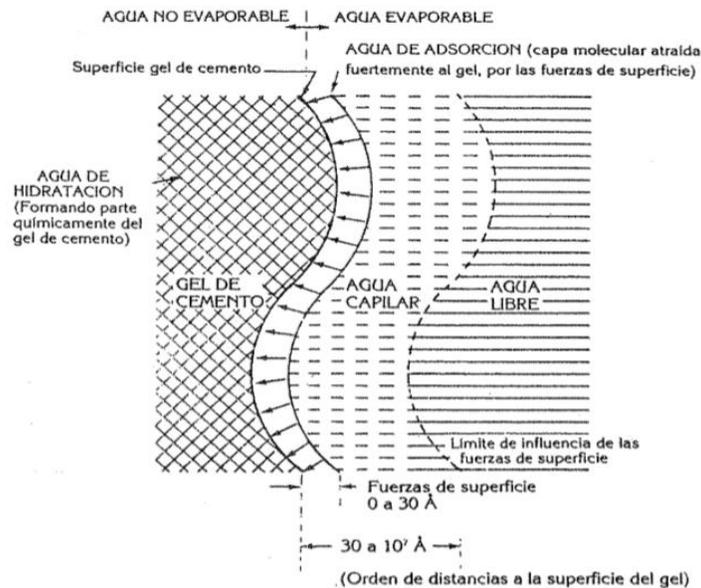
El agua se encuentra en los poros capilares de la pasta, a una distancia de 30 a 10 Å, (un Angstrom Å= 0.0000001 mm, por lo que se ve afectada parcialmente, aunque débilmente, por las fuerzas de la superficie del gel. (Guzmán, 2001).

Agua libre:

Es el agua que no se ve afectada por las fuerzas superficiales, por lo que es completamente líquida y se evapora fácilmente. Para que la hidratación se mueva al núcleo de la partícula es necesario que exista agua en los poros capilares para tener una reacción por parte del agua libre. Mientras se mantenga disponible este racionamiento de agua, la hidratación de la partícula puede seguir hasta completarse y deteniéndose al ser interrumpido. (Guzmán, 2001).

El cemento necesita como mínimo de agua para completar su hidratación la cantidad aproximada del 23% de su peso total. (Guzmán, 2001)

Imagen 6: Ubicación del agua en la pasta de cemento hidratado.



Fuente: (Guzmán, 2001).

Características químicas y físicas del agua de mezclado

Se recomienda que el agua a utilizar sea potable, libre de olor y sabor. Sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que dentro del agua potable se pueden encontrar altas concentraciones disueltas como sales, cítricos y azúcares, que pueden dañar el concreto. (Guzmán, 2001).

Para conocer la calidad del agua, se realizan ensayos de coeficiente de resistencia en testigos de concreto con edades de 7, 28 y 90 días; para considerar si el agua es apta para el concreto, la resistencia de dichos testigos no debe ser inferior al 90%. (Guzmán, 2001).

El exceso de impurezas en el agua de mezclado puede causar manchas eflorescencias y corrosión en la armadura del concreto. Por ello se hace necesario establecer ciertos límites para cloruros, sulfatos, álcalis y solidos en el agua de mezclado. (Guzmán, 2001).

Dado que es indeseable introducir sedimentos significativos en el concreto, se ha encontrado que el agua con un contenido de sólido disueltos a 2,000 ppm debe analizarse para ser ensayada y determinar su efecto sobre la resistencia y el curado del concreto. A continuación, se explica el impacto de algunas impurezas en el agua de mezclado que afectan la calidad del concreto. (Guzmán, 2001).

Impurezas orgánicas:

Las sustancias en el agua natural afectan en gran medida el tiempo de fraguado inicial del cemento y la resistencia del concreto, se debe revisar el agua que presente un color oscuro, olor acentuado o fangos de algas de color verde o marrón. Se debe prestar especial atención a los altos niveles de azúcar en el agua ya que esto también puede causar un fraguado retardado. (L., 2019).

Impurezas inorgánicas:

Estas impurezas hacen que el concreto se deteriore gradualmente, los iones principalmente presentes son: el calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato y carbonato; el agua que contenga una combinación de estos iones y que no excede a 2 g/l (2000 ppm), se considera adecuadas para usarla como agua de mezcla. (L., 2019).

La presencia de cloruro en el agua utilizada para la mezcla de concreto puede ocasionar alteraciones potenciales en el cemento o en la armadura incrustada. El contenido de cloruros en el agua no debe exceder de 0.5 g/l. (L., 2019).

Para aceptar la acidez del agua en una mezcla se debe conocer el pH, ya que este es una medida de concentración de iones de hidrógeno. El pH establece disolución y biodisponibilidad de sustancias químicas que se utilizan como nutrientes y metales. El pH del agua en escala 7 indica que es neutra por debajo de este parámetro el agua es ácido y por encima es más alcalina. (Guzmán, 2001).

En general, mezclar agua que contenga ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones de hasta 10,000 ppm no afectará adversamente la resistencia del concreto. El agua ácida con un pH inferior a 3,0 es poco manejable y debe evitarse en lo posible. (Guzmán, 2001).

En concreto no armado se puede utilizar agua de mar con una salinidad no mayor del 3.5% (35,000 ppm). Sin embargo, al utilizar este tipo de agua en la mezcla genera en el concreto una resistencia temprana y prolonga a largo plazo menor resistencia; la pérdida de resistencia es menor al 15%. En caso contrario al concreto reforzado se considera que el agua de mar aumenta el riesgo de corrosión en la armadura. (Guzmán, 2001).

“Como regla general de aceptabilidad de sulfatos en el agua para mezcla, el contenido de sulfato no debe exceder 1 g de SO_3/l . La cantidad de sulfato, permitida depende del contenido de sulfato de los agregados y el cemento, ya que la cantidad total de sulfato en el concreto es muy importante”. (L., 2019).

El agua que contiene carbonato y bicarbonato alcalinos logra afectar el tiempo de fraguado del cemento y la resistencia del concreto, esto es perjudicial ya puede generar una reacción álcalis-agregado si excede 1 g/l de agua. (L., 2019).

Especificaciones y calidad de agua

El agua que cumpla con ciertas normas de calidad y sea aceptable para el uso en la mezcla será también para el curado. El agua que contenga materia orgánica o ferrosa generará manchas, fluirá lentamente y se evapora rápidamente. De acuerdo con lo expuesto a lo anterior, en la Imagen 7, se presenta un breve resumen de las tolerancias máximas de concentraciones de contaminantes en el agua de mezclado y curado de concretos. (Guzmán, 2001).

Imagen 7: Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas.

Impurezas	Máxima concentración tolerada	
Carbonatos de sodio y potasio	1.000	ppm
Cloruro de sodio	20.000	ppm
Cloruro, como Cl (concreto preesforzado)	500	ppm
Cloruro, como Cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares o galvanizados)	1.000	ppm
Sulfato de sodio	10.000	ppm
Sulfato, como SO ₄	3.000	ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400	ppm
Cloruro de magnesio	40.000	ppm
Sulfato de magnesio	25.000	ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Sales de hierro	40.000	ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500	ppm
Sulfito de sodio	100	ppm
Acido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000	ppm
pH	6,0 a 8,0	
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0,5%	
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1,2%	
Azúcar	500	ppm
Partículas en suspensión	2.000	ppm
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Agua con algas	0	
Materia orgánica	20	ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35.000	ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable	

Fuente: (Guzmán, 2001).

Agregados

También se les conoce como áridos, son materiales inertes y granulares, que pueden ser naturales o artificiales, que al unirse con el cemento y el agua crean una masa sólida semejante a una piedra artificial llamado concreto. (Vázquez, 2019).

Los concretos hidráulicos están formados por una gran proporción de agregados que va del 60-75% del total del volumen, las características de una mezcla de concreto, tanto en estado fresco como endurecido, dependen en gran parte de las características y propiedades de los agregados que lo conforman, por ello se hace indispensable indagar en el tema para lograr concretos de calidad y económicos. (Vázquez, 2019).

Los agregados deben desempeñar ciertos estándares para optimizar su uso en la ingeniería por ejemplo deben ser: partículas limpias, duras, resistentes, duraderos y que no contengan absorbentes químicos, sin recubrimiento de arcilla o exceso de

partículas muy finas que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del concreto. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

Hay agregados que contienen elementos nocivos que provocan inconvenientes que afectan la estructura interna del concreto y su durabilidad, entre estos elementos se pueden mencionar: los sulfurados, las que poseen partículas de polvo o los que se encuentran en descomposición latente como las pizarras. (Vázquez, 2019).

La elección y control de los agregados le darán las siguientes características al concreto: docilidad en estado fresco, resistencia en estado endurecido, durabilidad, economía en las mezclas y disminuir el uso de cemento sin afectar la resistencia este último se logra gracias a una buena granulometría del agregado grueso. (H., 2019).

Clasificación de los agregados

Por su procedencia:

- a. “Artificiales: extraídos de escorias de alto horno”. (Herrera, y otros).
- b. Naturales: se derivan de sedimentos pétreos y que no han sufrido ningún tratamiento. (Herrera, y otros).

Por su tamaño:

- a. Agregados finos: consiste en arena natural o piedra triturada en partícula menor a 5mm (tamiz #4) y mayor a 0.074mm (tamiz #200).
- b. Agregado grueso: consisten en una o en la combinación de gravas o rocas trituradas con partículas que es su mayoría son mayores a 5 mm (0.2 pulg.) y típicamente de 9.5 mm a 37.5 mm (3/8” y 1 1/2”). (Hernández, 2014)
- c. Grava: Agregado de tamaño máximo mayor o igual a 20 mm. (Vázquez, 2019)
- d. Gravilla: Agregado de tamaño máximo menor a 20 mm. (Vázquez, 2019).

La grava y la gravilla son el resultado del desgaste natural y descomposición de las rocas o del proceso de aglutinados de masas sueltas. (Vázquez, 2019).

Imagen 8: Clasificación de los agregados.



Fuente: (H., 2019).

Según su forma

Cuadro 5: Clasificación de las partículas del agregado según su forma.

Forma	Descripción
Canto rodado	Se originan en ríos por la fricción a la que se encuentran se eliminan las partes salientes de las mismas.
Angulosas	Poseen ángulos, aristas vivas y superficies regularmente planas, provenientes de trituraciones.
Planas o laminares	Prevalcen dos dimensiones sobre la tercera.
Aciculares	También llamadas alongadas, en ellas prevalece una dimensión sobre las otras dos, poseen formas de agujas.
Irregular	Naturalmente irregulares en partes limitada por fricción y con bordes redondeados.

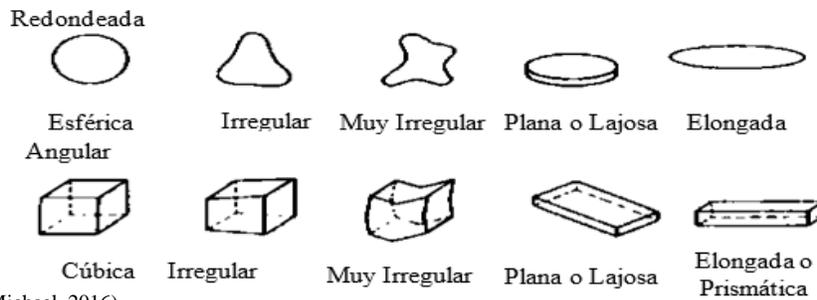
Fuentes: (Vázquez, 2019) y (Murillo, 2019)

El agregado debe estar relativamente libre de partículas planas y elongadas, se debe evitar las partículas más pequeñas al menos no más del 15% del peso total del agregado. (Hewlett, 2004)

Las partículas gruesas, angulares o elongadas requieren más agua para generar un concreto con buena trabajabilidad a diferencia de los agregados lisos, redondeados y compactos. Como también demandan más cemento para conservar la misma relación agua-cemento y son más difíciles de bombear. El espacio entre las partículas de los agregados aumenta con la angularidad del mismo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

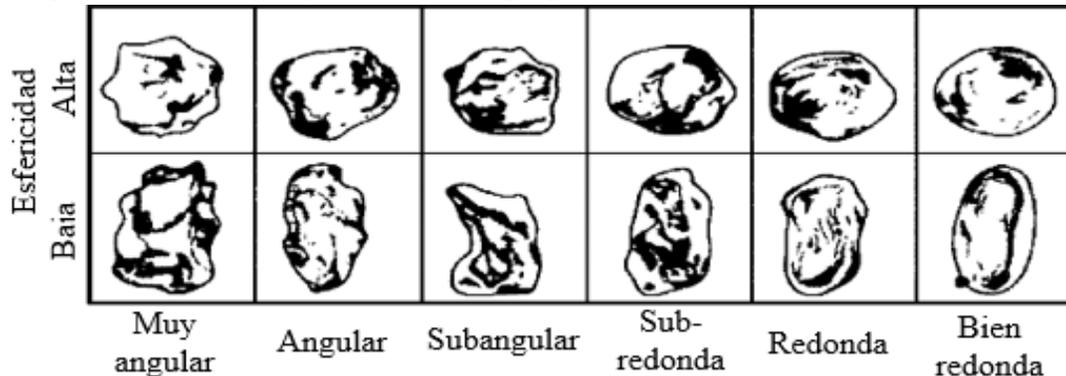
En el caso de los cantos rodados se obtienen un concreto trabajable gracias a su forma que se aproxima a una esfera; con las trituradas se consiguen concretos de menor trabajabilidad, lo que dificulta la compactación y su efecto será peor al aproximar la forma a un cubo. Los agregados laminares y aciculares repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad del concreto. (Hewlett, 2004)

Imagen 9: Forma de los agregados.



Fuente: (Michael, 2016).

Imagen 10: Esfericidad y redondez de agregados.



Fuente: (Hewlett, 2004).

Según su textura superficial

La textura de la superficie de los agregados depende de la naturaleza de la roca de su origen, dureza, tamaño, porosidad y de los efectos a los cuales hayan estado sometidos. Tanto la forma como la textura influyen en la movilidad del agregado dentro de la mezcla, pues proporcionan la facilidad de moverse y ser manipuladas durante el proceso. (Murillo, 2019).

Al utilizar agregados de baja fluidez, esto afecta la trabajabilidad del concreto fresco y requiere más energía para lograr el mismo grado de compactación lo que conlleva al aumento en la proporción de agregado fino en la mezcla para asegurar una trabajabilidad adecuada. En caso contrario al utilizar un agregado con superficie áspera existe una mejor adherencia con la pasta de cemento. (Murillo, 2019).

Cuadro 6: Textura de los agregados.

Textura	Características	Ejemplos
Vítrea	Fractura conoidal.	Pedernal negro, escoria vítrea.
Lisa	Gastada por el agua y aspecto liso generado por fractura de la roca.	Gravas, pizarras, mármol, algunas reolitas.
Granular	Ruptura que genera partículas uniformemente redondas.	Areniscas
Ásperas	Aspecto áspero en roca con partículas finas y medianas que poseen minerales cristalinos no visibles.	Basalto, felsita, pórfido, caliza.
Cristalina	Posee minerales cristalinos fácilmente visibles.	Granito, Gabro, Gneis.
Apanalada	En su estructura poseen poros y orificios visibles.	Pómez, escoria, espumosa, arcillas expandidas.

Fuente: (Vázquez, 2019).

II.3 Características de los agregados

Granulometría

Es el porcentaje en masa de la distribución de diferentes tamaños de partículas del agregado, el cual se determina por una serie de tamices de diferentes tamaños de aberturas en la malla de alambre, llamado también cedazo o cribas. (H., 2019).

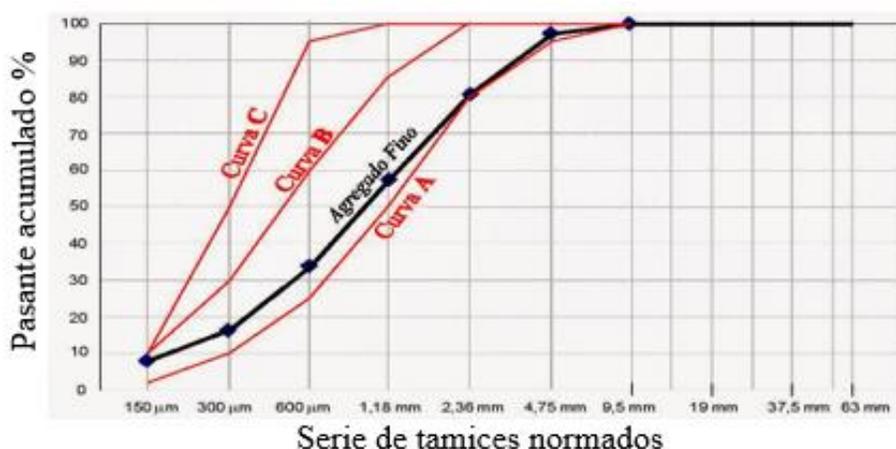
Existen siete tamices normados para la granulometría del agregado fino los cuales poseen aberturas que oscilan entre de 150 μm a 9.5 mm (Tamiz No.100 a 3/8 pulg.). Los límites granulométricos se expresan generalmente como el porcentaje de material que pasa por cada tamiz. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

Imagen 11: Límites granulométricos del agregado fino.

Tamiz	Arena Natural	Arena Manufacturada
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100	80 a 95
1.18 mm (N°16)	50 a 85	45 a 95
600 μm (N°30)	25 a 60	25 a 75
300 μm (N°50)	5 a 30	10 a 35
150 μm (N°100)	0 a 10	8 a 20

Fuente: (Norma Técnica Guatemalteca NTG 41007, 2019).

Imagen 12: Límites granulométricos del agregado fino.



Fuente: (Mansilla, 2009).

Para ensayar y conocer la granulometría del agregado grueso se utilizan 13 tamices normados, con aberturas que oscilan de 1.18 mm a 100 mm (0.046” a 4”). (H., 2019)

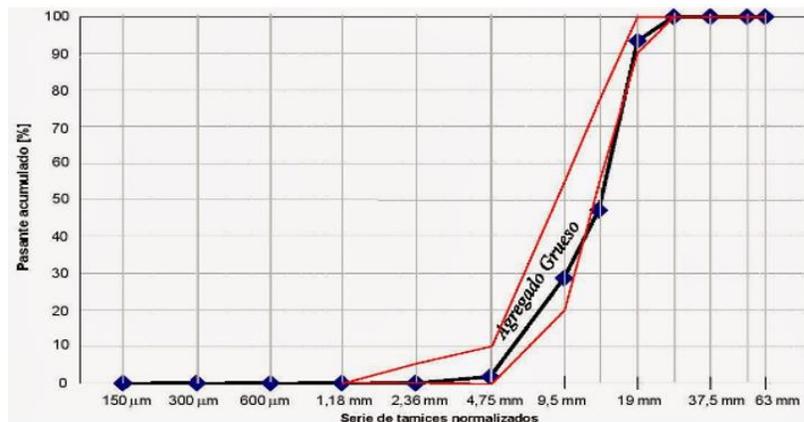
Imagen 13: Límite granulométrico del agregado grueso.

Número del tamaño	Tamaño nominal, tamices con abertura cuadradas*	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio,				
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3½ pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2½ pulg.)	50 mm (2 pulg.)
1	90 a 37.5 mm (3½ a 1½ pulg.)	100	90 a 100	—	25 a 60	—
2	63 a 37.5 mm (2½ a 1½ pulg.)	—	—	100	90 a 100	35 a 70
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 pulg.)	—	—	—	100	90 a 100
357	50 a 4.75 mm (2 pulg. a No. 4)	—	—	—	100	95 a 100 ¹
4	37.5 a 19.0 mm (1½ a ¾ pulg.)	—	—	—	—	100
467	37.5 a 4.75 mm (1½ pulg. a No. 4)	—	—	—	—	100
5†	25.0 a 12.5 mm (1 a ½ pulg.)	—	—	—	—	—
56†	25.0 a 9.5 mm (1 a ¾ pulg.)	—	—	—	—	—
57	25.0 a 4.75 mm (1 pulg. a No. 4)	—	—	—	—	—
6†	19.0 a 9.5 mm (¾ a ½ pulg.)	—	—	—	—	—
67	19.0 a 4.75 mm (¾ pulg. a No. 4)	—	—	—	—	—
7	12.5 a 4.75 mm (½ pulg. a No. 4)	—	—	—	—	—
8	9.5 a 2.36 mm (¾ pulg. a No. 8)	—	—	—	—	—

porcentaje que pasa							
37.5 mm (1½ pulg.)	25.0 mm (1 pulg.)	19.0 mm (¾ pulg.)	12.5 mm (½ pulg.)	9.5 mm (¾ pulg.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—
—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—
90 a 100	20 a 55	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—
95 a 100 ¹	—	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—
100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—
100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—
100	95 a 100 ¹	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—
—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—
—	100	90 a 100	—	25 a 55	0 a 10	0 a 5	—
—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	—
—	—	—	100	85 a 100 ¹	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004)

Imagen 14: Límites granulométricos del agregado grueso.



Fuente: (Mansilla, 2009).

Método de Ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso según ASTM C136

La muestra del agregado a utilizar para este análisis se debe obtener de acuerdo con lo establecido en la ASTM D75 y disminuirse con la práctica ASTM C702:

- a. Remojar el agregado fino antes de la reducción del tamaño de la muestra para evitar segregación.
- b. Antes de realizar la prueba, la muestra seca debe tener la masa apropiada.
- c. La muestra a analizar debe ser el resultado de la reducción por cuarteo; no se permite realizar un ajuste a la masa. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

Para el agregado fino: la masa de la muestra, después del secado, debe ser de 300 g como mínimo y para el agregado grueso el tamaño de la muestra seca, debe ser acorde a como se muestra en el siguiente cuadro: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cuadro 7: Tamaño de la muestra para ensayo del agregado grueso.

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas		Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	
mm	pulg.	kg	lb
9.5	3/8	1	2
12.5	1/2	2	4
19.0	3/4	5	11
25.0	1	10	22
37.5	1 1/2	15	33
50.0	2	20	44
63.0	2 1/2	35	77
75.0	3	60	130
90.0	3 1/2	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Para realizar muestra de ensayo de mezclas de agregado grueso y fino estas deben ser igual a lo que se indica en el cuadro anterior. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

Procedimiento:

La muestra a secar debe estar expuesta a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Posteriormente elegir los tamices con las aberturas adecuadas para cubrir el material a ensayar. Ordenar los tamices de forma decreciente, de arriba hacia abajo para colocar la muestra en el tamiz superior. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 15: Colocación de tamices de forma decreciente e introducir los agregados.



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

Agitar los tamices ya sea manual o mecánicamente con el tiempo necesario que requiera el procedimiento adecuado del tamizado. No sobrecargar de material un tamiz independiente, posteriormente realizar los siguientes pasos: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

- a. Colocar un tamiz adicional con una abertura intermedia, entre el tamiz que pueda sobrecargarse y el superior a él.

- b. Dividir la muestra en dos o más porciones, tamizar por separado cada porción. Luego combinar los pesos de las diferentes fracciones retenidas en cada tamiz antes de calcular el porcentaje de muestra en ese tamiz.
- c. Utilizar tamices que tengan un área y marco de mayor tamaño. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Realizado el tamizado con el tiempo suficiente, la masa de cada residuo en cada tamiz individual no debe de ser mayor al 1% de su peso total, de lo contrario tamice nuevamente por un minuto adicional de la siguiente manera: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

- a. Colocar el tamiz en una charola con tapadera ajustada sobre una mano en posición inclinada.
- b. “Realizar golpes en el lado opuesto del tamiz lo más rápido posible y con movimiento hacia arriba se golpea con la palma de la otra mano a una frecuencia de 150 veces por minuto”.
- c. Girar el tamiz a un sexto de revolución cada 25 golpes. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

La eficiencia de las partículas mayores al tamiz 4.75 mm (No. 4) se determinará por la limitación del material, de tal forma que sólo exista una capa de partículas en ella. Si el procedimiento se hace incomodo se procede a emplear el uso de un tamiz que tenga un diámetro de 203 mm (8”) para comprobar la eficiencia del tamizado. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

Método manual para gravas

Las muestras de gravas son generalmente voluminosas por su tamaño nominal, por ello, si no se tiene un juego de tamices y agitador de dimensiones apropiadas, se opta

por utilizar el siguiente método manual en el cual se realiza por tamiz individual: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

- a. Utilizar tres charolas del tamaño de la muestra.
- b. Colocar en la primera charola la muestra seca y se anotar el peso que posee.
- c. En la segunda charola sobreponer el tamiz de mayor tamaño a utilizar y con la ayuda del cucharón colocar proporciones de la muestra, las cuales no deben cubrir la malla con una capa de partículas.
- d. Agitar con las dos manos, de tal manera que todas las partículas se muevan sobre la malla.
- e. Si no pasa material, lo que se tenga se debe pasar a la tercera charola con la misma proporción y forma hasta lograr tamizar toda la muestra.
- f. Determinar el peso total de la muestra retenida en este tamiz, se procede a anotarlo posteriormente se continúa de la misma forma con los siguientes tamices hasta el No. 4 y No. 8, según el caso.
- g. Se establece el peso del material que logro pasar en el tamiz inferior y se anota.
- h. Los porcentajes se calculan en base al peso total de la muestra e incluir el material que pasó el tamiz No.200. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

Módulo de finura (MF)

Para calcular el módulo de finura del agregado fino y grueso se realizan los cálculos como lo establece las ASTM C125, él cual indica que se deben sumar los porcentajes acumulados de los pesos retenidos en cada tamiz y a su vez dividirlo dentro de 100. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

La serie especificada de tamices para determinar el MF es la siguiente: No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y 6". (Guzmán, 2001)

Módulo de finura para el agregado fino:

$$M.F. = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

Módulo de finura para el agregado grueso:

$$M.F. = \frac{\% \text{ Ret. Acum. (6'' , 3'' , 1 1/2'' , 3/4'' , 3/8'' , N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

“El módulo de finura es un indicador de la finura que posee el agregado, cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. El módulo de finura de los agregados finos se puede utilizar para calcular la proporción del agregados fino y grueso en el concreto”. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

Las siguientes especificaciones del módulo de finura sólo aplica para los agregados finos:

- a. Se usa en plantas de concreto.
- b. El MF no debe ser menor a 2.3 ni mayor que 3.1
- c. La variación en el módulo de finura no debe exceder de 0.20.
- d. Los concreto que poseen buena trabajabilidad y no presentan segregación es porque el módulo de finura del agregado fino esta entre 2.2 y 2.8
- e. Para producir concretos de alta resistencia l módulo de finura de los agregados finos debe estar entre 2.8 y 3.2. (Tas, 2011).

“Tamaño Máximo: Las ASTM C125 lo define como el menor tamiz por el cual toda la muestra de agregado grueso debe pasar” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

Tamaño Máximo Nominal: Se refiere al peso del agregado que ha pasado más del 90% en el tamiz con abertura menor al Tamaño Máximo Absoluto. De lo contrario, la tasa porcentual es menos al 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto. (H., 2019).

“Tamaño Máximo Absoluto (Da): Se refiere a la abertura de tamiz con abertura menor de la serie establecida, que deja pasar el 100% del peso del agregado.” (H., 2019).

El tamaño máximo del agregado a utilizar depende del tamaño y forma de la estructura de concreto, la cantidad y distribución de los hierros en la armadura. El tamaño máximo del agregado no debe exceder de: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

- a. 1/5 de la dimensión estructural más pequeña.
- b. 3/4 del espacio libre entre las armaduras y el encofrado.
- c. 1/3 del espesor de la losa. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

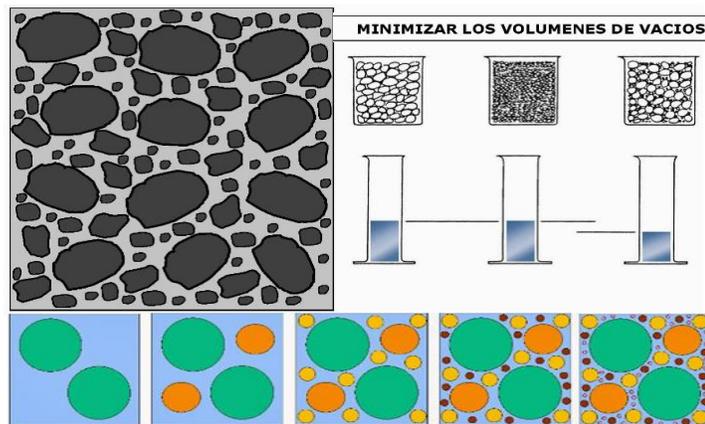
Es de suma importancia especificar los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, ya que influye en la demanda de agua, proporción de cemento, trabajabilidad, bombeo economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

Las diferencias que se dan en la granulometría pueden afectan gravemente en la uniformidad del concreto. Si se utilizan arenas muy finas estas pueden resultar antieconómicas, por otro lado, las arenas y gravas gruesas pueden generar mezclas sin trabajabilidad. Por lo que se deben utilizar agregados que no presenten variación en

los tamaños de sus partículas y que presenten una curva granulométrica suave, para producir resultados más satisfactorios. (Mansilla, 2009).

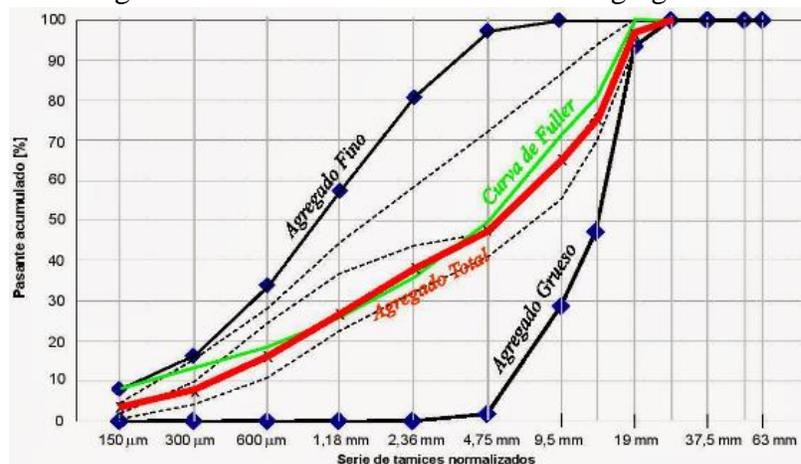
La demanda de pasta corresponde a la cantidad de vacíos que existe en la mezcla, por ello se hace indispensable combinar varios tamaños de agregados para disminuir la cantidad de vacíos en el concreto. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Agregados para Concreto, 2004).

Imagen 16: Distribución de tamaños de los agregados.



Fuente: (Mansilla, 2009).

Imagen 17: Límite granulométrico de la combinación de agregados finos y gruesos.



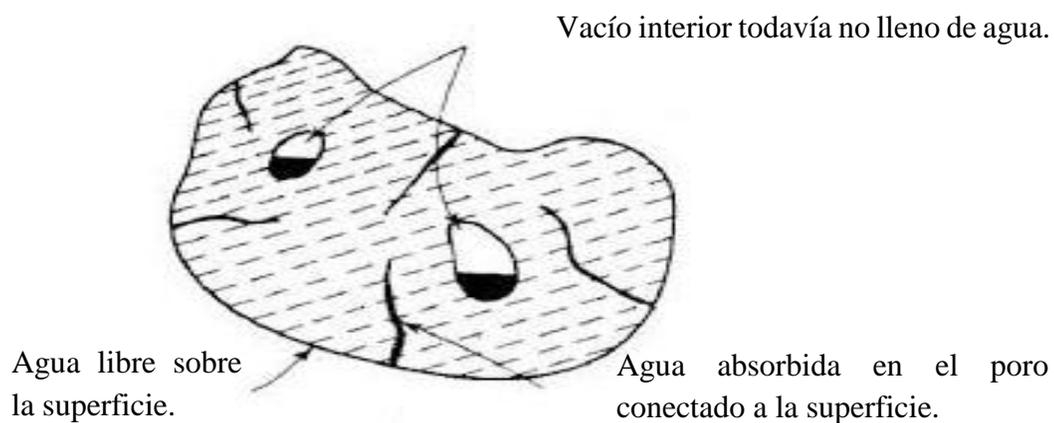
Fuente: (Mansilla, 2009)

Propiedades físicas del agregado

Gravedad específica (densidad relativa).

Se determina como la relación que existe entre la densidad del material y la densidad de agua a una temperatura establecida. Los agregados poseen entre sus partículas orificios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o saturados de agua, y que va a depender de su permeabilidad interna. (Guzmán, 2001).

Imagen 18: Agregado húmedo.



Fuente: (Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas", UCA, 2019).

Masa específica aparente (densidad aparente): Es la relación existente entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas, incluidos todos los poros saturados y no saturados. (Guzmán, 2001).

En el concreto la densidad que es de sumo interés es la densidad aparente, con ella se puede determinar el peso del agregado que se solicita para el volumen unitario, pues los poros internos de los agregados ocupan un volumen dentro del peso del concreto ya que el agua se alberga dentro de dichos poros lo que provoca que se saturen, pero se debe tomar en cuenta que estos no forman parte del agua de mezclado. (Guzmán, 2001).

Gravedad específica aparente (densidad relativa aparente): Es la relación entre la densidad aparente de un agregado y la densidad del agua a una temperatura dada. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Los agregados pueden presentarse en las siguientes condiciones según la norma ASTM C128:

Seca al horno (s):

Es la condición en la cual las partículas del agregado han sido secados en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ a un tiempo establecido para alcanzar un peso constante. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Saturada de superficie seca (sss):

En esta condición los poros de las partículas del agregado se encuentran llenas de agua, al sumergirlas por un lapso de tiempo prolongado, pero sin la presencia de agua libre en la superficie de las partículas. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Masa Volumétrica (densidad, masa unitaria) y vacíos

Es la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupa exclusivamente la masa sólida, sin incluir todos los poros saturados y no saturados. Esto se refiere al volumen que ocupan los agregados y los espacios vacíos entre partículas. La cantidad de vacíos varía alrededor del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino. (Guzmán, 2001)

Método para la determinación de la masa volumétrica del agregado y contenido de vacíos según ASTM C29

Se describen tres métodos para la consolidación del agregado en el recipiente, que depende del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

Muestreo según ASTM C172

El lapso de tiempo para obtener la primer y segunda muestra de concreto no debe exceder de los 15 min entre una y otra. Se debe de trasladar las muestras por separado al lugar donde se realizarán los ensayos y especímenes del concreto fresco. Antes de realizar los ensayos se debe mezclar bien las muestras con una pala lo necesario para asegurar la uniformidad y cumplir los límites de tiempo máximo que se especifican a continuación: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

El primer ensayo a realizar será el de revenimiento, seguido por el ensayo de temperatura y contenido de aire hacerlo dentro de los cinco minutos después de obtener la muestra final. Realizar estos ensayos lo más rápido posible. Luego comenzar a elaborar los especímenes para ensayos de resistencia dentro de los 15 min después de la muestra compuesta. Los especímenes se deben resguardar del sol, viento, fuentes de evaporación y de la contaminación. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Muestreo según ASTM C29

El tamaño aproximado de una muestra debe ser de un 125% a un 200% de la cantidad solicitada para rellenar el recipiente, evitar la segregación. La muestra de agregados se debe secar hasta lograr un peso constante, utilizar para este procedimiento un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Calibración del recipiente según ASTM C29

Se debe determinar la precisión del peso del agregado en kilogramos, esto se logra al colocar el recipiente con la placa de vidrio en la báscula, se procede a anotar. Luego llenar el recipiente con agua limpia a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio, enrasar el borde del recipiente de fuera hacia adentro de tal modo que se elimine el exceso de agua y secar el exterior del recipiente, si llegarán aparecen

burbujas de aire, debe repetirse el procedimiento. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

Determina el peso neto del agua con la exactitud aproximada de la báscula y se procede a medir la temperatura, en función de estos dos factores se obtiene la masa unitaria del agua en kg/m³, en base a la siguiente fórmula: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

$$F = \frac{MU}{MA}$$

F= Es el factor en un metro cubico (m³).

MU= Es la masa unitaria del agua, este dato se obtiene del Cuadro 8, en kg/m³.

MA= Es la masa del agua requerida para llenar el recipiente, en kg. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

Cuadro 8: Densidad del agua.

°C	°F	Kg/m ³	Lb/pie ³
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23.0	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

El resultado del peso unitario de un agregado muestra de manera general la calidad y capacidad para ser utilizado en la elaboración de una mezcla de concreto. A continuación, se describen dos tipos de pesos unitarios, sus valores oscilar entre 1,100

y $1,600 \text{ kg/m}^3$ para agregados de origen naturales y dependen de su grado de compactación. (Guzmán, 2001).

Peso unitario compacta:

En este tipo de peso existe un nivel de acomodamiento de las partículas del agregado al someterse a vibración. Gracias a este factor se puede determinar el volumen absoluto del agregado dentro del diseño de mezcla, ya que las partículas del agregado quedan confinadas dentro de la mezcla del concreto. (Guzmán, 2001).

Peso unitario suelta:

Es el tipo de peso que se encuentra en estado de reposo normal pues su volumen ocupa un espacio mayor y su peso unitario es menor, por ello es de suma importancia obtener el valor del peso unitario suelto de los agregados, ya que al momento de transportarlos y utilizarlos su volumen será mayor que el volumen de agregados dentro de la mezcla de concreto a producir, colocar y compactar (Guzmán, 2001).

Selección del procedimiento según ASTM C29

La densidad del peso compacto se determina por el procedimiento de varillado, para agregados que poseen un tamaño máximo nominal de 37.5 mm ($1 \frac{1}{2}''$) o menor, también se puede realizar por medio de sacudidas para agregados que tengan un tamaño nominal máximo mayor de 37.5 mm ($1 \frac{1}{2}''$), y que no sobrepasen los 125 mm ($5''$). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento de varillado

Se procede a llenar el recipiente a un tercio y nivelar la superficie con los dedos, varillar con la barra de apisonamiento la capa de agregado con 25 golpes distribuidos de manera uniforme en la superficie. Llenar el recipiente a dos tercios y se vuelve a nivelar y varillar como se hizo anteriormente, para finalizar se procede a llenar el

recipiente a su totalidad hasta rebosarlo y varillar nuevamente.(Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Con la ayuda de una regla enrasadora se procede a nivelar la superficie del molde, se debe retirar los agregados de gran tamaño que se salgan del borde del molde para equilibrar y evitar vacíos grandes en la superficie por debajo, en interior del recipiente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Al varillar la primera capa evitar que la varilla toque el fondo del recipiente se debe calcular una distancia de una pulgada. Para la segunda y tercera capa, el varillado debe realizarse con fuerza sin excederse, de tal manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximado a una pulgada. Se debe tomar en cuenta que al contener agregados gruesos angulares de gran tamaño al momento de varillar no sea posible penetrar la capa que se consolida en ese momento. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 19: Método de varillado para agregados según ASTM C29.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento de sacudidas

Dividir el recipiente en tres partes iguales y proceder a llenarlo como se indicó anteriormente, se debe consolidar cada capa y colocar el recipiente sobre una base fija, puede ser un piso de concreto; se procede a levantar dos pulgadas los lados opuestos del recipiente para dejarlo caer de tal manera que tope contra el piso, con este ejercicio las partículas de los agregados se acondicionarán por sí mismas y formarán cada capa, repetir este paso 50 veces por cada capa y 25 veces de cada lado. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento de paleo (vaciado con pala)

Con la ayuda de una pala o cucharón llenar el recipiente hasta rebosarlo, se dejan caer los agregados desde una altura no mayor a 50 mm (2") por encima del recipiente. Evitar, en lo posible, la segregación de las partículas de los agregados. Nivelar con una regla enrasadora la superficie del borde del recipiente para evitar vacíos dentro del mismo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Para los tres procedimientos se determinan el peso del recipiente y el peso de ambos (recipiente más su contenido) y anotar los valores al 0.05 kg (0.1 lb) más cercano. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos según ASTM C29:

a. Densidad aparente en condición seca al horno.

El cálculo de la densidad aparente para los procedimientos de varillado, sacudidas y paleo se realiza, como sigue:

$$M = \frac{P_s}{V_m}$$

Donde:

M = Densidad aparente de los agregados kg/m³ (lb/pie³)

P_s = Peso seco de la masa m

V_m = Volumen ocupado por la masa. (Guzmán, 2001).

“Para obtener la densidad aparente en la condición saturada de superficie seca (SSS), se utilizar el mismo procedimiento expuesto anteriormente, y se calcula la densidad aparente SSD, con la ayuda de esta fórmula:” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

$$MSSD = \frac{M}{1 + (A/100)}$$

Donde:

MSSD = Densidad aparente de los agregados en condición saturada de superficie seca
SSD kg/m^3 (lb/pe^3) y

A = % de absorción (ASTM C127)

b. Contenido de vacíos.

“Calcular el contenido de vacíos en los agregados con la densidad aparente determinada mediante procedimientos ya sea de varillado, sacudidas, o paleo, como se indica a continuación:”

$$\% \text{ de vacíos} = 100 [(S \times W) - M] / (S \times W)$$

Donde:

M = Densidad aparente de los agregados kg/m^3 (lb/pe^3)

S = Gravedad específica base seca (ASTM C127)

W = Densidad del agua, 998 kg/m^3 (62.3 lb/pe^3) (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

c. Volumen del recipiente.

$$V = (W - M) / D$$

Donde:

$$F = D / (W - M)$$

V = Volumen del recipiente en m³ (pie³)

W = Densidad del agua para la temperatura medida en kg/m³ (lb/pie³),

F = Factor para el recipiente, 1/m³ (1/pie³). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Requerimientos para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino según ASTM C128

Muestreo de la ASTM D75:

a. Muestreo de un flujo de descarga de una banda o de un contenedor:

Como mínimo se debe obtener tres muestras iguales, seguidamente se combinan las muestras para formar una sola que su peso no exceda el mínimo recomendado en el Cuadro 9. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Para obtener las muestras es necesario utilizar una bandeja de tamaño suficiente para interceptar la sección del chorro de la descarga y retener la cantidad requerida de material, sin desbordamiento. Utilizar una base para colocar la bandeja abajo del chorro de descarga. Es necesario tener los contenedores llenos para evitar la segregación. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cuadro 9: Tamaños de las muestras.

	Tamaño	Masa Mínima de Muestra de Campo
Agregado Fino	No. 8 (2.36 mm)	10 kg. (25 lb)
	No. 4 (4.75 mm)	10 kg. (25 lb)
Agregado grueso	3/8" (9.5 mm)	10 kg. (25 lb)
	1/2" (12.5 mm)	15 kg. (35 lb)
	3/4" (19.0 mm)	25 kg. (55 lb)
	1" (25.0 mm)	50 kg. (110 lb)

Agregado grueso	1 ½" (37.5 mm)	75 kg. (165 lb)
	2" (50 mm)	100 kg. (220 lb)
	2 ½" (63 mm)	125 kg. (275 lb)
	3" (75 mm)	150 kg. (330 lb)
	3 ½" (90 mm)	175 kg. (385 lb)

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 20: Muestreo en un flujo de descarga.



Fuente: (Vargas, 2015).

b. Muestreo de una banda transportadora:

Al obtener las muestras se debe dejar sin movimiento la banda transportadora y colocar dos placas que tengan el ancho y forma de la banda en donde está el punto de descarga, se acomodan de tal forma que el material que quede comprendido entre ambas, sea una de las porciones y tenga el peso que se necesita para muestrear. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

Con la ayuda de una pala recoja el material que ha quedado entre las dos placas separadoras, seguidamente se coloca en un contenedor apropiado, también se debe recoger los finos de la banda con una brocha o pala y colocarlos en el mismo contenedor. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 21: Muestreo en una banda transportadora.



Fuente: (Vargas, 2015).

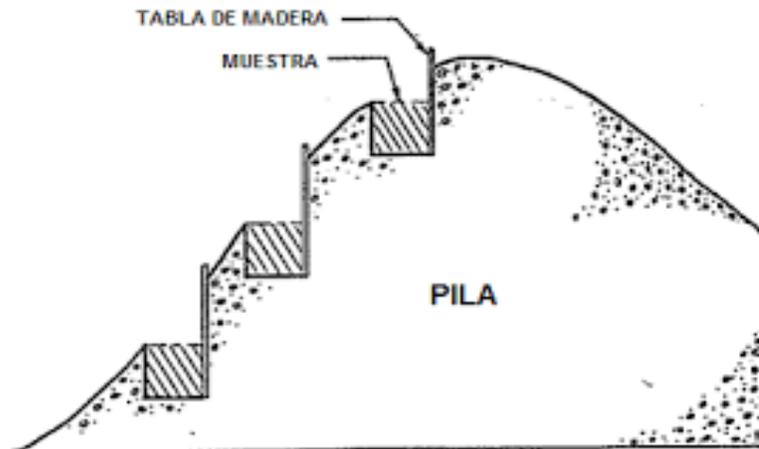
c. Muestreo desde una pila de almacenaje o unidad de transporte:

Para determinar las características y graduación de los agregados se debe evitar en lo posible muestrear agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino de una pila de almacenamiento o unidades de transporte. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Es inevitable obtener muestras inalteradas de material en las pilas de almacenaje, pues existe segregación al apilar el material porque las partículas gruesas ruedan hacia abajo de la pila. Para el agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino se emplea el servicio de un equipo mecánico para un apilamiento más pequeño, combinado de materiales de varios niveles para formar la muestra de campo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“En donde no es posible emplear equipo mecanizado, las muestras de la pila deben ser hechas de por lo menos tres porciones tomadas del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen de la pila. Usar una tabla insertada verticalmente dentro de la pila justamente por arriba del punto de muestreo ayuda a prevenir la segregación. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 22: Muestreo en pilas.



Fuente: (Vargas, 2015)

Si al momento de muestrear el agregado fino apilado existe segregación, deber ser removida para ello utilizar tubos de dos metros de largo con un diámetro de 30 mm (1 1/4”), se procede a insertarlos aleatoriamente en la pila de tal manera que se extraigan un mínimo de cinco porciones de material para formar la muestra de campo. Este procedimiento es aplicable para el muestreo de camiones, góndolas, plataformas, entre otros. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

d. Muestreo en la carretera (Bases y Sub-Bases):

Obtener como mínimo tres muestras iguales seleccionadas aleatoriamente, unificarlas para formar una sola muestra, su masa no debe de exceder a lo que se establece en el Cuadro 9. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Se debe excluir todo material que no corresponda a la capa al tomar cada porción de material. Se debe marcar de forma clara las áreas establecidas de donde será tomada cada muestra, con la ayuda de una placa separadora se colocada sobre el área para asegurar que las porciones sean del mismo peso. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Número y masas de las muestras de campo:

En el Cuadro 9 se especifican las cantidades del material a utilizar para las muestras de granulometría y análisis de calidad, el peso de cada muestra se basa en el tipo y el número que se quieran realizar por lo que se hace necesario tener suficiente material de muestreo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Envío de las muestras:

Para evitar pérdidas, daño o contaminación en las muestras por un mal manejo es necesario transportar los agregados en bolsas o recipientes, los cuales deben estar identificados de manera individual para tener un informe detallado del ensayo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Práctica para la reducción de muestra de agregados según ASTM C702

Para realizar esta práctica existen tres métodos para la reducción de muestras grandes de agregados para un tamaño adecuados para el ensayo, se utilizan técnicas que tienden a minimizar las variaciones de las características medidas entre las muestras de ensayo seleccionadas y la muestra grande. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Selección del método de reducción de tamaños

a. Para agregado fino:

Para la reducción del tamaño de la muestra del agregado fino se puede hacer por los siguientes métodos: Se puede reducir el tamaño de la muestra más seca que la condición saturada de superficie seca (sss) del agregado, con la ayuda de un divisor mecánico conforme lo indica el método A, el cual se detalla más adelante. También se puede reducir el tamaño de las muestras de los agregados por cuartos, que posean humedad libre en la superficie de las partículas, como lo especifica el método B o por el método C que se refiere a un tratamiento de las partículas como una pila en miniatura. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si la muestra que se desea reducir por medio del método B o C no posee humedad libre en la superficie de sus partículas, se procede a humedecer previamente la muestra y mezclarla constantemente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si la muestra a reducir presenta humedad libre en sus partículas y se quiere realizar por medio del método A se procede a secar la muestra completamente hasta lograr alcanzar la condición saturada de superficie seca (sss), posteriormente se procede a la reducción del tamaño de la muestra. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si la muestra húmeda a ensayar es muy grande, se debe de hacer una división previa antes de utilizar el divisor mecánico el cual posee hendiduras de 38 mm (1 ½") o colocar hendiduras de mayor de ancho para poder reducir la muestra a porciones de no menores a 5 kg (10 lb). Posteriormente se procede a secar la muestra y hacer la reducción con el método A. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

b. Agregado grueso y mezclas de agregados gruesos y fino:

Para la reducción de estos agregados solo se puede utilizar el método A que es por medio del divisor mecánico o con el método B al realizar el cuarteo. El método C está prohibido utilizarse. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Muestreo

Para obtener muestras de agregado en campo y en laboratorio, realizarlas de acuerdo lo establecido en la ASTM D75. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

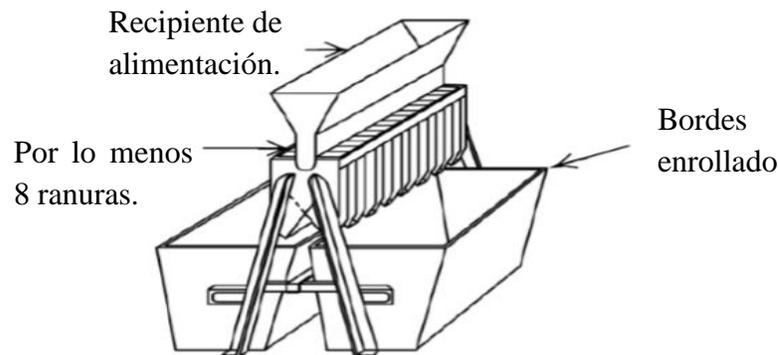
A continuación, se describen los tres métodos para la reducción de la muestra:

Método A: Divisor Mecánico

El divisor mecánico que se utilice debe tener ranuras pares para lograr descargar en partes iguales de cada lado, estos deben ser del mismo ancho; para agregado grueso las ranuras no deben ser menor a ocho y doce para agregado fino. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Las ranuras a utilizar para agregado grueso o agregado mezclado, debe tener un ancho mínimo del 50% mayor que las partículas de mayor tamaño después de haberlas reducido, esto quiere decir, que no deben ser mayor a 37.5 mm (1 ½”). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

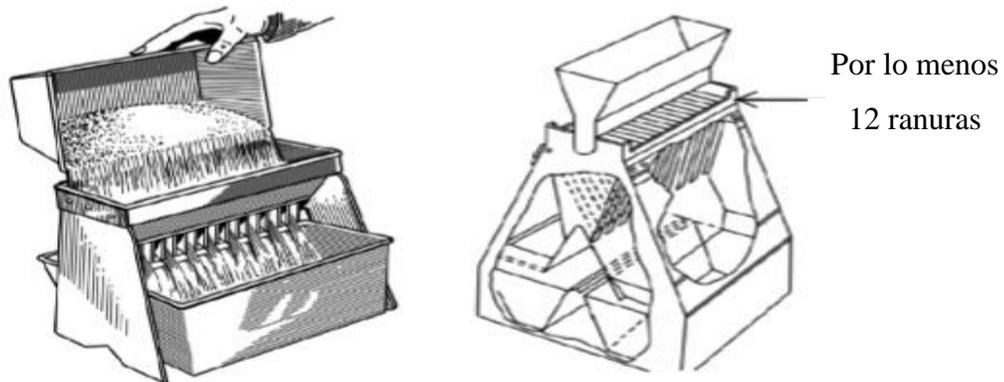
Imagen 23: Divisor de muestras para agregados gruesos.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

El divisor para agregado fino seco que pase en su totalidad el tamiz 9.5 mm (3/8”) debe tener ranuras que midan de 12.5 a 20 mm (1/2” a 3/4”). Este divisor debe tener dos recipientes colocados uno en cada lado para recibir la muestra dividida. También debe estar condicionado con una tolva de alimentación de forma recta que sea de menor ancho al de las ranuras, de tal manera que la muestra sea alimentada a las ranuras a una velocidad controlada, el divisor y accesorios de estar bien ajustados para que el material fluya uniformemente y así evitar que exista pérdida del mismo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 24: Divisores de muestras pequeñas para agregados finos.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

Se procede a colocar la muestra original del material en las tolvas de alimentación, se debe distribuir uniformemente en cada uno de sus extremos para que fluyan cantidades iguales en cada ranura a una velocidad controlada para que la muestra llegue a los receptores que se encuentran en la parte de abajo. Repetir este procedimiento con la muestra obtenida en uno de los recipientes las veces que sea necesario hasta reducir la muestra. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 25: Distribución del agregado en la canaleta alimentadora.



Fuente: (Vargas, 2015).

Método B: Cuarteo

Para este método se debe contar con la siguiente herramienta: un cucharón cuadrado, pala, cepillo y una lona que evite la pérdida del material a muestrear dicha lona debe medir aproximadamente 2 x 2.5 m (6' x 8'). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

Sobre una superficie estable, limpia y nivelada colocar la muestra del material original para evitar pérdida o contaminación. Se procede a mezclar bien el material constantemente por tres veces. Con el último mezclado, palear la totalidad de la muestra y formar una pila cónica de tal manera que se coloque cada palada una sobre otra. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

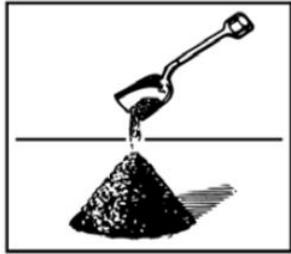
Aplanar de manera cuidadosa la pila cónica hasta darle un espesor y diámetro uniforme, dividir en cuatro la pila todos deben contener material original, luego presionar el ápice del cono de cada muestra con una pala. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“El diámetro debe ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor. Dividir la masa aplanada en cuatro cuartos iguales, con una pala o paleta y remover los dos cuartos diagonalmente opuestos, incluir todo el material fino y limpiar con cepillo los espacios liberados” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“En seguida, mezclar y cuartear nuevamente el material remanente, hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

A continuación, se muestra gráficamente el procedimiento del método B anteriormente descrito:

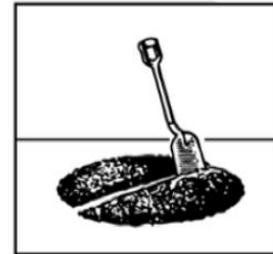
Imagen 26: Cuarteo sobre superficie dura, limpia y nivelada.



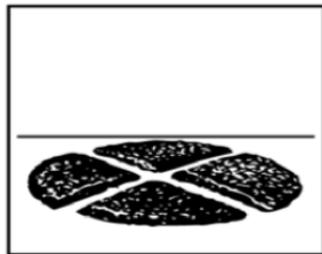
Muestra en cono sobre una superficie limpia y dura.



Mezclar para formar nuevamente un cono.



Cuarteo después de aplanar el cono.



Cuarteo



Retirar cuartos opuestos.

Desechar los otros dos cuartos.

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si no se cuenta con un piso nivelado, utilizar una lona y colocar la muestra sobre ella y mezclarla constantemente con una pala, se debe mezclar toda la muestra por tres veces. En el último mezclado, palear toda la muestra hasta formar una pila cónica, depositar cada palada sobre la anterior, luego levantar cada una de las esquinas de la lona de manera que se unan cada esquina en forma diagonal opuesta, con el propósito de hacer el volteado del material. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

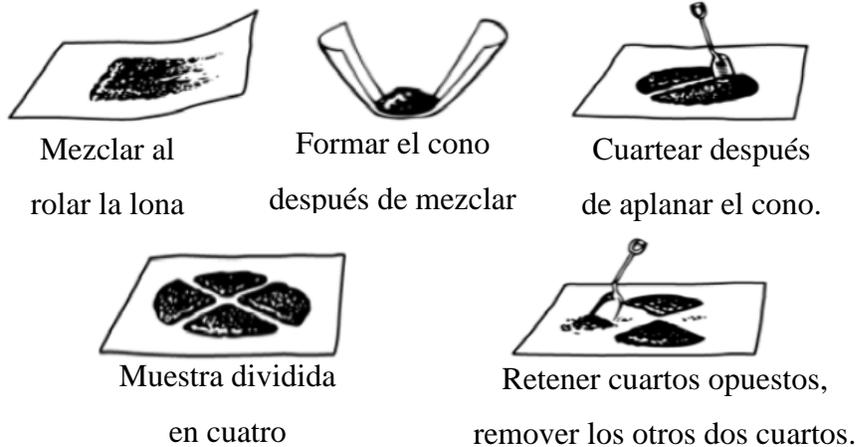
Aplanar de manera cuidadosa la pila cónica hasta darle un espesor y diámetro uniforme, dividir en cuatro la pila todos deben contener material original, luego presionar el ápice del cono de cada muestra con una pala. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Con una pala dividir la muestra aplanada en cuatro partes iguales y revolver los dos cuartos diagonalmente opuestos, se debe incluir todo el material fino, para realizar este paso utilizar una lona y hacerlo en una superficie plana, si no se cuenta con esta condición colocar un tubo o una tabla recta bajo la lona de tal forma que cubra el centro de la pila, y luego levantar ambos extremos del tubo o tabla y dividir la muestra en dos partes iguales. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Retirar el tubo o tabla para poder doblar la lona entre las dos porciones de la muestra. Colocar nuevamente el tubo o tabla en ángulo recto bajo el centro de la pila de la primera muestra y volver a doblar nuevamente, levantar los extremos del tubo o tabla y dividir la muestra en cuatro partes iguales. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Revolver las dos partes opuestas diagonalmente, mezclar las partes restantes y volver a dividirlos nuevamente hasta reducir al tamaño que se necesita. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 27: Cuarteo sobre lona.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Método C: Muestreo de una pila miniatura (solo para agregado fino húmedo)

Para este método se debe contar con la siguiente herramienta: un cucharón cuadrado, pala, y un cucharón pequeño. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

Realizar los pasos que se indica en el procedimiento del método B, anteriormente descrito, con la diferencia que la muestra para cada ensayo se realizará a una escala más pequeña, seleccionar cinco muestras de diferentes secciones de la pila miniatura y utilizar cualquier dispositivo de muestreo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 28: Aplanamiento de la pila miniatura.



Fuente: (Vargas, 2015)

Método de ensayo. Determinación de la gravedad específica (densidad relativa) y absorción del agregado fino según ASTM C128

Para realizar este ensayo utilizar una bandeja para colocar la muestra, se procede a secar la muestra en el horno a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta conseguir un peso constante, dejarla reposar para que enfríe a una temperatura ambiente de 50°C , se procede a cubrir la muestra con agua, por inmersión o por adición del 6 % de humedad

por un lapso de 24 ± 4 horas. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Los datos que se obtengan de la absorción y gravedad específica se utilizarán para el proporcionamiento de agregados en su estado natural de humedad en la mezcla de concreto, el requerimiento de secado para lograr un peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ no es obligatoria, al igual que el proceso de inmersión en el agua de las partículas de la muestra humedecidas hasta su ensayo por 24 ± 4 h o 72 ± 4 h es también opcional. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Decantar con el debido cuidado el exceso de agua, para evitar pérdida de los finos; esparcir la muestra de ensayo sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una leve corriente de aire caliente y agitar con frecuencia para conseguir un secado homogéneo. Se pueden utilizar medios mecánicos de volteo y de la agitación para obtener una muestra con una condición saturada de superficie seca. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 29: Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino.



Muestra en proceso de saturación



Decantación de la muestra

Fuente: (Universidad Centroamericana “Jose Simeon Cañas”, UCA, 2019).

Para conseguir que la muestra tenga un estado de flujo libre se realizan los pasos anteriores por varias veces. Para determinar si aún existe humedad superficial en las partículas de los agregados finos se procede a realizar los siguientes pasos que se describen a continuación: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si al tomar la muestra se observa humedad superficial se procede a realizar el secado al agitar constantemente la muestra y realizar pruebas a intervalos diferentes hasta conseguir que una de esas pruebas alcance la condición saturada de superficie seca. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si al realizar la primera prueba del ensayo de humedad superficial, no está presente en la muestra, quiere decir que la muestra posee una condición saturada de superficie seca. Para conseguir humedad superficial se mezcla unos mililitros de agua con el agregado fino, se deja en reposo por 30 minutos en un recipiente cubierto. Después finalice el procedimiento de secado y prueba de humedad superficial a diferentes intervalos para determinar la condición de superficie seca. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Ensayo de humedad superficial

Utilizar un molde cónico el cual se debe colocar sobre una superficie lisa en su diámetro más grande, introducir una porción suelta de agregado fino parcialmente seco hasta rebalsarlo y agregar un poco más sobre el borde del molde. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Apisonar ligeramente el agregado entre el molde con 25 golpes suaves. Iniciar cada golpe con una caída de aproximadamente 5 mm arriba de la superficie superior del agregado. Permitir que el apisonador caiga libremente por atracción gravitacional en cada golpe. Ajustar la altura de caída a la nueva elevación después de cada golpe y

distribuir los golpes sobre toda la superficie”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Revolver la arena suelta que esta adentro del molde, posteriormente levantar el molde de manera vertical, si la humedad superficial está aún presente, el agregado fino mantendrá la forma del molde cónico y si existe un ligero asentamiento en el agregado fino es porque posee una condición de superficie seca. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 30: Arena compactada en diferentes condiciones.



En condición saturada

En condición saturada
superficialmente seca

En condición seca

Fuente: (Universidad Centroamericana “Jose Simeon Cañas”, UCA, 2019).

Los agregados finos que poseen partículas angulosas o una gran proporción de finos no presentarán asentamiento en el ensayo del cono al llegar a la condición de superficie seca. Para ello es recomendable realizar el procedimiento de dejar caer un puñado de material del cono sobre una superficie plana desde una altura de 10 a 15 cm, observar si hay partículas finas que queden en el aire ya que la presencia de estos indica que existe una condición saturada de superficie seca como también un leve asentamiento al quitar el molde cónico. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

La norma ASTM C128 presenta tres ensayos provisionales que se realizan en las muestras de agregado fino que no se asientan con rapidez:

a. Ensayo provisional del cono:

Para llenar el molde cónico se realiza como se indica en el ensayo de humedad superficial, con la diferencia que solo se apisona con 10 golpes. Agregar una capa más de agregado fino y volver apisonar 10 golpes nuevamente. Realizar el mismo procedimiento por dos veces más, realizar respectivamente 3 golpes y 2 golpes del apisonador. Nivelar el material en el borde superior del molde y quitar el material suelto de la base y levantar el molde verticalmente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

b. Ensayo provisional de la superficie:

La presencia de partículas en el aire indica que la condición húmeda del agregado fino no es suficiente por lo que se procede a humedecerlo y al iniciar la condición saturada de superficie seca, tomar un puñado de material que contenga un aproximado de 100 g de material y somatarlo ligeramente sobre una superficie plana, seca, limpia no absorbente. Después de unos segundos, remover el agregado, si hay huellas de humedad sobre la superficie se considera que hay humedad superficial presente en el agregado fino. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

c. Ensayo colorimétrico de los agregados según norma ASTM C40:

Se realiza en los agregados finos naturales que contienen impurezas orgánicas, las cuales producen alteración en la hidratación del cemento y resistencia mecánica del concreto. Estas impurezas se evaden por medio de un despojo adecuado de los depósitos de materia orgánica y lavado de la arena. (Cortes, 2019).

Para conocer el contenido de material orgánico en la arena se realiza la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio. Se debe realizar el siguiente procedimiento:

Se toma una muestra del material a analizar, tamizado con la criba No. 4°, para asegurarse que la muestra sea agregado fino. Colocar la arena en la botella hasta completar un volumen de 130 ml y se le añade la solución de hidróxido de sodio, hasta que el volumen total sea igual a 200 ml. (Cortes, 2019).

Se tapa el frasco, se agita y se deja reposar por 24 horas, pasado este tiempo se visualiza la coloración que posee la solución y se compara con la tabla de vidrios de colores para determinar la cantidad de materia orgánica del agregado. Para obtener la condición saturada superficialmente seca en el material al estar húmedo, se puede usar toallas de papel para secar el material hasta que las toallas ya no absorban humedad de las superficies de las partículas de agregado fino. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

Imagen 31: Procedimientos colorimétricos.



Fuente: (Cortes, 2019).

Método gravimétrico (Picnómetro):

Llenar el picnómetro con agua, luego introducir en el picnómetro 10 g de agregado saturado de superficie seca y llenar con agua nuevamente hasta cubrir el 90 % de la

capacidad. Agitar el picnómetro de manera manual o mecánica o una combinación de las dos para eliminar burbujas de aire visibles. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 32: Picnómetro con arena más agua.



Fuente: (Universidad Centroamericana “Jose Simeon Cañas”, UCA, 2019).

a. Agitado manual:

Rotar o agitar el picnómetro por un tiempo de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire por el método manual. La espuma que se forma se reduce al sumergir la punta de una toalla de papel en el picnómetro o en ocasiones se usa una pequeña cantidad de alcohol isopropílico. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 33: Desairado de la muestra a través del agitado manual.



Fuente: (Universidad Centroamericana “Jose Simeon Cañas”, UCA, 2019)

b. Agitado mecánico:

“Agitar el picnómetro de manera mecánica por vibración externa de modo que no se degrade la muestra. Eliminar todas las burbujas de aire y ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hacerlo por medio de inmersión parcial en agua circulante y llevar el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad calibrada. Determinar la masa total del picnómetro, de la muestra de ensayo y del agua”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Revolver el agregado fino del picnómetro y secarlo en un horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta obtener un peso constante; dejarlo reposado para que se enfríe con aire a temperatura ambiente por $1 \pm \frac{1}{2}$ hora y establecer su peso. Determinar el peso del picnómetro lleno con agua a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Método Volumétrico (Frasco de Le Chatelier)

Llenar el frasco con agua a 1 ml y obtener la lectura del frasco y su contenido dentro del rango de temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Agregar 55 gramos de agregado fino en condición saturada de superficie seca. Cerrar el frasco luego de haber introducido el agregado fino y rodar el frasco en posición inclinada o girarlo de tal modo que se elimine el aire atrapado, continuar con el movimiento hasta que ya no salgan más burbujas a la superficie. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Agregar un milímetro de alcohol isopropílico para eliminar la espuma en la superficie del agua. Realizar la lectura final del frasco y su contenido a una temperatura de 1°C , se debe restar el volumen de alcohol. Determinar la absorción usar para ello una porción separada de 500 ± 10 gramos de agregado en condición saturada de superficie seca, luego secar hasta obtener un peso constante y masa seca. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 34: Lectura de frascos Le Chatelier con muestra y agua desairadas.



Fuente: (Universidad Centroamericana “Jose Simeon Cañas”, UCA, 2019).

Cálculos

a. Gravedad específica (densidad relativa):

Cuadro 10: Cálculo de la gravedad específica en agregado fino.

	Método gravimétrico	Método volumétrico
Gravedad específica secada al horno (s)	$\frac{A}{(B+S-C)}$	$\frac{S_1 (A/S)}{[0.9975(R_2-R_1)]}$
Gravedad específica saturada superficialmente seca (sss)	$\frac{S}{(B+S-C)}$	$\frac{S_1}{[0.9975(R_2-R_1)]}$
Gravedad específica aparente	$\frac{A}{(B+A-C)}$	$\frac{S_1 (A/S)}{0.9975(R_2-R_1)-[(S_1/S)(S-A)]}$

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

b. Absorción:

$$\% = 100 \left[\frac{(S - A)}{A} \right]$$

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Donde

A: Peso de la muestra de ensayo seca al horno, g.

B: Peso del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g.

C: Peso del picnómetro lleno con la muestra de ensayo y agua hasta la marca de calibración, g.

R₁: Lectura inicial del nivel de agua en el frasco de Le Chatelier, ml.

R₂: Lectura final en el frasco de Le Chatelier, ml.

S: Peso de la muestra saturada de superficie seca (usada en método gravimétrico para la densidad y la gravedad específica o para absorción con ambos métodos), g.

S₁: Masa de la muestra saturada de superficie seca (usada en el método volumétrico para la densidad y la gravedad específica), g. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Método de ensayo. Determinación de la gravedad específica (densidad relativa) y absorción del agregado grueso según ASTM C127.

La gravedad específica del agregado grueso puede ser seca al horno (S), saturada de superficie seca (SSS) o gravedad específica aparente. Para la gravedad específica SSS y la absorción de los agregados se deben sumergir en agua después de 24 horas. Este ensayo no se aplica para agregados de bajo peso. (Villalba, 2009).

Realizar las muestras de ensayo en base a las ASTM D75 y se deben mezclar los agregados de acuerdo al método ASTM C702, para ello se debe eliminar todo el material seco que pase el tamiz 4.75 mm (No. 4), posteriormente lavar todo el material para eliminar la basura y factores adherido a la superficie del material. (Villalba, 2009).

Si el agregado grueso contiene una cantidad menor de material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se debe separar alternativamente el material más fino y ensayar este

material de acuerdo al método de la ASTM C128. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si la muestra del agregado grueso contiene más del 15% retenido en el tamiz 37.5 mm (1 ½”) se deben separar en varias fracciones según el tamaño de sus partículas, si la muestra del agregado es menor a 37.5 mm deben ensayarse por separado. Cuando se fracciona la muestra, las cantidades mínimas para ensayo de cada fracción se establece en el Cuadro 11. (Villalba, 2009).

Cuadro 11: Masa mínima de la muestra.

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Masa mínima de la muestra kg (lb)
12.5 (1/2) o menor	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si la muestra se ensaya en dos o más fracciones, se determinar la granulometría de la muestra de acuerdo al método C136 anteriormente descrito, incluir los tamices usados para separar las fracciones. Para calcular el porcentaje de material en cada fracción ignorar la cantidad de material menor que el tamiz de 4.75 mm (No. 4), o del tamiz de 2.36 mm (No. 8) (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

La muestra de tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½”) a utilizar en el ensayo se debe secar en el horno a un peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, dejarla reposar para enfriar con aire a temperatura ambiente de una a tres horas o por un tiempo mayor para tamaños más grandes hasta conseguir que el agregado se haya enfriado a una temperatura adecuada para su manejo. Posteriormente, se sumerge el agregado en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 horas. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

En la mezcla de concreto se usan los valores de la absorción y la gravedad específica de los agregados que se encuentren en su condición de humedad natural; el secado inicial y saturar en agua por 24 ± 4 horas la muestra para obtener humectada la superficie de las partículas, son opcional. (Ríos, 2019).

“Después del periodo de inmersión, se retira la muestra del agua y se secan las partículas con un lienzo absorbente hasta eliminar el agua superficial, se procede a secar individualmente los fragmentos mayores y tratar de evitar la evaporación del agua contenida en los poros de las partículas del agregado durante la operación de secado superficial”. (Villalba, 2009)

Determine la masa de la muestra de ensayo en la condición saturada superficialmente seca. Registrar este y los siguientes pesos con una precisión de 0.5 g o 0.05% del peso mayor de la muestra. (Villalba, 2009)

Después de determinar el peso en el aire, colocar inmediatamente la muestra de ensayo (sss) en el contenedor de muestra y determinar su peso aparente en agua a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes de determinar su peso, agitar el contenedor mientras está sumergido. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 35: Remoción y secado del agua superficial en la muestra.



Fuente: (Ríos, 2019).

Sumergir a totalidad el contenedor, cubrir la muestra de ensayo mientras se determina el peso aparente en el agua. El alambre del contenedor que lo sostiene debe ser lo más delgado posible para minimizar los efectos de una longitud de inmersión variable. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 36: Masa en condición sss y peso aparente de la muestra.



Fuente: (Ríos, 2019).

Secar la muestra en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y dejarla enfriar al aire a una temperatura ambiente por una a tres horas, o hasta que el agregado se halla enfriado a una temperatura confortable para su manejo (aproximadamente 50°C) y determinar su peso. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

Donde

A = Masa de la muestra de ensayo, seca al horno (s), en el aire, g.

B = Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca (sss) en el aire, g.

C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en el agua, g. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cuadro 12: Cálculo de la gravedad específica del agregado grueso.

Gravedad específica secada al horno (s)	$\frac{A}{(B - C)}$
Gravedad específica saturada superficialmente seca (sss)	$\frac{B}{(B - C)}$
Gravedad específica aparente	$\frac{A}{(A - C)}$

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

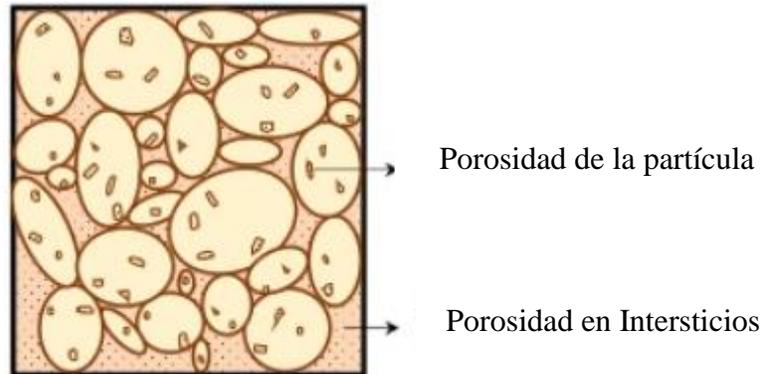
Absorción y humedad superficial

La humedad es la cantidad de agua contenida en una muestra específica en su condición natural. Esta puede encontrarse en diferentes condiciones ya que es una característica propia que la diferencia de la absorción, en ella se toma en cuenta el incremento de la masa al penetrarle el agua en un tiempo establecido. (Nieto, 2016).

Absorción del Agua:

“Es el incremento en la masa del agregado debido a la penetración de agua entre los poros de las partículas durante un período de tiempo, pero sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas. Se le expresa como un porcentaje de la masa seca”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

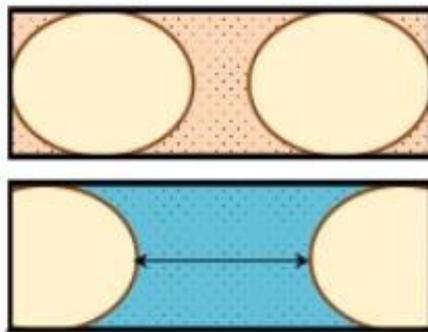
Imagen 37: Tipos de porosidad que alojan humedad en el agregado.



Fuente: (Nieto, 2016).

La humedad en el agregado tiene una suma importancia para conocer el contenido de agua en la mezcla de concreto. Si no se toma en cuenta el agua para el diseño aumentará la relación agua/cemento, la trabajabilidad y disminuye a la vez la resistencia del concreto. (Nieto, 2016).

Imagen 38: Separación por la sobresaturación en las partículas.



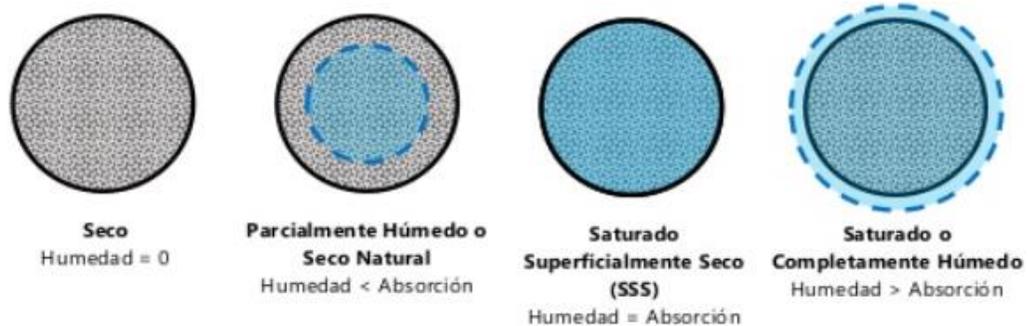
Fuente: (Nieto, 2016).

En la Imagen 38 se observa que el contenido de humedad aumenta al exceder la saturación del agregado, lo cual genera la separación entre sus partículas, pero mantiene su mismo volumen porque resta cohesión a las partículas sólidas y por ende compacidad y resistencia a la muestra en su conjunto. (Nieto, 2016).

Un agregado presenta cuatro condiciones de humedad, que dependen del contenido de agua con respecto a su absorción. (Nieto, 2016).

- a. **Seco:** En esta condición se remueve totalmente el agua dentro de sus poros. El contenido de humedad es igual a cero y tiene una máxima capacidad de absorción”. (Nieto, 2016)
- b. **Seco natural o parcialmente húmedo:** En esta condición se encuentran todos los agregados en estado natural al estar expuestos al ambiente, no contienen humedad, pero sus poros permiten el acceso de la humedad en su interior sin llegar a saturarlos. (Nieto, 2016)
- c. **Saturado superficialmente seco (SSS):** esta condición es controlada en el laboratorio, para realizar el equilibrio entre absorción y humedad. En esta condición se satura el material al tener la superficie completamente seca, por un período de tiempo y luego remover la humedad superficial. (Nieto, 2016)
- d. **Saturado:** En esta condición el agregado está completamente lleno de agua en su interior, posee una superficie húmeda que libera una capa de agua, en este estado la humedad ha superado a la absorción. (Nieto, 2016)

Imagen 39: Condiciones de humedad del agregado.



Fuente: (Nieto, 2016).

“La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacíos que pueden o no contener agua. La absorción y la humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas ASTM C70, C127, C128 y C566.” (Eddy.h, Notas de Concretos, 2019).

Método de ensayo. Determinación por secado del contenido total de humedad evaporable en el agregado según ASTM C566

“Consiste en determinar el contenido de agua presente en la muestra en relación al material seco de la misma a través de la siguiente fórmula”: (Nieto, 2016).

$$P = \left(\frac{W - D}{D} \right) 100$$

Donde

P = Contenido de humedad evaporable (%)

W = Masa de la muestra en estado natural (g)

D = Masa de la muestra seca (g). (Nieto, 2016)

Obtener una muestra de agregado de acuerdo con la práctica ASTM D75. La muestra de agregado debe tener una masa no menor a lo que se indica en el Cuadro 13. Evitar pérdidas de humedad al determinar la masa. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cuadro 13: Muestra de ensayo del agregado.

Tamaño nominal máximo del agregado, mm (Pulg)	Masa mínima de la muestra de ensayo Kg
4.75 (0.187) (No. 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2

19.0 (3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 ½)	6
50 (2)	8
63 (2 ½)	10
75 (3)	13
90 (3 ½)	16
100 (4)	25
150 (6)	50

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

La masa de la muestra del ensayo debe estar al 0.1 % más cercano. Colocar la muestra en un recipiente y secarla en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Si el calentamiento se hace rápido puede ocasionar que las partículas exploten, por ende, a la pérdida de estas. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

El horno a utilizar debe ser de temperatura controlada, si el calor es excesivo puede alterar las características del agregado. Si se utiliza otra fuente de calor, agite la muestra durante el secado para acelerar el proceso y evitar sobrecalentamientos. Si se utiliza un microondas, la agitación de la muestra es opcional, pero se debe tener cuidado al usarlo ya que los agregados pueden tener minerales que causen que se sobrecaliente y explote el horno de microondas. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si se utiliza una placa de calentamiento, el secado debe realizarse por el siguiente procedimiento: agregue alcohol desnaturalizado para cubrir la muestra húmeda, agítela y déjela en suspensión hasta que se asiente. Decantar la mayor parte del alcohol sin ocasionar pérdida de la muestra. Encender el alcohol restante y dejarlo que se

consume durante el secado en la placa de calentamiento. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de una muestra seca”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Determinación de la humedad superficial en el agregado fino según ASTM C70

Seleccionar una muestra de agregado fino que no pese menos de 200 gramos, para determinar su contenido de humedad superficial. Entre más grande es la muestra los resultados son más exactos. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

El contenido de agua superficial puede ser determinado ya sea en masa o en volumen. En cada uno de los casos que se detallan a continuación, el ensayo debe secarse a una temperatura entre 18 y 29°C. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

a. Determinación por masa:

Se determina la masa del contenedor en gramos, llenarlo con agua hasta la marca. Antes de colocar la muestra de ensayo en el contenedor, se ajusta el nivel del agua lo suficiente de tal manera que cubra la muestra sin sobrepasar la marca original. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

Se introduce la muestra en el contenedor con un peso establecido y se remueve el aire atrapado, determina su masa en gramos. Luego, se calcula la cantidad de agua desplazada por la muestra de ensayo, como sigue: (Nieto, 2016)

$$M_d = (M_c + M_s) - M$$

Donde:

M_d = Masa de agua desplazada por la muestra, g

M_c = Masa del contenedor llenado hasta la marca, con agua, g.

M_s = Masa de la muestra de ensayo, g.

M = Masa del contenedor y la muestra de ensayo llenado hasta la marca, con agua.
(Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

b. Determinación por volumen:

Se mide un volumen de agua en ml, suficiente para cubrir la muestra la cual deberá ser colocada en un contenedor y remover hasta eliminar el aire atrapado. Se determina la lectura directa del volumen del ensayo y agua al utilizar un picnómetro graduado, este se debe llena con agua hasta la marca original. El volumen del picnómetro será igual al volumen combinado de la muestra de ensayo y el agua. Se calcula la cantidad de agua desplazada por la muestra como sigue:” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

$$V_s = V_2 - V_1$$

Donde

V_s = Volumen de agua desplazada por la muestra, en ml.

V_2 = Volumen combinado de la muestra de ensayo y el agua, ml.

V_1 = Volumen total de agua en el picnómetro o frasco, requerida para cubrir la muestra de ensayo y llevar el nivel hasta una marca conocida de volumen, ml. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

Se calcula el porcentaje de humedad superficial del agregado en condición de saturado de superficie seca como sigue:

$$P = \left[\frac{(M_d - V_d)}{(M_s - M_d)} \right] 100$$

Donde:

P = Porcentaje de humedad superficial del agregado saturado de superficie seca, %.

M_d = Masa de agua desplazada, g

M_s = Masa de la muestra de ensayo g.

V_d = Masa de la muestra de ensayo dividida por la gravedad específica del agregado en condición saturada de superficie seca, como se indica en el método de ensayo ASTM C128. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si se conoce la absorción de agua en el agregado se procede a calcular el porcentaje de humedad superficial con la fórmula siguiente:

$$P_d = P [1 + (P_a / 100)]$$

Donde

P_d = Porcentaje de humedad superficial del agregado en condición seca, %.

P_a = Porcentaje de absorción de agua del agregado % determinado por el método de ensayo ASTM C128. “El contenido de humedad total en un agregado seco es la suma de la humedad superficial P_d , más la absorción P_a .” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Resistencia a congelación y deshielo de los agregados

“La resistencia a la congelación es una característica importante del concreto, se relaciona con la porosidad, absorción, permeabilidad y estructura de los poros de los agregados.” (Torrico, 2019).

El concreto experimenta el ciclo de hielo-deshielo al alcanzar un grado de saturación producido por el descenso de la temperatura, pues el agua no tiene el espacio suficiente para expandirse. A menor tamaño de los poros, mayor será la presión a la que está sometido, por lo tanto, menor será la temperatura de congelación. (Más que ingeniería, 2015)

Las partículas del agregado grueso más que las del fino muestran valores más elevados de porosidad y poros con tamaños medianos de 0.1 a 5 μm , son las que más fácil se saturan y generan deterioro en el concreto y apareamiento de erupciones. Los poros más grandes no se saturan y los más finos no se congelen fácilmente. (Torrice, 2019).

Al tener una variación en la temperatura de congelación en diferentes puntos del concreto al descender la temperatura, el agua en los poros de mayor tamaño se hiela antes que la de los poros más finos, esto genera una presión hidráulica sobre las paredes de los poros lo que puede dañar al concreto. Al subir la temperatura se descongela el hielo este cambio produce otra nueva saturación de agua; se repite el ciclo al volver a descender las temperaturas. (Más que ingeniería, 2019).

Como evitar el problema de congelación

“Para evitar este fenómeno es necesario que la pasta que conforma el concreto contenga aire incluido en su interior. Se denomina factor de espaciamiento a la cantidad de aire que debe incorporarse al concreto para evitar este tipo de problema, se debe determinar en función de la frecuencia de la congelación prevista y del tamaño máximo de agregado empleado. También se pueden utilizar productos de deshielo tales como cloruro de sodio y el cloruro de calcio. (Más que ingeniería, 2019).

Propiedades de humedecimiento y secado

“El intemperismo puede afectar la durabilidad del agregado. Los coeficientes de expansión y contracción varían con la temperatura y el contenido de humedad. En algunos agregados, pueden ocurrir deformaciones elevadas por los humedecimientos y secados alternos y en otros casos por el tipo de rocas puede causar un aumento permanente de volumen y ruptura. También se pueden desarrollar erupciones, resultantes de las características de hinchazón por la humedad, como es el caso de las arcillas y esquistos.” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004).

Abrasión y resistencia al derrapamiento

“Se refiere a la capacidad de resistir impactos y fricción, esta resistencia depende en gran medida del tipo de roca y su grado de cementación y consolidación, por ejemplo: las rocas arcillosas o micáceas (lutitas y pizarras) se desintegran fácilmente, pero en cambio los basaltos y las calizas compactas resisten satisfactoriamente los impactos y fricciones durante procesos de manejos.” (Palomares, 1996).

Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles, según ASTM C131.

“Este ensayo es una medida del desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio, que contiene un número especificado de esferas de acero; el número de esferas depende de la graduación de la muestra.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

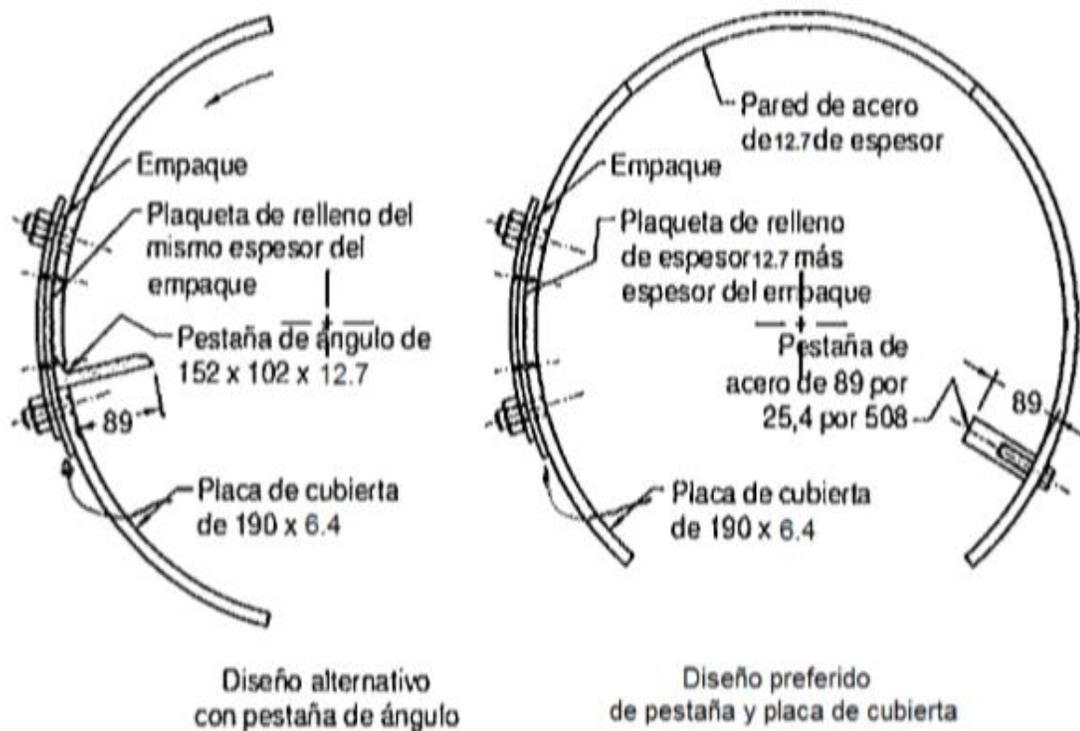
“Al rotar el tambor, una pestaña recoge la muestra y las esferas de acero, arrastrándolas consigo hasta caer al lado opuesto del tambor, se crean un efecto de impacto y trituración. La muestra es arrastrada dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que golpea de nuevo la pestaña y el ciclo se repite. Después de varias revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como pérdida en porcentaje.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Máquina de los Ángeles: consiste en un tambor cilíndrico hueco, de acero con paredes de espesor no menor de 12.4 mm cerrado en ambos extremos, debe tener un diámetro interior 28 ± 0.2 ” y una longitud interior de 20 ± 0.2 ”. La superficie interior del cilindro debe estar libre de salientes que interrumpan la trayectoria de la muestra y de las esferas de acero. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

El cilindro debe estar montado sobre ejes unidos a los extremos del cilindro, deben colocarse de tal manera que pueda rotar en una posición horizontal con pendiente de 1 a 100. El tambor debe tener una abertura para introducir la muestra de ensayo. Dicha abertura debe contar con un cierre hermético mediante tornillos, para impedir la pérdida de material. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

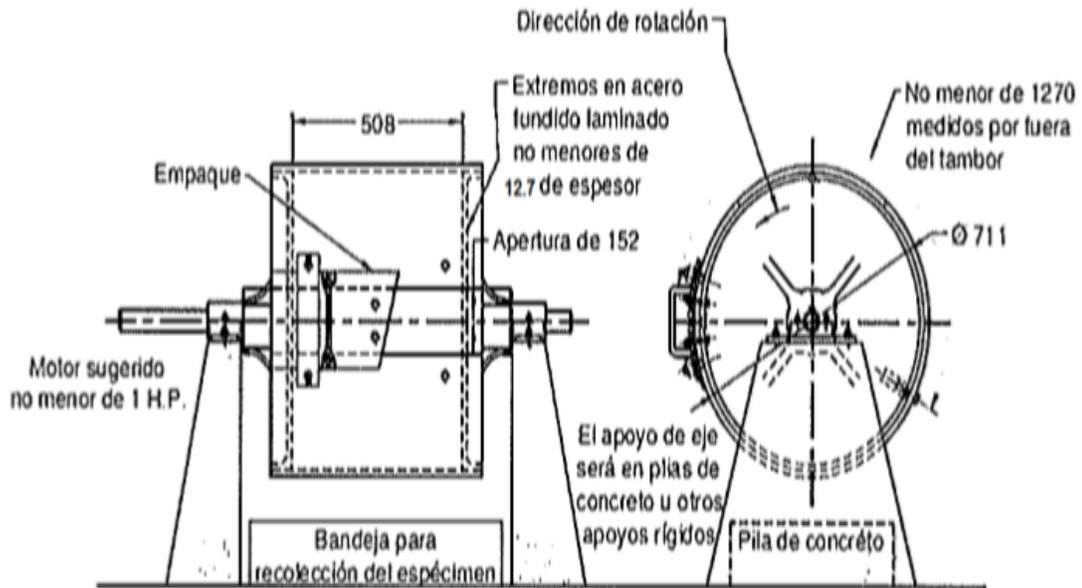
La cubierta debe tener la forma del contorno cilíndrico de la pared interna se debe colocar en el interior de la superficie del cilindro una pestaña removible que abarque la longitud total del cilindro y se inserte de 3.5 ± 0.1 ", de tal forma que el plano centrado entre las caras planas del tambor coincida con el plano axial. La distancia de la pestaña a la abertura, no debe ser menor a 50". (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 40: Dimensiones de la máquina de Los Ángeles.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Imagen 41: Máquina de los Ángeles.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cuadro 14: Masa de la carga por tipo de graduación.

Graduación	Número de esferas	Masa de la Carga (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

La muestra para ensayo se obtiene de acuerdo con la práctica ASTM D75 y se reduce con la práctica ASTM C702. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“La muestra debe ser lavada y luego secada al horno a una temperatura entre 110°C ± 5°C hasta obtener una masa constante. Se separa en fracciones de tamaños individuales de acuerdo a la graduación indicada en el Cuadro 14. La masa de la

muestra, previo a su ensayo, se registra con una aproximación de un gramo.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cuadro 15: Graduaciones de las muestras.

Tamaño del tamiz, mm (pulg) (abertura cuadrada)		Masa de los tamaños indicados, g			
		Graduaciones			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37.5 (1½)-----	-----25 (1)	1250±25	---	---	
25.0 (1)-----	-----19.0 (¾)	1250±25	---	---	
19.0 (¾)-----	-----12.5 (½)	1250±10	2500±10	---	
12.5 (½)-----	-----9.5 (⅜)	1250±10	2500±10	---	
9.5 (⅜)-----	-----6.3 (¼)			2500±10	
6.3 (¼)-----	---4.75 (No.4)			2500±10	
4.75 (No.4)---	---2.36 (No.8)				5000±10
	Total:	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

“La muestra y las esferas de acero se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm, hasta alcanzar las 500 revoluciones. Obtener la pérdida de material luego de las 100 revoluciones dicha pérdida debe ser tamizado en seco en la criba No. 12. La relación de pérdida después de 100 y 500 revoluciones no debe exceder a 0.20 para un material de dureza uniforme. Se revuelve la muestra completa e incluir el polvo de la fractura a la máquina para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Después de las revoluciones, se descarga el material de la máquina y se hace una separación al tamizarlo con la criba No. 12, como se establece en la norma ASTM C136. Se lava el material más grueso del tamiz No. 12 y se seca al horno a una temperatura de 110°C ± 5°C, hasta obtener una masa constante y se pesa con una aproximación de 1g, se debe tener en cuenta que la eliminación del lavado después

del ensayo rara vez reduce la pérdida medida en más de un 0.2% de la masa original.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

“Se realiza la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra de ensayo como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Se reporta este valor como el porcentaje de pérdida.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño mayor de 19 mm (3/4 pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles, según ASTM C535.

“La diferencia con el método de ensayo ASTM C131 es que este método ASTM C535 posee en el tambor rotatorio de acero 12 esferas de acero, las cuales deben tener un diámetro promedio de aproximadamente 47 mm, y una masa entre 390 y 445 gramos cada una, y con una masa total de 5000 ± 25 g.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Muestreo, preparación y cálculo se realiza en base a la norma ASTM C131.

Procedimiento

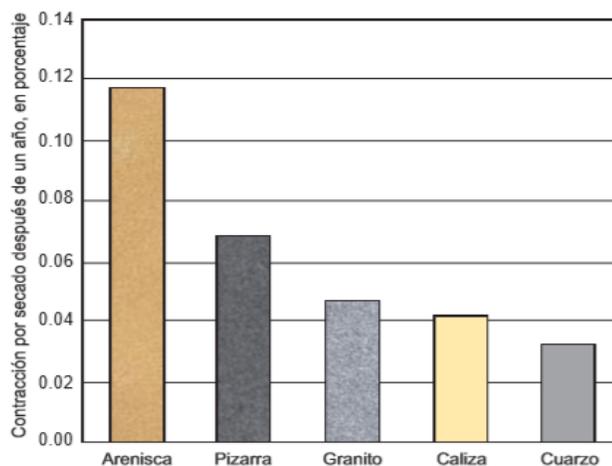
“La muestra de ensayo y la carga de esferas de acero se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm, hasta alcanzar las 1000 revoluciones. Determinar la pérdida después de las 200 revoluciones dicha pérdida debe ser tamizado en seco en la criba No. 12. La relación de pérdida después de 200 y 1000 revoluciones no debe exceder a 0.20 para un material de dureza uniforme. Posteriormente se devuelve la muestra completa, se incluye el polvo de la fractura a la máquina para las 800 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Después de las revoluciones, se descarga el material de la máquina y se hace una separación de la muestra más gruesa del tamiz No. 12, y se tamiza también la porción fina con la criba No. 12. Se lava el material más grueso y se seca al horno a una temperatura entre $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener un peso constante y se pesa con una aproximación de 1 gramo, se debe tener en cuenta que la eliminación del lavado después del ensayo rara vez reduce la pérdida medida en más de un 0.2% del peso original. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Resistencia y Contracción

“La resistencia del agregado se vuelve importante en el concreto de alta resistencia. Las resistencias a tensión de los agregados varían de 20 a 150 kg/cm^2 y la resistencia a compresión varía de 660 a 2750 kg/cm^2 . Los agregados con absorción elevada pueden tener alta contracción por secado. Dentro de los agregados de baja contracción se puede mencionar: el cuarzo y feldespato, caliza, dolomita y granitos, mientras que los agregados como la areniscas, pizarras, hornblenda y grauvaca están asociados con una alta contracción del concreto. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004)

Imagen 42: Agregados con alta y baja contracción.



Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004)

Método de ensayo. Esfuerzo a compresión de piedras de dimensiones normalizadas según ASTM C170

La ASTM C170 establece el siguiente aparato y preparación de muestras:

El aparato que se utiliza para el ensayo debe tener la capacidad de centrar la muestra con velocidades de carga que no excedan los 100 PSI por segundo o el equivalente a 70.3 Kg/m²/segundo. (INSTRON, 2019).

Los cilindros de los ensayos deben contar con la medida exacta del diámetro lateral mayor a 2". Para realizar la prueba se debe tener como mínimo cinco muestras en cada condición húmedo o seco: (INSTRON, 2019).

- a. Las muestras secas se ensayan en menos de 48 horas a $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- b. Las muestras húmedas deben sumergirse en agua durante 48 horas a $22.2 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$. (INSTRON, 2019).

Resistencia a ácidos y otras sustancias corrosivas

Las soluciones acidas se desintegran ya sea de manera lenta o rápida en el concreto y va a depender del tipo y concentración del ácido. Los ácidos oxálicos son inofensivos a pesar de que normalmente atacan y lixivian los compuestos de calcio de la pasta de cemento, pero no atacan fácilmente a los agregados silíceos, a lo contrario de los agregados calcáreos que reaccionan rápidamente con los ácidos. (INSTRON, 2019)

En los agregados calcáreos el ácido ataca de manera uniforme toda la superficie del concreto, reduce el ataque de la pasta y disminuye la pérdida de partículas en la superficie de los agregados. Los ácidos pueden decolorar el concreto por ello se debe evitar los agregados silíceos con soluciones fuertes de hidróxido de sodio, pues estas soluciones atacan este tipo de agregado. (Notas Ingeniero Civil, 2012).

“La lluvia ácida la cual posee pH de 4 a 4.5 marca ligeramente la superficie del concreto, sin afectar el desempeño de las estructuras. El ácido con pH menor a 4 se considera altamente agresivo suficiente para quemar el concreto”. (Notas Ingeniero Civil, 2012)

Las aguas naturales tienen un pH mayor que 7 pero suelen ser agresivas si contienen bicarbonato. Las soluciones de ácido carbónico con concentraciones entre 0.9 y 3 partes por millón se consideran destructivas para el concreto. Una relación agua/cemento pueden conservar la resistencia a ácidos y por ende a la corrosión en el concreto. El uso de humo de sílice u otras puzolanas, ayudan a evadir la penetración la corrosión en el concreto. (Notas Ingeniero Civil, 2012).

Resistencia al Fuego y Propiedades Térmica

Los agregados al estar expuestos a factores térmicos generan dilatación y fisuración en el concreto como también deterioro físico y químico en el concreto al alterar la mineralogía del agregado. (Palomares, 1996).

“Las rocas como el cuarzo y el pedernal al exponerse a altas temperaturas producen un cambio brusco de volumen que ocasiona tensiones destructivas y hay otros agregados compuestos de minerales calcáreos que no alteran su estructura al estar expuestos al calor intenso. (Palomares, 1996).

Materiales Potencialmente Perjudiciales

Materiales como la arcilla, el limo y el polvo procedente de la trituración causan efectos perjudiciales en el concreto porque impiden los enlaces entre la pasta de cemento y los agregados. (Guzmán, 2001)

Las partículas con diámetros menores a 74 micras generan un efecto perjudicial por ser de menor diámetro que las partículas de cemento que al formar parte del

recubrimiento superficial de los agregados, interfieren la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, o envuelven a las partículas de cemento y las aíslan haciéndolas perder su capacidad aglutinadora, lo que ocasiona la disminución en la resistencia del concreto. (Guzmán, 2001).

Los problemas que presenta el concreto al momento de humedecerlo se debe a la presencia de arcilla ya que estas se hinchan de agua, volviéndola más expansiva al generan esfuerzos de tensión dentro del concreto endurecido, que pueden conducir a fallas por el contenido de estas partículas. (Guzmán, 2001).

Una alta proporción de limos y polvos procedentes de trituración conlleva al aumento de requerimiento del agua de mezclado del concreto debido a su alta finura y superficie específica. Es necesario controlar el contenido de estas partículas indeseables, para lo cual la norma ASTM C33 establece los límites para agregado fino en el Cuadro 16: (Guzmán, 2001).

Cuadro 16: Límites para sustancias perjudiciales en agregado fino.

Ítem	Porcentaje en más de la muestra total, máx.	
	Arena Natural	Arena Manufacturada
Terrones de arcilla y partículas fiabes de arcilla	3.0	3.0
Material más fino que el tamiz 75um (N°200)		
a. Concreto sujeto a abrasión	3.0 ^A	5.0 ^B
b. Cualquier otro concreto	5.0 ^A	7.0 ^B
Material de baja densidad (gravedad específica menor de 2.0)	c	c

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

^A “Estos límites podrán elevarse a 5 y 7 % respectivamente, siempre que el valor del metileno sea igual o inferior a 6 mg por cada gramo de finos”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

^B “Estos límites pueden elevarse a 8 y 15 % respectivamente, siempre que el valor del metileno sea igual o inferior a 6 mg por cada gramo de finos y la estructura no esté sometida a abrasión severa.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

^C “En Guatemala, el material de baja densidad sea carbón, lignito, mica, horsteno u otro material liviano no piroclástico, el límite máximo permitido es de 0,5 donde la apariencia del concreto es importante y de 1,0 para cualquier otro concreto.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“En Guatemala, se considera que la intemperización derivada de la acción de congelamiento y deshielo es despreciable en todo el territorio. En altitudes arriba de los 1500 metros se pueden presentar heladas superficiales por periodos de varias horas, especialmente en ambientes húmedos, principalmente entre los meses de noviembre a marzo, pero a la fecha no se conoce de casos de congelamiento en construcciones de concreto u otras construcciones”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“El agregado grueso utilizado en el concreto estará sujeto a humedad, exposición prolongada a una atmósfera húmeda, o en contacto con suelos húmedos no deben contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis en el cemento, en cantidad tal que cause una excesiva expansión de concreto, sin embargo, si tales materiales están presentes en cantidades perjudiciales, el agregado grueso puede ser usado con un cemento que contenga menos de 0.60% de álcalis calculados como equivalente de óxido de sodio ($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$) o bien con la adición de un

material que haya demostrado prevenir la expansión dañina debida a la reacción álcali-agregado.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Materia orgánica

“Otras de las sustancias que pueden perjudicar notablemente al concreto, especialmente en las reacciones químicas de hidratación durante el fraguado, es la materia orgánica que generalmente proviene de la descomposición de materia vegetal, como hojas, tallos y raíces y se manifiesta en forma de humus.” (Guzmán, 2001).

“Este humus en cierta cantidad puede impedir parcial o totalmente el fraguado del cemento, por lo cual hay que controlar su presencia en los agregados, en especial en la arena, debido al tamaño de sus partículas, suele retener la materia orgánica finamente dividida que se encuentra en proceso de descomposición. (Guzmán, 2001).

Contaminación salina

Si el agregado fino proviene de depósitos de mar, estos contienen sal, al utilizarlos para mezcla de concreto causarán manchas de eflorescencia posteriormente corrosión en la armadura de refuerzo, al absorber humedad del aire. Para combatir y disminuir este factor se procede a lavar con agua dulce el material. (Guzmán, 2001).

Partículas deleznales

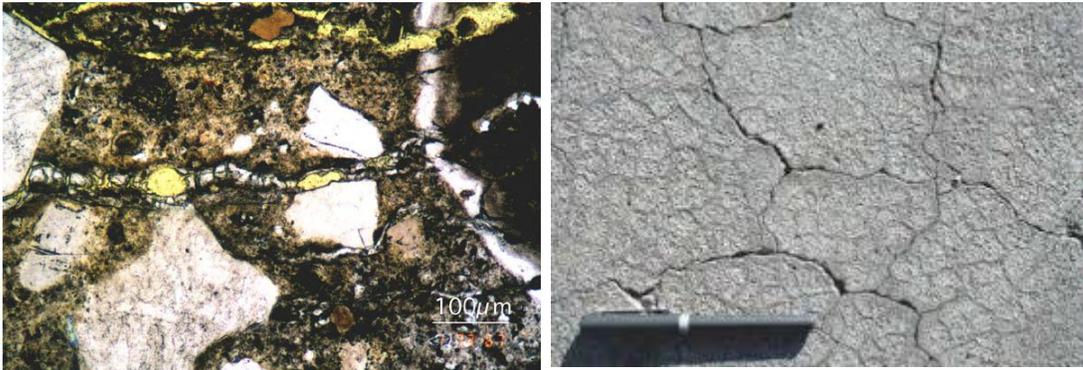
La presencia de material inestable y frágil, son otros elementos que puede afectar de manera perjudicial la resistencia del concreto o durabilidad, al estar expuesta a la abrasión. (Guzmán, 2001).

Reactividad álcali-agregado (RAA)

“Se produce con la disolución alcalina de los poros del concreto y los minerales silíceos de algunos materiales pétreos que reaccionan para formar un gel que, al embeber agua, aumenta de volumen y presión lo que ocasiona fisuras y el deterioro

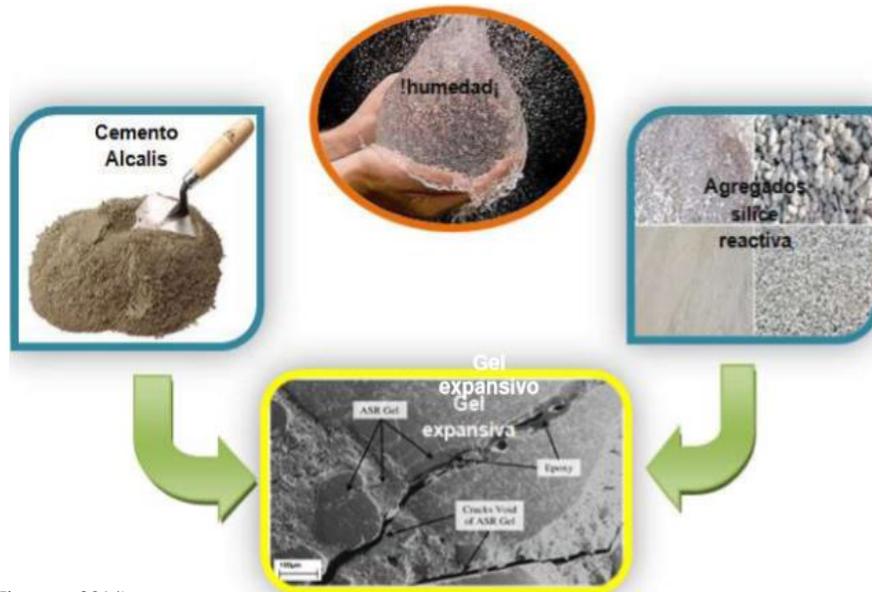
en el concreto, el material pétreo que genera esta reacción contiene ópalo, calcedonia o roca volcánicas vítreas riolíticas. (Guerrero, 2014).

Imagen 43: Reacción álcali-agregado.



Fuente: (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2013). y (Jimenez, 2014)

Imagen 44: Proceso de reacción álcali-agregado.



Fuente: (Jimenez, 2014).

La reactividad álcali-agregado (RAA) se divide en Reactividad Álcali Sílice (RAS) y Reactividad Álcali Carbonato (RAC), los cuales dependen de los componentes químicos de los agregados; se obtiene un comportamiento físico-químico con el

cemento; es de suma importancia conocer con anticipación la procedencia de los agregados y definir la posible reacción a la hora de construir cualquier estructura. (Jimenez, 2014).

Imagen 45: Tipos de reacción álcalis-agregados.



Fuente: (Jimenez, 2014).

Reacción Álcali-Sílice según Norma ASTM C289

“La reacción álcali-sílice, inicia cuando los hidróxidos alcalinos (NaOH, KOH) presentes en el fluido de poro del concreto atacan la superficie de los minerales silicios en el agregado, los cuales forman un gel y ocasionan una alteración de la superficie del agregado, conocida como borde de reacción.” (García, 2011).

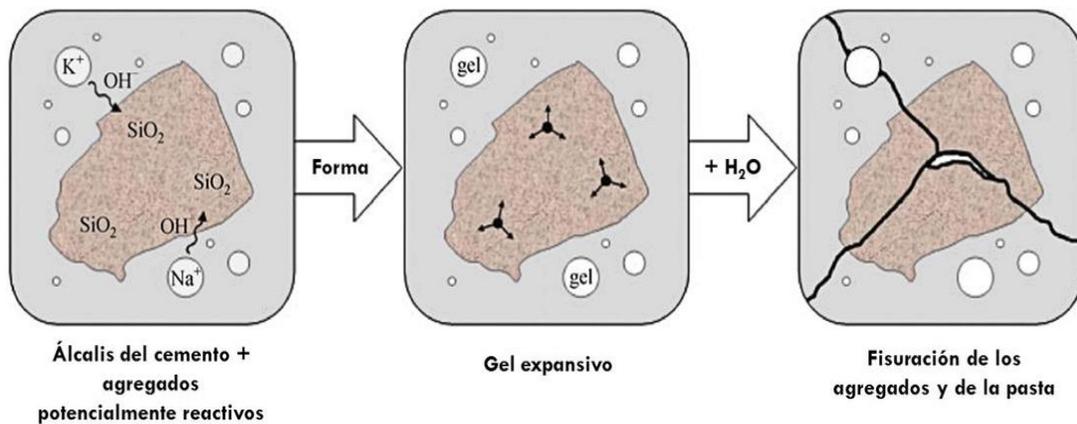
El gel que resulta de la reacción resultante tiene una gran afinidad con el agua lo que incrementar su volumen y al expandirse provoca una presión interna para fracturar el concreto, y si posee humedad este funge como un agente catalizador de la reacción. (García, 2011).

Para generar una reacción letal en el concreto se debe reunir estas condiciones: el uso de un cemento portland de alto contenido de álcalis (Na₂O); particularmente si el contenido de álcalis en el concreto excede los 3 kg/m³. (García, 2011).

Muestras secas menos de 48 horas a $60^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$. El uso de agregados que posean minerales reactivos con los álcalis en grandes proporciones. (García, 2011).

La exposición de la estructura de concreto a la intemperie produce alteraciones de humedecimiento y secado, o disipación de humedad a través del concreto.” (García, 2011).

Imagen 46: Reacción álcali-sílice (RAS).



Fuente: (Buitrago, 2019).

Muestreo

La muestra de ensayo debe ser un fraccionamiento del agregado triturado que pase el tamiz No. 50, de acuerdo al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso al triturarlo hasta pasar el tamiz No. 4. Triturar el agregado fino y grueso triturado al hasta obtener partículas de $150\ \mu\text{m}$. Descartar el material que pase por el tamiz de $150\ \mu\text{m}$. Reducir el material retenido en el tamiz de $300\ \mu\text{m}$ al pasarlo repetidamente por el disco pulverizador, se debe tamizar después de cada pulverizado. (García, 2011).

“El material debe ser reducido de tamaño hasta que pase por el tamiz de $300\ \mu\text{m}$. Debe evitarse la proporción de finos que pasan el tamiz No. 100. Luego reservar la porción retenida en el tamiz de $150\ \mu\text{m}$.” (García, 2011).

Procedimiento para realizar la reacción

“Obtener tres muestras secas de $25 \pm 0,05$ gramos, obtenida en los tamices No. 50 y No. 100. Colocar individualmente una porción en cada recipiente y agregar por medio de una pipeta 25 cm^3 de la solución de NaOH. En un cuarto recipiente, utilizar una pipeta y agregar 25 cm^3 de la misma solución de NaOH para usarla como solución blanca. Sellar los cuatro envases después de agitarlos suavemente para liberar el aire atrapado”. (García, 2011).

“Después de haber sellado los envases, se colocan en un baño líquido, o de aire a $80 \pm 1,0$ °C. Después de $24 \pm 1/4$ horas se sacan los envases del baño y se enfrían con agua por 15 ± 2 minutos a una temperatura menor de 30°C. Después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado”. (García, 2011).

Después de la filtración, se agita para conseguir homogeneidad y luego se toma una alícuota de 10 cm^3 del filtrado y se diluye con agua hasta 200 cm^3 en un frasco volumétrico. Se conserva esta solución diluida para determinar la sílice disuelta y la reducción de alcalinidad. (García, 2011).

Se mide la sílice disuelta ya sea por un método gravimétrico o por un método fotométrico, dichos métodos se describen a continuación: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Sílice disuelta por el método gravimétrico

Procedimiento

“Con una pipeta se transfieren 100 ml de la solución diluida a un plato de evaporación, preferiblemente de platino para aumentar la velocidad de evaporación, se agregan 5 a 10 ml de ácido clorhídrico HCl y se evapora hasta que seque en un baño de vapor. Sin calentar más el residuo, verter sobre el mismo una cantidad de 10 a 20 ml HCl (1 +1). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cubrir el plato de evaporación y se dejar reposar por 10 minutos en el baño de vapor o sobre un plato caliente. Luego diluir la solución con un volumen igual de agua caliente, y se filtra con un papel especial se disminuye la ceniza y se lava bien la sílice (SiO_2) separada, con agua caliente y se guarda el residuo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Nuevamente se evapora el filtrado hasta que se seque, colocar el residuo en un horno a una temperatura de 105 o 110°C durante 1 hora. Se mezcla el residuo con 10 a 15 ml de ácido clorhídrico HCl (1+1) y se calienta en el baño de vapor o en el plato caliente. Se diluye la solución con un volumen igual de agua caliente, se toma y se lava la pequeña cantidad de SiO_2 que contiene, sobre otro papel filtro.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se realiza una segunda evaporación solo si fuese necesario determinar la concentración de la solución estándar de metasilicato de sodio que contenga aproximadamente 10 ml de sílice, disolver el metasilicato de sodio en agua. Se guarda la solución en una botella de polietileno. Se usa una parte alícuota de 100 ml de la solución para determinar su contenido de sílice. No debe usarse una solución que sea de más de un año, ya que la sílice iónica disuelta en tal solución se polimeriza lentamente lo que causa lecturas fotométricas erróneamente bajas. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Los papeles filtro que se utilizaron para contener el residuo se pasan a un crisol de platino, se secan y se queman a calor bajo hasta que se haya consumido completamente sin inflamarse. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“En un crisol, tratar el residuo de óxido de silicio SiO_2 obtenido, este contendrá pequeñas cantidades de impurezas, con unas gotas de agua, unos 10ml de ácido

fluorhídrico y una gota de ácido sulfúrico H_2SO_4 , y se evapora cuidadosamente hasta que se seque, en un baño de vapor. Se calienta el pequeño residuo a 1050 o 1100°C por 1 o 2 minutos, se enfría y se determina su masa. La diferencia entre esta determinación y la que se había obtenido previamente representa la cantidad de SiO_2 .” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

Calcular la concentración de óxido de silicio SiO_2 de la solución de Hidróxido de sodio NaOH filtrada del agregado:

$$Sc = (3330)(W)$$

Donde

Sc = concentración de óxido de silicio SiO_2 en mmol/l en el filtrado original

W = Gramos de óxido de silicio SiO_2 encontrados en 100 ml de la solución diluida.

(Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Sílice disuelta por el método fotométrico

Este método se aplica para conocer la sílice cristaloides (no coloidal) en todas las soluciones acuosas, ya que es un método de análisis de rápido control de sílice cristaloides por debajo de 10 ppm. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Preparación de la curva de calibración

“Se preparan una serie de soluciones de concentración conocida de sílice que varíen entre 0.00 hasta 0.5 mmol/l, diluir porciones de la solución almacenada de silicato de sodio. Se transfieren las porciones de solución a frascos volumétricos de 100 ml, llenos aproximadamente hasta la mitad con agua”. (García, 2011)

“Se agregan 2 ml de la solución de molibdato de amonio y 1 ml de ácido clorhídrico HCl (1+1) y se agita al girar el frasco. Se deja reposar la solución por 15 minutos a

temperatura ambiente. Se agregan 1.5 ± 0.2 ml de solución de ácido oxálico; se llena el frasco hasta la marca con agua y se mezcla. Luego se deja reposar por 5 minutos, y se hace la lectura de las diferentes soluciones con el fotómetro y se comparan con la del agua. Se prepara una curva de calibración que plantee los porcentajes que se obtenga contra las concentraciones conocidas de sílice en cada solución.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Determinación de la sílice disuelta

“Con una pipeta se transfiere una parte alícuota de 10 ml de la solución diluida a un frasco volumétrico de 100 ml llenado hasta la mitad con agua y se procede conforme lo indicado en el párrafo anterior.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se lee la concentración de sílice en la solución directamente de la curva de calibración previamente preparada en donde este correlacionado con de la transmisión de luz de esta longitud de onda con la concentración de sílice. Si la transferencia es inferior a 30% o es mayor de 50%, se debe usar una parte alícuota menor o mayor respectivamente, de la solución diluida usada”. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

Se calcula la concentración de óxido de silicio SiO_2 de la solución de Hidróxido de sodio NaOH del agregado:

$$S_c = (20) (100/V) (C)$$

Donde

S_c = Concentración de sílice en mmol/l del filtrado original

C = Concentración de sílice en la solución, medida por el fotómetro, en mmol/l, y

V = Mililitros de la solución diluida usada desde 7.5. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Reducción en alcalinidad

Procedimiento

“Con una pipeta se transfiere una parte alícuota de 20 ml de la solución diluida a un frasco Erlenmeyer de 125 ml y se le agregan 2 a 3 gotas de solución de fenolftaleína y se titula con 0.05 N de ácido clorhídrico estándar HCl, hasta el final de la fenolftaleína” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

Calcular la reducción en alcalinidad como sigue: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

$$R_c = \left(\frac{20N}{V_1} \right) (V_3 - V_2) (1000)$$

Donde

R_c = La reducción en alcalinidad, en mmol/l

N = Normalidad del ácido clorhídrico HCl usado en la titulación

V_1 = Mililitros de solución diluida usada (de 7.5)

V_2 = Mililitros de ácido clorhídrico HCl usado para lograr el punto final de la fenolftaleína en la muestra de ensayo

V_3 = Mililitros de ácido clorhídrico HCl usados para obtener el punto final de la fenolftaleína en la muestra testigo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Reacción Álcali-Carbonato (RAC) según Norma ASTM C586

“La Reactividad álcali-carbonato (RAC), se define como la reacción que tienen ciertos agregados dolomíticos, al contacto con los álcalis del cemento y algunos carbonatos; que originan el gel expansivo y en consecuencia la fisuración; esta versión de reactividad fue descubierta en el año 1957 por el profesor E. G. Swenson, del National Reserach Council, Canadá.” (Jimenez, 2014).

“Este método determina las características expansivas de las rocas carbonatadas mientras están sumergidas en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura controlada. Los cambios de longitud observables que ocurren durante tal inmersión indican el nivel general de reactividad de las rocas.” (García, 2011).

Muestreo

“Este método es aplicable a una muestra de roca asegurado de conformidad con los requisitos aplicables de la Norma ASTM D75. Salvo que la masa de la muestra de cada estrato despejado sea menor a 1 kg, las cuales no deberán ser inferiores a 75x75 x75 mm de tamaño. El muestreo debe estar bajo la dirección de una persona capaz de distinguir la litología; la muestra de la roca debe adaptarse a la litología bajo consideración. Cada muestra de roca debe ser de una sola pieza de tamaño suficiente para la preparación de las muestras necesarias.” (García, 2011).

Especímenes de ensayo

“Los especímenes de ensayo deben ser cilindros rectos o prismas de sección cuadrada, con sus extremos cónicos o planos y paralelos.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“El espécimen debe tener un diámetro con una longitud total de 35 ± 5 mm o lados de 9 ± 1 mm para cilindros y prismas, respectivamente. Se debe tener cuidado en la preparación de los especímenes para evitar cualquier alteración de la superficie cilíndrica al pulimentarla, o por materiales que puedan afectar la velocidad de penetración de la solución alcalina en la roca.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“El ángulo de tallado de los extremos cónicos debe ser de aproximadamente 120° . Los especímenes que tengan caras en los extremos de forma planas deben fabricarse de tal forma que se asegure de que las caras sean paralelas entre sí y perpendiculares

al eje mayor del espécimen, esto pueden hacerse al colocar un torno pequeño y cortar los extremos con un acero de herramientas.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

“Se marca una señal en cada espécimen para colocarlos en el comparador de longitud. Se mide la longitud del espécimen de ensayo.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se sumerge el espécimen en agua destilada a la temperatura ambiente dentro de un rango de 20 a 27.5°C. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“A intervalos, se saca el espécimen, se seca con papel absorbente el exceso de agua de la superficie y se mide hasta que el cambio de longitud durante un período de inmersión de 24 horas no exceda de 0.02%, se calcula con la fórmula que se indica más adelante. Esta longitud se alcanza después de 1 a 4 días de inmersión.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se sumergen luego los especímenes saturados en agua en un frasco que contiene un mínimo de 35 ml de la solución 1N NaOH; en donde se deben disolver 40 ± 1 g de hidróxido de sodio (NaOH) de grado reactivo, con un litro de agua destilada y se guarda en un frasco de polietileno; por espécimen a la temperatura ambiente y se cierra herméticamente. Se recomienda sumergir no más de dos especímenes en un frasco.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se mide la longitud de los especímenes después de 7, 14, 21 y 28 días de inmersión en la solución de hidróxido de sodio NaOH, y luego con intervalos de 4 semanas. Cuando se hacen las mediciones, se saca el espécimen del frasco, se enjuaga con agua

destilada, se seca con un papel absorbente para remover el exceso de agua y se determina su longitud en la misma posición en que se hizo la medición inicial. Después de la medición, inmediatamente se regresa el espécimen al frasco y se vuelve a cerrar herméticamente. Se debe reemplazar la solución de NaOH cada seis meses durante el período de ensayo.” (García, 2011)

Cálculos

Se calcula el cambio de longitud aproximado al más cercano a 0.01% de la longitud de referencia:

$$\Delta\gamma = \left[\frac{(\gamma^1 - \gamma^0)}{\gamma^0} \right] \quad (100)$$

Donde

$\Delta\gamma$ = % del cambio de longitud a la edad de ensayo.

γ^1 = Longitud en mm a la edad de ensayo

γ^0 = Longitud de referencia en mm, después de su inmersión en agua.

Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio según ASTM C88

La sanidad es la capacidad de resistir cambios excesivos en volumen causado por las condiciones ambientales como congelamiento-deshielo, calentamiento-enfriamiento, humedecimiento-secado, los cuales afectan la durabilidad, aspecto superficial y la estabilidad de la estructura del concreto. (Guzmán, 2001).

La capacidad de los agregados para soportar estos cambios se da por poseer características como procedencia, granulometría, forma, textura, porosidad y propiedades mecánicas de sus partículas. (Guzmán, 2001).

“Este método de ensayo cubre la prueba de los agregados para estimar su sanidad al ser sometidos a la acción del clima en el concreto o en otras aplicaciones. Esto se logra

por inmersiones repetidas en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, seguido por secado en horno para deshidratar parcial o totalmente la sal depositada en los poros permeables. La fuerza interna de expansión derivada por la rehidratación de la sal por reinmersión, simula la expansión del agua al refrigerarse.” (García, 2011).

Solución de sulfato de sodio

“Se prepara una solución saturada de sulfato de sodio, disolver una sal USP o de igual grado, en agua a una temperatura de 25° a 30°C. Se agrega suficiente sal se recomienda usar no menos de 350g de la sal anhidra Na_2SO_4 , o 750g del decahidrato (sal cristalina) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, por litro de agua, para asegurar no solo la saturación sino también la presencia de un exceso de cristales al momento de ser usada la solución en los ensayos. Se agita completamente la mezcla durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos hasta el momento de ser usada.” (García, 2011)

“Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga todo el tiempo la solución cubierta si no se utiliza. Dejar la solución enfriar a 21 a 1°C. Nuevamente agite y deje la solución reposar a la temperatura designada por 48 hrs. antes de ser utilizada.” (García, 2011)

“Antes de cada uso, diluir los trozos de sal, si hay alguno en el contenedor, agitar vigorosamente la solución, determinar el peso específico. En el momento en que se utilice, la solución tendrá un peso específico no menor que 1151 y no mayor que 1174. Deseche la solución si esta descolorida o fíltrela y chequee su peso específico.” (García, 2011).

Solución de sulfato de magnesio

“Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio, disolver una sal USP o de igual grado, en agua a una temperatura de 25° a 30°C. Se agrega suficiente sal, se

recomienda que se use la sal de heptahidrato $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ para asegurar no solo la saturación sino también la presencia de un exceso de cristales al momento de ser usada la solución en los ensayos” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Posteriormente se agita completamente la mezcla durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos hasta el momento de ser usada. Luego se procede hacer lo que se indicó en el párrafo anterior.” (García, 2011)

“Al ser usada la solución debe tener un peso específico no menor de 1295 ni mayor de 1308. Se descarta una solución descolorida, o bien la misma se filtra y se comprueba nuevamente su peso específico.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Solución de cloruro de Bario

“Se prepara una solución de 100 ml con 5% de cloruro de Bario, se debe disolver 5g de $BaCl_2$ en 100 ml de agua destilada.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Muestreo

“Las muestras se obtienen de acuerdo con la práctica ASTM D75 y se reduce a tamaños de muestra para los ensayos, de acuerdo con la práctica ASTM C702.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Agregado fino

“El agregado fino para el ensayo debe pasar a través del tamiz 9,5 mm (3/8”). La muestra debe ser de tamaño tal que rinda no menos de 100 g para cada uno de los siguientes tamices, las cuales deben estar en cantidades de 5% o más, expresado en términos de los tamices mostrados en el Cuadro 17”: (García, 2011).

Cuadro 17: Muestra de agregado fino a ensayar.

Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz
600 µm (Nro. 30)	300 µm (No. 50)
1,18 mm (Nro. 16)	600 µm (No. 30)
2,36 mm (Nro. 8)	1,18 mm (No. 16)
4,75 mm (Nro. 4)	2,36 mm (No. 8)
9,5 mm (3/8")	4,75 mm (No. 4)

Fuente: (García, 2011).

Agregado grueso

El agregado grueso para el ensayo debe consistir de material retenido sobre el tamiz No. 4. La muestra debe ser de tamaño tal que rinda las siguientes cantidades de los tamaños indicados que estén en cantidades de 5% o más:

Cuadro 18: Muestra de agregado grueso a ensayar.

Tamaño	Masa (g)
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (No. 4)	300 ± 5
19,0mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	330 ± 5
19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
63mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
50 mm (2") a 37,5mm (1 ½")	2 000 ± 200
63mm (2 ½") a 50mm (2")	3 000 ± 300

Fuente: (García, 2011).

Preparación de la muestra de ensayo para agregado fino

“Se lava la muestra de agregado fino en un tamiz de 300 µm (No. 50) se seca a peso

constante, a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se separa en sus diferentes tamaños por tamizado como se indica en el Cuadro 18. De las fracciones obtenidas, se selecciona muestras de suficiente tamaño para producir 100g después de ser tamizados.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“No debe usarse el agregado fino que se quede pegado a las mallas de los tamices, al preparar las muestras. Se pesan las muestras consistentes de $100\text{g} \pm 0.1\text{g}$ obtenidas de las fracciones separadas después del tamizado final y se colocan en recipientes separados para su ensayo.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Preparación de la muestra de ensayo agregado grueso

“Se lava la muestra de agregado grueso y se seca a $110^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Luego, se separa en los diferentes tamaños indicados en el Cuadro 18, por tamizado. Se pesan las cantidades de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias señaladas, si existen porciones de ensayos de dos tamaños, se combinan los mismos para obtener el peso designado total.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se registran los pesos de las muestras de ensayo y de sus fracciones componentes. En el caso de tamaños mayores a 19 mm se registra el número de partículas de las muestras de ensayo.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

Almacenaje de las muestras en la solución

“Se sumergen las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio o de magnesio por un periodo no menor de 16 hrs ni mayor de 18 hrs, de tal manera que la solución las cubra con un espesor de 12.5 mm. Los recipientes de las muestras se tapan para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas. Las

muestras se mantienen sumergidas en la solución a una temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por todo el periodo de inmersión." (García, 2011)

Secado de las muestras después de la inmersión en la solución.

“Después del período de inmersión, se remueve la muestra de la solución, se le permite drenar por 15 ± 5 minutos y se coloca en el horno de secado. La temperatura del horno debe ser llevada previamente a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$. Las muestras se secan a la temperatura especificada hasta alcanzar peso constante.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“El tiempo requerido para obtener peso constante, se establece como sigue: el horno debe contener la máxima carga de muestras esperadas, se comprueban las pérdidas de peso de las muestras, removiéndolas y pesándolas sin enfriarlas, a intervalos de 2 a 4 hrs. Se considera que se ha alcanzado el peso constante al tener una pérdida de peso menor a 0.1% del peso de la muestra en 4 horas de secado.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019)

“Después de que se haya obtenido el peso constante, debe dejarse que las muestras se enfríen a la temperatura ambiente, y luego deben sumergirse en la solución preparada como se describe en el párrafo de almacenaje de las muestras en la solución.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Numero de ciclos

“Se repite el proceso de inmersión y secado alternados hasta que el número requerido de ciclos se haya obtenido. Después de completar el ciclo final y la muestra se haya enfriado, se lava la muestra hasta que esté libre de la solución de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio, como se determina en la reacción entre el agua de lavado con la solución de cloruro de Bario (BaCl_2).” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se lava al hacer circular agua a $43^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ ($110^{\circ}\text{F} \pm 10^{\circ}\text{F}$) a través de las muestras en sus contenedores. Esto puede hacerse colocándolos en un tanque en el que el agua caliente pueda ser introducida cerca del fondo y se suba hasta que rebalse. Durante la operación de lavado las muestras no deben ser sometidas a golpes o a abrasión que pueda tender a quebrar las partículas.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Examen cuantitativo

“Después que la solución de sulfato de sodio o de magnesio ha sido removida, secar cada fracción de la muestra a peso constante a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Tamizar el agregado fino en los tamices sobre los cuales fue retenido antes del ensayo y tamice el agregado grueso sobre las mallas que se indican en el Cuadro 19, para el tamaño apropiado de la partícula. Para el agregado fino, el método y duración del tamizado será el mismo que fue usado en la preparación de las muestras.” (García, 2011).

“Para el agregado grueso, tamizar manualmente, con agitación suficiente para asegurar que todo el material de tamaño más pequeño pase el tamiz designado. No hay que emplear manipulación extra para quebrar las partículas o forzarlas a pasar por los tamices. Pesar el material retenido en cada tamiz y registrar cada cantidad. La diferencia entre las cantidades y el peso inicial de la fracción de la muestra ensayada es la pérdida en el ensayo y es expresado como un porcentaje del peso inicial.” (García, 2011).

Cuadro 19: Fracciones de agregado grueso y tamiz para determinar la pérdida.

Tamaño del agregado	Tamiz usado para determinar la pérdida
100 mm (4") a 90 mm (3½")	75 mm (3")
90 mm (3½") a 75 mm (3")	63 mm (2½")
75 mm (3") a 63 mm (2½")	50 mm (2")

63 mm (2½") a 37.5 mm (1½")	31.5 mm (1¼")
37.5 mm (1½") a 19.0mm (¾")	16.0 mm (⅝")
19.0 mm (¾") a 9.5 mm (⅜")	8.0 mm (5/16")
9.5 mm (⅜") a 4.75 mm (No.4)	4.0 mm (No. 5)

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Examen cualitativo

“Se hace el examen cualitativo de las muestras de ensayo, más gruesas que el tamiz de 19.0 mm (¾ pulg) como sigue:” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se separan las partículas de cada una de las muestras de ensayo, en grupos de acuerdo a la acción que se deba producir en el ensayo, se requiere que se examine cualitativamente las partículas mayores de 19 mm (¾ pulg), se recomienda que se realice un examen de los tamaños menores, para determinar si existe alguna evidencia de una rotura excesiva.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

“Se registra el número de partículas que exhibe cada tipo particular de deterioro. Las acciones de deterioro pueden ser clasificadas como: desintegración, rotura, desmoronamiento, agrietamiento, formación de escamas, etc.” (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

II.4 Selección y producción de agregados

Conocidos los aspectos básicos del origen, funciones, propiedades y características de los agregados para concreto se puede visualizar fácilmente lo que es un agregado de calidad. Pero existe otro factor que es de suma importancia y es la selección de un agregado el cual debe orientarse a la calidad y economía al tener una disponibilidad de fuentes disponibles en el área. (Guzmán, 2001).

II.5 Tipos de extracción de los agregados

La extracción de los agregados va a depender de las características del yacimiento y del tipo de material que encuentre durante la etapa de exploración. Por tal motivo los yacimientos se pueden clasificar en: (Guzmán, 2001).

a. Diques transversales (darsenas o depósitos de arrastres fluviales):

Se originan por material de arrastre en los lechos de los ríos y riveras, allí se presentan en grandes depósitos con buenas acumulaciones de materiales de alta calidad. (Cedeño, 2013).

b. Banco o terrazas:

Son depósitos de materiales fragmentados que posteriormente fueron cubiertos por otros. Estas formaciones tienen características similares a las de los depósitos de ríos, debido a que están cubiertos por otros materiales se dificulta su explotación. Yacimientos relativamente horizontales de uno o varios niveles con recubrimientos potentes, además permite depositar los materiales estériles en el hueco creado. (Cedeño, 2013).

c. Canteras:

En estas fuentes de abastecimiento se obtienen agregados por trituración que generalmente son de buena calidad, pero que deben extraerse de yacimientos parcial o totalmente abiertos, se deben eliminar rocas foliadas tales como las pizarras y esquistos, a fin de evitar que al triturarse se produzcan partículas lajeadas o alargadas. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C., 2010).

d. Dragado:

La aplicación de este método es muy conocido en la extracción de oro y material de construcción en el lecho de los ríos y riveras. Se realiza al inundar previamente la

zona donde se llevará a cabo la explotación ya que se obtiene grandes cantidades de material de arrastre como gravas y arenas. (Cedeño, 2013).

e. Explotación por voladura y barrenado:

En este caso se utiliza dinamita de una manera controlada (para no inducir fallas internas al material) y perforadas que generalmente son accionadas por compresores de aire, antes de iniciar las labores de excavación y cargue. (Guzmán, 2001).

f. Graveras:

La extracción del material se hace directamente mediante la utilización de equipos mecánicos como retroexcavadoras, cargadores y volquetas en donde la explotación es en un solo banco con profundidades inferiores a los 20 metros. (Cedeño, 2013).

Proceso de producción de agregados

El procesamiento del material obtenido después de la exploración y el transporte consiste en una serie de operaciones que se detallan a continuación, con la finalidad de obtener las propiedades deseables del agregado, que dependen de los factores económicos y sin alterar las propiedades y características físicas, mecánicas y químicas básicas del material. estas operaciones se llevan a cabo en un conjunto de máquinas adecuadamente balanceadas, que constituyen las llamadas “plantas de trituración”, las cuales pueden ser estacionarias o portátiles. (Guzmán, 2001).

Procesamiento básico

Independientemente de si se trata de una planta estacionaria o portátil, el procesamiento de los agregados se puede dividir en dos categorías: “el procesamiento básico”, para lograr principalmente gradación y limpieza adecuada y el “beneficio” para retirar elementos perjudiciales. Entre los procesos típicos para obtener las características básicas de granulometría y limpieza de los agregados, se destacan los siguientes: (Guzmán, 2001).

a. Trituración y molienda:

La trituración se emplea en algunas ocasiones para obtener la distribución de tamaños de partículas deseadas (granulometría especificada) o para dar forma y textura a las partículas, es indispensable controlar el contenido final de fracciones finas. Utilizar la molienda, para producir arena, en molinos de bolas o de barras. (Guzmán, 2001).

b. Cribado o tamizado:

Consiste en hacer la distribución de partículas deseadas, dentro de los intervalos de tamaños correspondientes a la especificación del agregado grueso, para lo cual se disponen en los equipos de cribado mallas adecuadas y sistemas de recirculación del material hasta obtener la granulometría requerida. (Guzmán, 2001).

c. Lavado:

El lavado del material se hace con el fin de remover el limo, la arcilla y el exceso de finos. Esta operación se inicia durante el tamizado y se completa con la clasificación. En los casos en que el material contenga arcilla, lodo, bolas de barro o impurezas orgánicas en exceso y firmemente adheridas, se emplean tambores desenlodadores, diseñados para cumplir eficientemente esta función. (Guzmán, 2001).

d. Clasificación con agua:

La clasificación final por tamaño, así como el control de la granulometría obtenida en los agregados finos, se ejecuta generalmente con agua, para lo cual se usan los tanques clasificadores que se basan en los principios de la velocidad de sedimentación de las partículas según su tamaño. (Guzmán, 2001).

Beneficio:

Define el mejoramiento de un material por la remoción de partículas indeseables. En estos casos y según lo amerite el proyecto, se verifican las características indeseables que presente el agregado, como pueden ser algunas propiedades físicas o mecánicas

relativas a su dureza, densidad y elasticidad. Para lograr esto se han utilizado, con grados variables de éxito, algunos procesos que se describen a continuación: (Guzmán, 2001).

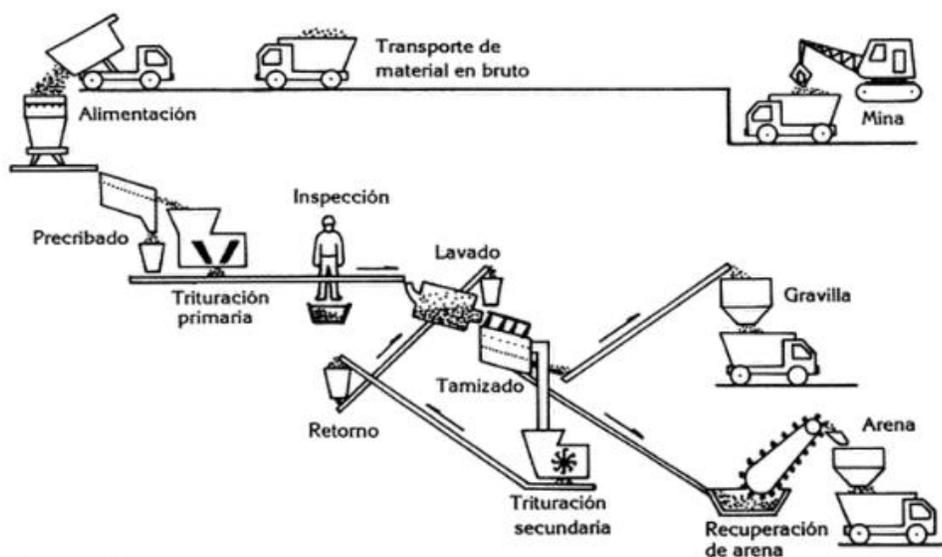
e. Separación por trituración:

La trituración se puede usar para reducir la cantidad de partículas blandas y deleznable que se encuentran en el agregado, para lo cual se emplean ciertas trituradoras de impacto que ejecutan esta labor. En estos casos el material degradado se elimina por el tamizado o por clasificación. (Guzmán, 2001).

f. Separación por densidad:

En ocasiones, las partículas perjudiciales que se encuentran en el depósito de material presentan una densidad más baja que el material de mejor calidad. Para ello hay varios procesos de beneficio como agua y aire a alta velocidad, que remueven los materiales más livianos, como también clasificadoras hidráulicas que separan por diferencia de densidad sin requerir agua a alta velocidad. (Guzmán, 2001).

Imagen 47: Producción de agregados para concreto.



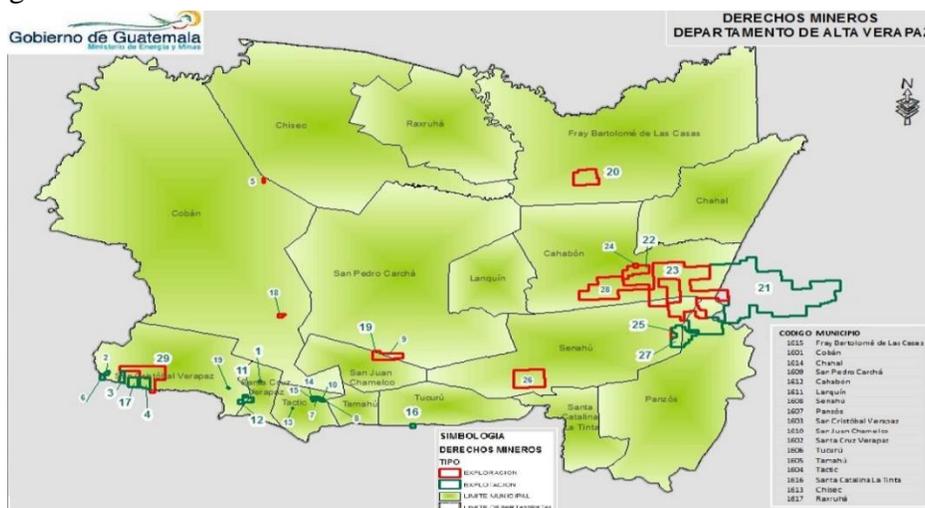
Fuente: (Guzmán, 2001).

II.6 Bancos de materiales en Alta Verapaz

Alta Verapaz presenta paisajes subterráneos típicos de ambientes kársticos, el término karst se deriva de la palabra serbo-croata krs y de la palabra eslovena kras que significa tierra pedregosa descubierta. Kras es una región de calizas. Geógrafos y geólogos han utilizado desde entonces el término de karst para referirse a terrenos con paisajes que se producen principalmente por la disolución de rocas como calizas, dolomita, mármol, yeso y sal. La naturaleza del paisaje kárstico varía de un lugar a otro en función de condiciones hidrológicas locales. (Sagastume, 2005).

El departamento de Alta Verapaz cuenta con varios bancos de materiales establecidos en ellos existe la formación de rocas caliza fosilífera, dolomita, conglomerado, arenisca arcósica, arenisca fina, limolita y calizas de grano fino, muy recristalizadas, encontrándose algunas veces masivas y muy fracturadas. La piedra caliza posee un color negro por estar a la intemperie en un ambiente agresivo y en color gris al estar expuesta naturalmente, pero lo más importante que posee una caracterización que hace que al utilizarlo en el concreto le proporcione propiedades de resistencia y vuelva económico. (Mazariegos, 2013)

Imagen 48: Bancos de materiales.



Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2007).

II.7 Concreto convencional

Concreto diseñado para ser utilizado en todo tipo de construcciones en donde no existen requerimientos adicionales o en obras donde no existan factores ambientales químicos severos. El concreto convencional se puede producir en diferentes resistencias y ensayar a diferentes dades para conocer si cumple con los requerimientos solicitados en obra, en él se puede utilizar diferentes tamaños de agregados de acuerdo a las necesidades de los elementos y gama de revenimientos. Su colocación en obra puede ser directo o con bomba. (CONCREVA, 2019)

Usos y aplicaciones

Se puede utilizar en general para la construcción de edificios de mediana altura, viviendas con cimbras modulares, casas habitacionales, cisternas, puentes, oficinas, escuelas, hospitales, vialidades, canchas deportivas y muchas construcciones más. Y en elementos: columnas, losas, zapatas, muros y pisos. (CONCREVA, 2019).

II.8 Estados del concreto

Concreto fresco

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas; desde el momento en que todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el endurecimiento de la masa. En ese lapso el concreto es transportado, encofrado y luego compactado manualmente o por vibración. El comportamiento del concreto fresco depende de: de sus componentes, de las características del mezclado, de su diseño, del medio ambiente circundante y las condiciones de trabajo. (Bustamante, 2016).

Propiedades principales del concreto fresco

a. Manejabilidad (Trabajabilidad)

La manejabilidad, conocida también como trabajabilidad se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determinar su capacidad para ser colocado

y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna. (Guzmán, 2001).

Por ejemplo, el Road Research Laboratory, de la Gran Bretaña, define la manejabilidad en términos de capacidad de compactación, ya que, al consolidar la mezcla dentro de una formaleta, hay que vencer la fricción interna que se presenta entre las distintas partículas de los materiales que lo componen y una fricción externa o superficial entre el concreto y la superficie de la cimbra o del refuerzo, con el fin de extraer el aire naturalmente atrapado y lograr la mayor densidad posible. (Guzmán, 2001).

De esta manera, la manejabilidad queda definida como la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de construcción. (Guzmán, 2001).

b. Consistencia (Asentamiento o Revenimiento)

Se refiere a su estado de fluidez, indica qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto al encontrarse en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla. (Guzmán, 2001).

La consistencia, que es un indicador de la docilidad, es muy sensible a las variaciones como el tamaño máximo, forma y granulometría de los agregados, pero en especial a la cantidad de agua de amasado, al considerarse que, para una composición dada, la consistencia de un concreto es función de la cantidad de agua en la mezcla. (Ingeniero de caminos, 2019).

En su puesta en obra, el concreto además de tener la consistencia adecuada, debe rellenar perfectamente todos los huecos de un molde y adaptarse a las armaduras

envolviéndolas para tener una buena adherencia, al eliminar los huecos de la masa, salvo los poros que queden por la pérdida del agua en exceso sobre la necesaria para la hidratación del cemento. (Ingeniero de caminos, 2019).

Cono de Abrams

llamado también de revenimiento o “Slump test”. Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams, fue adoptada 1921 por el ASTM y revisada finalmente en 1978. Este ensayo mide la consistencia o fluidez de una mezcla fresca de concreto cuyo tamaño máximo de agregado grueso puede ser hasta de 50.8 mm (2”). (Guzmán, 2001).

El molde tiene forma de tronco de cono. Los dos círculos de las bases son paralelos entre si los cuales miden 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos. La altura del molde es de 30 cm, para compactar el concreto se utiliza una barra de diámetro liso de 16 mm de diámetro, 60 mm de longitud y punta semiesférica. (Guzmán, 2001).

II.9 Normas ASTM para mezclas de concreto.

Las muestras deben ser obtenidas al azar, obtener una muestra por cada 120 m³ de concreto producido o 500 m² de superficie. El volumen de la muestra debe ser menor a 30 litros. En el caso de que la muestra se obtenga al pie de la mezcladora, si el volumen del concreto contenido en el tambor es menor de 0.5 m³, se tomará el material del centro de la descarga. En caso de ser mayor volumen, se formará una muestra compuesta con material correspondiente al fin del primer tercio de descarga y del inicio del último tercio. No debería transcurrir más de 15 minutos entre las operaciones de muestreo y moldeo de la mezcla de concreto. (Civilgeeks, 2019).

Norma ASTM C143 “Slump of Portland Cement Concrete”.

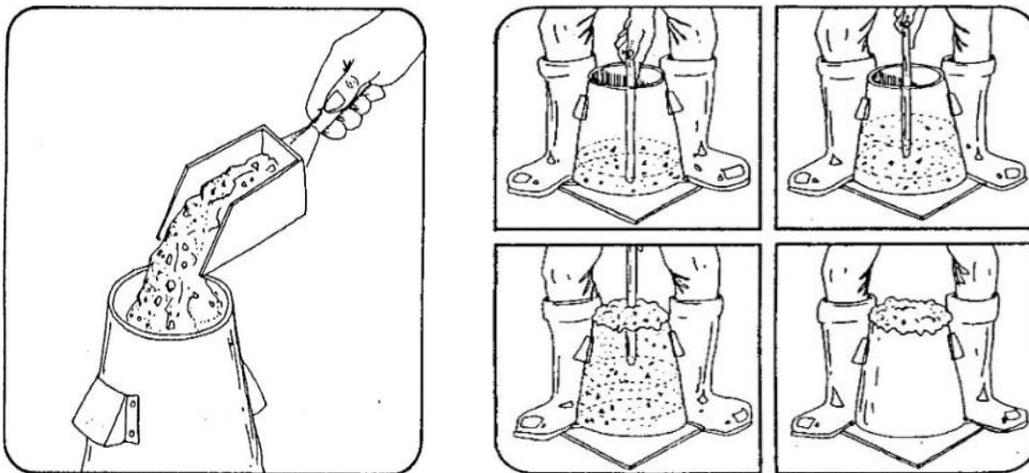
Una vez que la muestra de concreto fresco ha sido correctamente seleccionada de acuerdo a los procedimientos anteriores, de manera que sea representativa de toda la masa, se procede de la siguiente manera: (Guzmán, 2001).

El molde se humedece y se coloca sobre una superficie plana, húmeda y no absorbente, con la abertura más pequeña hacia arriba. La superficie ideal es una placa metálica rígida, que ha sido colocada en el suelo y nivelada con un nivel de mano. Posteriormente el molde se presiona hacia abajo, al tomarlo de las agarraderas, con el objeto que al colocar la mezcla, esta no salga por la parte inferior del molde. (Guzmán, 2001).

El cono se llena en tres capas, cada una aproximadamente una tercera parte del “volumen” total del molde; la primera capa tendrá una altura aproximada de 6.5 cm, la segunda llegará hasta 15.5 cm y en la tercera se apilará concreto sobre el molde. Cada capa se apisonará 25 veces con una varilla lisa. La introducción de la varilla se debe hacer en diferentes sitios de la superficie con el fin de que la compactación se distribuya uniformemente sobre la sección transversal. (Guzmán, 2001).

La primera capa se compacta a través de todo su espesor en tanto que la segunda y la tercera se compactan de manera que la varilla penetre ligeramente (como máximo 2.5 cm) (1”) en la capa inferior. (Guzmán, 2001)

Imagen 49: Procedimientos de compactación.



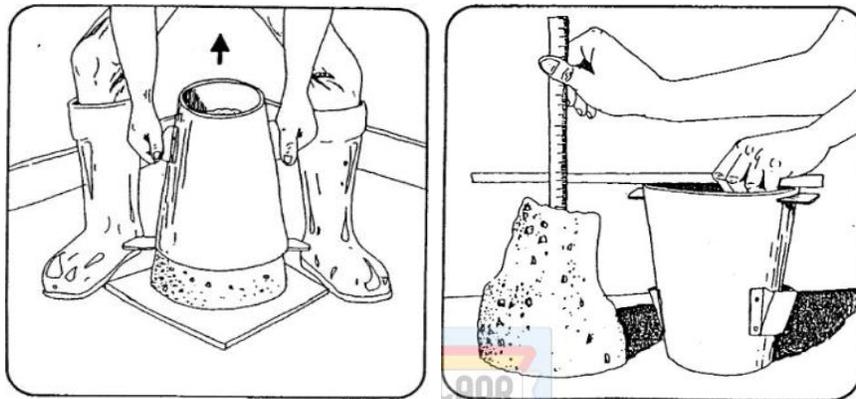
Fuente: (Lopez, y otros, 2019).

En algunas ocasiones al compactar la tercera capa, el concreto se asienta por debajo del borde superior, debido al acomodamiento y consolidación de las partículas, por tal motivo es necesario complementar con más mezcla para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Al terminar esta operación debe alisarse a ras de la superficie con la varilla o cualquier otro instrumento apropiado. A continuación, se quita la mezcla que cayó al suelo alrededor de la base del molde, se debe dejar limpia la zona que lo rodea. (Guzmán, 2001).

Inmediatamente después se retira el molde, alzar cuidadosamente el molde en dirección vertical, en un lapso de 5 a 10 segundos, sin movimientos circulares o laterales y sin tocar la mezcla con el molde al ser separado del concreto fresco. Al faltarle apoyo, el concreto se asentará, de ahí el nombre del ensayo. (Guzmán, 2001).

El tiempo es un factor importante en la prueba. Este ensayo debe iniciarse dentro de los 5 minutos siguientes al muestreo y debe ser completado a los 2 minutos y 30 segundos de hacerse iniciado. La diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del concreto abatido se llama asentamiento y se mide con una aproximación de 5 mm. (Guzmán, 2001).

Imagen 50: Levantamiento y medición del revenimiento.



Fuente: (Lopez, y otros, 2019).

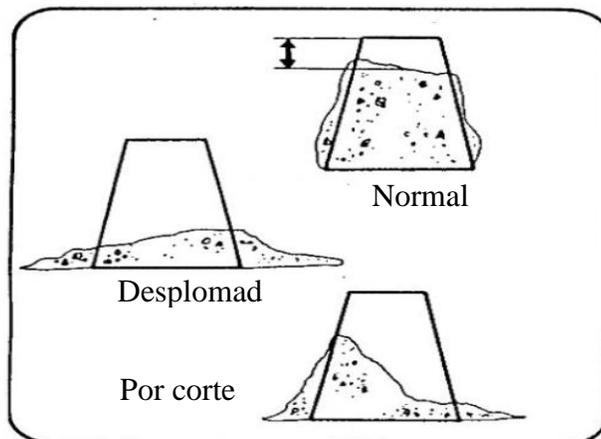
Si el concreto se desmorona o se desprende hacia un lado, el ensayo se debe rechazar y repetir con otra porción de la muestra. Si esta segunda muestra también se desploma o se parte, es probable que el concreto no tenga la plasticidad o la cohesión adecuada, y que no sea aplicable de asentamiento, ya que esta prueba es sensible únicamente a las mezclas plásticas y trabajables cuyos valores de asentamiento están indicadas en el Cuadro 20. Por lo tanto, para mezclas muy ásperas, como las que tienen exceso de agregado grueso, o con agregados muy angulares, o con exceso de lajas, no se debe emplear. (Guzmán, 2001).

Cuadro 20: Consistencia del concreto.

Asentamiento en el cono de Abrams		
Consistencia	Asiento en Cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca (S)	0-2	Vibrado
Plástica (P)	3-5	Vibrado
Blanda (B)	6-9	Picado con barra
Fluida (F)	10-15	Picado con barra
Líquida (L)	16-20	Picado con barra

Fuente: (CONSTRUMÁTICA, 2019).

Imagen 51: Tipos de revenimiento.



Fuente: (Lopez, y otros, 2019).

Tiempo de fraguado

Cuando una muestra de cemento se mezcla con cierta cantidad de agua, se forma una pasta plástica, la cual se pierde a medida que pasa el tiempo, hasta llegar un momento en que la pasta pierde su viscosidad y se eleva la temperatura; el tiempo transcurrido desde la adición del agua se llama “tiempo de fraguado inicial”, e indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado y la pasta semidura. (Guzmán, 2001).

Posteriormente, la pasta fragua hasta que deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega al máximo de temperatura; el tiempo así transcurrido desde de la mezcla con agua se denomina “tiempo de fraguado final”, el cual indica que el cemento se encuentra aún más hidratado y la pasta ya está dura.

A partir de ese momento empieza el proceso de endurecimiento de la pasta y la estructura del cemento fraguado adquiere resistencia mecánica. (Guzmán, 2001).

La determinación de los tiempos de fraguado es importante por la idea que dan del tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y afinar el concreto en obra. (Guzmán, 2001).

Dentro de los factores que tienen mayor influencia en el fraguado están:

- a. La composición química del cemento.
- b. La finura del cemento
- c. Entre mayor sea la cantidad de agua de amasado más rápido se da el periodo de fraguado.
- d. A menor temperatura más lento ocurre la hidratación, a temperaturas por debajo de -1°C el cemento no fragua.
- e. A mayor temperatura más rápido ocurre la hidratación, pero sobre los 32°C se pueden observar un efecto inverso. (Guzmán, 2001).

Falso Fraguado

Se da el nombre de falso fraguado a una rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta dentro de los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua. Difiere del fraguado relámpago en que no despidе calor en forma apreciable y, si se vuelve a mezclar la pasta de cemento sin adición de agua, se restablece su plasticidad y fraguado normales sin pérdida de resistencia. (Guzmán, 2001).

Fraguado rápido

Se evidencia por una pérdida rápida de trabajabilidad en la pasta, mortero o concreto a una edad aún temprana. Esto es normalmente acompañado de una evolución considerable de calor, resultante principalmente de la rápida reacción de los aluminatos. Si la cantidad o forma adecuadas de sulfato de calcio no están disponibles para controlar la hidratación del aluminato de calcio, el endurecimiento es aparente.

El fraguado rápido no se lo puede disipar, ni tampoco se puede recuperar la plasticidad por el mezclado complementario sin la adición de agua. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos, 2004)

c. Plasticidad

Se denomina como “plasticidad” a una consistencia del concreto tal que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca el molde. Por tal razón, no pueden considerarse como mezclas de consistencia plástica ni las muy secas ni las muy fluidas. (Guzmán, 2001).

d. Segregación

Es la separación de los diferentes componentes de una mezcla fresca compuesta de elementos de tamaños y pesos heterogéneos, las partículas mayores que también suelen ser las más pesadas tienden a sentarse en el fondo de su lugar de transporte o

colocación, lo contrario sucede con las partículas finas y livianas que ascienden a la superficie. Esto se produce cuando la cohesión interna entre los constituyentes del concreto no es la adecuada, es peligroso llenar un encofrado con material en estas condiciones. (Bustamante, 2016).

La segregación hace que el concreto sea: más débil, menos durable y dejará un pobre acabado de superficie. La segregación produce que disminuya la resistencia y la durabilidad del concreto. Puede producir fisuras y agujeros. (Bustamante, 2016).

Imagen 52: Segregación.



Fuente: (Sanchez, 2019) y (Ríos A. S., 2013)

Tipos de segregación

La segregación se puede presentar de dos maneras:

- a. Cuando las partículas gruesas tienden a separarse por desplazamiento sobre los taludes de la mezcla amontonada o porque se asientan más que las partículas finas por acción de la gravedad, esta generalmente ocurre en mezclas secas y poco cohesivas. (Bustamante, 2016).
- b. Cuando se separa la pasta (cemento y agua) de la mezcla, ocurre en mezclas húmedas y con pasta muy diluida. (Bustamante, 2016).

Causas que producen la segregación

La segregación puede producirse por déficit de cemento, exceso de agua, falta de partículas finas, exceso de elementos gruesos, transporte y/o colocación inconveniente. (Bustamante, 2016).

La segregación puede ser reducida al emplear una buena granulometría, reducir el agua de amasado, utilizar medios de transporte adecuados, reducción de espesor de la masa transportada, si se utiliza la compactación por vibración es aconsejable emplear un concreto poco fluido con una relación agua/cemento reducido. (Bustamante, 2016).

e. Exudación (Sangrado)

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, entre más fina es la molienda del cemento y mayor el porcentaje de material menor que el tamiz No. 100, la exudación será menor, pues se retiene el agua de mezcla. (Bustamante, 2016).

f. Cohesivo

Se define como aquella propiedad gracias a la cual es posible controlar la posibilidad de segregación durante la etapa de manejo de la mezcla, al mismo tiempo que contribuye a prevenir la aspereza de esta y facilitar su manejo durante el proceso de compactación del concreto. Normalmente se considera que una mezcla de concreto posee el grado apropiado de cohesividad si no es demasiado plástica ni viscosa y no segrega fácilmente. La cohesividad se incrementa con la fineza de las partículas de la mezcla. (Bustamante, 2016).

g. Masa volumétrica (densidad, masa unitaria)

El concreto convencional tiene un intervalo de pesos unitarios que va desde 2240 a 2400 kg/m³, lo cual depende de la densidad de los agregados, la cantidad de aire

atrapado o intencionalmente incluido y de la cantidad de agua y cemento contenidas, que a su vez se encuentran influenciadas por el tamaño máximo del agregado. (Guzmán, 2001).

Método de ensayo. Determinación de la masa unitaria, rendimiento y contenido de aire por método gravimétrico del concreto, según ASTM C138

Este método cubre la determinación de la densidad aparente de concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen del concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Para el muestreo obtener una muestra de concreto recién mezclado de acuerdo con la norma ASTM C172. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Procedimiento

Hacer la selección del método de consolidación basado en el ensayo de asentamiento, a menos que se establezca un método específico. Los métodos son: el apisonado con varilla para concreto con asentamientos mayores a 75 mm (3”) y vibración interna para concretos con asentamientos menores a 25 mm (1”) o apisonar o vibrar concretos con asentamiento de 25 a 75 mm (1 a 3”). (Guzmán, 2001)

Colocar el concreto en el recipiente, utilizar el cucharón para distribuir en todo el perímetro del recipiente la muestra, con una mínima segregación. (Guzmán, 2001)

Llenar el recipiente de medida en el número de capas requeridas por el método de consolidación a utilizar. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Varillado:

Colocar el concreto en el recipiente en tres capas del mismo volumen en cada una. Varillar cada capa con 25 golpes si se usa recipientes de volumen de 14 litros, varillar con 50 golpes al usar recipientes de volumen de 28 litros y un golpe por cada 20 cm² de superficie en recipiente de mayor tamaño. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Varillar cada capa uniformemente sobre toda la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla, utilizar el número requerido de golpes. Varillar la capa interior en todo su espesor. Al varillar esta capa se debe tener el cuidado de no dañar el fondo del recipiente. Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que se varille y en la capa interior, aproximadamente 25 mm (1 pulg). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Después de varillar cada capa, golpee suavemente los lados del recipiente con el mazo para cerrar las oquedades o vacíos dejados por la varilla apisonadora y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Añadir la última capa, evitar sobrellenar el recipiente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

h. Vibración Interna:

Llenar y vibrar el recipiente en dos capas aproximadamente iguales. Verter todo el concreto para cada capa antes de iniciar la vibración de la misma. Insertar el vibrador en tres puntos diferentes de la capa. Al compactar la capa del fondo no permitir que el vibrador descansa ni toque el fondo y los lados del recipiente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Al consolidar la capa superior, el vibrador debe penetrar la capa inferior aproximadamente 25 mm. Tenga cuidado al sacar el vibrador de modo que no queden

bolsas de aire atrapado en la muestra. La duración de la vibración requerida dependerá de la trabajabilidad y de la efectividad del vibrador. Por lo regular el concreto ha sido vibrado lo suficiente al tener una superficie lisa. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Continuar con la vibración del concreto para lograr una consolidación adecuada, pues la sobre vibración puede causar segregación de los materiales y pérdida de cantidades significativas de aire intencionalmente incorporado en la mezcla. Mantener una vibración de duración constante para cada tipo de concreto, vibrador y recipiente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Al completar la consolidación del concreto, el recipiente no debe contener un exceso o carencia sustancial de concreto de aproximadamente 3 mm por encima del tope es lo óptimo. Se puede agregar una cantidad pequeña de concreto si es necesario corregir alguna deficiencia. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Si el recipiente contiene un excedente grande de concreto después de la consolidación, quite lo necesario con una cuchara de albañil o cucharón inmediatamente antes de enrasar el recipiente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Enrasado del recipiente:

Se remueve el exceso de concreto de la superficie superior y se debe dar un acabado suavemente con la placa plana de enrasado, se debe tener el cuidado de dejar el recipiente adecuadamente lleno y nivelado. (Guzmán, 2001)

El enrasado se logra mejor al presionar la placa sobre la superficie superior del recipiente, cubrir dos terceras partes de esta y retirar la placa con un movimiento a manera de aserrado sobre el área cubierta. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Luego colocar la placa en la parte superior del recipiente de manera que cubra los dos tercios originales de la superficie y avanzarla con una presión vertical y movimiento de aserrado sobre toda la superficie y continuar empujándola hasta que se deslice completamente fuera del recipiente. Varias pasadas producirán una superficie de acabado liso. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Limpieza y pesaje:

Después de enrasar, limpiar todo el concreto del exterior del recipiente y determinar la masa del concreto, utilizar una balanza con exactitud de 45 g o al 0.3% de la carga de ensayo. El rango debe abarcar desde la masa del recipiente vacío hasta la masa del recipiente más su contenido a 2600 kg/m^3 160 libras/pie³. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

Densidad aparente (Masa Unitaria): Calcular la masa neta del concreto en libras o kilogramos, restar la masa del recipiente de medición (Mm), de la masa del recipiente de medición lleno de concreto (Mc). Calcular la densidad aparente (D) en lb/pie³ o kg/m³, dividir la masa neta del concreto entre el volumen del recipiente de medición (Vm) en pie³ o m³. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

$$D = \frac{(Mc - Mm)}{Vm}$$

Rendimiento: Calcular el rendimiento de concreto producido: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

$$1. \quad Y(\text{yd}^3) = \left(\frac{M}{(D \times 27)} \right) \quad 2. \quad Y(\text{m}^3) = \left(\frac{M}{D} \right)$$

Contenido de cemento: Calcular el contenido real de cemento: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

$$C = \frac{C_b}{Y}$$

Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado (fresco) por el método volumétrico según ASTM C173.

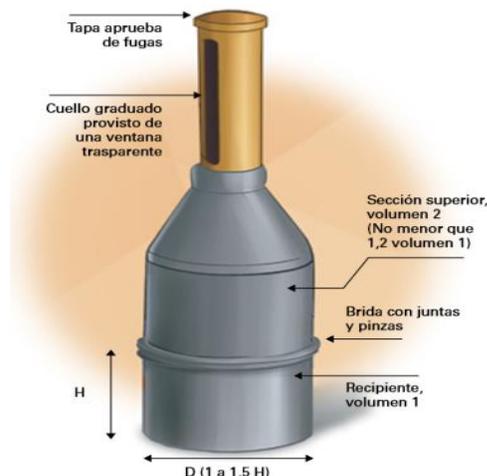
Esta norma establece el procedimiento para determinar el contenido de aire en el concreto fresco, elaborado con cualquier tipo de agregado, ya sea pesado, celular o ligero con tamaño máximo de 38,1 mm por el método volumétrico. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C, 2013).

Materiales y Equipo

Alcohol: Deberá poseer una concentración del 70% en volumen, agua potable o destilada. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C, 2013).

Medidor de aire: Es un dispositivo que consta de un recipiente y de una sección superior. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C, 2013).

Imagen 53: Medidor de aire volumétrico.



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C, 2013).

La muestra se obtiene del concreto fresco, de acuerdo con la ASTM C172. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C, 2013).

Procedimiento

Moje el interior del recipiente y séquelo hasta obtener una apariencia húmeda no brillante. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Para la primera capa:

Llene el molde aproximadamente $\frac{1}{2}$ de su volumen. Varille la capa 25 veces, no golpee con fuerza el fondo del recipiente, distribuya uniformemente el varillado en toda la sección transversal del molde. Golpee el exterior del molde de 10 a 15 veces con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Para la segunda capa:

Se realiza el mismo procedimiento de la primera capa, con la diferencia que al momento de varillar debe penetrar aproximadamente 25 mm la capa anterior. Después de golpear ligeramente la segunda capa, es aceptable un ligero exceso de concreto de 3 mm o menos, por encima del borde. Enrase el exceso de concreto con la varilla y limpie la pestaña del recipiente. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Moje el interior de la sección superior del medidor, incluya el empaque, y fíjelo al recipiente, para crear un sello impermeable al agua. Inserte el embudo y agregue al menos 0.5 L de agua seguido de la cantidad seleccionada de alcohol isopropilo. Registre la cantidad de alcohol agregado. (Guzmán, 2001)

Agregue agua hasta que aparezca en el cuello de la sección superior. Remueva el embudo. Ajuste el nivel del líquido (agua y alcohol) con una jeringa hasta que la parte

inferior del menisco esté a nivel con la marca cero de la escala transparente. Coloque y apriete la tapa con rosca que produzca un sello impermeable al agua. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Invierta rápidamente el medidor, agite la base, y regrese el medidor a la posición vertical. No invierta el medidor por más de 5 segundos a un tiempo. Repita el proceso de inversión, sacudida y posición vertical por un mínimo de 45 segundos y hasta que el concreto se libere del recipiente. (Guzmán, 2001)

Colocar el medidor a 45° y ruede vigorosamente el medidor de ¼ a ½ vuelta hacia adelante y hacia atrás varias veces, empezar y detener rápidamente el rodamiento. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Gire la base aproximadamente 1/3 de giro y repita el procedimiento anterior de rodamiento. Así mismo repita los dos pasos anteriores por 1 minuto al tiempo que escucha el deslizamiento del agregado en el medidor. (Guzmán, 2001)

Ponga el medidor en posición vertical, afloje la tapa, y permita que el nivel de líquido se estabilice, está estable cuando no hay cambio en más de 0.25% dentro de un período mínimo de 2 minutos. Si el nivel del líquido no se estabiliza en 6 minutos, descarte la prueba y realice una nueva prueba, debe usar alcohol adicional. (Guzmán, 2001)

Si hay más presencia de espuma en el cuello del equivalente a 2 divisiones porcentuales completas, deseche la prueba y realice una nueva con alcohol adicional. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Si el contenido de aire es mayor a 9%, agregue copas calibradas de agua al medidor para subir el nivel del líquido dentro del medidor. Registre el número de copas de agua agregada. Cuando el nivel del líquido esté estable, lea el nivel en la parte inferior

del menisco, o al 0.25% más próximo. Esta será la “lectura inicial del medidor”. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Vuelva a apretar la tapa, y repita los últimos cinco párrafos anteriores. Si la segunda lectura del nivel del líquido no ha cambiado en más del 0.25% respecto a la “Lectura inicial del medidor”, registre la segunda lectura como: “Lectura final del medidor”. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Desensamble el medidor, descargue el contenido de la base, y examine la base para verificar que no haya porciones de concreto perturbado, que formen paquetes apretados pegados al molde. La lectura final del contenido de aire es igual a la “Lectura final del medidor”, menos la corrección para grandes cantidades de alcohol (ver Cuadro 21) más el número de copas calibradas de agua agregadas. Reporte el contenido de aire al 0.25% más próximo. (Guzmán, 2001)

Si la segunda lectura difiere de la primera en más de 0.25% registre la segunda lectura como la “Lectura inicial del medidor” y repita los pasos del antepenúltimo párrafo. Si la tercera lectura del nivel del líquido no ha cambiado en más de 0.25% respecto de la “Lectura inicial del medidor”, registre la tercera lectura como la “Lectura final del medidor”. De no ser así deseche la prueba y realice una nueva, debe usar alcohol inicial. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2008).

Cuadro 21: Corrección para el efecto del alcohol isopropílico.

70% de alcohol isopropílico usado	Pintas	Onzas fluidas	Litros	Corrección %
	≤ 2.0	≤ 32	≤ 1.0	0.0
	3.0	48	1.5	0.25
	4.0	64	2.0	0.50
	5.0	80	2.5	0.75

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Cálculos

$$A = A_R - C + W$$

Donde

A= contenido de aire, %

A_R= Lectura final de contenido de aire, %

C= Factor de corrección de Cuadro 21

W= Número de copas calibradas de agua añadidas al medidor de aire. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2019).

Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método presión según ASTM C231.

Este método de prueba es adecuado para usarlo en concretos y morteros elaborados con agregados de masa específica igual o mayor a 2,10 kg/m³. Pero no es aplicable para concretos con agregados ligeros que tengan burbujas de aire en el interior o aquellos con alta porosidad. Tampoco debe aplicarse para concretos de bajo revenimiento por ser poco plásticos. (Guzmán, 2001)

Equipo y muestra

Medidores de Aire:

Existen dos tipos de aparatos diseñados para medir el contenido de aire en el concreto fresco por medio de presión. Se conocen como Medidor de aire tipo A y Medidor de aire tipo B. La muestra se obtiene del concreto fresco, de acuerdo con la ASTM C172. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Método A

Medidor de aire tipo A:

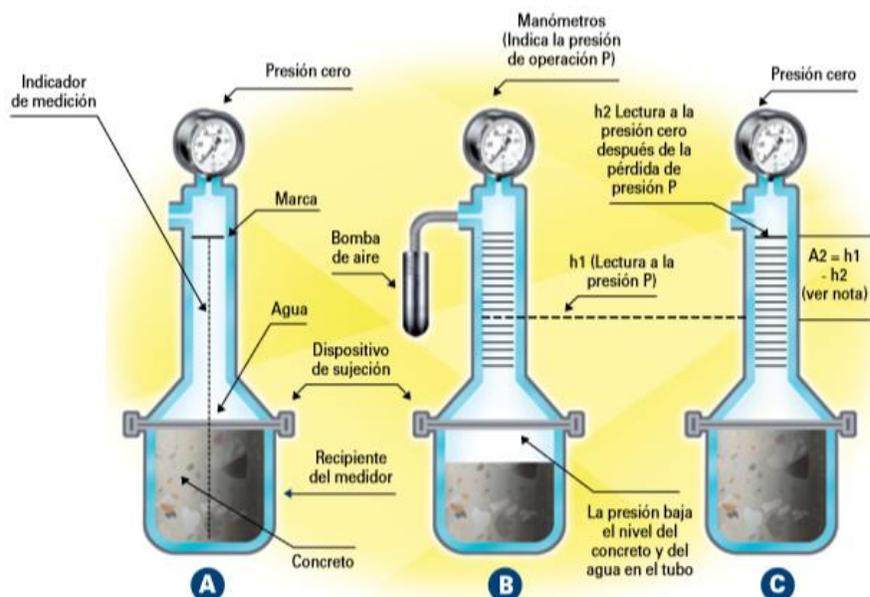
Está compuesto por un recipiente metálico diseñado para resistir altas presiones en unión con la tapa. Este medidor consiste en introducir agua a una determinada altura con respecto a una muestra de concreto de volumen conocido y aplicar una

determinada presión de aire sobre el agua. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

La determinación consiste en la reducción en el volumen de aire en la muestra de concreto y observar cómo baja el nivel de agua al aplicar presión. La tapa debe ser cónica y tener su superficie interior inclinada. Deberá estar provista en su centro de un tubo de vidrio graduado. Debe presentar una escala en unidades que representen directamente un porcentaje del volumen de aire incluido en el concreto. Cada unidad indica 1% de aire incluido. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

El tubo de vidrio graduado debe contar en su extremo con un tapón de cierre hermético, una válvula de aire y una llave de purga en la pared cónica de la tapa. El sistema de ajuste con el recipiente debe ser tal que no permita la pérdida de agua o presión. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Imagen 54: Medidor de aire por presión tipo A.



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Dispositivo de ajuste

Consiste en un cilindro metálico cuyo volumen interior sea de 3% a 6% del volumen del recipiente, un resorte u otro dispositivo para sujetar el cilindro de ajuste, un embudo y el tubo dispersor que elimine la posibilidad de introducir aire al llenar con agua el dispositivo. (Guzmán, 2001)

Ajuste

El dispositivo debe ajustarse en el sitio de trabajo con el fin de tomar en cuenta la altura de este sobre el nivel del mar. El factor K, es la magnitud de descenso de agua sobre la columna de vidrio graduada, originado por la aplicación de la presión P, requerida. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Dicho factor permite conocer el volumen de aire que la presión P introduce al cilindro de ajuste en el recipiente lleno de agua. Cabe decir que el error introducido en la determinación por las distintas alturas sobre el nivel del mar puede causar como máximo un error en $\pm 0.05\%$. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Procedimiento de ajuste

Se coloca el recipiente sin su tapa en una superficie rígida horizontal y se introduce en el cilindro de ajuste al centro y boca abajo. Se coloca sobre este último el resorte y se cubre con la tapa cónica, de tal forma que el resorte presione al cilindro de ajuste sin que pierda su posición vertical. En seguida se cierran las mordazas. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Una vez cerrado el dispositivo, se llena con agua. Se cierra el tubo de vidrio con el tapón y es inyectado aire a presión mediante la bomba. Se inclina el dispositivo y se usa el fondo del recipiente como centro. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012)

Para desprender el aire que pueda haberse retenido por adherencia a las paredes interiores del dispositivo, se golpea el recipiente con el martillo suavemente. Con mucha precaución se hace escapar el aire por la válvula de inyección para abatir la presión, a fin de que el menisco inferior del agua coincida con el factor de ajuste. La presión que indique el manómetro es la presión P necesaria de prueba. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Procedimiento de prueba

Se llena el recipiente en tres capas iguales, se compacta con la varilla cada una de ellas y se enrasa. Se limpia el borde del recipiente. Se coloca la tapa cónica sobre el recipiente y las abrazaderas, se ajustan las mariposas opuestas. Después, se aprieta lo suficiente para evitar fugas a través de las juntas. Se quita la tapa superior de la columna de vidrio. Con el embudo y el tubo dispersor, se vierte agua hasta llenar la mitad de la altura del tubo dispersor. (Guzmán, 2001)

En seguida, se vierte hasta llenar la mitad de la altura del tubo con escala de vidrio; se retira el embudo y el tubo; se pone la mano en la parte superior de la columna y se apoya el dispositivo en su base. (Guzmán, 2001)

Al mismo tiempo, se golpea ligeramente la pared cónica de la tapa para hacer salir las burbujas de aire que hayan quedado adheridas a la superficie interior. Se regresa el dispositivo a su posición vertical y, mediante el embudo y el tubo superior, se llena con agua el tubo con escala de vidrio, hasta poco más arriba de la marca, y mediante la válvula de purga, se hace descender el nivel del agua hasta que coincida el menisco inferior con la marca cero. (Guzmán, 2001)

Se coloca la tapa del tubo con la escala de vidrio y se ajusta para que no haya fuga. Se conecta la bomba y se levanta uniformemente la presión hasta la correspondiente para el valor P , previamente obtenido en el ajuste del dispositivo. Se expulsa el aire

hasta hacer coincidir el agua del manómetro con el valor P. Lo anterior es logrado al quitar la bomba y hacer presión en la válvula de inyección de aire, para abrirla ligeramente. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Con la aguja del manómetro que marca el vapor P, se hace la lectura de la columna de agua sobre la escala de vidrio graduado. Este valor debe registrarse. Se afloja la tapa del tubo con la escala de vidrio para bajar poco a poco la presión y en el transcurso de un minuto se quita la tapa por completo. Debe tener lugar una nueva lectura del nivel de agua sobre el tubo de vidrio graduado. (Guzmán, 2001)

Factor de corrección por el agregado

Las partículas del agregado casi siempre son porosas y por lo tanto capaces de retener aire en la determinación del contenido aparente, por lo que hay que tomarlo en cuenta y restarlo al resultado. (Guzmán, 2001)

En distintos recipientes y por espacio de cinco minutos se ponen en inmersión de agua los agregados que se vayan a estudiar, en proporción de arena y grava con la que se va a elaborar el concreto. A los cinco minutos se retira el exceso de agua. Como el recipiente está a una tercera parte de su volumen con agua, se colocan una parte de arena y una de grava hasta llenarlo, para que mantengan la relación grava-arena dada. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Una vez que se llena el recipiente, se golpea la pared de este, se elimina la espuma y el agua sobrante, se coloca la tapa. (Guzmán, 2001)

Se repiten las operaciones, desde la colocación de la tapa del tubo con escala de vidrio, la operación de la lectura del nivel del agua inclusive, sin restablecer el aforo en cero, hasta que las determinaciones consecutivas de aire incluido aparente no varíen en más de 0.2%. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Método B

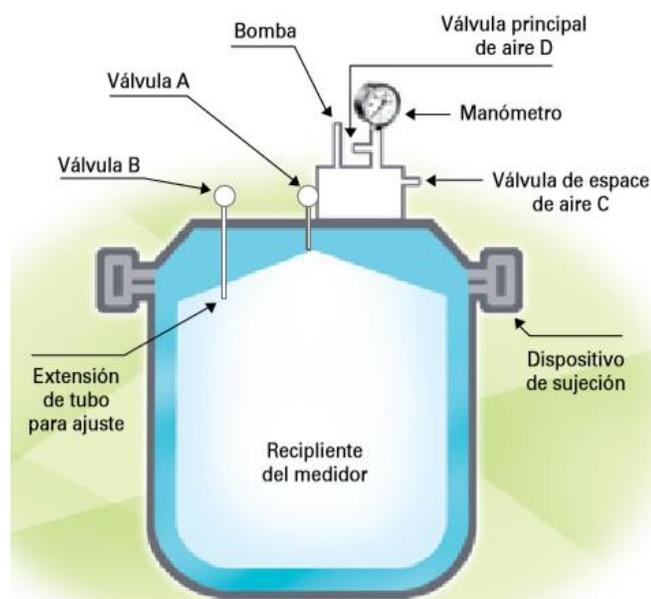
Medidor de aire tipo B:

Consiste de un recipiente y una cubierta de ensamble. El principio de operación de este medidor está basado en el hecho de igualar un volumen conocido de aire con una presión también conocida, en una cámara de aire cerrada, con un volumen desconocido de aire en la muestra de concreto. La carátula del medidor de presión (manómetro) se calibra en términos de porcentaje de aire. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Recipiente medidor:

Debe ser cilíndrico, de acero u otro material rígido no reactivo con la pasta de cemento. Debe tener una ceja contraída para resistir la presión entre el recipiente y la tapa, la superficie interior del recipiente y la de los bordes. Además, las cejas deben tener un acabado maquinado y pulido. El recipiente y la cubierta deben ser rígidos. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Imagen 55: Medidor de aire por presión tipo B.



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Cubierta

La cubierta debe ser de acero u otro metal no reactivo con la pasta de cemento. Debe tener cejas construidas para resistir la presión entre el recipiente y la tapa. La superficie interior del recipiente, la de los bordes y las cejas deben tener un acabado maquinado y pulido. Debe tener en el contorno de la superficie interior un espacio sobre el nivel del recipiente que permita contener alguna cantidad de aire, y debe ser lo suficientemente rígido para limitar el factor de expansión en no más de 0.1%. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

La cubierta debe ajustarse para medir directamente el contenido de aire. La carátula del manómetro debe medir porcentajes de aire; las graduaciones deben ser de 6% mínimo, con aproximación de 0.1%. La cubierta debe estar provista de las siguientes válvulas: válvula A de purga de agua, válvula B para escape de aire del recipiente, válvula de escape de aire en la cámara de presión para ajuste del manómetro, válvula D para paso de aire de la cámara de presión al recipiente (válvula principal de aire). (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Debe estar provista de un sistema de mordaza apropiado para fijarse al recipiente y que selle las cejas de la cubierta herméticamente en él. Para asegurar la hermeticidad puede emplearse una bomba manual. (Guzmán, 2001)

Vaso de ajuste

Es un vaso con un volumen equivalente al porcentaje aproximado de aire en el concreto que debe ser probado. Si el volumen del vaso es menor, será posible verificar el ajuste del medidor como un porcentaje de aire del concreto por probar, al llenar el vaso tantas veces como sea necesario. (Guzmán, 2001)

Llene el recipiente con agua y determine la masa con una aproximación de 0.1% de la masa del recipiente, desde un cristal, cuidadosamente, sobre las cejas de este, de tal

manera que se asegure que el recipiente esté lleno. Coloque un poco de grasa en las cejas para asegurar un cierre hermético del recipiente. Se atornilla el tubo recto en la parte interior de la válvula A. Se coloca la cubierta en el recipiente con las válvulas abiertas. Se agrega agua con una jeringa o perilla a través de la válvula A, con el tubo de extensión hasta que todo el aire se expulse a través de la válvula B, la cual debe encontrarse abierta. (Guzmán, 2001)

Se bombea un pozo de aire hasta la línea inicial de presión; se dejan algunos segundos para que el aire comprimido se enfríe a la temperatura ambiente y se estabilice el manómetro hasta la línea de presión inicial, se debe bombear o expulsar según sea necesario. Cierre las válvulas A y B y presione inmediatamente con el pulgar la válvula D para dejar escapar aire hacia el recipiente. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012)

Esperar unos segundos hasta que el manómetro se estabilice; si se ha eliminado todo el aire y la línea de presión inicial se ha seleccionado correctamente, el manómetro debe marcar 0%. Si dos o más pruebas muestran una variación consistente del 0% en el resultado, se cambia la línea de presión inicial para compensar esta variación. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Use la línea de presión establecida para pruebas subsecuentes para conectar el tubo curvo a la conexión exterior de la válvula A; abra dicha válvula y presione la válvula D para introducir aire al recipiente, con lo que se controla el nivel de flujo para llenar el vaso de ajuste. Al estar lleno debe leerse en el manómetro el porcentaje de aire. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012) .

Cabe decir que si dos o más pruebas muestran que el manómetro da lecturas diferentes en más de 0.1%, se ajusta nuevamente la lectura inicial y se vuelve a verificar. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Procedimiento: Determinación del factor de corrección por el agregado

Se coloca el agregado con su humedad en el recipiente; se quita la espuma y se mantiene el agregado dentro del recipiente por una hora, antes de proceder con la determinación del contenido de aire. Se elimina de la manera descrita en el ajuste del equipo un volumen de agua equivalente al volumen de aire que pueda contener una muestra de concreto normal de un tamaño igual al volumen del recipiente y se completa la prueba. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

El factor de corrección del agregado G es igual a la lectura del contenido de aire, menos el volumen de agua eliminada del recipiente, expresada en el porcentaje de volumen del recipiente. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Procedimiento para determinar el contenido de aire

Con una muestra representativa del concreto fresco que se va a probar, se llena el recipiente en tres capas iguales y se compactan con la varilla cada una de ellas. Se quita el exceso de concreto con una regla metálica y se enrasan con cuidado los bordes superiores del recipiente; se limpian las cejas del recipiente para que la cubierta, al colocarse, tenga un cierre hermético. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Se monta el aparato; se cierra la válvula de aire y es abierta la válvula de purga para inyectar agua. Se inyecta agua por la válvula A, hasta que salga por la válvula B. Se golpea suavemente el recipiente hasta que expulse todo el aire. (Guzmán, 2001).

Se cierra la válvula de purga A y se bombea aire dentro de la cámara, hasta que el indicador esté en la posición inicial de presión. Hay que esperar unos segundos para que se enfríe el aire comprimido hasta la temperatura normal y estabilice la presión

inicial por bombeo o purga de aire necesario. Se cierran ambas válvulas y se abre la válvula de aire D, entre la cámara y el recipiente. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2012).

Se golpean los lados del recipiente rápidamente para distribuir las presiones internas. Se espera hasta que se estabilice el indicador; esta lectura representa el contenido del porcentaje de aire en el concreto. Es necesario liberar la presión por lo que se debe abrir las válvulas A y B antes de quitar la cubierta. (Bustamante, 2016)

Concreto endurecido

Después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Dentro de las propiedades del concreto endurecido están: (Bustamante, 2016).

a. Elasticidad

Es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. La deformación es la variación de forma y dimensión de un cuerpo. Un material es elástico cuando la deformación que sufre ante la acción de una fuerza cesa al desaparecer la misma. (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

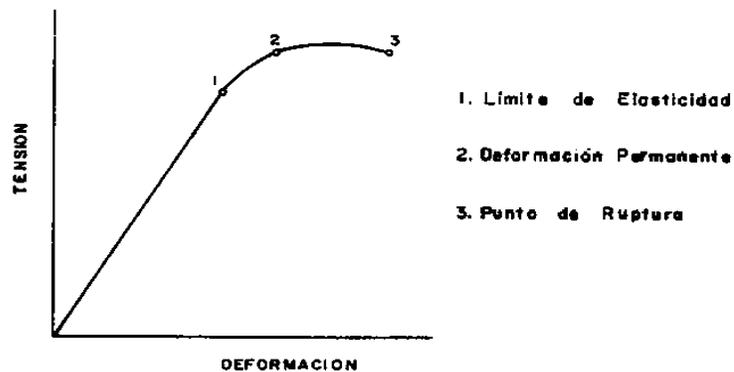
Los materiales totalmente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, es lo que se conoce como límite elástico. Si se sobrepasa este límite, la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Si el esfuerzo que incide sobre el material supera las fuerzas internas de cohesión, el material se fisura y termina por fallar. (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

Módulo de elasticidad

Es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.

Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico. (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

Imagen 56: Estados de deformación de un material.



Fuente: (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

Módulo de elasticidad estática del concreto

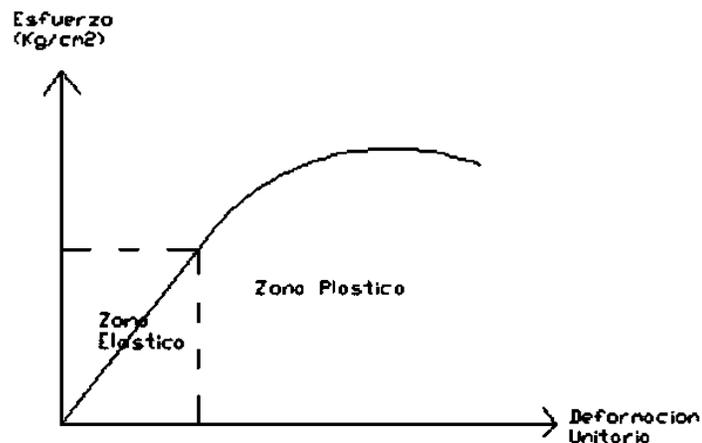
El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se hace por medio de la norma ASTM C469 y tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida. (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto. (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

Una segunda fase, representa una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interfase agregado/pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto. (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

"Los materiales en general, tienen un comportamiento elástico hasta que alcanzan cierta deformación. Si el esfuerzo que incide sobre el material aumenta hasta superar las fuerzas internas de cohesión y adherencia, el material comienza a micro fisurarse y finalmente falla". (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

Imagen 57: Esfuerzo-deformación del concreto.



Fuente: (Osorio, 360 en concreto ARGOS, 2011).

b. Contracción (Retracción)

Es el acortamiento que experimenta el concreto durante el proceso de endurecimiento y secado. Se debe principalmente a la pérdida por evaporación del exceso de agua de mezclado. También se ha demostrado que el concreto se expandirá si, después de haberse secado o parcialmente secado, es sometido a humedad o si es sumergido en agua. (Torres, Robles, Lopez, & Cancha, 2014).

Tipos de contracción:

Contracción plástica:

Aparecen en la superficie del concreto a las pocas horas del colado, a veces muy pronto después del enrase y frecuentemente antes del allanado. Raramente perjudican la resistencia del concreto, pero de modo común forman un patrón, como las ramas de un árbol, una red de grietas. Las grietas por contracción plástica pueden ser muy

cortas de unos 50 mm, pero pueden llegar a tener hasta un metro o más de longitud. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

El agrietamiento por contracción plástica es causado principalmente por el secado rápido de la superficie del concreto. Al ser colado y compactado el concreto, los agregados tienden a asentarse y se forma una capa de agua sobre la superficie, lo cual se conoce como agua de sangrado, esta agua de sangrado puede evaporarse antes de que el concreto se endurezca, lo cual causa que el concreto seque. El agua que está dentro del concreto es jalada hacia la superficie y se evapora. Al suceder esto, el concreto cerca de la superficie se contrae y puede agrietarse, así no haya fraguado. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

El viento, la temperatura alta y la baja humedad, de manera individual o en combinación, probablemente causarán agrietamiento plástico debido a que promueven la evaporación rápida. Las velocidades de viento más altas son particularmente peligrosas, inclusive a bajas temperaturas. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

En una publicación del Instituto Americano del Concreto (colado del concreto en clima cálido ACI 305R-99) se establece que el secado y el agrietamiento ocurrirán probablemente si la evaporación se acerca a un kg de agua de un m² en una hora. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

Inclusive, tasas de evaporación por debajo de esa cantidad no pueden aceptarse como seguras. Las tasas tan bajas de hasta 0.5 kg/m²/h requerirán de precauciones especiales. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

Contracción por secado:

Cuando el concreto es expuesto a su ambiente de servicio tiende a alcanzar un equilibrio con ese ambiente. Si el medio ambiente es una atmósfera seca, la superficie

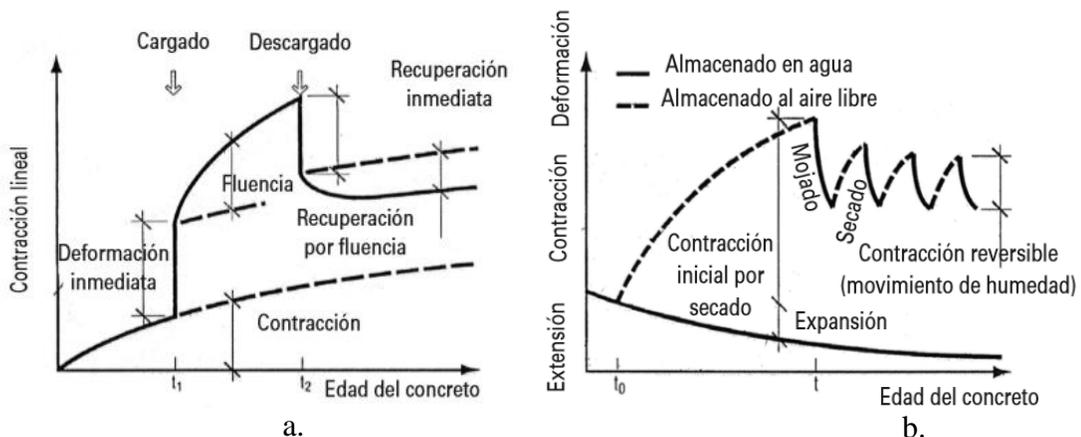
expuesta del concreto pierde agua por evaporación. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

La contracción por secado constituye una porción del total de la deformación que se observa en un elemento del concreto. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

La contracción por secado es dependiente del tiempo y no es inducida por carga. Si el ambiente es húmedo, el flujo de la humedad se dará desde el medio ambiente al concreto y se obtiene un resultado del incremento de volumen o expansión, tal como me observa en la Imagen 58 a. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

En la Imagen 58 b. se muestra una descripción esquemática de los cambios en el volumen del concreto debido a ciclos alternos de secado y mojado. El movimiento de contracción más grande ocurre en el primer secado. Una parte considerable de esta contracción es irreversible, al no recuperarse por un mojado subsecuente. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

Imagen 58: Componentes de la deformación por contracción.



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

Factores que afectan la contracción por secado:

- a. Factores externos: Los factores externos que afectan la pérdida de humedad del concreto son las condiciones ambientales, así como la forma del elemento de concreto. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).
- b. Factores internos: Los factores internos que afectan la contracción por secado del concreto y aquéllos relacionados con sus constituyentes y aquéllos vinculados con la construcción del concreto: colocación, compactación y curado. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

Contracción térmica:

El concreto puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente como internamente de la temperatura generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento. (Oré, 2016).

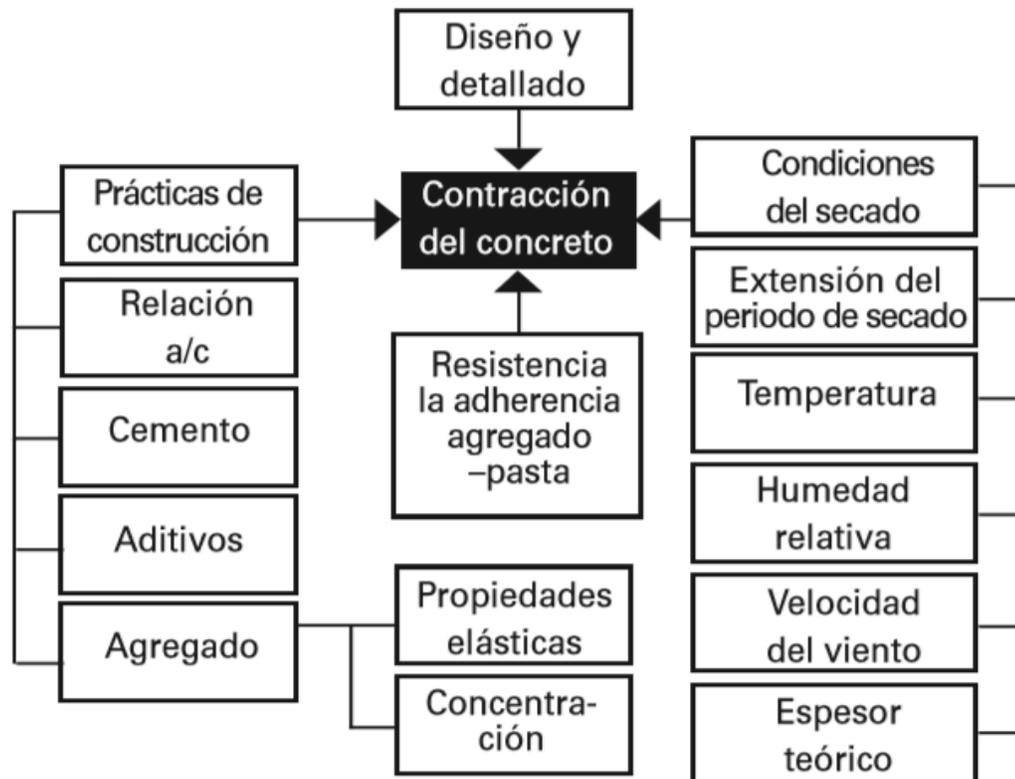
Contracción autógena o química:

Comienza en el instante en que el cemento entra en contacto con el agua. Pastas puras de cemento y agua tienen un encogimiento del 1 % de su volumen en las primeras 24 horas. En unas cuantas horas después del mezclado, la retracción química de la pasta puede ser la causa fundamental del encogimiento del concreto especialmente cuando se ha tenido cuidado en minimizar el secamiento. (Cipriano, 2012).

Contracción por carbonatación:

Este tipo de contracción ocurre en ambientes ricos de dióxido de carbono. También con los silicatos y aluminatos cálcicos se produce esta reacción. Para que estas reacciones ocurran es necesario que el hidróxido de calcio se encuentre disuelto en agua. Al generarse el carbonato cálcico, se produce una reducción de volumen, ya que las partículas se reorganizan que generan una reducción de la porosidad del concreto. (Torres, Robles, Lopez, & Cancha, 2014).

Imagen 59: Factores que afectan la contracción del concreto.



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC, 2006).

c. Resistencia a la compresión del concreto

Es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y en PSI. (CEMEX, 2019).

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada (f'_c) para una estructura determinada. Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional, elaboradas con la misma muestra de concreto, y sometidas a ensayo a la misma edad. (CEMEX, 2019).

Es frecuente determinar la resistencia mecánica en periodos de tiempo distinto a los de 28 días, pero suele ser con propósitos meramente informativos. Las edades más usuales para realizar los ensayos a compresión para evaluar su resistencia son a los: 3, 7, 14, 90 y 360 días. (CEMEX, 2019).

La mezcla de concreto se diseña para producir una resistencia promedio superior a la resistencia especificada de manera tal que se pueda minimizar el riesgo de no cumplir la especificación de resistencia. Para cumplir con los requerimientos de resistencia, se aplican los siguientes dos criterios de aceptación:

- a. El promedio de tres ensayos consecutivos es igual o supera la resistencia especificada, $f'c$.
- b. Ninguno de los ensayos de resistencia deberá arrojar un resultado inferior a $f'c$ en más de 500 psi (3.45 MPa). (CEMEX, 2019).

La resistencia mecánica del concreto depende de numerosas variables y resultan muy diferentes entre los diferentes tipos de concreto que existen. De esas variables, las más importantes están: la composición química del cemento, la finura, la relación agua/cemento, temperatura y el curado. (CEMEX, 2019).

Práctica para la elaboración y curado de ensayo de concreto según ASTM C31.

Los cilindros para pruebas deben tener un tamaño de 6" x 12" o 4" x 8" cuando así se especifique. El diámetro del cilindro a utilizar debe ser como mínimo tres veces el tamaño nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto. (CEMEX, 2019)

La varilla de apisonado debe ser de acero redonda, recta y lisa, con un extremo semiesfera con un diámetro de 3/8" para un cilindro menor a 150 mm o 5/8" para un diámetro de cilindro igual o mayor a 150 mm. El largo de la varilla debe ser al menos 100 mm mayor que la altura del molde, pero no mayor a 600 mm de largo total.

Procedimiento

La muestra se obtiene de acuerdo con la ASTM C172. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Revisar primero que los moldes estén sellados para evitar pérdidas de agua. Este sellado se logra al aplica en las juntas grasa para chasis, mastique, plastilina o grasa grafitada. Una vez que estén sellados, aceita ligeramente las superficies interiores del molde. A continuación, procede como sigue: (Lopez, y otros, 2019).

El lugar para moldear los cilindros debe ser una superficie rígida a nivel, libre de vibraciones y otras perturbaciones, tan cerca del lugar donde vayan a ser almacenados. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Determinar el método de consolidación en el Cuadro 22:

Cuadro 22: Requisitos del Método de Consolidación.

Asentamiento mm (pulg)	Método de consolidación
25 (≥ 1)	Varillado o vibración
25 (< 1)	Vibración

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Si el método de consolidación es varillado, determinar los requisitos de moldeado:

Cuadro 23: Requisitos de moldeado por varillado para cilindros.

Tamaño del Espécimen Diámetro mm (pulg.)	Numero de capas de aproximadamente igual profundidad	Numero de golpes de varilla por capa
100 (4)	2	25
150 (6)	3	25

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Si el método de consolidación es por vibración, determinar el requisito de moldeado:

Cuadro 24: Requisitos de moldeado por vibración.

Tamaño del Espécimen Diámetro mm (pulg.)	Numero de capas	Numero de inserciones del vibrador por capa.	Profundidad aprox. por capa mm (pulg.)
100 (4)	2	1	La mitad de la profundidad del Espécimen.
150 (6)	2	2	
225 (6)	2	4	

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Utilizar un cucharón o pala para colocar el concreto en el molde, mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja del concreto con una segregación mínima en ambos métodos de consolidación. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Por varillado: colocar el concreto en el molde con la cantidad de capas requeridas de aproximadamente igual volumen, golpear cada capa uniformemente sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla con el número de golpes requerido. Golpear con la varilla la capa inferior (la primera capa) en toda su profundidad. En el varillado de esta capa, tener el cuidado de no dañar el fondo del molde. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Para cada capa siguiente, permitir que la varilla penetre el espesor total de la capa que se desea compactar, que a su vez traspase la capa anterior con un espesor de aproximadamente 25 mm (1 pulg.). Después de que cada capa sea varillada, golpear los lados exteriores del molde levemente 10 a 15 veces con un mazo, para cerrar cualquier vacío que haya quedado y liberar toda burbuja de aire atrapado que se haya formado. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Por vibración: Llenar los moldes y vibre en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Colocar todo el concreto para cada capa en el molde antes de comenzar la vibración de esta capa. Insertar el vibrador lentamente y no permitir que descansa sobre el fondo o los lados del molde. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

El número de inserciones del vibrador por cada capa esta dado en el Cuadro 24. Cuando se requiere más de una inserción por cada capa distribuya las inserciones uniformemente dentro de la capa. Permitir que el vibrador penetre a través de la capa que se va a vibrar y en la capa de abajo, aproximadamente 25mm (1pulg.). Después de que cada capa sea vibrada, golpee los lados exteriores del molde al menos 10 veces con el mazo para cerrar los huecos que puedan quedar y permitir liberar los vacíos de aire atrapado. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020),

La duración de la vibración no debería de requerirse más de 5 s para cada inserción para compactar adecuadamente el concreto con un asentamiento mayor de 75 mm (3 pulg.). Se pueden requerir tiempos más largos para concretos de asentamiento menor, pero el tiempo de vibración raramente debería exceder 10 s por inserción. Pero esto dependerá de la trabajabilidad de concreto y la efectividad del vibrador. Generalmente se aplicado suficiente vibración tan pronto como la superficie del concreto se vuelve relativamente lisa y las burbujas de aire grandes cesan de romper a la superficie. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

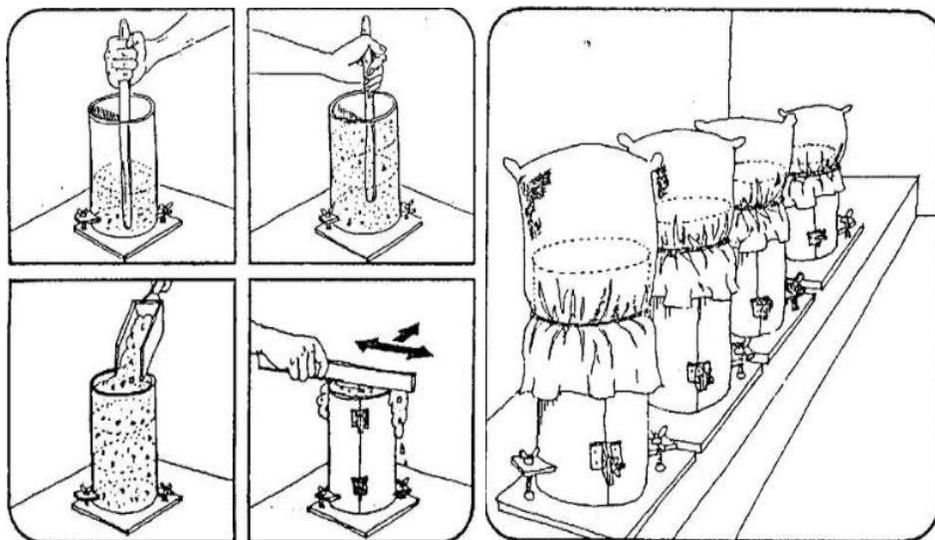
Retirar el vibrador lentamente de manera de que no queden bolsas de aire en el espécimen. Cuando se coloque la capa final, evitar que el llenado en exceso sea más de 6mm (1/4 pulg.). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Después de la consolidación, enrase la superficie superior con una llana. Identificar los especímenes con toda la información necesaria. (Lopez, y otros, 2019)

Curado inicial: Después de moldear y acabar los especímenes deben ser almacenados por un período de hasta 48 en un rango de temperatura entre 16 y 27°C y en un ambiente que evite la pérdida de humedad. Proteger todos los especímenes de la luz directa del sol y de dispositivos calefactores. Uno de los procedimientos para crea un ambiente húmedo satisfactorio durante el curado inicial puede ser el sumergir inmediatamente los especímenes moldeados con tapas plásticas, en agua saturada con hidróxido de calcio. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Curado final: Al completar el curado inicial y dentro de los 30 min después de quitar los moldes, cure los especímenes con agua libre sobre sus superficies todo el tiempo a la temperatura de $23.00 \pm 2.0^\circ\text{C}$, utilizar tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos. Los especímenes no deben ser transportados antes de al menos 8 horas después del curado final. Durante el transporte proteja los especímenes con un material adecuado de amortiguación para evitar daño por sacudida. Durante el tiempo frío proteja con un material de aislamiento adecuado. El tiempo de transporte no debe exceder las 4 hora. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Imagen 60: Testigos para ensayos de compresión del concreto.



Fuente: (Lopez, y otros, 2019).

Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto según ASTM C39

Especímenes:

Los especímenes no deben ser ensayados si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2%. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020)

Ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de 0.5° equivalente a 1 mm en 100 mm. Los extremos de los especímenes de ensayo a compresión que no sean planos dentro de 0.050 mm (0.002 pulg) deben ser aserrados o esmerilados. (Lopez, y otros, 2019)

El diámetro usado para calcular la sección transversal del espécimen de ensayo debe ser determinado al 0.25 mm (1 pulg) más cercano, al promediar dos diámetros medidos en ángulos rectos uno del otro a la altura media del espécimen. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Cuando no se requiere la determinación de la densidad y la relación de la longitud al diámetro es menor que 1.80 o mayor que 2.2 mida la longitud del espécimen al 0.05 D más cercano. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020)

Procedimiento:

Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo permisible prescritas a continuación:

Cuadro 25: Edades de ensayo y tolerancias admisibles.

Edad	Tolerancia permisible de tiempo de ensayo
24H00	± 0.5 h o 2.10 %
3 días	2 h o 2.80 %
7 días	6 h o 3.60 %
28 días	20 h o 3.00 %
90 días	2 días o 2.20 %

Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

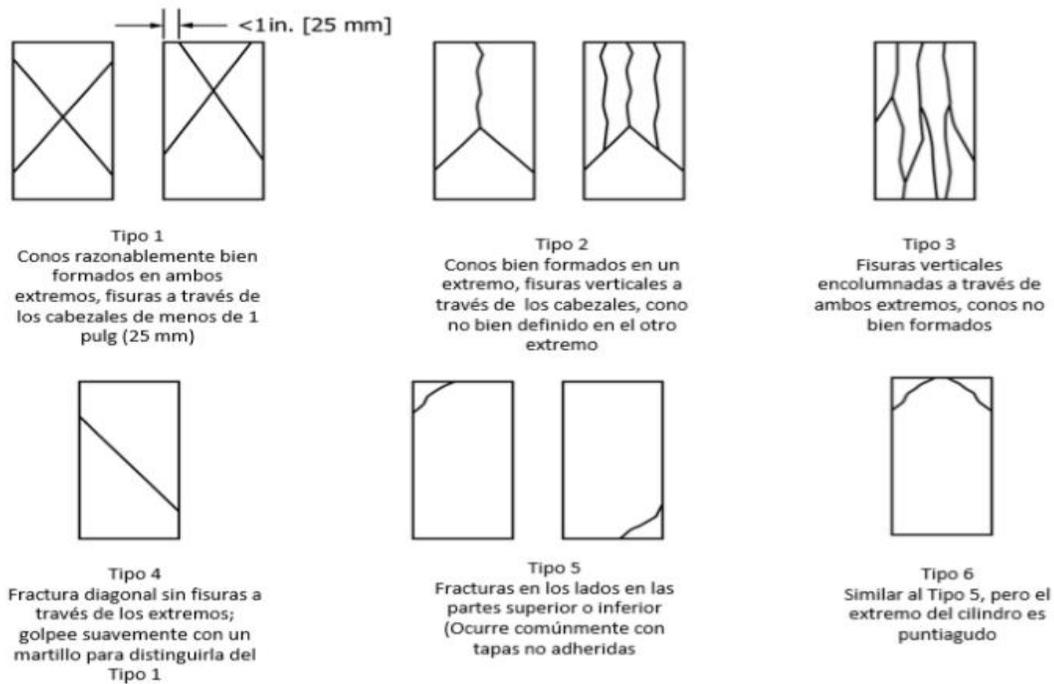
Limpiar las caras de los bloques de apoyo superior e inferior y del espécimen de ensayo. Coloque el espécimen de ensayo sobre el bloque de apoyo inferior. Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga este colocado en cero. Después de colocar el espécimen en la máquina, pero previo a aplicarle la carga, incline manualmente y suavemente la parte móvil del bloque de asiento esférico, de modo que su cara de asiento quede paralela al tope del espécimen de ensayo. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Aplice la carga continuamente y sin impacto. La carga debe aplicarse a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 (lb/pulg²)/s). La velocidad de movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista. (Lopez, y otros, 2019)

Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga decrece progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, está prohibido el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya caído a un valor que sea menor que el 95% de la carga pico. (Lopez, y otros, 2019)

Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, y anotar el tipo de modelo de fractura de acuerdo a la Imagen 61. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Imagen 61: Modelos de fracturas típicos.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Si la resistencia medida es menor de lo esperado, examinar el concreto fracturado y anote la presencia de vacíos de aire grandes, evidencia de segregación y si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de agregado grueso. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Calcular la resistencia a la compresión del espécimen.

$$f_{cm} = \frac{(4000) (P \text{ max})}{\pi D^2}$$

Sistema

$$f_{cm} = \frac{(4) (P \text{ max})}{\pi D^2}$$

Sistema Ingles

Donde:

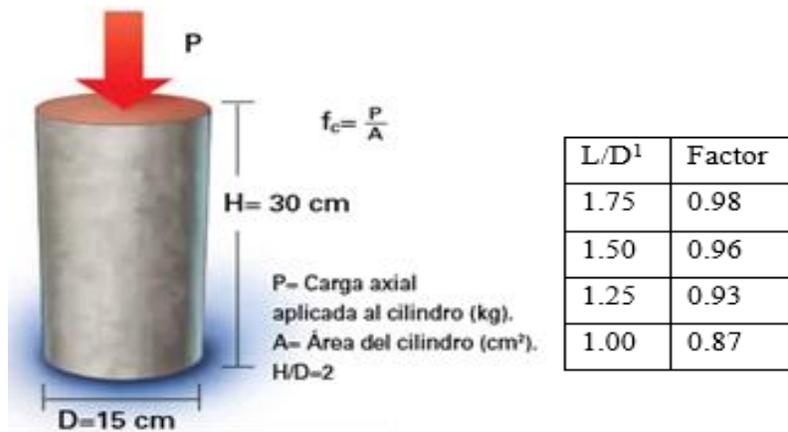
R = Resistencia a la compresión del espécimen MPa

P = Carga máxima kN (lb fuerza)

D = medida del diámetro promedio en mm (pulg). (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Si la relación de longitud de diámetro de espécimen es de 1.75 o menos corregir el resultado obtenido, multiplicarlo por el factor de corrección apropiado mostrado a continuación: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020)

Imagen 62: Relación de longitud a diámetro del espécimen.



Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Los factores de corrección dependen de varias condiciones tales como humedad, nivel de resistencia y módulo de elasticidad. Estos factores de corrección se aplican a concreto de baja densidad entre 1600 y 1920 kg/cm^3 (100 y 120 lb/pie^3), también a concreto de densidad normal. Pueden ser aplicables al concreto seco o humedecido al momento de su ensayo y ara resistencias nominales de concreto desde 14 a 42 MPa (2000 a 6000 lb/pulg^2). Para resistencias mayores de 42 MPa (6000 lb/pulg^2) los factores de corrección pueden ser mayor que los valores listados anteriormente. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG, 2020).

Cuando sea requerido, calcule la densidad del espécimen a 10 kg/m^3 (1 lb/pe^3) más cercano como sigue:

$$\rho_s = \frac{(4) (10^9) (W)}{(L)(D^2) (\pi)} \quad \rho_s = \frac{(6912) (W)}{(L)(D^2) (\pi)}$$

Sistema Internacional Sistema Ingles

ρ_s = Densidad del espécimen kg/m^3 (lb/pe^3)

W = Masa del espécimen al aire $\text{kg}(\text{lb})$

L = Promedio de la medida de longitud mm (pulg.)

D = Promedio de la medida del diámetro mm (pulg.) (Lopez, y otros, 2019).

Procesos de elaboración de concreto

La ASTM C94 describe tres opciones para pedir y especificar concreto:

- a. Se basa en el desempeño: Éste se requiere que se especifique sólo la resistencia a compresión, mientras que el productor del concreto selecciona las proporciones necesarias para la obtención de la resistencia a compresión requerida.
- b. Se basa en prescripción: El comprador especifica las proporciones de la mezcla, que incluyan el contenido de cemento, agua y aditivos.
- c. Se basa en una opción mezclada: Ésta requiere que el productor de concreto seleccione las proporciones con el contenido mínimo de cemento y la resistencia específica por el comprador. (Lopez, y otros, 2019)

Dosificación:

Es el proceso de medida por volumen, de los ingredientes del concreto y su introducción en la mezcladora. Para producir un concreto con calidad los ingredientes se deben medir con precisión para cada batchada, con las tolerancias siguientes: material cementante $\pm 1\%$, agregados $\pm 2\%$, agua $\pm 1\%$ y aditivos $\pm 3\%$, tanto para la menor cantidad de mezcla como para mezclas mayores. (Lopez, y otros, 2019).

Mezclado del concreto

Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que tenga una apariencia uniforme, con todos sus ingredientes igualmente distribuidos. Si el concreto fue adecuadamente mezclado, las muestras tomadas de diferentes porciones de la mezcla van a tener esencialmente la misma masa volumétrica, contenido de aire, revenimiento (asentamiento) y contenido de agregado grueso. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto, 2004).

Proceso de elaboración del concreto en planta

Etapa 1: La arena, grava y cemento es colocado en la planta por medio de un sistema de transporte y procedido en sus respectivas tolvas de alimentación. (Acero, 2011)

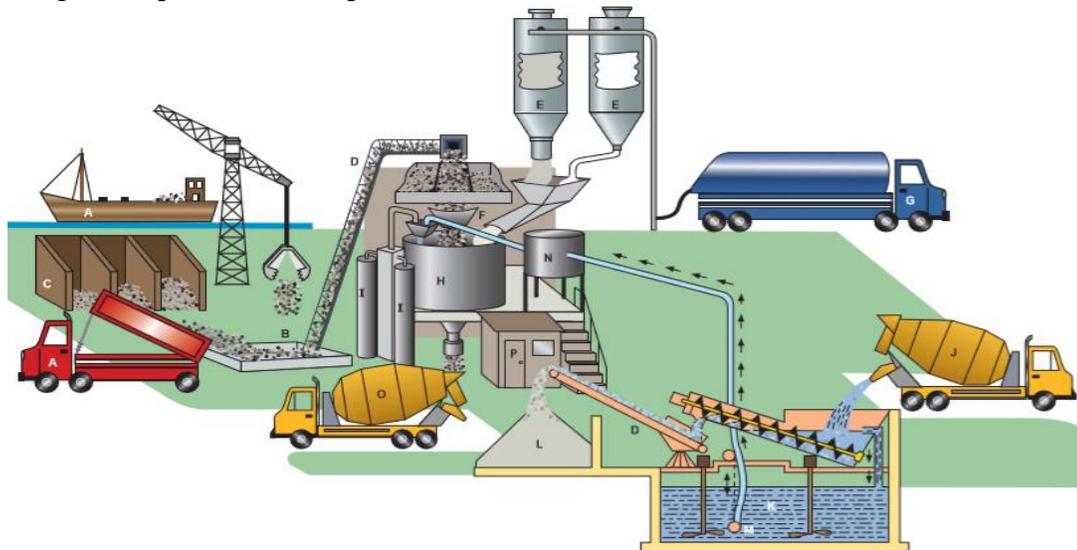
Etapa 2: Cada uno de los compuestos mencionados anteriormente es colocado en una tolva pequeña con una balanza que determina el peso de los materiales. Al obtener la cantidad correcta dentro de la tolva de pesado, el proceso de alimentación es detenida. (Acero, 2011).

Etapa 3: Luego, estos materiales son descendidos en la mezcladora, donde junto con una cantidad correcta de agua, son mezclados hasta obtener una mezcla homogénea. (Acero, 2011).

Etapa 4: El concreto mezclado es descargado en los camiones agitadores debajo del cabezal de espera. El camión agitador, con su tanque de almacenamiento giratorio, permite al concreto mantener su fluidez hasta por un tiempo establecido, esto previene que el material resultante no se endurezca prematuramente. (Acero, 2011).

A continuación, se presenta un esquema del proceso que conlleva la producción de concreto en planta:

Imagen 63: producción en planta de concreto.



- | | |
|---|--|
| A Entrega de agregados | J Camión de concreto premezclado con material retornado |
| B Tolva de recibimiento de agregados | K Agua reciclada |
| C Almacenamiento de agregados | L Agregados recuperados |
| D Estera transportadora | M Bomba |
| E Almacenamiento de material cementante | N Almacenamiento de agua |
| F Tolva de carga | O Cargamento del concreto en el camión de concreto premezclado |
| G Entrega de cemento | P Sala de control |
| H Mezcladora | |
| I Aditivos | |

Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto, 2004).

Transporte, manejo y colocación del concreto

La planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más apropiado de manejo para una aplicación. Considere las siguientes tres ocurrencias que, si suceden durante el manejo y la colocación (colado), pueden afectar seriamente la calidad del trabajo acabado: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto, 2004)

Retrasos:

El objetivo de la planeación de cualquier programa de trabajo es producir con la mayor rapidez, con la menor fuerza laboral y con el equipo adecuado. Las máquinas para transporte y manejo de concreto se han sido mejorados continuamente. (Lopez, y otros, 2019).

Endurecimiento Prematuro y Secado:

El concreto empieza a endurecerse en el momento que se mezclan los materiales cementantes y el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre en los primeros 30 minutos no es un problema. El concreto que se mantiene en agitación se puede colocar y compactar en un periodo de 1 ½ hora después del mezclado, a no ser que la temperatura elevada del concreto o el contenido alto de cemento aceleren la hidratación. (Lopez, y otros, 2019)

Equipo utilizado para el transporte del concreto

- a. Carretillas Manuales o motorizadas: Usadas para transporte corto y plano en todos los tipos de obras, especialmente donde la accesibilidad al área de trabajo es restricta. (Gonzalez, 2012).
- b. Banda transportadora: Usadas para transportar horizontalmente el concreto o a niveles más abajo o más arriba. (Gonzalez, 2012).
- c. Bachas (baldes o cubos): utilizados con grúas, cable vías y helicópteros.
- d. Grúas: usados para trabajo arriba del nivel de terreno. (Gonzalez, 2012).
- e. Bombas: usadas para transportar concreto directamente desde un punto de descarga del camión hacia la cimbra (encofrado). (Gonzalez, 2012).

Cuadro 26: Tiempo de transporte.

Lugar	Tiempo
En obra	½ hora
Concreto premezclado	2 horas

Fuente: (R., 2019)

Los tiempos pueden aumentarse si se usan aditivos especiales, de tal forma que el concreto mantenga la docilidad especificada sin agregar más agua. Se deben emplear medios de transporte que garanticen el abastecimiento necesario para la velocidad de mezclado. (R., 2019).

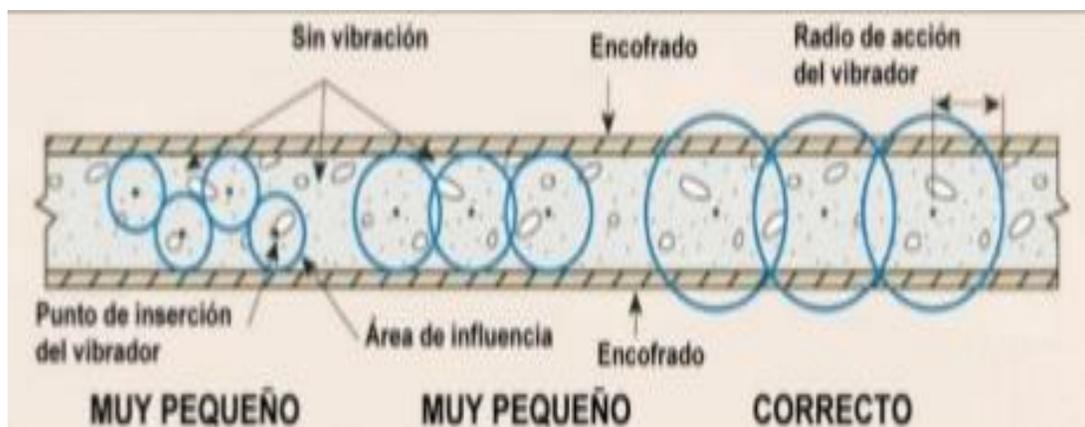
El concreto podrá ser transportado en camión agitador o tipo tolva, deberá protegerse adecuadamente del clima, lluvias, vientos, heladas en tiempo frío y elevadas a 30°C. Al llegar a la obra, se debe controlar la parte de entrega y la calidad al menos de las primeras cargas. Si el concreto es transportado por camión agitador, es necesario que éste sea mezclado al momento del arribo por 1-2 minutos antes de ser descargado, sobre todo al tratarse de concretos con aditivos incorporados de aire. (R., 2019).

Vibrado del concreto

Los vibradores de superficie consisten en una placa que recibe la vibración de un motor equipado con una excéntrica, y se aplica ya sea directamente a la superficie del concreto que se va a compactar o sobre un molde, los cuales son utilizados principalmente por dificultades de acceso al interior del concreto. (Herrera, y otros).

El espesor de la capa que se compactará debe ser adecuado al tipo de vibrador utilizado, la vibración debe efectuarse en forma ordenada y sistemática, el tiempo de vibración debe ser el estrictamente necesario para lograr el afloramiento de la lechada de cemento a la superficie del concreto, que asegure la máxima compactación y evite la segregación. (Herrera, y otros)

Imagen 64: Vibrado del concreto.



Fuente: (Gonzalez, 2012).

II.10 Diseño ACI para mezclas de concreto

Es un proceso que consiste en la selección de los ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia adecuada. Estas proporciones dependen de las propiedades y características de los ingredientes usados, de las propiedades particulares del concreto especificado y de las condiciones particulares bajo las cuales el concreto será producido y colocado. (Guzmán, 2001).

Método de dosificación ACI 211 para concreto normal y concreto pesado.

Este método entrega una primera aproximación de la mezcla ideal de agregados pétreos, cemento y agua, con una consistencia adecuada al elemento que se requiera construir de acuerdo a los requerimientos. (Herrera, y otros)

Este método es desarrollado por la American Concrete Institute (ACI 211.1) y la selección de las proporciones de los ingredientes que entran en la mezcla correspondiente a un balance entre economía y especificaciones del concreto, como colocación, resistencia, durabilidad y densidad. (Herrera, y otros).

II.11 Riesgo de pérdidas financieras

El costo de producción del concreto, está constituido por el costo de los materiales, la mano de obra, equipos, transporte, maquinaria, y control de calidad entre otros. (Guzmán, 2001).

El arte de diseñar una mezcla de concreto de manera económicamente eficiente y productiva está en lograr una optimización adecuada de las proporciones de los materiales empleados, en donde se aprovechen sus propiedades y características para lograr los requisitos técnicos específicos de modo que el orden de incidencia en costos

de cada material, en lo posible, sea inversamente proporcional a su participación como componente de la mezcla. (Guzmán, 2001).

Debido a que el cemento es el material más costoso de los materiales que constituyen el concreto, uno de los objetivos del diseño de mezclas es minimizar su contenido para reducir los costos del concreto y evitar tener riesgo de pérdidas financieras dentro de la empresa.

Por otra parte, es conveniente tener presente que aparte del aspecto económico, un alto contenido de cemento puede ser contraproducente en una mezcla de concretos, pues otros factores actuarán en contra lo que hará que dañe la estructura, lo cual tienda a ser peor porque la empresa se verá obligada a responder por esos daños ocasionado a los clientes.

Especificaciones:

Por lo general cada proyecto tiene requerimientos particulares que dependen del tipo de estructura, condiciones de clima, sistema constructivo, tiempo y costos de ejecución, entre otros, que pueden abarcar una gran gama de propiedades y características del concreto. (Guzmán, 2001)

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezcla de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba. A continuación, se detallan cada uno de los pasos a desarrollar en un diseño de mezcla:

a. Selección del asentamiento

Según el elemento a hormigonar y el sistema de compactación, el método recomienda valores máximos y mínimos para el asentamiento de cono a través del Cuadro 27, al compactar por vibrado el concreto. (Herrera, y otros).

Cuadro 27: Asentamientos máximos y mínimos de cono recomendados.

Tipo de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo ⁺	Mínimo
Fundaciones reforzadas, muros y estribos	8	2
Estribos sencillos cajón y muros de subestructuras	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Construcción de columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Grandes masas	8	2

Fuente: (Herrera, y otros).

(+) Puede aumentar en 2 cm para método de compactación manual.

El asentamiento puede aumentar cuando se utilice aditivos químicos, sin producir segregación ni exudación. (Herrera, y otros)

b. Selección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo nominal del agregado pétreo debe ser el mayor económicamente disponible que se pueda, bien graduado y consistente con las dimensiones de la estructura, de manera que utilice el menor contenido de cemento y que a su vez cumpla con lo indicado en el Cuadro 28, en la cual se indican las condiciones geométricas según el elemento de concreto. (Herrera, y otros).

Cuadro 28: Tamaño máximo del agregado grueso.

Concreto Armado	$T \leq b / 5$ $T \leq 3e / 4$
Elementos Prefabricados	$T \leq b / 3$
Losa - Pavimentos	$T \leq h / 3$
Grandes Masas (Represa y Fundaciones)	$T \leq 6''$

Fuente: (Herrera, y otros).

Sin embargo, hay ocasiones en que depende de las condiciones particulares de la obra, se podrá reducir aún más el tamaño máximo nominal del árido, de modo de garantizar una buena resistencia y durabilidad del elemento para una razón agua/cemento dada. Para pavimentos, el tamaño máximo nominal del agregado grueso será de 40 a 50 mm. (Herrera, y otros)

c. Estimación de la Dosis de Agua y Contenido de Aire

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerido para un asentamiento dado, depende de: tamaño máximo nominal del agregado grueso, forma de las partículas y graduación del agregado, además de la temperatura de la mezcla, cantidad de incorporado y uso de aditivos químicos. (Herrera, y otros)

La Imagen 65 estima el requerimiento de agua para la mezcla de concreto con distintos tamaños máximos de agregados, con y sin aire incorporado. De la textura del árido y la forma depende la cantidad de agua de mezclado. (Herrera, y otros).

Imagen 65: Cantidad de agua y aire (l/m³).

Agua, de hormigón para el tamaño máximo nominal indicado								
Asentamiento, cm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	*	*	*	*	*	**	***	***
Sin aire incorporado								
2 a 6	208	199	187	178	163	154	130	113
7 a 10	228	217	202	193	178	168	145	125
14 a 18	243	228	214	202	187	178	160	-
aire atrapado aproximado	30	25	20	15	10	5	3	2
Con aire incorporado								
2 a 6	181	175	166	160	148	142	122	107
7 a 10	202	193	181	175	163	156	133	119
14 a 18	217	205	193	184	172	166	154	-
Contenido de aire total promedio recomendada por nivel de exposición								
Exposición suave	45	40	30	30	25	20	15	10
							**	**
Exposición moderada	60	55	50	45	45	40	35	30
							**	**
Exposición severa	75	70	60	60	55	50	45	40
							**	**

Fuente: (Herrera, y otros)

(*) Sirven para el cálculo del contenido de cemento en mezclas de prueba a 20-25°C al considerar áridos chancados bien graduados dentro de los límites de las especificaciones. El árido rodado generalmente requiere 18 kg menos de agua para concretos sin aire incorporado y 15 kg menos para concretos con aire incorporado. El uso de aditivos reductores de agua puede también reducir el agua de la mezcla en un 5% o más. El volumen del aditivo líquido es incluido como una parte del volumen total de agua. (Herrera, y otros).

(+) El valor de asentamiento para concreto con agregado mayor que 40 mm está basado en el ensayo de cono después de remover las partículas mayores que 40 mm por tamizado húmedo. (Herrera, y otros).

(++) Estas cantidades de agua de mezclado, son para calcular el factor de cemento en la mezcla de prueba, cuando el tamaño máximo nominal del agregado usado es de 75 mm o 150 mm, al estar bien formado y graduado. (Herrera, y otros).

(**) Para concretos que contiene agregados de tamaño grande que serán tamizados en húmedo sobre tamiz de 1 ½" antes del ensayo del contenido de aire, el % de aire esperado en material de menos a 1 1/2" deberá ser tabulado en la columna de 1 ½". Sin embargo, en el cálculo de las proporciones iniciales deberá incluirse el contenido de aire como un porcentaje del total. (Herrera, y otros).

(#) Cuando se use agregados grandes en el concreto de bajo factor de cemento, el aire necesario incorporado no debe ser perjudicial a la resistencia. La cantidad de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la razón agua/cemento y así compensar la reducción de resistencia por el efecto del aire incorporado. Generalmente, por lo tanto, para estos agregados de tamaño máximo nominal grande, se debería considerar el contenido de aire recomendado para exposiciones extremas aun cuando estén poco a nada expuestos a humedad o congelamiento. (Herrera, y otros).

(α) Estos valores están basados en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase del mortero del concreto. Si el volumen de mortero es sustancialmente diferente del determinado con estas recomendaciones, puede ser mejor calcular el contenido de aire necesario, al tomar el 9% de volumen real de mortero. (Herrera, y otros).

d. Selección de la relación agua/cemento

La razón agua/cemento (a/c) necesaria, es determinada no solamente por los requerimientos de resistencia sino también por factores tales como la durabilidad. El tipo de árido y de cemento producen diferentes resistencias aún para la misma razón agua/cemento. El Cuadro 29 proporciona razones a/c conservadoras para concretos con cemento Pórtland Tipo I, ensayados a 28 días y curados bajo condiciones estándar de laboratorio. (Herrera, y otros).

Cuadro 29: Relación entre agua/cemento y resistencia a la compresión.

Relación a la compresión a 28 días, MPa [*]	Razón agua/cemento (en masa)	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Fuente: (Herrera, y otros).

(*) Los valores de resistencia promedio son estimados para concretos que contienen no más de 2% de aire para hormigones sin aire incorporado y 6% total de contenido de aire para concretos con aire incorporado. Las relaciones en este cuadro suponen un tamaño máximo nominal del árido de 20 a 25 mm. (Herrera, y otros).

Para condiciones de exposición severas, la razón agua/cemento debería mantenerse más baja, aun cuando la resistencia especificada se pueda satisfacer con valores mayores, el Cuadro 30 entrega valores límites de esto.

Cuadro 30: Máxima razón de agua/cemento para exposiciones severas.

Tipo de estructura	Estructura constantemente húmeda y expuesta a hielos y deshielos (+)	Estructuras expuestas a agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas o recubrimientos menores a 25 mm sobre armadura de acero	0.45	0.40 (**)
Otras estructuras	0.50	0.45 (**)

Fuente: (Herrera, y otros).

(+) El concreto debería tener aire incorporado.

(**) Si se usa cemento resistente a los sulfatos (tipo II o V de la ASTM) la razón agua/cemento permitido puede aumentarse en 0.05. (Herrera, y otros)

e. Cálculo de la cantidad de cemento

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se fija por las determinaciones realizadas en los últimos dos pasos anteriores. El contenido de cemento es igual al contenido de agua estimada más el contenido de aire en la mezcla dividida por la razón agua/cemento. (Herrera, y otros).

$$C = \frac{W + a}{a/c} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

Sin embargo, la especificación incluye un contenido mínimo de cemento además del requerido para obtener la resistencia y durabilidad, la mezcla debe estar basada en el criterio que entregue la mayor cantidad de cemento. (Herrera, y otros).

f. Estimación de las proporciones de agregados grueso

El Cuadro 31 entrega la estimación del volumen aparente compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, en función del tamaño máximo nominal y el módulo de finura (MF) de la arena. (Herrera, y otros).

Cuadro 31: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

T máx. nominal del agregado (Dn)		Volumen del agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes MF de la arena (*) l/m ³			
US	mm	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	10	500	480	460	440
3/4"	12.5	590	570	550	530
1/2"	20	660	640	620	600
1"	25	710	690	670	650
1 1/2"	40	750	730	710	690
2"	50	780	760	740	720
3"	75	820	800	770	760
6"	150	870	850	830	810

Fuente: (Herrera, y otros).

(*) Estos volúmenes se seleccionan de relaciones empíricas de concreto con un grado de trabajabilidad apropiado para elementos con armadura. Para concretos menos trabajables, como los de pavimentos, se debe incrementar en un 10%. Para concretos más trabajables, se debe reducir en un 10% el contenido de agregado grueso. (Herrera, y otros).

g. Estimación del contenido de agregado fino

Esta cantidad es determinada por diferencia. Se puede determinar mediante dos métodos: (Herrera, y otros).

Por peso:

Si se conoce o se puede estimar el peso del concreto por unidad de volumen, densidad del concreto, el peso del agregado fino requerido es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. Si no se tiene esta información se puede utilizar el Cuadro 32. (Herrera, y otros).

Cuadro 32: Estimación de la densidad del concreto fresco por peso.

Tamaño máximo nominal del agregado		Primera estimación de la densidad del concreto (kg/m ³)	
US	mm	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
3/8"	10	2280	2200
1/2"	12.5	2310	2230
3/4"	20	2345	2275
1"	25	2380	2290
1 1/2"	40	2410	2350
2"	50	2445	2345
3"	80	2490	2405
6"	150	2530	2435

Fuente: (Herrera, y otros).

Si se desea un cálculo teórico más exacto de la densidad del concreto fresco, se puede utilizar la siguiente fórmula: (Herrera, y otros).

$$U = 10 * G_a * (100 - a) + c * (1 - G_a/G_c) - w * (G_a - 1)$$

Donde

U = Densidad del concreto fresco, en Kg/m³

G_a = Peso específico agregado grueso y fino combinado en estado sss.

G_c = Paso específico del cemento (generalmente 3.00)

a = Contenido de aire, en %

w = Contenido agua de mezclado, en Kg/m³

c = contenido de cemento, Kg/m³. (Herrera, y otros).

Por volumen:

Un procedimiento más exacto para el cálculo del contenido necesario de agregado fino es mediante el desplazamiento de volumen de los ingredientes. En este caso, el volumen total desplazado por los ingredientes conocidos: agua, aire, cemento y agregado grueso, se resta del volumen del concreto. El volumen ocupado en el concreto por cada ingrediente es igual a su peso dividido por el peso específico del material. (Herrera, y otros).

$$1000 = V_w + V_a + V_c + V_g + V_f$$

h. Ajuste de la humedad de los agregados

El agregado se encuentra en estado húmedo, por tanto, el peso seco debe aumentarse de acuerdo al contenido de agua tanto absorbida como superficial, el agua adicionada a la mezcla se debe disminuir en igual cantidad que el agua libre que contienen los agregados. Tener un agregado en condición seca ayuda a la absorción del 1% para que la estructura del poro disminuya efectivamente el agua de mezcla. (Herrera, y otros).

i. Ajustes con mezclas de prueba

Las proporciones calculadas de la mezcla deben ser comprobadas por medio de una mezcla de prueba. Usar solo la cantidad de agua suficiente para obtener el descenso del cono requerido y omitir la cantidad asumida en la selección de las proporciones de la mezcla. (Herrera, y otros).

El concreto debe ser controlado por unidad de peso, rendimiento y por contenido de aire. Se debe controlar la trabajabilidad y evitar segregación. (Herrera, y otros).

III. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La comprobación de la hipótesis es una técnica estadística que permite determinar si los resultados de un estudio son reales o aleatorios, con la ayuda de la estadística por medio de métodos y procedimientos se recolectó, ordenó y clasificó todos los datos obtenidos de la realidad, para realizar deducciones a partir de ellos y así poder tomar decisiones y dar soluciones a la problemática encontrada.

Los cuadros y gráficas son herramientas que ayudan a visualizar de una manera clara, precisa y accesible los datos de información compleja, por lo que facilita la comprensión, comparación e interpretación de las distintas variables.

En este capítulo se presentan los resultados cuantificables del estudio en objeto, la investigación se llevó a cabo en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, con el propósito de comprobar las variables dependiente e independiente, el vaciado de las boletas para la comprobación de las variables se realizó a través de cuadros y gráficas.

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron en campo al censar a los involucrados con las boletas de investigación para la comprobación de la variable dependiente e independiente, posteriormente se realizaron los respectivos cuadros, gráficas y análisis, elaboradas por el investigador, clasificándola de la siguiente manera:

Para la comprobación de la variable dependiente (Y) o el efecto se censaron a los cuatro jefes de los siguientes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad. Los cuadros 33 al 37 y gráficas 1 al 5 corresponden a esta variable. Para la comprobación de la variable independiente (X) o causa se censaron a los cinco encargados de los siguientes Departamentos: Concreto y Control de Calidad. Los cuadros 38 al 42 y gráficas 6 al 10 que corresponden a esta variable.

Cuadros y gráficas para la comprobación de la variable dependiente (Y) o el efecto.

Cuadro 33

Jefes que consideran que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras ocasionadas por los altos costos de agregados.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	4	100
No	0	0
TOTAL	4	100

Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 1

Jefes que consideran que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras ocasionadas por los altos costos de agregados.



Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: Se ayuda a comprobar el efecto con la totalidad de los jefes que consideran que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras por los altos costos de los agregados.

Cuadro 34

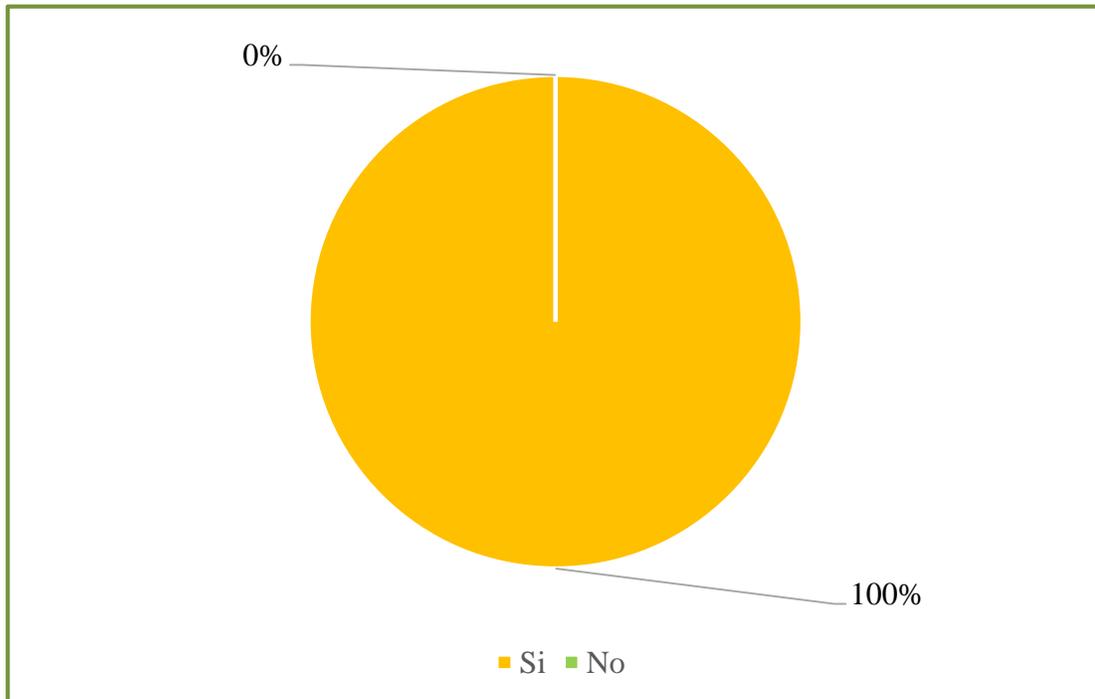
Jefes que indican que el incremento de los costos para elaborar mezcla de concreto es por los materiales que se utilizan actualmente.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	4	100
No	0	0
TOTAL	4	100

Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 2

Jefes que indican que el incremento de los costos para elaborar mezcla de concreto es por los materiales que se utilizan actualmente.



Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los jefes indican que el incremento de los costos para elaborar mezcla de concreto es por los materiales que se utilizan actualmente; lo anterior contribuye a demostrar el efecto.

Cuadro 35

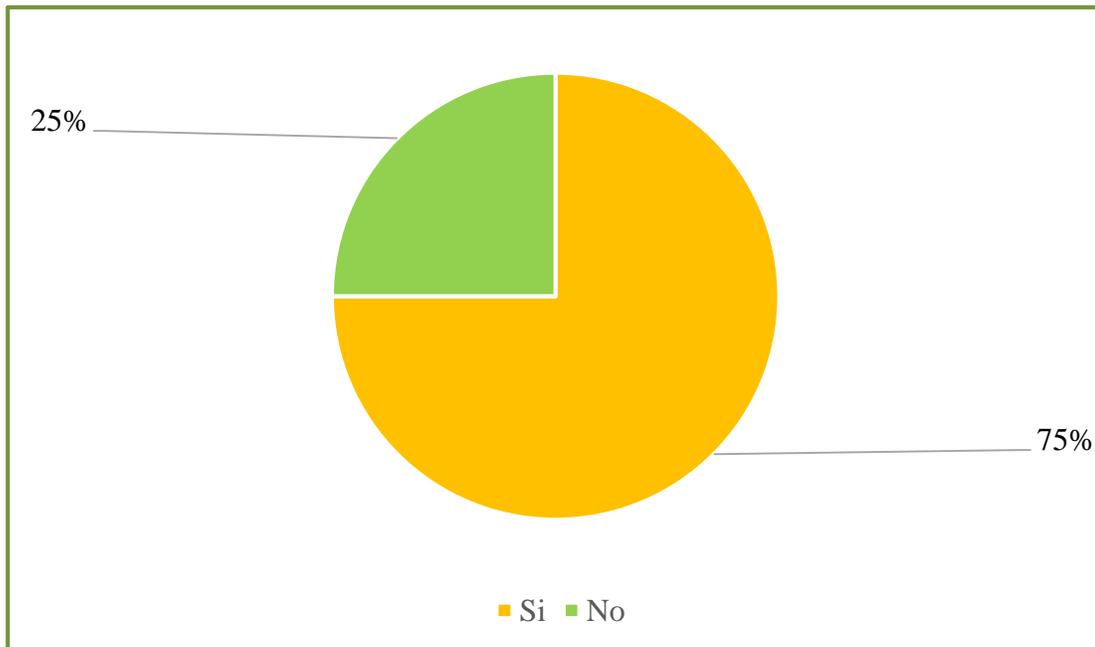
Jefes que indican que el costo de los materiales que se utilizan para una mezcla de concreto, influyen en la decisión de compra.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
SI	3	75
No	1	25
TOTAL	4	100

Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 3

Jefes que indican que el costo de los materiales que se utilizan para una mezcla de concreto, influyen en la decisión de compra.



Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: El tercer cuartil de los jefes consideran que el costo de los materiales que se utilizan en una mezcla de concreto, influyen en la decisión de compras; esto colabora al argumento del efecto.

Cuadro 36

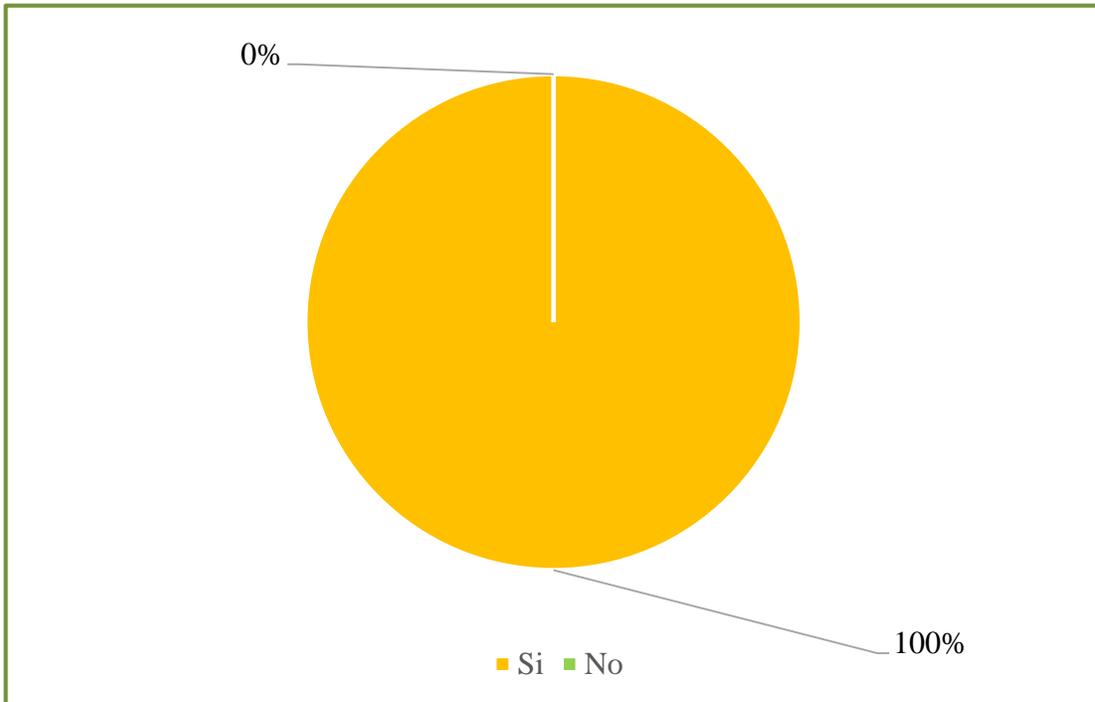
Jefes que consideran que las ganancias se han visto afectadas por los altos costos de los agregados que se adquieren actualmente.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	4	100
No	0	0
TOTAL	4	100

Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 4

Jefes que consideran que las ganancias se han visto afectadas por los altos costos de los agregados que se adquieren actualmente.



Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los jefes indican que las ganancias se han visto afectadas por los altos costos de los agregados que se adquieren actualmente; estos datos auxilian a la identificación del efecto.

Cuadro 37

Jefes que consideran que la disminución de clientes para la compra de concreto convencional (4000 PSI) se debe al precio que se maneja actualmente.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	4	100
No	0	0
TOTAL	4	100

Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 5

Jefes que consideran que la disminución de clientes para la compra de concreto convencional (4000 PSI) se debe al precio que se maneja actualmente.



Fuente: Jefes de los siguientes departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los jefes confirman que la disminución de clientes para la compra de concreto 4000 PSI se debe al precio que se maneja actualmente; lo anterior refuerza la verificación del efecto.

Cuadros y gráficas para la comprobación de la variable independiente (X) o la causa.

Cuadro 38

Encargados que indican que cuentan con el diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	0	0
No	5	100
TOTAL	5	100

Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 6

Encargados que indican que cuentan con el diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.



Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los encargados indican que no cuentan con un diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM; el anterior cuadro y gráfica asiste a la evidencia de la causa.

Cuadro 39

Encargados que tienen conocimiento del método ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional con resistencia (4000 PSI).

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	0	0
No	5	100
TOTAL	5	100

Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 7

Encargados que tienen conocimiento del método ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional con resistencia (4000 PSI).



Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los encargados desconocen sobre el método ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional con resistencia 4000 PSI; esto favorece el cotejo de la causa.

Cuadro 40

Encargados que consideran que es necesario diseñar una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) con el método ACI elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	5	100
No	0	0
TOTAL	5	100

Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 8

Encargados que consideran que es necesario diseñar una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) con el método ACI elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.



Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los encargados indican que sí, es necesario diseñar una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) con el método ACI elaborada con agregados de Banco La Campana que cumpla con las normativas ASTM; el anterior cuadro y gráfica ampara a la investigación de la causa.

Cuadro 41

Encargados que consideran que se debe conocer la caracterización de los agregados extraídos de Banco La Campana, por medio de las normativas ASTM.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	5	100
No	0	0
TOTAL	5	100

Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 9

Encargados que consideran que se debe conocer la caracterización de los agregados extraídos de Banco La Campana, por medio de las normativas ASTM.



Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los encargados consideran necesario conocer las características de los agregados para producir una mezcla de concreto de buena calidad, ya que existe la necesidad se hace indispensable indagar sobre el tema; lo anterior coopera a la confirmación de la causa.

Cuadro 42

Encargados que consideran que la implementación de los agregados extraídos de Banco La Campana en un diseño de mezcla para concreto convencional (4000 PSI) por medio del método ACI ayudará a reducir el consumo del cemento y por ende los costos.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	5	100
No	0	0
TOTAL	5	100

Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Gráfica 10

Encargados que consideran que la implementación de los agregados extraídos de Banco La Campana en un diseño de mezcla para concreto convencional (4000 PSI) por medio del método ACI ayudará a reducir el consumo del cemento y por ende los costos.



Fuente: Encargados de los siguientes departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, julio 2022.

Análisis: La totalidad de los encargados coinciden en la implementación de agregados extraídos de Banco La Campana en una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) ayudará a reducir los costos, al utilizar una menor cantidad de material cementante, al ser este el material que representa un mayor costo; los datos anteriores influyen a la comprobación de la causa.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación se realizó con los jefes y encargados de diferentes departamentos de empresa Corporación San Francisco, con el fin de desarrollar una propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM, con las conclusiones y recomendaciones siguientes:

IV.1 Conclusiones

1. Se comprueba la siguiente hipótesis: “El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana” con un nivel de confianza del 100% y con 0% de error de muestreo.
2. Existe riesgo de pérdidas financieras para la empresa por el incremento de los costos de los agregados que se utilizan actualmente para la elaboración de concreto, al no ser materiales de la región.
3. El precio de los materiales si influye en la decisión de compra al momento de seleccionarlos y por ende las ganancias se han visto afectadas al comprarlos.
4. La disminución de clientes para la compra de concreto convencional (4000 PSI), es por el precio que se maneja actualmente.
5. Dentro de la empresa no cuentan con un diseño con el método ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana, por no tener el conocimiento; es necesario la creación de un diseño que cumpla con las normativas ASTM para reducir los costos.
6. Para obtener un concreto resistente, de buena calidad y económico se hace indispensable conocer la caracterización de los agregados extraídos de Banco La Campana, al utilizar estos agregados se reduce el consumo de cemento y por ende los costos.

IV.2 Recomendaciones

1. Implementar la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.
2. Incentivar a los jefes y encargados de la empresa a utilizar nuevas alternativas de materiales que cumplan con la normativa ASTM para la elaboración de la mezcla de concreto convencional (4000 PSI) para evitar pérdidas financieras por los altos costos.
3. Brindar los parámetros para realizar las respectivas pruebas de laboratorio que se deben tomar en cuenta al momento de comprar y/o utilizar materiales para la elaboración de mezcla de concreto, en donde se aprovechen los recursos y materia prima que se tienen dentro de la empresa.
4. Motivar al personal de la empresa a adquirir toda la información necesaria sobre los agregados de Banco La Campana para obtener un concreto de calidad para aumentar más la oportunidad de crecimiento y así mejorar las ganancias.
5. Capacitar a los jefes y encargados de la empresa sobre el método ACI para el diseño de mezcla de concreto, para lograr un concreto resistente, de buena calidad y económico.
6. Sensibilizar a los jefes y encargados sobre el uso excesivo del material cementante en la mezcla de concreto para conseguir una buena resistencia, ya que esto no ayuda en la reducción de costos.

BIBLIOGRAFÍA

1. (29 de Mayo de 2019). Obtenido de Capitulo IV Agregados para concreto: propiedades y clasificación: tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7321/Capitulo4.pdf
2. Acero, A. (24 de Agosto de 2011). *Blogger*. Obtenido de Proceso de elaboración del concreto: <http://concretoalan.blogspot.com/2011/08/proceso-de-elaboracion-del-concreto.html>
3. ACEROS AREQUIPA. (20 de Enero de 2019). *ACEROS AREQUIPA*. Obtenido de Vaciado del concreto en el muro de contención: <http://www.acerosarequipa.com/manual-para-propietarios/procedimientos-por-partidas/muro-de-contencion-en-terrenos-en-ladera/vaciado-del-concreto-en-el-muro-de-contencion.html>
4. Alarcon, Y. H. (12 de Junio de 2015). *SlideShare*. Obtenido de Problemas51. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método volumétrico: <https://es.slideshare.net/YeltsinHuatangariAlarcon/problemas51>
5. Alarcon, Y. H. (12 de Junio de 2015). *SlideShare*. Obtenido de Prueba de resistencia : <https://es.slideshare.net/YeltsinHuatangariAlarcon/prueba-de-resistencia>
6. Araujo, R. C. (11 de Septiembre de 2018). Obtenido de Materiales de construcción: http://www.google.com.vn/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjXm_2G6rbjAhWJWM0KHU0IAHsQFjAJegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.uca.edu.sv%2Fmecnica-estructural%2Fmaterias%2FmaterialesCostruccion%2FguiasClase%2FGUIA%2520DE%2520CL

7. Araya, E. M. (2016). *DOCPLAYER*. Obtenido de Contracción por secado del concreto: <https://docplayer.es/5766249-Contraccion-por-secado-del-concreto.html>
8. *blogspot*. (14 de Enero de 2009). Obtenido de El agua del concreto: <http://elconcreto.blogspot.com/search/label/El%20Agua%20del%20Concreto>
9. Bustamante, T. R. (27 de Enero de 2016). *SlideShare*. Obtenido de Propiedades del concreto fresco: <https://es.slideshare.net/ThelmoRafaelBustaman/propiedades-del-concreto-fresco>
10. Castañeda, P. (06 de Agosto de 2019). *ACADEMIA*. Obtenido de Concreto: <https://www.academia.edu/33530865/concreto>
11. Cedeño, L. J. (Diciembre de 2013). *Explotación de materiales de construcción*. Boyacá, Colombia: GRAFIMPRESOS.
12. Cementos Progreso. (12 de Septiembre de 2018). *Cempro*. Obtenido de La Pedrera: <http://www.cempro.com/index.php/nuestras-plantas/la-pedrera>
13. Cementos Progreso. (23 de Enero de 2019). *Cempro*. Obtenido de Proceso de producción de cemento: <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cemento>
14. Cementos Progreso. (23 de Enero de 2019). *El Mástil*. Obtenido de Cemento UGC: <http://elmastilgt.com/web/products/cemento-ugc/>
15. CEMEX. (05 de Abril de 2019). *CEMEX*. Obtenido de ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?: <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
16. Cipriano. (18 de Marzo de 2012). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de ¿QUÉ SABES DE LA CONTRACCIÓN (RETRACCIÓN) DEL CONCRETO?: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/buenas-practicas/que-sabes-de-la-contraccion-retraccion-del-concreto>

17. Civilgeeks. (18 de Julio de 2019). *Civilgeeks*. Obtenido de Propiedades principales del concreto: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-del-concreto/>
18. Civilgeeks. (19 de Julio de 2019). *Civilgeeks*. Obtenido de El ensayo de consistencia del concreto: <https://civilgeeks.com/2011/12/07/el-ensayo-de-consistencia-del-concreto/>
19. Claros, E. (4 de Octubre de 2013). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de Transporte de cemento a granel: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/transporte-de-cemento-a-granel>
20. CONCREVA. (18 de Julio de 2019). *CONCREVA*. Obtenido de Concreto Convencional: <http://www.concreva.com.mx/productos/concreto-convencional/>
21. CONSTRUMÁTICA. (24 de Julio de 2019). *CONSTRUMÁTICA*. Obtenido de Consistencia del Hormigón Fresco : https://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia_del_Hormigón_Fresco
22. Cortes, C. H. (13 de Mayo de 2019). *ACADEMIA*. Obtenido de Prueba colorimetría para determinar contenido de materia orgánica en arena de río.: https://www.academia.edu/29798316/PRUEBA_COLORIMETR%C3%8DA_PARA_DETERMINAR_CONTENIDO_DE_MATERIA_ORG%C3%81NICA_EN_arena_DE_RIO_FUNDACION_UNIVERSITARIA_AGRARIA_DE_COLOMBIA_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_CIVIL_BOGOT%C3%81_DC_TABLA_DE_CONTENIDO
23. Cruz, J. (1 de Marzo de 2016). *SlideShare*. Obtenido de Gravas, Cemento: <https://www.slideshare.net/JCruz14/gravas-58931919>
24. de Lopez, L. G. (1989). *Teoría y práctica en la elaboración de mezclas de concreto*. Manizales.
25. Delgado, H. E. (12 de Abril de 2014). *slideshare*. Obtenido de Materiales que conforman el concreto:

<https://es.slideshare.net/henrydelgado5623/materiales-que-conforman-el-concreto>

26. *Docsity*. (22 de Octubre de 2008). Obtenido de Cementos: <https://www.docsity.com/es/cementos-3/2853042/>
27. Eddy.h. (21 de Mayo de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Absorción y Humedad Superficial de los Agregados: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/absorcion-y-humedad-superficial-de-los.html>
28. Eddy.h. (22 de Mayo de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Resistencia a Congelación y Deshielo del Agregado. : <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/resistencia-congelacion-y-deshielo-del.html>
29. Eddy.h. (28 de Mayo de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Durabilidad del Agregado: Propiedades de Humedecimiento: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/propiedades-de-humedecimiento-y-secado.html>
30. Eddy.h. (18 de Julio de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Concreto: Trabajabilidad.: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/concreto-trabajabilidad.html>
31. Eddy.h. (28 de Mayo de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Durabilidad del Agregado: Propiedades de Humedecimiento.: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/propiedades-de-humedecimiento-y-secado.html>
32. Eddy.h. (29 de Mayo de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Resistencia y Contracción del Agregado.: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/resistencia-y-contraccion-del-concreto.html>
33. Eddy.h. (29 de Julio de 2019). *Notas de Concretos*. Obtenido de Peso Unitario (Densidad del Concreto):

<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/peso-unitario-densidad-del-concreto.html>

34. eddyhrbs. (13 de Octubre de 2010). *Apuntes ingeniería civil*. Obtenido de Superficie específica del cemento: <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/superficie-especifica-del-cemento.html>
35. García, S. E. (Julio de 2011). *Biblioteca Central Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de Reactividad álcali-sílice según Norma ASTM C 289 : biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3281_C.pdf
36. González, A. L. (27 de Julio de 2014). *Prensa Libre*. Obtenido de Evolución de la vivienda en Guatemala: <https://www.prensalibre.com/revista-d/vivienda-en-guatemala-normativa-sismo-resistente-materiales-construccion-0-1181281992/>
37. Gonzalez, V. (13 de Febrero de 2012). *SlideShare*. Obtenido de Manejo del concreto: <https://es.slideshare.net/VeronicaGonzalez22/manejo-del-concreto>
38. Guerrero, R. L. (14 de Febrero de 2014). *SlideShare*. Obtenido de Propiedades de los agregados: <https://es.slideshare.net/llanosguerrero/propiedades-de-los-agregados-31228684>
39. Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá, Colombia: Bhandar Editores Ltda.
40. H., R. J. (25 de Enero de 2019). *Laboratorio Nacional de Vialidad Gobierno de Chile*. Obtenido de Áridos: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Aridos1.pdf>
41. Hernández, G. A. (3 de Octubre de 2014). *SlideShare*. Obtenido de Agregado fino y grueso: <https://es.slideshare.net/LupitaHedz/agregado-fino-y-grueso>
42. Hewlett, P. C. (2004). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* . Elsevier Butterworth-Heinemann.

43. Hudiel, S. J. (23 de Enero de 2019). Obtenido de Cemento: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/def-y-elaboracion-cemento.pdf>
44. *Ingenieria Civil*. (13 de Marzo de 2019). Obtenido de Tamaño máximo del agregado: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/53-tamano-maximo-del-agregado.html>
45. Ingeniero de caminos. (19 de Julio de 2019). *Ingeniero de caminos*. Obtenido de Consistencia del hormigón: <https://ingeniero-de-caminos.com/consistencia-del-hormigon/>
46. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (28 de Marzo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Práctica para el muestreo de concreto recién mezclado. Norma Técnica Guatemalteca NTG - 41057 : <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/concreto>
47. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (28 de Marzo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados. Norma Técnica Guatemalteca NTG - 41010h2 : <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
48. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (03 de Abril de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h8: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
49. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (07 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Práctica para el muestreo de los agregados para concreto. Norma Técnica

Guatemalteca NTG 41009: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>

50. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (08 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h11: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
51. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (11 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h9: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
52. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (15 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h8 : <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
53. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (16 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de Ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso. Norma Técnica Guatemalteca NTG NTG 41010 h1: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
54. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (21 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación por secado del contenido total de humedad

evaporable en el agregado. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h19:
<http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>

55. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (22 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la humedad superficial en el agregado fino. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h24:
<http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
56. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (28 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño mayor de 19 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h21 :
<http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
57. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (28 de Mayo de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h20:
<http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
58. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (04 de Junio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Agregados para Concreto. Especificaciones. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41007: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>

59. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (05 de Junio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h4: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/concreto>
60. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (05 de Junio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método químico. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h13: <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
61. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (10 de Junio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la reactividad alcalina potencial de rocas carbonatadas usadas como agregados para concreto. (Método del cilindro de roca). Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h17 : <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
62. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (11 de Junio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio. Norma Técnica Guatemalteca NTG 41010 h6 : <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>
63. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (24 de Julio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Métodos de ensayo. Determinación de la exudación del concreto recién

mezclado. Norma Técnica Guatemalteca NTG - 41017 h9:
<http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/concreto>

64. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (30 de Julio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto. Norma Técnica Guatemalteca NTG - 41017h5:
<http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/concreto>
65. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG. (31 de Julio de 2019). *Instituto del cemento y del concreto de Guatemala ICCG*. Obtenido de Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método volumétrico. Norma Técnica Guatemalteca NTG – 41017h6 : <http://www.iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/concreto>
66. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Diciembre de 2012). *IMCYC*. Obtenido de Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el Método de Presión:
<http://www.imcyc.com/revistacyt/diciembre2012/pdfs/>
67. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Enero de 2013). *IMCYC*. Obtenido de Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el Método Volumétrico:
<http://www.imcyc.com/revistacyt/enero2013/pdfs/>
68. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Agosto de 2010). *IMCYC*. Obtenido de Masa Volumétrica. Método de Prueba:
<http://imcyc.com/revistacyt/pdfs/>
69. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Julio de 2010). *IMCYC*. Obtenido de Agregados-Reducción de las muestras de

agregados obtenidas en el campo requerido de las pruebas.:
<http://imcyc.com/revistacyt/pdfs/>

70. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Diciembre de 2010). *IMCYC*. Obtenido de Agregados para concreto análisis granulométrico y métodos de prueba: <http://imcyc.com/revistacyt/pdfs/>
71. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Enero de 2010). *IMCYC*. Obtenido de Muestreo de agregados: <http://imcyc.com/revistacyt/pdfs/>
72. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. IMCYC, A.C. (Agosto de 2011). *IMCYC*. Obtenido de Agregados- Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino- Método de prueba: <http://imcyc.com/revistacyt/pdfs/>
73. INSTRON. (29 de Mayo de 2019). *INSTRON*. Obtenido de ASTM C170 Esfuerzo a compresión de piedras de dimensiones normalizadas: <https://www.instron.com.ar/es-ar/testing-solutions/by-material/concrete/compression/astm-c170>
74. Jimenez, L. J. (Junio de 2014). *bdigital Repositorio Institucional UN - Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Reactividad álcali-agregado (RAA): experiencias en presas colombianas, análisis comparativo de principales variables que intervienen en el fenómeno.: <http://bdigital.unal.edu.co/47230/>
75. Kerkhoff, B., Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). *Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos*. Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
76. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 104). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

77. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 103). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
78. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 113). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
79. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 106). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
80. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 107). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
81. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 109). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
82. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 111). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
83. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 112). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

84. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Agregados para Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 114). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
85. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 25). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
86. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 28). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
87. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 30). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
88. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (págs. 34-35). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
89. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 35). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

90. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 61). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
91. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 62). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
92. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 63). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
93. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 66). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
94. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 64). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
95. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control*

de mezclas de concreto (pág. 65). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

96. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 67). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
97. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 68). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
98. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 70). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
99. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 71). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
100. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 37). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
101. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto. En S. H.

Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 217). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

102. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 218). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
103. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 220). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
104. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Dosificación, Mezclado, Transporte y Manejo del Concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 222). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
105. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). Fundamentos del concreto. En S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. y Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto* (pág. 5). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
106. L., G. A. (2019 de Julio de 2019). *DOCPLAYER*. Obtenido de Agua de mezcla: <https://docplayer.es/11055574-Capitulo-3-agua-de-mezcla.html>
107. LafargeHolcim . (25 de Enero de 2019). *Holcim Nicaragua S.A.* Obtenido de Manejo y almacenamiento del Cemento: <https://www.holcim.com.ni/productos-y-servicios/productos/cemento/manejo-y-almacenamiento-del-cemento>

108. Laza, J. (23 de Septiembre de 2014). *SlideShare*. Obtenido de Tecnología básica del concreto hidráulico: <https://es.slideshare.net/johnlaza/tecnologia-del-concreto-39436161>
109. Lopez, A. G., Bernal, M. T., Castro, J. D., Capon, M. F., Hermosa, M. C., & y Quiñones, E. C. (23 de Julio de 2019). *calameo*. Obtenido de Manual Para Muestreo De Concretos: <https://es.calameo.com/books/00429995576731d2c9b75>
110. Mansilla, G. (04 de Septiembre de 2009). *IMPROVE YOUR WORK*. Obtenido de Introducción a la tecnología del hormigón: http://improveyourwork.blogspot.com/2013/01/introduccion-la-tecnologia-del-hormigon.html#.XFF_vfZFxit
111. Más que ingeniería. (22 de Mayo de 2019). *Más que ingeniería*. Obtenido de Los ciclos hielo-deshielo en el hormigón: <https://masqueingenieria.com/blog/ciclos-hielo-deshielo-hormigon/>
112. Más que ingeniería. (22 de Mayo de 2019). *Más que ingeniería*. Obtenido de Los ciclos hielo-deshielo en el hormigón: <https://masqueingenieria.com/blog/ciclos-hielo-deshielo-hormigon/>
113. Michael, G. (17 de Abril de 2016). *Tecnología del concreto*. Obtenido de Agregados: <http://michateconcreto.blogspot.com/2016/04/semana-4.html>
114. Ministerio de Energía y Minas. (Enero de 2007). *Ministerio de Energía y Minas MEM*. Obtenido de Alta Verapaz: https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/Ot_Altaverapaz.pdf
115. Montbrun, L. (15 de Marzo de 2016). *Ingeniería Civil Venezuela*. Obtenido de INVEPAL producirá 146 millones de sacos para la industria cementera: ingecivilvenezuela.blogspot.com/2016/04/invepal-producira-146-millones-de-sacos.html
116. Moyolo, U. N. (06 de Diciembre de 2014). *SlideShare*. Obtenido de Contraccion y retraccion del concreto: <https://es.slideshare.net/KeJht/contraccion-y-retraccion-del-concreto.com>

117. Murillo, C. G. (30 de Enero de 2019). *DOCPLAYER*. Obtenido de Influencia de la forma y la textura de los agregados gruesos en las propiedades del hormigón: <https://docplayer.es/8316478-Influencia-de-la-forma-y-la-textura-de-los-agregados-gruesos-en-las-propiedades-del-hormigon.html>
118. Nieto, A. M. (20 de Septiembre de 2016). *SlideShare*. Obtenido de Humedad de los agregados: <https://es.slideshare.net/AxelMartinezNieto/humedad-de-los-agregados-axel-martinez-nieto>
119. NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA NTG 41006. (16 de Enero de 2019). *CONRED*. Obtenido de Terminología referente al concreto y agregados para concreto.: <https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/NTG41006.pdf>
120. NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA NTG 41007. (30 de Enero de 2019). *CONRED*. Obtenido de Agregados para concreto: <https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/NTG41007.pdf>
121. Notas Ingeniero Civil. (15 de Enero de 2012). *Notas Ingeniero Civil*. Obtenido de Resistencia del CONCRETO a Ácidos y Otras Sustancias Corrosivas : <http://notasingenierocivil.blogspot.com/>
122. Oré, H. (13 de Enero de 2016). *SlideShare*. Obtenido de Propiedades del concreto endurecido: <https://es.slideshare.net/HenryOr1/propiedades-del-concreto-endurecido>
123. Ortega, K. (31 de Agosto de 2015). *Prezi*. Obtenido de Resistencia y durabilidad del concreto: <https://prezi.com/3ktdr3wt1-dn/resistencia-y-durabilidad-del-concreto/>
124. Osorio, J. D. (19 de Enero de 2011). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>
125. Osorio, J. D. (20 de Mayo de 2013). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de Reacción álcali agregado: un ensayo importante en la tecnología del

concreto.:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/agregados/reaccion-alcali-agregado>

126. Osorio, J. D. (20 de Mayo de 2013). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de Reacción Álcali Agregado: Un ensayo importante en la tecnología del concreto:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/agregados/reaccion-alcali-agregado>

127. Osorio, J. D. (20 de Mayo de 2013). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de Reacción Álcali Agregado: Un ensayo importante en la tecnología del concreto:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/agregados/reaccion-alcali-agregado>

128. Osorio, J. D. (28 de Junio de 2013). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión:
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>

129. R., M. S. (15 de Julio de 2019). *Laboratorio Nacional de Vialidad Gobierno de Chile*. Obtenido de Hormigón:
<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/hormigon1Intro.pdf>

130. Rey, M. J. (2016). *DOCPLAYER*. Obtenido de Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto-método de prueba:
<https://docplayer.es/7100842-Determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion-de-cilindros-de-concreto-metodo-de-prueba.html>

131. Ríos, M. E. (15 de Mayo de 2019). *DOCPLAYER*. Obtenido de Densidad, densidad relativa (gravedad específica y absorción del agregado grueso): <https://docplayer.es/6617611-Densidad-densidad-relativa-gravedad-especifica-y-absorcion-del-agregado-grueso.html>

132. Rosales, C. D. (25 de Enero de 2019). *Academia*. Obtenido de Cemento: https://www.academia.edu/29908658/Cemento_David_Huertas_Rosales
133. Sáez, R. S. (06 de Junio de 2019). *SlidePlayer*. Obtenido de Sistemas estructurales y materiales para construcción: <https://slideplayer.es/slide/11213192/>
134. Sagastume, R. A. (Julio de 2005). *SENACYT*. Obtenido de Evaluación Hidrogeológica de Alta Verapaz: <https://fondo.senacyt.gob.gt/portal/index.php/catalogo/15-codigo/164-01-2002-medio-ambiente>
135. Sanchez, N. F. (15 de Julio de 2019). *SlidePlayer*. Obtenido de Tecnología del concreto: <https://slideplayer.es/slide/10346564/>
136. Shaw, A. B. (22 de Enero de 2019). *ASOCEM*. Obtenido de Los cementos adicionados: www.asocem.org.pe/archivo/files/CC_ed17%20-%20Asocem.pdf
137. Silva, O. J. (30 de Marzo de 2016). *360 en concreto ARGOS*. Obtenido de Generalidades y tipos de aditivos para el concreto según la NTC 1299: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto?id=156>
138. Tas, D. (5 de Noviembre de 2011). *Slideshare*. Obtenido de Estudio tecnologico de los agregados fino y grueso : <https://es.slideshare.net/dens15tas/estudio-tecnologico-de-los-agregados-fino-y-grueso>
139. *Tecnología del concreto Weebly*. (15 de Julio de 2019). Obtenido de Colocación y compactación del concreto : <https://tecnologadelconcreto.weebly.com/colocacioacuten-y-compactacioacuten-del-concreto.html>
140. Torrico, M. V. (22 de Mayo de 2019). *Academia*. Obtenido de Agregados 1: https://www.academia.edu/13223673/AGREGADOS_1

141. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSE SIMEON CAÑAS”, UCA. (04 de Abril de 2019). *civilgeeks.com*. Obtenido de Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Fino: <https://civilgeeks.com/2011/04/10/densidad-densidad-relativa-gravedad-especifica-y-absorcion-del-agregado-fino-resumen-astm-c-128/>
142. Universidad Técnica Federico Santa María . (23 de Enero de 2019). Obtenido de Propiedades y ensayos del cemento: descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm
143. Valarezo, M. (28 de Junio de 2011). *SlideShare*. Obtenido de Aridos: <https://es.slideshare.net/mfvalarezo/aridos>
144. Vargas, B. V. (25 de Agosto de 2015). *SCRIBD*. Obtenido de Sección 200 - Agregados Pétreos: <https://es.scribd.com/doc/276057037/SECCION-200>
145. Vasquez, G. C. (21 de Mayo de 2019). *Academia*. Obtenido de Estudio tecnológico de los agregados: https://www.academia.edu/4010256/ESTUDIO_TECNOLOGICO_DE_LOS_AGREGADOS
146. Vázquez, R. S. (25 de Enero de 2019). *DOCPLAYER*. Obtenido de Agregados para mortero o concreto: docplayer.es/10483089-Capitulo-2-agregados-para-mortero-o-concreto.html
147. Villalba, C. A. (04 de Junio de 2009). *SlideShare*. Obtenido de Gravedad específica y absorción de agregado grueso: <https://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/gravedad-especifica-y-absorcin-de-agregado-grueso>

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de investigación y proyectos: Dominó

F-30-07-2019-01

Modelo De Investigación y Proyectos: Dominó

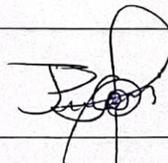
No. De Aprobación de hipótesis: 02-000-436-16

(Derechos reservados por Doctor Fidel Reyes Lee y Universidad Rural de Guatemala)

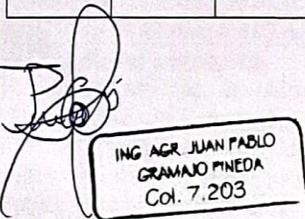
Elaborado por: Sindry Gabriela Asig Chiquín
Carné: 12-059-0002

Para: Programa de Graduación de la
Universidad Rural de Guatemala

Fecha: 21 de marzo de 2023

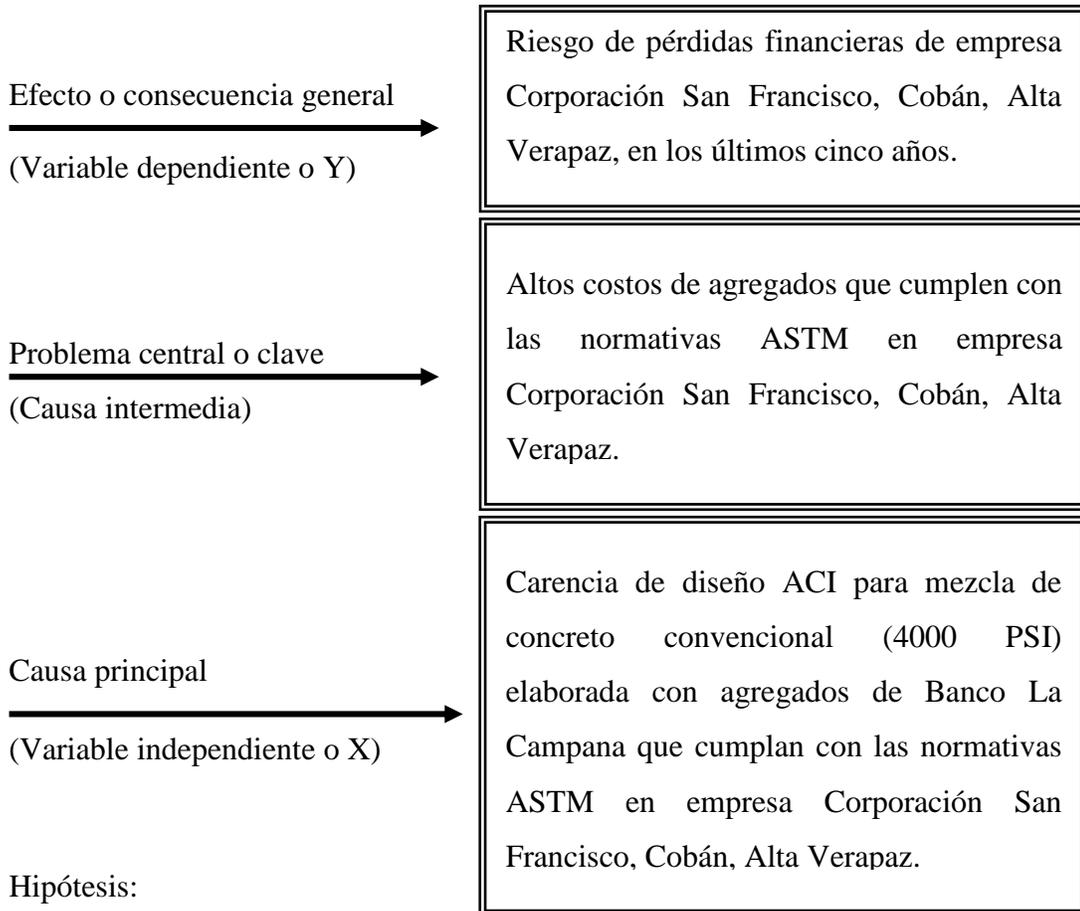
Problema	Propuesta	Evaluación
1) Efecto o variable dependiente Riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años	4) Objetivo general Disminuir el riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.	15) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo general Indicadores: Al cuarto año después de la implementación de la propuesta de creación de diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) se disminuye el riesgo de pérdidas financieras en un 67%. Verificadores: Informes financieros de la empresa informe de consumos, informe de producción anterior con la actual, estadística de producción, entrevista Cooperantes o Supuestos: El jefe del Departamento de Costos y supervisores contribuyen con la verificación de la reducción de costos en los materiales
2) Problema central Altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.	5) Objetivo específico Reducir costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.	
3) Causa principal o variable independiente Carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.	6) Nombre PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA VERAPAZ.	16) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo específico Indicadores: En el primer semestre del segundo año después de la implementación de la propuesta de creación de diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) se reducen los costos de agregados en un 45% Verificadores: Estados de resultado, informe de consumo, informe de producción anterior con el actual, estadísticas de producción y entrevistas Cooperantes o Supuestos: El jefe del Departamento de Costos y supervisores contribuyen con la verificación de la reducción de costos en los materiales.
7) Hipótesis “El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”.	12) Resultados o productos R1. Se cuenta con la unidad ejecutora “Departamento del Concreto”. R2. Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM. R3. Se cuenta con el programa de capacitación con el personal involucrado.	
8) Preguntas clave y comprobación del efecto 1. ¿Considera que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras ocasionada por los altos costos de agregados? 2. Si No	13) Ajuste de costos y tiempo (por separado) (No aplica) Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda 21-marzo-2023	

ING AGR JUAN PABLO
 GRAMAJO PINEDA
 Col. 7.203

<p>Será dirigida a los cuatro jefes de los siguientes Departamentos Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, mediante un censo.</p>															
<p>9) Preguntas clave y comprobación de la causa principal</p> <p>1. ¿Cuenta con el diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz? Si __ No __</p> <p>Sera dirigida a los cinco encargados de los siguientes Departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, mediante un censo.</p>	<p>14) Anotaciones, Aclaraciones y advertencias</p> <ul style="list-style-type: none"> *Los resultados deben desarrollarse por medio de actividades por lo menos cuatro *Utilizar la tabla de contenidos por orden para elaborar la tesis. *Utilizar normas APA sexta edición para citas, y bibliografía. *No utilizar gerundios. *Redactar en tercera persona *Puede utilizar la biblioteca virtual que está en la página de la Universidad. *Utilizar como ejemplo el modelo de metodología que está en la página de la Universidad. *Marco teórico mínimo 75 páginas. *Unidad de medida del efecto para el coeficiente de correlación y ecuación de línea recta "Rentabilidad". 														
<p>10) Temas del Marco Teórico</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Concreto 2. Materiales utilizados en el concreto 3. Características de los agregados ASTM 4. Selección y producción de agregados 5. Tipos de extracción de los agregados. 6. Banco de materiales en Alta Verapaz 7. Concreto convencional 8. Estados del concreto (fresco y endurecido) 9. Normas ASTM para mezcla de concreto 10. Diseño ACI para mezcla de concreto 	<table border="1" data-bbox="772 860 1780 1079"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Carné</th> <th>Estudiante</th> <th>Carrera</th> <th>Sede</th> <th>Celular</th> <th>Correo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>12-059-0002</td> <td>Sindry Gabriela Asig Chiquín</td> <td>Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales</td> <td>Cobán (059)</td> <td>3185-5079</td> <td>120590002@urural.edu.gt</td> </tr> </tbody> </table>	Código	Carné	Estudiante	Carrera	Sede	Celular	Correo		12-059-0002	Sindry Gabriela Asig Chiquín	Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales	Cobán (059)	3185-5079	120590002@urural.edu.gt
Código	Carné	Estudiante	Carrera	Sede	Celular	Correo									
	12-059-0002	Sindry Gabriela Asig Chiquín	Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales	Cobán (059)	3185-5079	120590002@urural.edu.gt									
<p>11) Justificación</p> <p>El investigador debe evidenciar con proyección estadística y matemática, el comportamiento del efecto identificado en el árbol de problemas.</p>	 <p>ING AGR JUAN PABLO GRAMAJO PINEDA Col. 7.203</p>														

Anexo 2. Árbol de problemas, hipótesis y árbol de objetivos.

Tópico. Altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM.

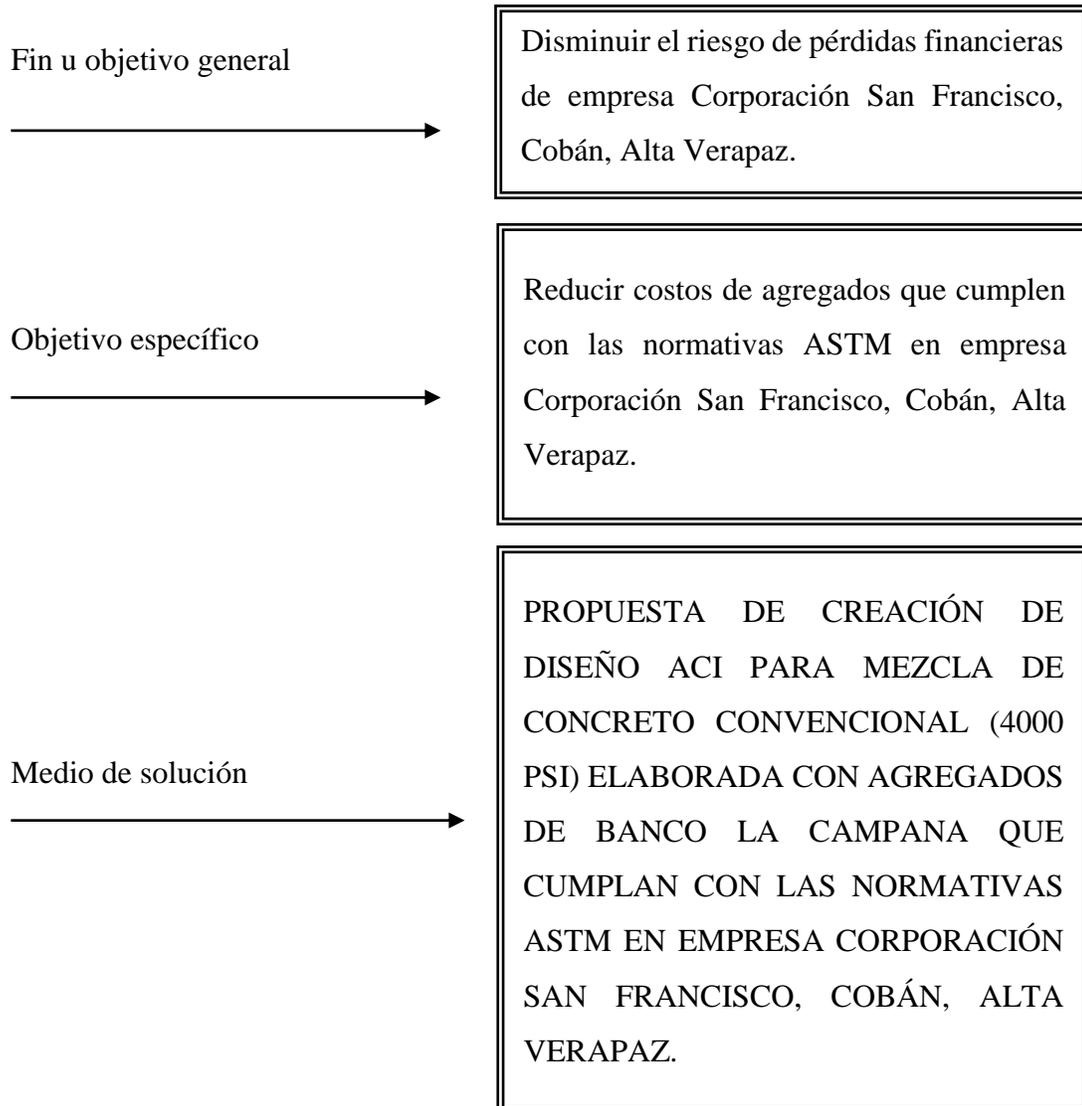


Hipótesis:

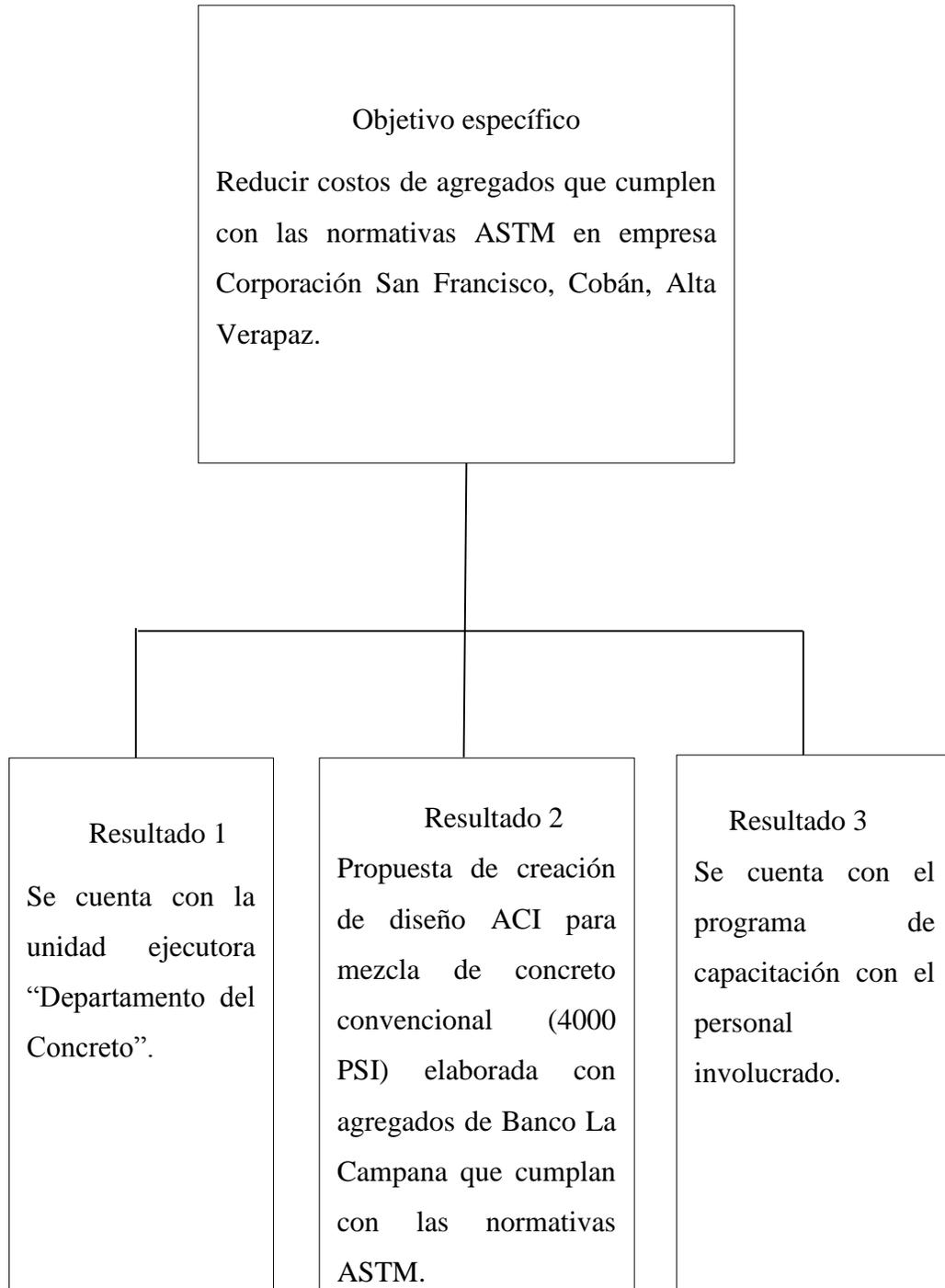
“El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”.

¿La carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, por los altos costos de agregados; es la causante de pérdidas financieras en los últimos cinco años?

Árbol De Objetivos



Anexo 3. Diagrama del medio de solución de la problemática



Anexo 4. Boleta de investigación para la comprobación del efecto general

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de Investigación

Variable Dependiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar la variable dependiente siguiente: “Riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años”.

Esta boleta censal está dirigida a los jefes de los siguientes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

Instrucciones: A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder marcando con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando sea necesario.

1. ¿Considera que en empresa Corporación San Francisco existe riesgo de pérdidas financieras ocasionada por los altos costos de agregados?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

2. ¿Considera usted que el incremento de los costos para elaborar mezcla de concreto es por los materiales que se utilizan actualmente?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

3. ¿El costo de los materiales que se utilizan para una mezcla de concreto, influyen en la decisión de compra?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

4. ¿Considera que las ganancias se han visto afectadas por los altos costos de los agregados que se adquieren actualmente?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

5. ¿Considera que la disminución de clientes para la compra de concreto convencional (4000 PSI) se debe al precio que se maneja actualmente?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

Observaciones:

Lugar y fecha: _____

Anexo 5. Boleta de investigación para la comprobación de la causa principal

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de Investigación

Variable Independiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar la variable independiente siguiente: “Carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz”.

Esta boleta censal está dirigida a los encargados de los siguientes Departamentos: Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

Instrucciones: A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder marcando con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando sea necesario.

1. ¿Cuenta con el diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

2. ¿Tiene conocimiento del método ACI para el diseño de mezcla de concreto convencional con resistencia (4000 PSI)?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

3. ¿Es necesario diseñar una mezcla de concreto convencional (4000 PSI) con el método ACI elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

4. ¿Considera que se debe conocer la caracterización de los agregados extraídos de Banco La Campana, por medio de las normativas ASTM?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

5. ¿Considera que la implementación de los agregados extraídos de Banco La Campana en un diseño de mezcla para concreto convencional (4000 PSI) por medio del Método ACI ayudará a reducir el consumo del cemento y por ende los costos?

Sí ____ No ____ ¿Por qué? _____

Observaciones:

Lugar y fecha: _____

Anexo 6. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de muestra

Una muestra es un conjunto clasificado de entrevistados, elegidos para representan a una población cuyo tamaño garantice la representatividad total que conozca la variable en estudio.

También se considera como una fracción de la población con característica que cumple con ciertos aspectos peculiares dentro de la investigación, con estos aspectos se reducen los costos y sobre todo el tiempo para realizar el cálculo de la muestra. Se debe tomar en cuenta que el tamaño de la muestra repercute directamente sobre la precisión de las estimaciones.

La entrevista es una herramienta valiosa por ser confiable y representativa, es uno de los factores que ayudan a lograr encontrar a nuestra población ideal para poder realizar una investigación de manera correcta al tener en cuenta los objetivos y las circunstancias que se deben desarrollar en la investigación, con la finalidad que las personas concedan datos sobre las variables.

Para la comprobación de la variable dependiente (efecto) se entrevistaron a los cuatro jefes de los siguientes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad y para la variable independiente (causa) se entrevistaron a los cinco encargados de los siguientes Departamentos: Concreto y Control de Calidad, para ello se utilizaron boletas censales al ser una población finita menor a treinta y cinco personas; con un nivel de confianza del 100% y con 0% de error de muestreo.

Una de las condiciones con las que se debe cumplir para utilizar el cálculo de la muestra que establece la universidad Rural de Guatemala, es tener una población mayor a 35 personas, de lo contrario se debe de realizar un censo, al tener una población menor a treinta y cinco personas en este trabajo de graduación no se utilizó cálculo de la muestra.

Anexo 7. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación es un indicador estadístico que ayuda a conocer la relación que existe entre la variable dependiente e independiente; donde se evalúa hasta qué punto el valor de una de las variables aumenta o disminuye, basándose en lo siguiente: un valor mayor que cero indica una asociación positiva; un valor menor que cero indica una asociación negativa, esto se evidencia al trazar la ruta proyectada, donde, se mide la fuerza y la dirección de la asociación entre las dos variables.

Con los datos recolectados del historial numérico del efecto de los últimos cinco años, se obtuvo un coeficiente de correlación aproximado a 0.98, lo que permite deducir la existencia de un vínculo entre las variables el cual se encuentra dentro del rango establecido por la Universidad Rural de Guatemala que oscilar entre $> + - 0.80$ a $< = + - 1$ y que a su vez obedece a la ecuación de la línea recta; cuya formula simplificada es la siguiente: $y = a + bx$.

A continuación, se presentan los datos, cálculos y fórmula utilizada para obtener dicho coeficiente.

Cálculo del coeficiente de correlación

Requisito: Coeficiente de correlación: $> + - 0.80$ a $< = + - 1$

Año	X (años)	Y (Q. / m ³)	XY	X ²	Y ²
2018	1	1150.00	1150.00	1	1322500.00
2019	2	1195.00	2390.00	4	1428025.00
2020	3	1225.00	3675.00	9	1500625.00
2021	4	1265.00	5060.00	16	1600225.00
2022	5	1350.00	6750.00	25	1822500.00
Totales	15	6185.00	19025.00	55	7673875.00

n=	5
$\sum X=$	15
$\sum XY=$	19025
$\sum X^2=$	55
$\sum Y^2=$	7673875
$\sum Y=$	6185
$n\sum XY=$	95125
$\sum X*\sum Y=$	92775
NUMERADOR=	2350
$n\sum X^2=$	275
$(\sum X)^2=$	225
$n\sum Y^2=$	38369375
$(\sum Y)^2=$	38254225
$n\sum X^2-(\sum X)^2=$	50
$n\sum Y^2-(\sum Y)^2=$	115150
$(n\sum X^2-(\sum X)^2)*(n\sum Y^2-(\sum Y)^2)$	5757500
Denominador:	2399.47911
r=	0.979379229

Fórmula:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2) * (n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Comentario:

Al analizar el cálculo de coeficiente de correlación se observa que es lineal positiva porque si sube el valor de una variable sube el de la otra también, es decir entre más avanzan los años aumenta el costo por metro cúbico del concreto convencional (4000 PSI).

Por lo tanto, la correlación existente entre estas dos variables es elevada (0.98) y de signo positivo.

Anexo 8. Anexo metodológico de la proyección

La proyección lineal es un modelo matemático que ayuda a pronosticar el comportamiento de nuestras variables en los años futuros.

Para observar la relación entre las dos variables que generan la problemática estudiada, se procedió a utilizar la proyección lineal.

Se determinó el comportamiento de la variable tiempo, respecto a los datos obtenidos de una serie histórica dada sobre el precio del concreto por metro cubico (m^3), los cuales se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resume con la ecuación siguiente: $y = a + bx$.

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de $> + - 0.80$ a $< = + - 1$; cuyo cálculo es parte integrante de este documento.

A continuación, se presentan los cálculos y cuadro del análisis de varianza para proyectar los datos correspondientes.

Proyección lineal $y = a + bx$

Requisito: Coeficiente de correlación: $> + - 0.80$ a $< = + - 1$

Año	X (años)	Y (Q. / m^3)	XY	X ²	Y ²
2018	1	1150.00	1150	1	1322500
2019	2	1195.00	2390	4	1428025
2020	3	1225.00	3675	9	1500625
2021	4	1265.00	5060	16	1600225
2022	5	1350.00	6750	25	1822500
Totales	15	6185	19025	55	7673875

n=	5
$\sum X=$	15
$\sum XY=$	19025
$\sum X^2=$	55
$\sum Y^2=$	7673875
$\sum Y=$	6185
$n\sum XY=$	95125
$\sum X*\sum Y=$	92775
Numerador de b:	2350
Denominador de b:	50
$n\sum X^2=$	275
$(\sum X)^2=$	225
$n\sum X^2 - (\sum X)^2 =$	50
b=	47
Numerador de a:	
$\sum Y=$	6185
$b * \sum X =$	705
Numerador de a:	5480
a=	1096

Formulas:

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b\sum X}{n}$$

Cálculos de la proyección sin proyecto

Y=	a	+	b	X	(b)*(X)	Precio en Q. por m ³ de concreto
Y (2023) =	1096.00	+	47.00	6	282.00	1378.00
Y (2024) =	1096.00	+	47.00	7	329.00	1425.00
Y (2025) =	1096.00	+	47.00	8	376.00	1472.00
Y (2026) =	1096.00	+	47.00	9	423.00	1519.00
Y (2027) =	1096.00	+	47.00	10	470.00	1566.00

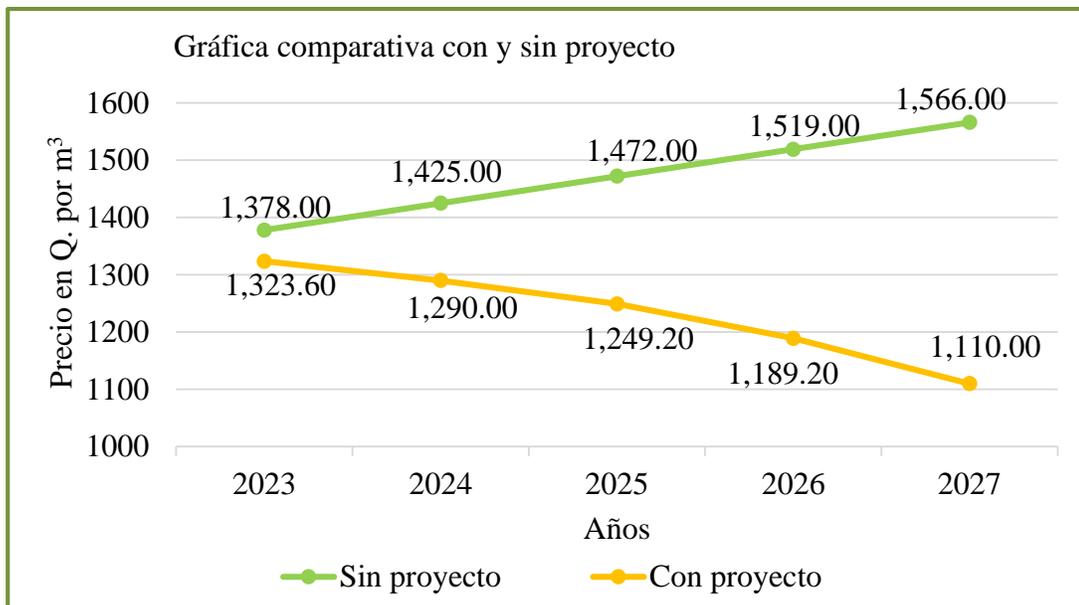
Cálculos de la proyección con proyecto

Resultados	Años	6	7	8	9	10
		2023	2024	2025	2026	2027
Resultado 1 (Se cuenta con la unidad ejecutora “Departamento del concreto”)						
Reuniones técnicas con el consejo directivo sobre temas del diseño ACI para mezcla de concreto.		1%	0%	0%	0%	0%
Elaboración de la planificación para la implementación de la propuesta.		1%	1%	0%	2%	0%
Presentación de planificación		0%	2%	0%	2%	0%
Reunión con el personal involucrado		0%	1%	2%	1%	3%
Reconocimiento de las áreas de trabajo.		1%	0%	1%	0%	0%
Contratación de personal técnico-profesional.		0%	0%	2%	3%	3%
Supervisión y entrega de Informes		1%	0%	0%	0%	0%
Resultado 2 (Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM)						
Etapa 1: Trabajos Preliminares						
Selección y extracción de materiales.		2%	1%	2%	3%	5%
Pruebas de laboratorio a los agregados.		1%	1%	2%	2%	3%
Manejo y transporte de materia prima		0%	1%	2%	2%	2%
Almacenamiento.		0%	1%	1%	1%	2%
Etapa 2: Trabajo de gabinete						
Diseño de mezcla		1%	1%	1%	2%	3%
Etapa 3: Trabajo de campo						
Elaboración de concreto.		1%	1%	1%	1%	3%
Transporte y entrega.		0%	1%	1%	1%	2%
Control de calidad del concreto estado fresco y endurecido (ensayos de laboratorio).		0%	1%	1%	1%	3%
Resultado 3 (Se cuenta con el programa capacitación con el personal involucrado).						
Organización.		1%	0%	0%	1%	1%
Convocatoria.		0%	1%	0%	1%	1%
Duración de la capacitación.		0%	1%	1%	1%	1%
Actividades.		1%	0%	0%	1%	1%
Total 100%		11%	14%	17%	25%	33%

Secuencial/ Año	Proyección sin proyecto	Porcentaje propuesto	Intervención		Proyección con proyecto
5	2022	Q. 1,350.00			Q 1,350.00
6	2023	Q. 1,378.00	11%	Q. 26.40	Q. 1,323.60
7	2024	Q. 1,425.00	14%	Q. 33.60	Q. 1,290.00
8	2025	Q. 1,472.00	17%	Q. 40.80	Q. 1,249.20
9	2026	Q. 1,519.00	25%	Q. 60.00	Q. 1,189.20
10	2027	Q 1,566.00	33%	Q. 79.20	Q. 1,110.00
		Q/m ³	100%	Q 240.00	

Cuadro comparativo

Año	Sin proyecto Y (Q./m ³)	Con proyecto Y (Q./m ³)
2023	1,378.00	1,323.60
2024	1,425.00	1,290.00
2025	1,472.00	1,249.20
2026	1,519.00	1,189.20
2027	1,566.00	1,110.00



Comentario:

Al realizar la proyección en línea recta sin proyecto se observa que el precio del concreto por metro cubico (m^3) seguirá en aumento en los siguientes cinco años, hasta llegar a un precio de 1,566.00 quetzales. Esto demuestra que el costo del concreto convencional (4000 PSI) para estos años aumenta por el costo de los agregados que se utilizan actualmente, el cual da lugar a que exista riesgo de pérdidas financieras dentro de la empresa, al no crear e implementar un diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados que cumpla con las normativas ASTM.

Al implementar la propuesta se observa en la gráfica con proyecto que, en los próximos cinco años el precio del concreto convencional (4000 PSI) disminuye el costo hasta llegar a un precio de 1,110.00 quetzales, al utilizar agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM, el cual a su vez disminuye el riesgo de pérdidas financieras para la empresa en investigación.

Sindry Gabriela Asig Chiquín

TOMO II

PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE
CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS
DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM
EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA
VERAPAZ.



Asesor General Metodológico:
Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda

Universidad Rural de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2023

Informe final de graduación.

PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE
CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS
DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM
EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA
VERAPAZ.



Presentado al honorable tribunal examinador por:
Sindry Gabriela Asig Chiquín

En el acto de investidura previo a su graduación como Licenciada en Ingeniería
Civil con énfasis en Construcciones Rurales

Universidad Rural de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2023

Informe final de graduación.

PROPUESTA DE CREACIÓN DE DISEÑO ACI PARA MEZCLA DE
CONCRETO CONVENCIONAL (4000 PSI) ELABORADA CON AGREGADOS
DE BANCO LA CAMPANA QUE CUMPLAN CON LAS NORMATIVAS ASTM
EN EMPRESA CORPORACIÓN SAN FRANCISCO, COBÁN, ALTA
VERAPAZ.



Rector de la Universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretario de la Universidad:

Licenciado Mario Santiago Linares García

Decano de la Facultad de Ingeniería:

Ingeniero Luis Adolfo Martínez Díaz.

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2023

Esta tesis fue presentada por la autora, previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales.

Prólogo

El presente documento ha sido preparado como una herramienta útil para ampliar y profundizar en el conocimiento de la tecnología del concreto específicamente sobre el diseño y los pasos a seguir para proporcionar una mezcla de concreto en base a las necesidades que existen en el medio.

Este documento está dirigido a los estudiantes universitarios y personas que se desarrollan dentro del ámbito de la construcción que desean adquirir y perfeccionar sus conocimientos para realizar un buen diseño de mezcla de concreto por el método ACI aquí expuesto.

Se elaboró conforme a los requerimientos establecidos por el Programa de Graduación de Universidad Rural de Guatemala y previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Civil con énfasis en Construcciones Rurales, se realizó el presente trabajo de graduación titulada “Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz”.

Se utilizó información bibliográfica de libros y fuentes sobre diseño de concreto en conjunto de métodos, técnicas y herramientas relevantes para identificar la problemática central y darles una solución a los altos costos de los agregados utilizados actualmente en la mezcla de concreto que da lugar a riesgo de pérdidas financieras.

Se realizaron varias inspecciones y evaluaciones a través de la interacción y participación de los jefes y encargado de los diferentes departamentos que conforman la empresa, a quienes se les agradece el apoyo y se les dedica este trabajo, con quienes se compartieron experiencias con las cuales se espera haber aportado en su formación.

Presentación

La importancia fundamental de esta investigación se basa en proporcionar y facilitar al lector un mejor entendimiento sobre el diseño ACI para mezcla de concreto, en donde se debe tomar en cuenta diferentes elementos o factores; es necesarios estudiar, conocer e investigar nuevas alternativas de agregados que permitan dar soluciones para mejorar la producción del concreto, en el cual se logre reducir costos y, en general, mejorar la calidad.

Es necesario destacar la necesidad de adaptar estos nuevos agregados a las condiciones técnicas, económicas y financieras, en el cual no representen un riesgo innecesario. Dentro de los anteriores ordenes de ideas se da un énfasis a las propiedades y características de los materiales que forman parte del concreto, quienes permitan mejorar cada vez más las relaciones beneficio/costo para la empresa, por ser el concreto la mayor fuente de ingreso dentro de la misma.

La propuesta para la solución de la problemática se realizó desde el mes de enero al mes de agosto del año dos mil veintidós, durante este tiempo se recopiló toda la información necesaria sobre la problemática que poseen en empresa Corporación San Francisco, el cual se concentra en los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM y que da lugar a pérdidas financieras.

Al implementar la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM, se reducirán los costos, pues estos agregados presentan una buena caracterización que ayudarán a reducir el consumo de cemento y agua en la mezcla de concreto, es necesario resaltar que los agregados utilizados para esta investigación fueron extraídos de la cantera llamada banco La Campana propiedad de empresa San Francisco; esta cantera abastecerá de agregados finos y agregado gruesos.

ÍNDICE

I. RESUMEN	1
II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES9
ANEXOS	

I. RESUMEN

Introducción

El concreto también llamado hormigón se define como una mezcla de material aglutinante compuesto de agregados (árido), agua y en ocasiones de aditivo, que al endurecerse forma una piedra artificial que soporta esfuerzos de comprensión.

La resistencia, calidad y economía de un concreto está determinado principalmente, por las características y propiedades de los agregados, pues estos forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento del mismo o en las estructuras a fundir, por ello se hace indispensable conocer a detalle sus componentes, en base a lo indicado, resulta importante contar con un método que logre integrar los factores mencionados.

Dentro de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz los jefes y encargados de los diferentes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad, han manifestado que existe altos costo en los agregados que se utilizan para la elaboración de concreto convencional (4000 PSI), lo que propicia con cierta frecuencia riesgo de pérdidas financieras, por no obtener resultados a los esperados. Por ello se hizo necesario buscar nuevas alternativas de agregados que reduzcan el costo al producir concreto, se propone la creación de un diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana.

Para realizar la investigación se utilizaron, métodos y técnicas para la formulación y comprobación de hipótesis que proporcionan el análisis a través del coeficiente de correlación y proyección lineal, se redactaron boletas censales para demostrar la existencia de la problemática, posteriormente se procede a la tabulación de resultados obtenidos en donde se incluyen cuadros, gráficas y análisis, para finalmente se concluye con la presentación del informe final.

Planteamiento del problema

Guatemala en los últimos años se ha visto afectada por factores sociales (Pandemia de Covid-19), ambientales (Huracán Eta-Iota, lluvias intensas, derrumbes, socavamientos y deslizamientos), políticos y militares (Guerra entre Rusia y Ucrania) que la han llevado a una crisis económica; uno de los más afectados ha sido el sector constructivo, los materiales como el concreto, cemento, hierro, agregados, block, aluminio, zinc, hierro galvanizado son uno de los elementos que más han crecido exponencialmente sus valores durante los últimos años, subieron cuatro veces más que la inflación.

A raíz de lo que se vive en el país en los últimos cinco años en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz han tenido riesgo de pérdidas financieras por los altos costos de los agregados que utilizan actualmente, el alza de los precios se debe a factores como el incremento en la energía eléctrica, el aumento del valor del transporte por el combustible pues el precio del petróleo superó los cien dólares por barril afectaron a todas las industrias, se tiene problemas con la cadena de abastecimiento ya que el proveedor se ha visto en la necesidad de reducir a su personal al producir, ajustarse a inventarios por no contar con el stock para cubrir la demanda.

La empresa se ha visto obligada a buscar nuevas alternativas para abastecerse de agregado de buena calidad que cumplan con las normativas para cubrir la demanda de producción de concreto, por ser su principal fuente de ingreso.

Dentro de la empresa se cuenta con un banco propio de materiales llamado La Campana, del cual se desea extraer materiales pétreos para utilizarlos en sus mezclas de concreto, especialmente en el concreto convencional (4000 PSI), pero que aún no se han implementado por el desconocimiento de las características, propiedades y a la carencia de un método de diseño de mezcla de concreto adecuado en donde su proporcionamiento de materiales se adapten a las condiciones que se requieren.

Hipótesis

Una hipótesis es un pronóstico temporal de la cual se desarrollará una investigación. A continuación, se detallan las hipótesis formuladas a raíz de la problemática encontrada:

Hipótesis causal:

“El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”.

Hipótesis interrogante:

¿La carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, por los altos costos de agregados; es la causante de pérdidas financieras en los últimos cinco años?

Objetivos

En este apartado se exponen los objetivos tanto general como específico de la investigación que se pretenden alcanzar al realizar este trabajo de graduación:

Objetivo General

Disminuir el riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

Objetivo Específico

Reducir costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

Justificación

Al realizar la proyección sin proyecto el precio del concreto por metro cubico (m^3) irá en aumento hasta llegar a los 1,566.00 quetzales para el año 2027, lo cual da lugar a que exista riesgo de pérdidas financieras dentro de la empresa, al no crear e implementar un diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados que cumpla con las normativas ASTM.

En cambio, al implementar la propuesta con proyecto el precio del concreto por metro cubico (m^3) disminuye, para el año 2027 el precio será de 1,110.00 quetzales, pues se utilizarán agregados de Banco La Campana que cumplen con las normativas ASTM.

Metodología

Para la formulación de la hipótesis se utilizaron los métodos deductivos, analíticos y marco lógico, posteriormente para la comprobación de ésta, se logró a través de los métodos inductivo, estadístico y sintético. Tanto para la formulación como para la comprobación se utilizaron también técnicas, las cuales se describen a continuación:

Métodos

Métodos utilizados para la formulación de la hipótesis

Método deductivo

Se utilizó como estrategia para el razonamiento y deducción de la hipótesis a partir de una serie de variables; lo que permite determinar las características de una realidad con la ayuda del método científico.

Esto ayudó a la formulación de la siguiente hipótesis: “El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”.

Método analítico

Con la ayuda de este método se logró identificar, interpretar y determinar los hechos observados de la problemática obtenidos para la formulación de la hipótesis, al analizar la causa que se genera por la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco.

Método marco lógico

Esta herramienta ayudó a la estructuración de la matriz lógica para tener una visión más amplia de la situación existente y así poder trazar los objetivos que generen resultados que contribuyan a la solución del problema.

Modelo de investigación y proyectos: Dominó

Se creó con el fin de proporcionar una visión estructural basado en la metodología del marco lógico, encapsulado en un cuadro en el que se enmarca el problema, propuesta y evaluación que van orientados a darle una solución a la problemática existente y alcanzar los objetivos delimitados.

Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Método inductivo

A través de este método se observó y recolectó los datos necesarios para la comprobación de la hipótesis, y así determinar conclusiones y recomendaciones, según los resultados obtenidos en la investigación.

Método estadístico

Este método proporcionó datos cuantitativos a través de una serie de procedimientos secuenciales, que incluye la recolección, recuento, presentación, síntesis y análisis por medio de cuadros y gráficas para un mejor entendimiento de las boletas censales que contribuyeron a la comprobación de la hipótesis.

Método sintético

Después de interpretada la información recabada, se utilizó el método sintético para unificar las variables y así obtener las conclusiones, recomendaciones y resultados de la investigación realizada en empresa Corporación San Francisco.

Técnicas

Técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis

Lluvia de ideas

Esta técnica ayudó a desplegar todas las ideas posibles en relación a las deficiencias que poseen en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

Observación directa

Permitió recolectar datos de forma directa de los factores involucrados en el objeto de estudio para lograr identificar la problemática que existe en la producción de concreto convencional (4000 PSI), dentro de empresa Corporación San Francisco.

Investigación documental

Se utilizaron diferentes fuentes bibliográficas para indagar e interpretar documentos exponen datos e información relevante en relación al diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI).

Entrevista

Se utilizó para la recolección de datos a partir de la interacción, intercambio de ideas y opciones que se mantuvo con los jefes y encargados de los departamentos involucradas de empresa Corporación San Francisco, sobre la problemática planteada.

Técnicas que se utilizaron para la comprobación de la hipótesis

Censo

Se realizó un censo por ser una población menor a 35 personas.

Para la comprobación de la variable dependiente (Y) o el efecto se censaron a los cuatro jefes de los siguientes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad. Para la comprobación de la variable independiente (X) o causa se censaron a los cinco encargados de los siguientes Departamentos: Concreto y Control.

Levantamiento de la información en campo

En este proceso se llevó a cabo la recolección y medición de datos sobre las variables en estudio, dicha información ayudó a la toma de decisiones y solución de la problemática. Se realizaron visitas a los Departamentos de Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco.

Cálculo del coeficiente de correlación

Esta técnica se utilizó para conocer la relación entre las variables con la finalidad de establecer la importancia de esta investigación, se obtuvo un coeficiente de 0.98, lo que indica que el comportamiento de estas variables se encuentra dentro del rango establecido $> + - 0.80$ a $< = + - 1$ por la universidad y que obedezca a la ecuación de la línea recta y en consecuencia se obtuvo también la proyección lineal.

Proyección

Con la ayuda de esta técnica se pudo visualizar y analizar de una manera rápida el comportamiento de las variables para los años futuro y el impacto negativo que pueda generar al no implementar la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

A su vez ayudó a observar que al implementar la propuesta en los próximos cinco años se reducen los costos del concreto, esto da lugar a que disminuya el riesgo de pérdidas financieras.

Propuesta para solucionar la problemática

El aspecto más importante a tratar dentro de este apartado es identificar y comprender el problema que se desea resolver en base al objetivo específico que se necesita cumplir, se ha elaborado un esquema con tres resultados que ayudaron a establecer las actividades que resolverán de una manera efectiva la problemática identificada y evidenciada en el tomo II de este trabajo de graduación, los cuales se resumen a continuación:

Resultado 1 Se cuenta con la unidad ejecutora “Departamento del Concreto”.

Los departamentos del Concreto y Control de calidad serán los responsables de velar por el cumplimiento de las actividades asignadas, al realizar la respectiva supervisión e informes.

Resultado 2 Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.

Aquí se establece todo el procedimiento técnico a seguir para la elaboración del concreto, bajo las normativas detalladas dentro de este trabajo de graduación.

Resultado 3 Se cuenta con el programa de capacitación con el personal involucrado. Se dará a conocer una nueva alternativa de diseño de mezcla de concreto para la producción el cual será impartido por los Departamentos del Concreto y Control de Calidad.

En el anexo I y II del Tomo II se describen a mayor detalle los resultados propuestos como también la matriz de estructura lógica que ayudó a evaluar el trabajo después de desarrollar las propuestas y en cual se evidencia la forma en que se evaluarán los objetivos para su cumplimiento.

II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación se realizó con los jefes y encargados de los diferentes Departamentos: Compras, Costos, Concreto y Control de Calidad de empresa Corporación San Francisco, con el fin de desarrollar una propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.

Se evidenció la necesidad existente de realizar nuevas alternativas de agregados, que mejoren sustancialmente el concreto, el cual demostró el interés que existe entre los involucrados para participar y desarrollar criterios, método y procedimiento, para optimizar recursos de materia prima y financieros.

En base a lo expuesto anteriormente, se presentan la principal conclusión y recomendación obtenida en este trabajo de graduación:

Conclusión

Se comprueba la siguiente hipótesis: “El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana” con un nivel de confianza del 100% y con 0% de error de muestreo.

Recomendación

Implementar la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.

ANEXOS

Anexo 1. Propuesta para solucionar la problemática.

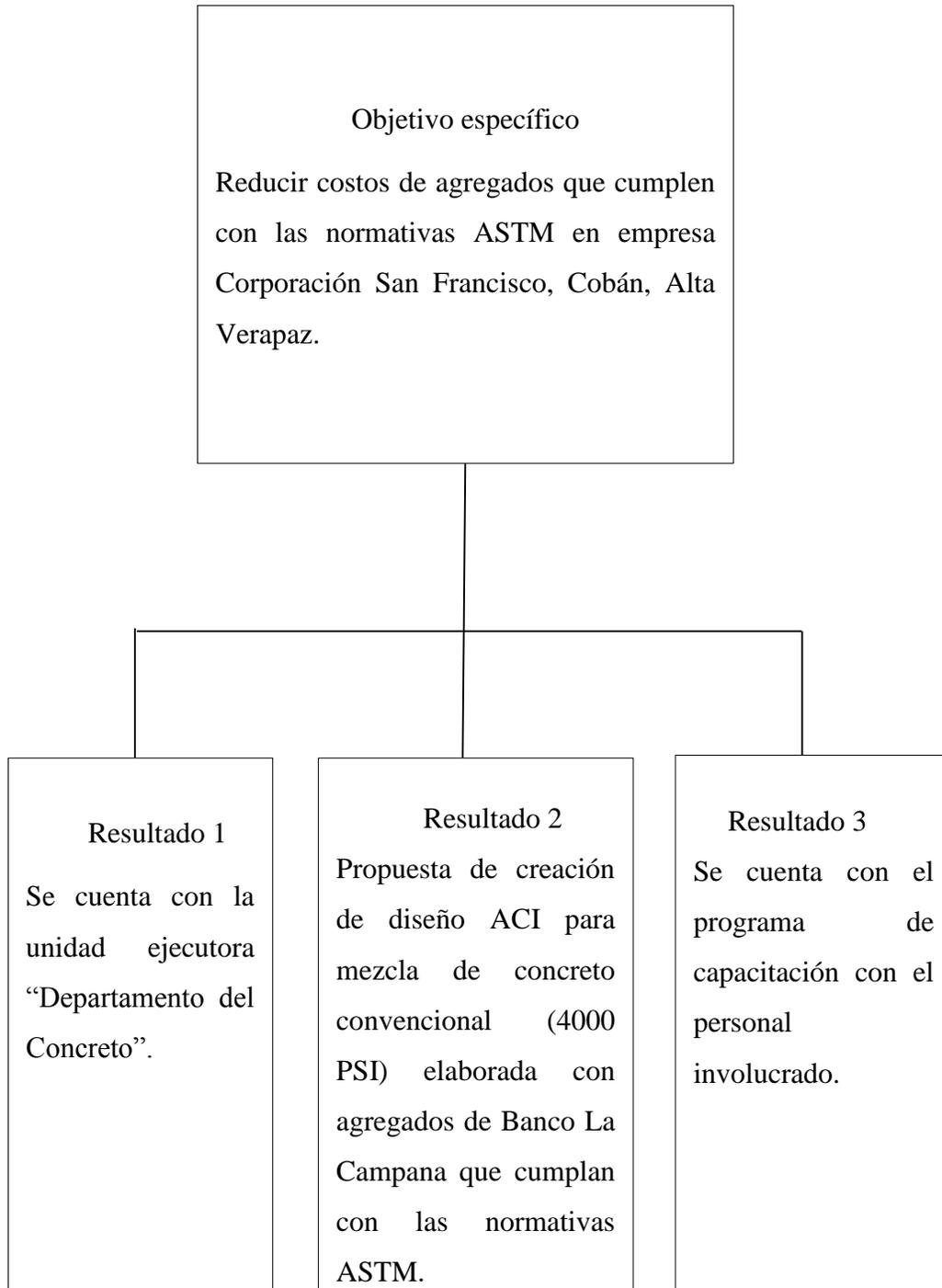
Al identificar un problema se debe considerar como una oportunidad y no como una amenaza u obstáculo de bloqueo, en el cual se le dé un enfoque realista más integral, se debe de incluir dentro de un proceso, acompañado de un análisis sistemático de las dos variables y la influencia en sus posibles soluciones, para lograr la disipación o al menos una reducción en su impacto negativo, lo cual tendrá un importante rol dentro de la investigación.

Se describe el problema con su causa y efecto que generan la siguiente dificultad: “El riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz, en los últimos cinco años, por los altos costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM; es debido a la carencia de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana”, lo que provoca la insatisfacción de la empresa en estudio.

De acuerdo a lo analizado anteriormente, en sentido positivo, este problema se constituye como un reto, que proporciona señales de que se deben cambiar ciertos aspectos, por ello se identifican numerosas herramientas que facilitan la solución de la problemática; que da lugar a detallar tres resultados que se adecuan a los que se necesita para aumentar la eficiencia y calidad de nuestras decisiones.

En este anexo se presenta el esquema de la propuesta para solucionar la problemática, que vincula la relación entre objetivo específico y sus resultados, que nacen a raíz de dar una solución óptima, potencial y creativa con un menor costo posible y en el menor tiempo por medio de métodos y procedimientos, esto ayudará a disminuir los riesgos de pérdidas financieras de la empresa. Posteriormente se analizan el impacto de cada uno de estas propuestas para poder elegir la que se considere la más adecuada, en el cual se incluyen cada una de las actividades a realizar.

Diagrama del medio de solución de la problemática



Resultado 1: Se cuenta con la unidad ejecutora “Departamento del Concreto”.

El Departamentos del Concreto en conjunto al Departamento de Control de Calidad, serán los responsables de velar por el cumplimiento de todo lo que conlleva la propuesta de creación de diseño para mezcla de concreto, tanto en los procesos como del fortalecimiento en los aspectos técnicos y la capacitación al personal.

Actividad 1. Reuniones técnicas con el consejo directivo sobre temas del diseño ACI para mezcla de concreto:

Se elaborará una solicitud para entablar una conversación con los propietarios y resto de integrantes del consejo directivo de la empresa para dar a conocer la situación actual que se vive dentro de la misma con la problemática encontrada y así mismo darles una solución al tener una propuesta de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados que cumplan con las normativas ASTM. Posteriormente se tendrán más reuniones para darle seguimiento al tema y dar a conocer por medio de informes el avance que se tenga con esta propuesta y así poder llegar a un acuerdo con todos los integrantes de la junta directiva.

Actividad 2. Elaboración de la planificación para la implementación de la propuesta: Posteriormente de que se tenga el visto bueno por parte de cada uno de los integrantes de la junta directiva se procederá a elaborar la planificación correspondiente para llevar a cabo cada uno de los procesos de la implementación de la propuesta, con la ayuda de los colaboradores que conforman el Departamento del Concreto se definirán todas las actividades necesarias para realizar los ejercicios del ciclo que conllevará la implementación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI).

Actividad 3. Presentación de planificación:

Se realizará una última reunión en la primera fase con los propietarios e integrantes de la junta directiva de la empresa en donde se afinarán los últimos detalles y dar a conocer la estructura de como estará distribuida la planificación.

Dentro de la planificación se especificaron las actividades en un tiempo determinado que a la vez servirá de guía para controlar el grado de avance para lograr los objetivos establecidos que incluyan a los colaboradores, los mecanismos, instrumentos y recursos necesarios para hacerla operativa y que se desarrollarán durante el proceso de la implementación de diseño ACI de mezcla de concreto.

Para esta actividad se utilizarán: equipo de cómputo, cañonera y equipo de audio (micrófonos, bocinas, etc.). También se dará a conocer la proyección con y sin proyecto de los primeros cinco años al implementar el diseño de mezcla de concreto.

Actividad 4. Reunión con el personal involucrado.

Al tener la autorización de la propuesta se realizará una reunión con todo el personal de los Departamentos del Concreto y Control de Calidad para darles a conocer las actividades que se llevarán a cabo en la propuesta de creación de diseño ACI de mezcla de concreto convencional (4000 PSI), con el objetivo de contar con la participación del equipo de trabajo y dimensionar las metas establecidas, ya que cada integrante tendrá un rol y desempeño importante dentro del proceso. También se contará con la presencia de los supervisores por parte de la empresa.

Actividad 5. Reconocimiento de las áreas de trabajo

Será de suma importancia realizar un recorrido dentro de las instalaciones para determinar físicamente las áreas a utilizar. Se delimitará el área para realizar los muestreos y ensayos correspondientes.

Como también se deberá establecer el área para almacenar los agregados provenientes de banco La Campana por tipo (agregado fino y agregado grueso) y por su tamaño (por granulometría), en este proceso se tomará en cuenta dejar una parte de agregados bajo techo y el resto a la intemperie para conocer las características y comportamiento ante los factores climatológicos.

Actividad 6. Contratación de personal técnico-profesional.

Dentro de la empresa se cuenta con el Departamento de Control de Calidad el cual en la actualidad no se da a vasto por cubrir a los diferentes proyectos que se tienen, pues estos proyectos no se encuentran cerca de las instalaciones en donde se elabora la producción de concreto.

Se prevé que a futuro también se tendrán más proyectos dentro de la empresa, lo que hará que se haga necesario contratar personal capacitado que cumplan con las características adecuadas para desempeñar las actividades que se requieren en los puestos, esto con el fin de velar y garantizar la calidad de la mezcla de concreto.

Actividad 7. Supervisión y entrega de informes

Se basará en la revisión de las normas establecidas para cumplir con los estándares de calidad en la producción, además se deberá gestionar, dirigir, controlar y planificar las actividades que conlleva la fabricación para tener la seguridad y certeza en el resultado final. Se establecerá un control en la planificación para examinar los productos por muestra, registrar los datos obtenidos y con ello elaborar los respectivos informes. Estos informes serán presentados a la junta directiva de la empresa.

Resultado 2: Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.

Trabajos preliminares:

Actividad 1. Selección y extracción de materiales:

Este será el primer paso necesario para la propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto, aquí se debe contemplar diversos requisitos que debe cumplir el cemento, agua y los agregados que son los elementos básicos del concreto, así como algunas consideraciones sobre aditivos químicos si fuese necesario modificar las

características del concreto. Los proveedores del cemento deben cumplir con las exigencias de calidad. En el caso de los agregados se les realizarán los ensayos de laboratorio correspondientes para determinar sus características y así obtener un concreto de calidad, económico y duradero.

En el banco de materiales La Campana se tendrá la disponibilidad del yacimiento pétreo, el proceso de extracción se realizará por trituración y manufactura de piedra caliza y lutitas. Se hace necesario resaltar que en este banco previamente se realizó la autorización para la extracción que se va a llevar a cabo, donde se incluyeron los planes de seguridad industrial, seguridad ocupacional, seguridad de contingencia entre otros para garantizar la sostenibilidad del área explotada.

Actividad 2. Pruebas de laboratorio a los agregados:

Se realizarán todas las pruebas necesarias basadas en la normativa ASTM con la finalidad de conocer las características de los materiales provenientes de banco La Campana. Para ello se contará con el apoyo del personal que pertenece al Departamento de Control de Calidad, en coordinación del operador de planta de concreto y Supervisión del jefe del Departamento del Concreto.

Actividad 3. Manejo y transporte de materia prima:

Esta actividad se refiere al manejo y transporte efectivo de toda la materia prima en el tiempo y tamaño requerido, en la mejor secuencia, posición, correcta condición y al menor costo, se utilizará el mejor método para transportar la cantidad correcta al lugar adecuado por medio de controles de acarreo.

También se llevará un estricto control tanto en el banco de materiales como el lugar de almacenamiento para evitar la contaminación del material, esto quiere decir, que tanto la maquinaria que se encuentra en el banco de materiales como la encargada de transportar los agregados, estarán obligados a lavar, antes de cargar, el cucharón del

cargador frontal, como la palangana del camión articulado y de volteo, de lo contrario se rechazará.

De igual forma se realizará con el cemento a granel, la pipa estará obligada a pasar a báscula para conocer su peso total, por medio de controles de cemento se llevará el conteo para conocer la disponibilidad que se tendrá de este material para la producción de cada día. Se tendrá un estricto control para la verificación de su contenido, si la pipa no cuenta con los marchamos de seguridad será rechazado.

Actividad 4. Almacenamiento:

Se establecerá un lugar estratégico para la colocación del material para realizar el abastecimiento constante de las tolvas de la planta de concreto, de tal manera que el cargador frontal, quien será el encargado de dicho abastecimiento no tenga obstáculos para su circulación dentro del área de trabajo.

Se debe realizar una limpieza periódica del silo de cemento a granel para evitar la generación de grumos, lo cual podría afectar en la calidad del concreto.

Trabajo de gabinete

Actividad 5. Diseño de mezcla:

El Departamento del Concreto tendrá la responsabilidad de realizarán los cálculos y operaciones para el diseño ACI con la finalidad de obtener los valores para las proporciones de los materiales en la elaboración del concreto, esto se llevará a cabo en base a los resultados que se obtengan de las pruebas y ensayos de laboratorio realizadas bajo la normativa ASTM que proporcionará el Departamento de Control de Calidad.

Al tener el diseño se realizará una reunión técnica con la junta directiva para dar a conocer los resultados obtenidos.

Trabajo de campo:

Actividad 6. Elaboración del concreto:

Se contará con el apoyo del personal involucrado en la planta de concreto.

Al operador de planta se le darán las nuevas proporciones de los materiales obtenidas en el diseño ACI de mezcla de concreto.

La dosificación de la mezcla y carga del material será de manera automatizada, se ingresará el dato del peso que se necesita cargar en los cubos de los camiones mezcladores y se controlará el proceso de mezclado, por ello se contará con la presencia de los técnicos laboratoristas del Departamento de Control de Calidad.

Se llevará un control de producción por medio de vales, los cuales se registrarán para conocer la cantidad producida por día y el consumo de cada material, para realizar a finales de cada mes un informe técnico donde se detalle la producción realizada versus el consumo de los materiales y así obtener con ello los costos finales que llevo dicha producción.

Actividad 7. Transporte y entrega:

Esta actividad es de suma importancia porque juega un papel importante en la calidad del concreto, esto quiere decir, que todo depende del cuidado que se tenga con el mezclado y el tiempo transcurrido, así será la calidad con la que se entregue el concreto en la obra.

Actividad 8. Control de calidad del concreto estado fresco y endurecido (ensayos de laboratorio):

Se contará con el apoyo de dos técnicos laboratoristas como mínimo para realizar el muestreo y ensayos en planta y en obra.

En la planta se deberán realizar el muestreo de concreto fresco y endurecido, dentro de los ensayos necesarios que se deben hacer está el de revenimiento, contenido de

aire y elaboración de especímenes de para conocer la resistencia, tanto en planta como en obra para los ensayos de resistencia se debe de realizar por cada cliente cuatro especímenes en planta y tres en obra, estas probetas deberán ser ensayadas periódicamente cada 3, 7, 14 y 28 días. El Departamento de Control de Calidad deberá entregar los resultados obtenidos de los ensayos a compresión al jefe del Departamento del Concreto quien será el encargado de realizar el informe correspondiente.

Esta fase se hará con el fin de verificar que el concreto cumpla con la resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Resultado 3: Se cuenta con el programa de capacitación con el personal involucrado. La capacitación es un proceso educativo de carácter estratégico, implementado de forma organizada y sistematizado, a través del cual el personal adquiere y desarrolla nuevos conocimientos y habilidades relativas sobre un determinado tema de interés.

Por ello se contará con un programa de capacitación para los empleados de la empresa en el tema de concreto para darles a conocer una nueva alternativa de diseño ACI de mezcla de concreto para la producción de este, con la finalidad de reducir los costos al momento de elaborar el producto final.

El programa de capacitación se realizará en diferentes etapas las cuales se detallan a continuación:

Actividad 1. Organización:

Se designa al personal de los Departamento del Concreto y Control de Calidad que tendrán a cargo la responsabilidad de impartir las charlas y temas en estudio, deben utilizar estrategias y actividad para que la capacitacion sea dinámica para acaparar la atención del público, se incluirán ensayos de laboratorios que ayuden a acelerar el

aprendizaje, también se debe preparar los materiales, dispositivos electrónicos y disponer de un lugar o área adecuada para llevar a cabo la actividad. Se contará con un listado de temas que se impartirán por cada sesión que conforma el programa de capacitación.

Actividad 2. Convocatoria:

En empresa Corporación San Francisco a través de la oficina de Recursos Humanos RRHH, hará la cordial invitación a sus trabajadores a formar parte de la capacitación que se llevará a cabo, el cual está dirigido a jefe y operarios de Planta de concreto de los diferentes proyectos, encargados y maestros de obras.

Actividad 3. Duración de la capacitación.

La actividad se llevará a cabo en 5 sesiones las cuales se impartirán una vez por semana, en horarios de 14:00 a 17:00 hrs. Con una duración total de 15 horas.

Actividad 4. Actividades:

Dentro de las actividades a realizar se pueden mencionar las siguientes:

Prácticas de pruebas de laboratorio requeridas por las normas ASTM

- a. Ensayos de laboratorio.
- b. Procedimiento, dosificación y diseño de mezcla de concreto convencional (4000 PSI).
- c. Cuestionarios que se realizarán al finalizar en cada sesión del programa de capacitación.

Anexo 2. Matriz de la estructura lógica

También llamado Evaluación Ex Post, es un instrumento que sirve para evaluar el cumplimiento de los objetivos de la propuesta, después de desarrollarla

COMPONENTES	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	COOPERANTES
<p>Objetivo general: Disminuir el riesgo de pérdidas financieras de empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.</p>	<p>Al cuarto año después de la implementación de la propuesta de creación de diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) se disminuye el riesgo de pérdidas financieras en un 67%.</p>	<p>Informes financieros de la empresa. Informe de consumos. Informe de producción anterior con la actual. Estadística de producción. Entrevista.</p>	<p>El jefe del Departamento de Costos y supervisores contribuyen con la verificación de la reducción de costos en los materiales.</p>
<p>Objetivo específico: Reducir costos de agregados que cumplen con las normativas ASTM en empresa Corporación San Francisco, Cobán, Alta Verapaz.</p>	<p>En el primer semestre del segundo año después de la implementación de la propuesta de creación de diseño para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) se reducen los</p>	<p>Estados de resultados. Informe de consumos. Informes de producción anterior con el actual. Estadísticas de producción. Entrevistas</p>	<p>El jefe del Departamento de Costos y supervisores contribuyen con la verificación de la reducción de costos en los materiales.</p>

	costos de agregados en un 45%.		
Resultado 1. Se cuenta con la unidad ejecutora “Departamento del Concreto”.			
Resultado 2. Propuesta de creación de diseño ACI para mezcla de concreto convencional (4000 PSI) elaborada con agregados de Banco La Campana que cumplan con las normativas ASTM.			
Resultado 3. Se cuenta con el programa de capacitación con el personal involucrado.			