

Análisis y evaluación de Hormigones elaborados con “Agua Gris”, obtenidos de la Planta San Eduardo de Holcim Ecuador S.A, en base a los diseños del Hospital del IESS – Los Ceibos, Guayaquil.

Ing. Jorge José Arroyo Orozco, MSc^{1,5}, Kiabeth Nicol Peñafiel Escudero², Lcda. Johanna Graciela Briones Franco MSc^{3,6}, Ing. Tito Arturo Vera Sari⁴

^{1,2,3,4} Universidad de Guayaquil, Ecuador, ¹jorge.arroyoo@ug.edu.ec, ²kiabeth.penafiele@ug.edu.ec, ³johanna.brionesf@ug.edu.ec
^{5,6}Universidad Nacional de Tumbes, Perú, ⁵jarrooy@untumbes.edu.pe, ⁶jbrionesf@untumbes.edu.pe

Resumen– El siguiente documento proporciona un análisis comparativo entre un hormigón fabricado con agua gris, proveniente del lavado de los mixers del Centro Técnico del Hormigón y la Planta de Hormigones San Eduardo de Holcim S.A y, un hormigón convencional., basado en los diseños del nuevo hospital de IESS- Los Ceibos, Guayaquil, utilizando muestras diseñadas con agua 100% potable y porcentajes variados de Agua Reciclada.

Para este análisis se realizaron probetas de 5mm x 5mm con “Agua Gris” con 60% AAPP - 40% Agua Gris, 65% AAPP – 35% Agua Gris y 70% AAPP – 30% Agua Gris, los resultados obtenidos fueron evaluados de acuerdo a las especificaciones detalladas en la norma NTE INEN 1855. Este análisis promueve la optimización del reciclaje de concreto dentro de una estrategia integral de desarrollo sostenible.

Palabras clave: Concreto, Agua Gris, Hormigón Reciclado, Recicladora.

Abstract- The following paper provides a comparative analysis between a concrete manufactured with gray water, from the washing of the mixers of the Technical Center of Concrete and the Concrete Plant San Eduardo de Holcim SA and a conventional concrete, based on the designs of the new hospital of IESS- Los Ceibos, Guayaquil, using samples designed with 100% potable water and varied percentages of recycled water.

For this analysis, 5mm x 5mm probes were made with "Grey Water" with 60% AAPP - 40% Grey Water, 65% AAPP - 35% Grey Water and 70% AAPP - 30% Grey Water, the results obtained were evaluated according to the specifications detailed in the NTE INEN 1855 standard. This analysis promotes the optimization of concrete recycling within an integral strategy of sustainable development.

Keywords: Concrete, Grey Water, Recycled Concrete, Recycler

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material que se encuentra en todas partes, después del agua, es el segundo material más consumido en el mundo. Las propiedades del concreto son únicas y su recuperación suele ubicarse en medio de las definiciones estándar de reutilización y reciclaje. [1]

Este análisis proporciona una perspectiva general y un resumen de prácticas actuales en reciclaje de concreto. Además,

promueve la optimización del reciclaje de concreto dentro de una estrategia integral de desarrollo sostenible. [2]

Para llevar a cabo este análisis técnico se valorará la información obtenida del Centro Técnico del Hormigón localizado en la Planta San Eduardo de Holcim Ecuador S.A.

Los datos a analizar fueron obtenidos de los diseños que se aplicaron en las columnas y vigas de la planta baja del Nuevo Hospital del IESS – Los Ceibos, Guayaquil.

El objetivo primordial de este análisis es promocionar una apreciación positiva sobre el reciclaje actual del hormigón, elaborando diseños con material reciclado obtenidos de la Planta San Eduardo de Holcim Ecuador S.A.

Se denomina hormigón a la mezcla homogénea de áridos finos. Áridos grueso, agua y cemento en proporciones adecuadas para su óptimo fraguado y endurecimiento (Fig. 1).

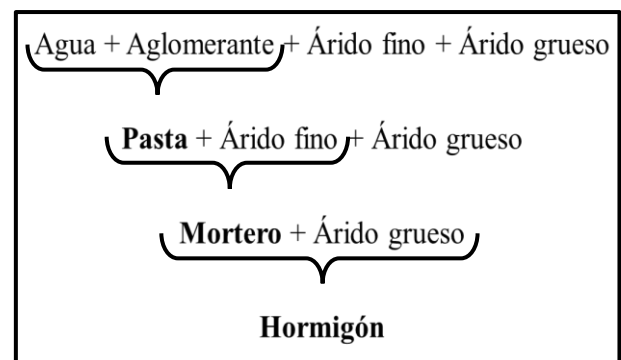


Fig. 1. Esquema descriptivo de la composición del hormigón.

Fuente: Propia.

Existen diferentes tipos de hormigón, entre los cuales tenemos hormigón armado, hormigón de masa, hormigón prefabricado, hormigones especiales y hormigón reciclado.

El *hormigón reciclado*, es aquel que está constituido por material reciclado. Materiales como áridos procedentes de estructuras que se someten a procesos de cribado, machaqueo y tratamiento para ser parte del nuevo hormigón y agua procedente de la limpieza del hormigón sobrante de los *mixers*.

A. Análisis Comparativo.

Las dosis del hormigón utilizando áridos relavados y reciclados pretende establecer cantidades óptimas de cemento, agua, áridos naturales, áridos reciclados y aditivos que permitan obtener una trabajabilidad determinada del hormigón en estado fresco; así como, un valor estipulado de su resistencia de compresión, a una edad definida una vez este se haya endurecido.

Para que el hormigón reciclado fabricado asegure una buena calidad es importante tener un control exhaustivo de la densidad, absorción y humedad del árido reciclado.

Las propiedades de los hormigones fabricados con áridos reciclados se ven afectados negativamente a medida que aumenta el porcentaje del árido sustituido. Este no suele sobrepasar el 50% de sustitución del árido grueso cuando se pretende emplear el hormigón con fines estructurales. [2]

B. Análisis de Laboratorio para Uso de Agua Reciclada en Hormigón.

Para la fabricación del hormigón, puede ser usada cualquier agua bajo análisis. En la elaboración y curado del hormigón el agua a emplear no debe contener productos que ataquen o alteren sus características mecánicas.

Tomando en cuenta la Norma NTE INEN 1855: 5.1.1.3 literal "b", el análisis químico del agua que proviene de las operaciones de lavado será opcional; tomando como requisito lo expresado en el criterio de aceptación de aguas dudosas de la misma norma. [3]

C. Relación Agua-Cemento.

Debido a la mayor absorción que los áridos reciclados presentan, la cantidad de agua de amasado en la fabricación de hormigón con dichos áridos incrementa. Estos incrementos se encuentran entre el 5% y el 10% de volumen del agua total.

Al aumentar la cantidad de agua, la cantidad de cemento aumentará en la misma proporción para que la relación agua-cemento permanezca inmutable. [4]

E. Marco Referencial.

Los diseños a tomar como referencia son elaborados en la planta San Eduardo, mismos que se preparan con agua reciclada almacenada en reservorios.

Cierta cantidad de metros cúbicos de mezcla son llevados en camiones mezcladores hacia las obras. Sin embargo, no toda la cantidad será distribuida por la cual se retorna a la planta la mezcla sobrante dentro *mixer* la cual es desocupada en el proceso de lavado del camión y el sobrante se recicla.

F. Marco Legal.

Para los Hormigones Premezclados NTE INEN 1855, se establece una Norma Técnica para las especificaciones de su fabricación; la calidad de los hormigones se establece en esta norma o es especificada por parte del usuario. [1][3]

El agua que se usa en la mezcla debe cumplir con la NTE INEN 1108; a falta de agua potable, esta debe reunir las siguientes condiciones:

- a) El agua debe ser clara y de aspecto limpio, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que son perjudiciales para el hormigón o para el acero de refuerzo. El agua cuya calidad sea cuestionable debe estar sujeta a criterios de aceptación de la tabla detallada a continuación.

TABLA I
CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE AGUAS DUDOSAS
FUENTE: [3]

Ensayos	Límites	Métodos de Ensayos
Resistencia a la compresión, % mínimo de control a 7 días.	90	INEN 488
Tiempo de fraguado, desviación del testigo h: min.	Desde 1:00 antes, hasta 1:30 después.	INEN 158

La comparación se hace con dos mezclas elaboradas con proporciones fijas y con el mismo volumen de agua; una con el agua sometida a ensayo y la otra utilizando agua potable o agua destilada.

- b) De acuerdo a la Norma NTE INEN 1855-1: Hormigones. Hormigón Premezclado. Requisitos, el agua proveniente de operaciones de lavado de los *mixeres* podrá ser utilizada para hormigón siempre que esta cumpla con los límites indicados en la tabla I. Los límites químicos de la tabla siguiente, pueden ser especificados por el usuario cuando sean apropiados para la construcción.

TABLA II
LÍMITES QUÍMICOS OPCIONALES PARA AGUA DE LAVADO
FUENTE: [3]

	Límites	Métodos de Ensayos(a)
Requisitos químicos, concentración máxima en el agua de mezclado, (ppm). (b)		
Cloruro como Cl, (ppm).		ASTM D 512
Hormigón pretensado o en losas de puentes, (ppm).	500(c)	
Otros hormigones armados en ambientes húmedos o contenido embebido, ppm. aluminio, o construidos con encofrados metálicos galvanizados perdidos, (ppm).	1000(c)	
Sulfato como SO ₄ , (ppm).	3000	ASTM D 516
Álcalis como Na ₂ O+0,658 K ₂ O, (ppm).	600	AASHTO T26
Sólidos totales, ppm	50000	

(a) Se pueden usar otros métodos de ensayo que hayan demostrado que los resultados obtenidos son comparables.

(b) El agua de lavado reutilizada como agua de mezcla, eventualmente, puede exceder las concentraciones fijadas de cloruro y sulfato siempre que se pueda demostrar que las concentraciones calculadas en el agua total de mezclado, incluyendo el agua libre de los áridos y otras fuentes, no excedan los límites establecidos.

(c) Para condiciones que permitan el uso de cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, la limitación de este se puede obviar por parte del usuario.

G. Marco Ambiental.

Según la Legislación Ambiental Secundaria vigente en el Ecuador, el aprovechamiento de residuos no peligrosos es el conjunto de acciones o procesos asociados que, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, se procura dar valor a los desechos y/o residuos reincorporando los materiales recuperados a un nuevo ciclo económico y productivo en forma eficiente. El reciclaje es una previa separación y clasificación de residuos sólidos, desechos peligrosos y especiales; se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación para fabricar nuevos productos. [1][6]

Se puede elaborar hormigones sustentables con las mismas presentaciones de hormigones tradicionales, brindando así soluciones para una construcción sostenible, con mayor durabilidad, impacto ambiental mínimo, poca generación de sobrantes, con materiales reciclado y cementos con pequeñas emisiones de CO₂ y poca utilización de recursos no renovables en la fabricación. [1]

Varias plantas de hormigón cuentan con recuperadoras de agua y áridos, que reducen la explotación y el consumo de recursos naturales no renovables donde se utilizan agregados provenientes de hormigones sobrantes de obras, evitando que estos se conviertan en residuos. El agua proveniente del lavado de áridos, de los *mixeres* es reutilizada. Los aditivos de alto poder reductor de agua son utilizados adicionalmente para la elaboración de hormigones de alta resistencia lo cual permite reducir el contenido del cemento.

Un recurso natural escaso es el agua, lo que implementa una gestión orientada a su uso racional y a su preservación. Las plantas de hormigón requieren de notables volúmenes de agua en distintas fases de su producción. En el 2015 Holcim logró captar 3293 m³ de agua lluvia, usando en la elaboración de cementos un 23.5% de agua reciclada. [7]

II. METODOLOGÍA

El análisis propuesto cuenta con colaboración del Centro Técnico del Hormigón y Planta de Hormigones San Eduardo de Holcim Ecuador S.A. ubicado en Guayaquil, Ecuador.

Para este análisis, la metodología se basará en información obtenida de los Diseños de Hormigón elaborado para la construcción de las estructuras del Nuevo Hospital del IESS – Guayaquil. Considerando las Normas para Hormigón Premezclado, se elaborarán probetas de Hormigón que contengan agua proveniente de los sedimentadores, para poder realizar las comparaciones de las resistencias obtenidas de ambos diseños.

A. Sostenibilidad del Cemento.

El concreto está compuesto de agregados gruesos como: arena y grava, y agregados finos como: arena, cemento y agua. (Fig.2). Agregados que son hechos a partir de concreto reciclado pueden reemplazar los agregados naturales. El concreto se puede reciclar a partir de:

- Concreto fresco/húmedo que es devuelto en los camiones mezcladores.

- Desechos de producción en factorías de prefabricados.
- Residuos de demoliciones y construcciones.

Para este análisis el concreto reciclado que se tomará en consideración parte del concreto fresco/húmedo que es devuelto en los camiones mezcladores.

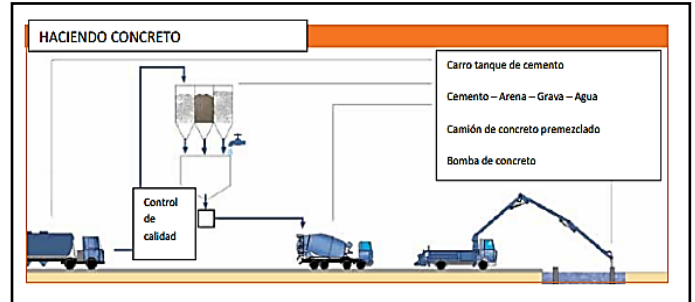


Fig. 2 Elaboración, transporte y bombeo de concreto.

Fuente: [1]

Para el reciclaje del concreto seco y duro el método más común es el cribado y trituración. Con frecuencia clasificadores móviles son instalados en los sitios de construcción para efectuar el procedimiento in-situ. En situaciones diferentes, se establecen lugares específicos de procesamiento, como se muestra en la Fig.3, capaces de producir por lo general, agregados de mejor calidad.

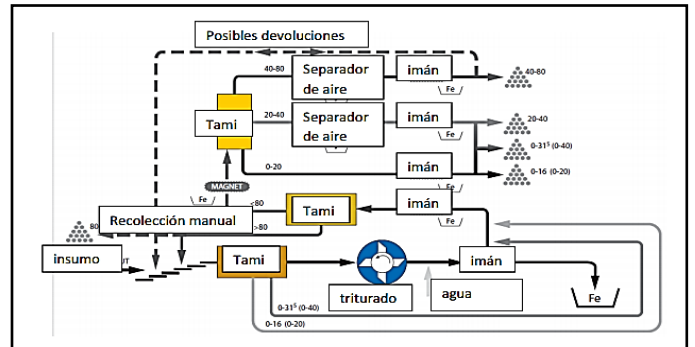


Fig. 3 Diagrama de reciclaje de RCD tomado de una compañía danesa de reciclaje.

Fuente: [1]

La devolución del concreto, como se muestra en la Fig. 4, es la parte de la mezcla lista de concreto que se devuelve a la planta en los *mixeres* como material sobrante. Se puede tratar de pequeñas cantidades en el fondo del tambor de la mezcladora o cantidades más significativas que no fueron utilizadas en el sitio de construcción. La cantidad de concreto desechado que se genera por los *mixeres* por lo general representa entre el 0.4% y 0.5% de la producción, esto de acuerdo al reporte de la Planta de Hormigón San Eduardo; sin embargo, en temporadas altas, cuando se aumenta la demanda, este desecho puede alcanzar entre el 5% y 9% de la producción.

El concreto, una vez preparado debe ser utilizado lo más pronto posible. Los *mixeres* lo mantienen plástico por un limitado tiempo.

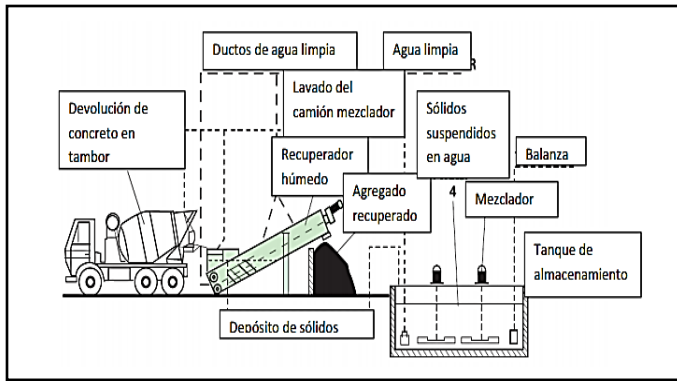


Fig. 4 Procesos de Devolución de Hormigón.
Fuente: [1]

B. Sistema de Reciclado de hormigón.

La estación de Proceso 1 (Fig. 5), es designada al lavado de la totalidad del hormigón residual, para conseguir preparar la arena y los áridos (libres de cemento) que puedan ser recuperados y reutilizados posteriormente en la producción. El agua enlodada de cemento y el hormigón residual provienen de 3 tipos:

1. El hormigón sobrante que retorna en los *mixers*.
2. El agua que proviene del lavado de los *mixers*.
3. El agua de lavado y hormigón residual que proviene de la planta de hormigón.



Fig. 5 Estación de Lavado.
Fuente: Planta de Hormigón Holcim Ecuador S.A.

El agua que se obtiene del lavado de los *mixers* y el hormigón residual se introduce en la maquina por medio de una tolva alimentadora. Dos cámaras de lavado forman parte del sistema: el pre lavado y el súper lavado. Mediante un control automático, el agua limpia proveniente de balsas y/o decantada es introducida en la maquina donde se separa en fracciones de arena, grava y lodo de cemento. El lavado tiene una precisión que llega a separar la arena de hasta 0.2mm de granulometría. Debido a que el agua es lo que más se utiliza y además lo que pretendemos reciclar, en un primer momento se decanta a la estación de proceso 2 y la arena y áridos son transportados al

exterior de la maquina mediante un tornillo sinfín especial, como se muestra en las Fig. 6, Fig.7 y Fig. 8.



Fig. 6 Sistema Reciclador.
Fuente: Planta de Hormigón San Eduardo/Holcim S.A.

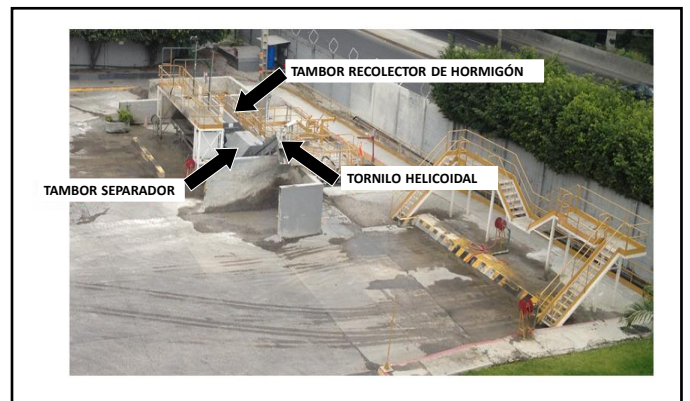


Fig. 7 Tambores y Tornillo Helicoidal.
Fuente: Planta de Hormigón San Eduardo/Holcim S.A.

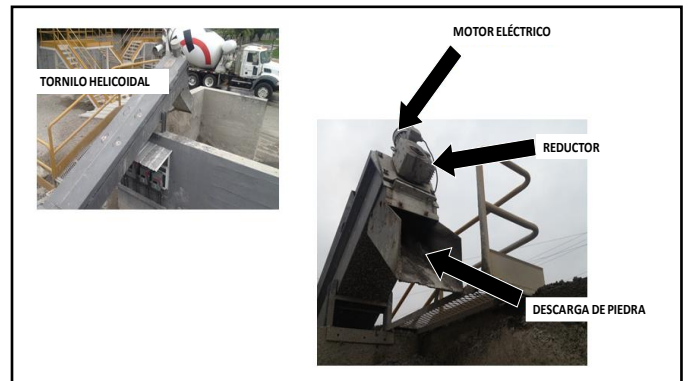


Fig. 8 Motor de Sistema Reciclador.
Fuente: Planta de Hormigón San Eduardo/Holcim S.A.

Un agitador diseñado para mantener los finos del lodo (agua con cemento) en suspensión permanente, es soportado sobre unas vigas metálicas que se encuentra sobre la reserva de agua, para prevenir que se precipiten y se apelmacen lo que produciría que la reserva se convierta en un barrizal. Se

aconseja que la intermitencia del agitador sea de 1 minuto cada 5 minutos.

El agua es bombeada fuera de la reserva mediante un tubo que llega a la báscula de la planta de hormigón; con una densidad máxima de 1.5 kg/l y finos inferiores a 0.2mm es utilizada para producir nuevo hormigón, como se observa en las Fig. 9 y Fig. 10.

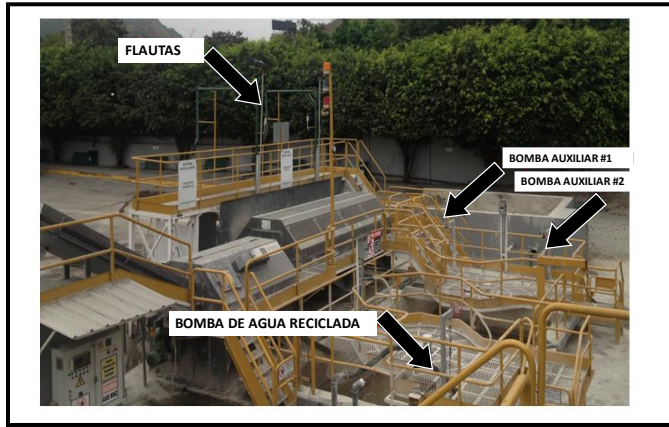


Fig. 9 Sistema de Bombas.

Fuente: Planta de Hormigón San Eduardo/Holcim S.A



Fig. 10 Tambor de Descarga de Hormigón.

Fuente: Planta de Hormigón San Eduardo/Holcim S.A

El agua de la balsa recicladora se recicla por completo, se utiliza en la producción de hormigón como en la limpieza de los mixers.

C. Referencia Método Constructivo del Hospital del IESS – Guayaquil.

Las estructuras del Hospital del IESS – Guayaquil se fundieron con un hormigón de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ de edad temprana a los 3 días, con un revenimiento de 20cm; este hormigón fue elaborado con agua 100% potable.

La resistencia adquirida del hormigón como resultado los 3 días fue de $f'c=225,4 \text{ kg/cm}^2$, se estima que la resistencia a los 28 días llegó a $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$.

D. Toma de Muestra de Agua Reciclado o Agua Gris.

Los reservorios que contienen agua residual procedente de los tambores del mixer, transportan el agua hasta el laboratorio del Centro Técnico del Hormigón.

En el laboratorio se realizan pruebas de manera trimestral, se debe considerar que, dentro de este literal, los límites químicos son opcionales; pueden ser especificados por el usuario cuando sean apropiados para la construcción, esto de acuerdo a la NTE INEN 1855: 5.1.1.3 literal “b”.

E. Determinación de la Consistencia Normal. Método de Vicat.

La determinación de la consistencia está basada en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la varilla del aparato de Vicat en un tiempo que es normalizado. [8]

La cantidad de agua requerida para una aproximación de 0,1% y reportar una aproximación de 0,5% de la masa de cemento seco se muestra a continuación. “(1)”

$$C(\%) = \frac{m_a}{m_c} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

C= Consistencia normal (%).

m_a = Masa del agua (g).

m_c = Masa del cemento (g).

El equipo para determinar la consistencia normal, mediante el método de Vicat consta de:

- Masa de referencia y balanza.
- Probetas graduadas.
- Aparato de Vicat (Fig 11).
- Anillo.
- Espátula plana.

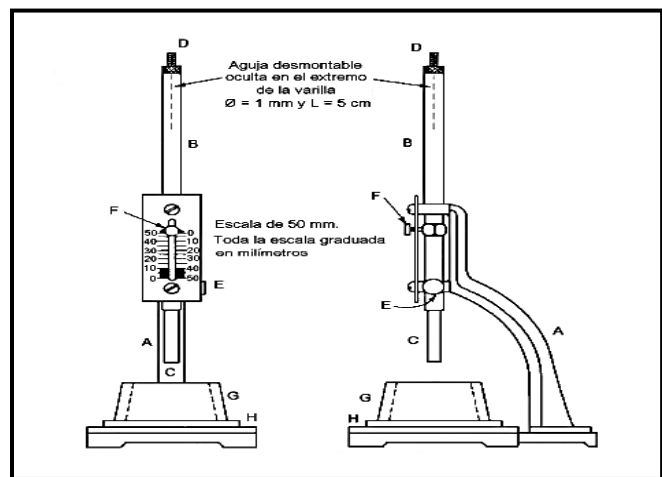


Fig. 11 Aparato de Vicat.

Fuente: [8]

TABLA III
REQUISITOS PARA EL APARATO DE VICAT
FUENTE: [8]

Masa de la varilla desmontable	300g ± 0,5g
Diámetro del extremo de penetración de la varilla	10mm ± 0,05mm
Diámetro de la aguja	1mm ± 0,05mm
Diámetro interior del anillo en la base	70mm ± 3mm
Diámetro interior del anillo en la parte superior	60mm ± 3mm
Altura del anillo	40mm ± 1mm
Escala graduada	La escala graduada, en comparación con una escala normalizada que tenga una precisión de 0,1mm en todos los puntos, no mostrará una desviación mayor que 0,25 mm en cualquier punto.

F. Determinación del Tiempo de Fraguado. Método de Vicat.

La determinación de los tiempos de fraguado Vicat se realiza en pasta de cemento hidráulico de consistencia normal, de acuerdo a la preparación detallada en la NTE INEN 157, las que se mantienen en un cuarto de curado donde inicia el proceso de fraguado. El tiempo de fraguado inicial Vicat, es el tiempo que transcurre entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la aguja no deja una impresión circular completa en la superficie de la pasta "(2)". [9]

$$\left\{ \left[\frac{(H-E)}{(C-D)} \right] x (C - 25) \right\} + E \quad (2)$$

Donde:

E= tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25mm.

H= tiempo en minutos de la primera penetración menor que 25mm.

C= lectura de penetración al tiempo E, y

D= lectura de penetración al tiempo.

El equipo para determinar el tiempo de fraguado, mediante el método de Vicat consta de:

- Aparato de Vicat.
- Balanzas y masas para pesar.
- Vasos graduados.
- Plato plano no absorbente, cuadrado, de 100mm.
- Espátula plana.
- Anillo cónico.
- Mezclador, tazón y paleta.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Desarrollo de Resistencia del Hormigón a Compresión $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ a edades tempranas, elaborados con cilindros de AAPP 100%.

TABLA IV
DISEÑO DE HORMIGÓN $F'c=240 \text{ KG/CM}^2$
FUENTE: [2]

Materiales		Pesos S.S.S x m3	
		Kg	
Cemento	Cemento HE	450,00	
Piedra 2	No. 78	930,00	
Arena 1	Arena Rio	653,00	
Arena 2	Arena Trit	160,00	
Agua	AAPP	165,00	
Aditivo		%	Kg
Sika 200-R (retardante)		0,45	2,03
Sika 4100 Plant (plastificante)		0,85	3,83
Sika 4100 Obra		0,45	2,03
Relacion a/c		0,37	

TABLA V
DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN $F'c=240 \text{ KG/CM}^2$
FUENTE: [2]

Materiales	Pesos S.S.S x m3 Kg	Condiciones de los Materiales		Pesos secos x m3 Kg	Pesos reales x m3 Kg	Batch 22 lt Kg
		% Absorción	% Humedad			
Cemento HE	450,00	---	---	450,00	450,00	9,90
No. 78	930,00	2,25	0,40	909,54	913,17	20,09
Arena Rio	653,00	2,28	4,95	638,44	670,05	14,74
Arena Trit	160,00	2,46	1,00	156,16	157,72	3,47
Agua	165,00	---	---	203,86	167,06	3,68

TABLA VI
DOSIFICACIÓN MATERIALES HORMIGÓN $F'c=240 \text{ KG/CM}^2$
FUENTE: [2]

Materiales	Pesos S.S.S x m3 Kg	Batch S.S.S Kg
Cemento HE	450,00	9,90
No. 78	930,00	20,46
Arena Rio	653,00	14,37
Arena Trit	160,00	3,52
Agua	165,00	3,63

Se analizaron 8 muestras de 8 series de hormigones con 100% AA. PP, de las cuales se considerará la muestra serie A1 – A8, la cual demostró una Resistencia de 50MPa a los 7 días, siendo esta la resistencia más alta de las muestras analizadas. Los valores de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia de la muestra se detallan en el anexo Tabla X.

Esta serie arroja una resistencia a edad temprana que se muestra en la Fig. 12.

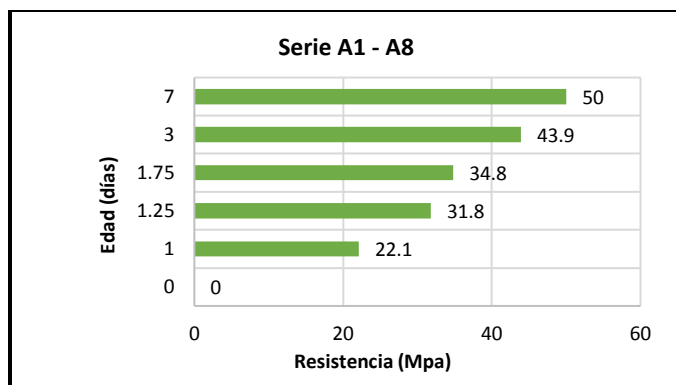


Fig. 12 Diagrama de Resultados Serie A.
Fuente: [2]

B. Desarrollo de Resistencia del Hormigón a Compresión $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a edades tempranas, elaborados con cilindros de AAPP 60% y Agua Gris 40%

Para la determinación de la resistencia del hormigón a compresión elaborado con 60% Agua Potable y 40% Agua Gris se utilizaron los diseños de hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$, la dosificación de Hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ y la dosificación de los materiales de hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$, detallados en las Tablas IV, V y VI respectivamente.

Se analizaron 8 muestras de 8 series de hormigones con 60% AA. PP y 40% Agua Gris, de las cuales se considerará la muestra serie I1 – I8, la cual demostró una Resistencia de 49,35 MPa a los 7 días, siendo esta la resistencia más baja de las 8 muestras analizadas, los valores de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia de la muestra se detallan en el anexo Tabla XI.

Esta serie nos arroja una resistencia a edad temprana que se muestra en la Fig. 13

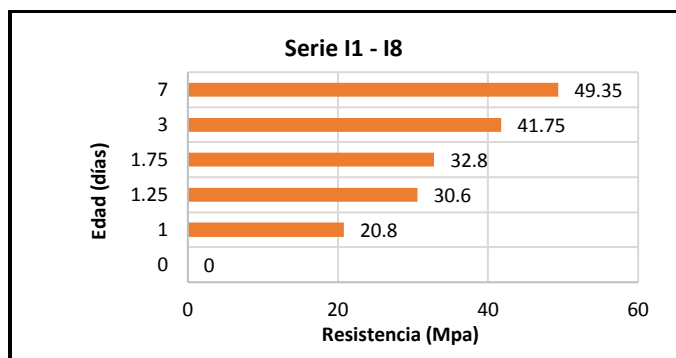


Fig. 13 Diagrama de Resultados Serie I.
Fuente: [2]

C. Verificación de Criterios de Aceptación de Agua de acuerdo a la NTE INEN 1855. Hormigón Premezclado. Requisitos.

De acuerdo al NTE INEN 488, los ensayos se realizaron en cubos de 50 mm de arista. Los resultados pueden ser utilizados para determinar el cumplimiento con las especificaciones normadas en la NTE INEN 1855. [10]

D. Ensayo #1: Cubos de 50mm x 50mm de arista, Hormigón A.A.P.P 60% y Agua Gris 40%.

La determinación de la resistencia a la compresión con 60% AA. PP y 40% Agua Gris se detallan en el anexo Tabla XII. El criterio de aceptación para esta muestra dice que debe ser mínimo el 90% de resistencia a la compresión a los 7 días con respecto al patrón A.A.P.P

Los resultados obtenidos arrojan que con 60% A.A.P.P y 40% Agua Gris, se llega a un valor de 109,43% de resistencia a la compresión a los 7 días, concluyendo que la muestra analizada si cumple con los criterios de aceptación.

La determinación de tiempo de fraguado con 60% AA. PP y 40% Agua Gris se muestra en la siguiente tabla.

TABLA VII
DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO 60% A.A.P.P.40% AGUA GRIS
FUENTE: [2]

Fraguado patrón A.A.P.P.			Fraguado 40% Agua Reciclada + 60% A.A.P.P.		
Hora de mezcla: 9:20am			Hora de mezcla: 10:02am		
Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración	Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración
11:56	156	34	11:57	144	38
12:16	176	25	12:24	158	25
12:40	200	1	13:10	200	1
19:00	580	0	19:00	521	0
E=	156	min	E=	144	min
H=	176	min	H=	156	min
C=	34	min	C=	38	min
D=	25	min	D=	25	min
Tiempo de fraguado inicial:		176 min	Tiempo de fraguado inicial:		156 min
Tiempo de fraguado final:		580 min	Tiempo de fraguado final:		521 min

El criterio de aceptación de desviación con respecto al patrón debe ser desde 1:00 hora hasta 1:30 horas después. La muestra analizada arroja una diferencia de 20 minutos antes del fraguado inicial y 59 minutos antes del fraguado final. Cumpliendo así con los requisitos establecidos en la norma.

E. Ensayo #2: Cubos de 50mm x 50mm de arista, Hormigón A.A.P.P 65% y Agua Gris 35%.

La determinación de la resistencia a la compresión con 65% A.A. P.P. y 35% Agua Gris se detallan en el anexo Tabla XIII. El criterio de aceptación para esta muestra dice que debe ser mínimo el 90% de resistencia a la compresión a los 7 días con respecto del patrón A.A.P.P.

Los resultados obtenidos arrojan que con 65% A.A.P.P y 35% Agua Gris, se llega a un valor de 102,40% de resistencia a la compresión a los 7 días, concluyendo que la muestra analizada si cumple con los criterios de aceptación.

La determinación de tiempo de fraguado con 65% A.A. P.P. y 35% Agua Gris se muestra en la siguiente tabla.

TABLA VIII
DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO 65% A.A.P.P.35% AGUA GRIS
FUENTE: [2]

Fraguado patrón A.A.P.P.			Fraguado 35% Agua Reciclada + 65% A.A.P.P.		
Hora de mezcla: 9:22am			Hora de mezcla: 9:36am		
Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración	Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración
12:02	160	36	12:03	147	37
12:32	190	25	12:35	179	25
13:24	242	1	13:24	228	1
19:00	578	0	18:44	562	0
E=	160	min	E=	147	min
H=	190	min	H=	179	min
C=	36	min	C=	37	min
D=	25	min	D=	25	min
Tiempo de fraguado inicial:	190 min		Tiempo de fraguado inicial:	179 min	
Tiempo de fraguado final:	578 min		Tiempo de fraguado final:	562 min	

La muestra analizada arroja una diferencia de 11 minutos antes del fraguado inicial y 16 minutos antes del fraguado final, cumpliendo así con los requisitos establecidos en la norma.

F. Ensayo #3: Cubos de 50mm x 50mm de arista, Hormigón A.A.P.P 70% y Agua Gris 30%.

La determinación de la resistencia a la compresión con 70% A.A. P.P. y 30% Agua Gris se detallan en el anexo Tabla XIV. El criterio de aceptación para esta muestra dice que debe ser mínimo el 90% de resistencia a la compresión a los 7 días con respecto al patrón A.A.P.P

Los resultados obtenidos arrojan que con 70% A.A.P.P y 30% Agua Gris, se llega a un valor de 95% de resistencia a la compresión a los 7 días. Concluyendo que la muestra analizada si cumple con los criterios de aceptación.

La determinación de tiempo de fraguado con 70% A.A. P.P. y 30% Agua Gris se muestra en la siguiente tabla.

TABLA IX
DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO 70% A.A.P.P-30% AGUA GRIS
FUENTE: [2]

Fraguado patrón A.A.P.P.			Fraguado 30% Agua Reciclada + 70% A.A.P.P.		
Hora de mezcla: 9:15am			Hora de mezcla: 9:30am		
Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración	Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración
11:42	147	30	11:32	122	30
11:52	157	25	12:40	130	25
12:26	191	1	12:07	157	1
18:30	555	0	18:02	527	0
E=	147	min	E=	122	min
H=	157	min	H=	130	min
C=	30	min	C=	30	min
D=	25	min	D=	25	min
Tiempo de fraguado inicial:	157 min		Tiempo de fraguado inicial:	130 min	
Tiempo de fraguado final:	555 min		Tiempo de fraguado final:	527 min	

La muestra analizada arroja una diferencia de 27 minutos antes del fraguado inicial y 28 minutos antes del fraguado final. Cumpliendo así con los requisitos establecidos en la norma.

IV. CONCLUSIONES

Después de analizar y evaluar los resultados de los ensayos realizados con los cilindros de hormigón, podemos concluir que, las muestras elaboradas con 60% A.A.P.P y 40% Agua Gris cumplen con los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 1855. La serie I1-I8 arroja una resistencia a los 7 días de 493,5 kg/cm² (Fig.14) siendo este valor el 98,7% de la resistencia del cilindro elaborado con 100% A.A.P.P., el mismo que demostró una resistencia a los 7 días de 500 kg/cm². Del análisis de los cubos de 50mm de arista hechos con diferentes porcentajes de Agua Gris, se llega a la conclusión de que las muestras ensayadas cumplen con los criterios de aceptación estipulados en la norma NTE INEN 1855. La muestra elaborada en el ensayo #1: 60% A.A.P.P. y 40% Agua Gris llega a una resistencia a la compresión a los 7 días más elevada de las tres muestras ensayadas siendo esta un 109,43% (ver TABLA VII) en comparación a la muestra patrón utilizada para este ensayo. Esta evaluación nos lleva a la conclusión de que sí se puede usar Agua Gris para la elaboración de hormigones siempre y cuando este pase por un análisis previo. Con el uso del hormigón reciclado se fomenta la investigación en este campo, ya que se involucra la parte técnica con la ambiental, siendo este un instrumento para fomentar el reciclaje. Se debe fomentar la investigación de nuevas técnicas para la recuperación y aplicación del hormigón reciclado. Los productores de cemento y la Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento (CSI) apoyan a las iniciativas que apunten a cumplir con la meta del objetivo “cero desechos de concreto en vertederos”.

REFERENCIAS

- [1] Cement Sustainability Initiative., (2009). Mitos y Verdades sobre el Reciclaje del Cemento).
- [2] Vera, T., (2017). Análisis comparativo entre un hormigón convencional vs. Hormigón elaborado con material reciclado procedente de los residuos de los camiones mezcladores bajo la norma NTE INEN 1855 aplicado a columnas y vigas del nuevo hospital del IESS – Guayaquil. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- [3] Instituto Ecuatoriano de Normalización., (2001). NTE INEN 1855: Hormigones. Hormigón Premezclado. Requisitos. Ecuador
- [4] Navarro, A., (2014). Uso y fomento del árido reciclado en hormigón estructural como oportunidad de mejora medioambiental y económica. Aplicación a la comunidad autónoma de la Rioja. Universidad de la Rioja, Logroño, España.
- [5] ASTM C618., (2015) Especificación Normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para uso de Concreto.
- [6] Ministerio del Ambiente., (2015). Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio de ambiente. Ecuador.
- [7] Holcim Ecuador S.A., (2015) Reporte de desarrollo sostenible 2015 de Holcim Ecuador S.A. Ecuador.
- [8] Instituto Ecuatoriano de Normalización., (2009). NTE INEN 157: Cemento Hidráulico. Determinación de la consistencia normal. método de Vicat.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización., (2009). NTE INEN 158: Cemento Hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. método de Vicat.
- [10] Instituto Ecuatoriano de Normalización., (2009). NTE INEN 488: Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.

ANEXOS

TABLA X
RESULTADOS MUESTRA A1-A8
FUENTE: [2]

N° Muestra	Fecha		Edad	Diámetro	Carga	Resistencia	Promedio		Obs.	Nota
	Moldeo	Ensayo	Días	Mm	Máxima kN	Mpa	Mpa	kg/cm2		
A-1	7- Nov	8- Nov	1	100	174,9	22,3	22,1	225,4	83% f'c	24 horas
A-2					171,9	21,9				
A-3	7- Nov	8- Nov	1	100	250	31,8	31,6	324,4	120% f'c	30 horas
A-4	7- Nov	9- Nov	2	100	273,6	34,8	34,8	355	131% f'c	39 horas
A-5	7- Nov	10- Nov	3	100	348,9	44,4	43,9	447,8	166% f'c	72 horas
A-6					340,1	43,3				
A-7	7- Nov	14- Nov	7	100	394,4	50,2	50	500	189% f'c	168 horas
A-8					390,4	49,7				

TABLA XI
RESULTADOS MUESTRA I1-I8
FUENTE: [2]

N° Muestra	Fecha		Edad	Diámetro	Carga	Resistencia	Promedio		Obs.	Nota
	Moldeo	Ensayo	Días	Mm	Máxima kN	Mpa	Mpa	kg/cm2		
I-1	8- Nov	9- Nov	1	100	172,7	21,3	20,8	213,53	83% f'c	24 horas
I-2					170,3	20,2				
I-3	8- Nov	9- Nov	1	100	225	30,3	30,6	314,13	120% f'c	30 horas
I-4	8- Nov	10- Nov	2	100	265,4	32,8	32,8	336,72	131% f'c	39 horas
I-5	8- Nov	11- Nov	3	100	335,6	42,2	41,75	428,6	166% f'c	72 horas
I-6					328,3	41,3				
I-7	8- Nov	15- Nov	7	100	392,5	49,8	49,35	490,35	189% f'c	168 horas
I-8					389,6	48,9				

TABLA XII
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A.A.P.P. 60% - AGUA GRIS 40%
FUENTE: [2]

N°	Descripción	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Altura (mm)	Peso (gr)	Densidad (Kg/m3)	Carga Leída (KN)	Resistencia Individual (MPa)
A1	Patrón A.A- P. P Flujo 110	5- Dic	12- Dic	7	50,04	51,06	49,92	273,5	2144	85,7	33,53
A2					50,15	50,31	51,09	279,5	2168	82,6	32,73
A3					50,24	50,74	51,27	281,5	2154	84,7	33,21
Resistencia Promedio (Mpa)											33,16
B1	60% Agua Potable-40% A. Gris. Flujo 109	5- Dic	12- Dic	7	50,70	51,06	50,78	286,5	2179	93,6	36,14
B2					50,70	50,99	50,78	286,0	2179	95,0	36,75
B3					49,51	50,69	50,10	273,5	2175	90,2	35,96
Resistencia Promedio (Mpa)											36,28

TABLA XIII
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AA.PP 65% - AGUA GRIS 35%
FUENTE: [2]

N°	Descripción	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Densidad (Kg/m ³)	Carga Leída (KN)	Resistencia Individual (MPa)
C1	Patrón A.A.P.P. Flujo 113	7- Nov	14- Nov	7	51,02	51,25	51,26	290,4	2166	81,2	31,05
C2					50,85	51,24	50,92	291,2	2194	84,6	32,47
C3					50,23	51,24	51,20	288,3	2188	80,6	31,32
Resistencia Promedio (Mpa)											31,61

D1	35% A. Gris + 65% A. Potable 115	7- Nov	14- Nov	7	51,22	50,73	51,04	290,8	2192	84,2	32,40
D2					51,55	51,01	51,08	291,5	2170	85,8	32,63
D3					51,12	50,85	51,10	290,8	2189	83,4	32,08
Resistencia Promedio (Mpa)											32,37

TABLA XIV
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AA. PP 70% - AGUA GRIS 30%
FUENTE: [2]

N°	Descripción	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Altura (mm)	Peso (gr)	Densidad (Kg/m ³)	Carga Leída (KN)	Resistencia Individual (MPa)
E1	Patrón A.A-P. P Flujo 108	28- Nov	05- Dic	7	50,01	50,64	51,58	285,9	2189	81,2	32,06
E2					49,41	51,57	50,28	275,2	2148	81,8	32,10
E3					49,91	51,50	50,24	276,7	2143	80,0	31,12
Resistencia Promedio (Mpa)											31,76

F1	30% Agua Gris + 70% A.A.P.P. Flujo 115	28- Nov	05- Dic	7	50,88	51,69	49,99	283,6	2157	81,3	30,91
F2					50,92	51,78	50,44	285,3	2145	78,8	29,89
F3					50,87	51,35	51,33	290,2	2164	76,8	29,40
Resistencia Promedio (Mpa)											30,07