



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ADICIÓN DE MICRO-NANO BURBUJAS DE AIRE AL AGUA DE
AMASADO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
HORMIGÓN”**

AUTOR: Erick Rodrigo Tipantasig López

TUTOR: Ing. Alex Xavier Frías Torres Mg.

AMBATO – ECUADOR

Septiembre – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ADICIÓN DE MICRO-NANO BURBUJAS DE AIRE AL AGUA DE AMASADO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN”**, elaborado por el Sr. **Erick Rodrigo Tipantasig López**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 050430442-9, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad

Ambato, septiembre 2022



Ing. Alex Xavier Frías Torres Mg.
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Erick Rodrigo Tipantasig López**, con C.I. 050430442-9, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ADICIÓN DE MICRO-NANO BURBUJAS DE AIRE AL AGUA DE AMASADO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN”**, así como también los criterios, análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



Erick Rodrigo Tipantasig Lopez
C.I. 050430442-9
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, que haga de este Trabajo Experimental un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en líneas patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2022



Erick Rodrigo Tipantasig López

C.I. 050430442-9

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

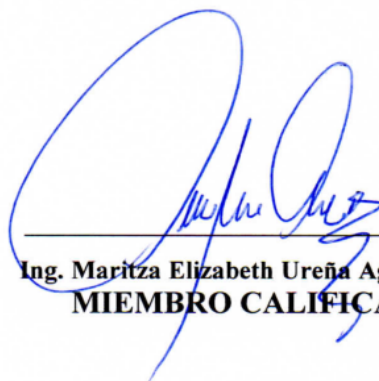
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Erick Rodrigo Tipantasig López de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ADICIÓN DE MICRO-NANO BURBUJAS DE AIRE AL AGUA DE AMASADO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN”**.

Ambato, septiembre de 2022

Para constancia firman:

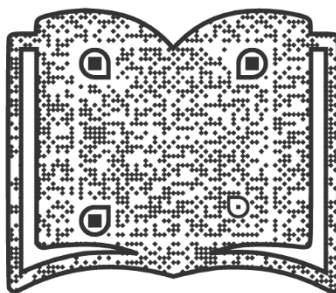


**Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR**



**Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre M.Sc.
MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA



A mis padres, Magali Herlinda López y Jorge Rodrigo Tipantasig de quienes estoy orgulloso de ser su hijo y a la vez son los motores que me impulsan a seguir adelante.

A mis hermanos, Magali Betzaide y Jorge Edu de quienes cada día aprendo a ser mejor hermano, mejor persona y mejor ser humano.

En honor y dicha de ustedes mi esfuerzo resumido en estas páginas que describen un sueño hecho realidad.

Erick Rodrigo Tipantasig López

AGRADECIMIENTOS

A Dios y al Príncipe San Miguel que nos han llenado de salud y vida para ver un sueño más cumplirse.

A mis padres, quienes con su esfuerzo, apoyo y palabras de aliento han recorrido junto a mí este camino desconocido y lúgubre que se llena de luz con su sola presencia.

A mis hermanos, quienes con sus palabras, acciones y gestos han motivado un andar firme y constante.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

B. CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación	3
1.1.3. Fundamentación Teórica	5
1.1.3.1. El hormigón	5
1.1.3.2. Los Agregados o Áridos	5
1.1.3.3. El Cemento	9
1.1.3.4. El Agua	10
1.1.3.5. Propiedades mecánicas del hormigón	13
1.1.3.6. Diseño de mezcla de hormigón (Dosificación)	15
1.1.4. Hipótesis	17

1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivo General.....	18
1.2.2. Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO II.....	19
METODOLOGÍA	19
2.1. Nivel de Investigación	19
2.2. Población y Muestra	20
2.2.1. Población	20
2.2.2. Muestra	20
2.3. Materiales y Equipos	20
2.3.1. Materiales	21
2.3.2. Equipos	21
2.4. Métodos	22
2.4.1. Plan de Recolección de Datos.....	22
2.4.2. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información	24
CAPÍTULO III.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1. Análisis y discusión de resultados	25
3.1.1. Análisis de determinación del material más fino que pasa el tamiz N° 200....	25
3.1.2. Análisis de determinación del material orgánico en el agregado fino para hormigón	26
3.1.3. Análisis granulométrico del agregado fino	27
3.1.4. Análisis granulométrico del agregado grueso	28
3.1.5. Determinación de densidad relativa y absorción del agregado fino	30
3.1.6. Determinación de densidad relativa y absorción del agregado grueso	31
3.1.7. Determinación del peso unitario para condición suelta y compactada	32
3.1.8. Determinación del peso unitario de la mezcla para condición compactada.....	33

3.1.9. Determinación de densidad del cemento.....	34
3.1.10. Enriquecimiento de agua potable con micro-nano burbujas de aire	35
3.1.11. Diseño de mezclas de hormigón	36
3.1.12. Resultados de las mezclas de prueba	37
3.1.13. Resultados de las mezclas experimentales.....	39
3.1.13.1. Resistencia a compresión simple	39
3.1.13.2. Resistencia a compresión diametral (Tracción Indirecta).....	41
CAPÍTULO IV	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
4.1. Conclusiones.....	42
4.2. Recomendaciones	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXO TABULACIÓN DE RESULTADOS	50
Anexo 1. Resultados ensayo material más fino que pasa el tamiz N° 200	50
Anexo 2. Resultados ensayo para la determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.....	51
Anexo 3. Resultados ensayo de análisis granulométrico del agregado fino	52
Anexo 4. Resultados ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.	53
Anexo 5. Resultados ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.	54
Anexo 6. Resultados ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.	55
Anexo 7. Resultados ensayo de densidad compactada y suelta del agregado fino y grueso.	56
Anexo 8. Resultados ensayo de densidad aparente compactada de la mezcla.....	57
Anexo 9. Resultados ensayo de densidad real del cemento.	58
Anexo 10. Resultados generación de micro-nano burbujas de aire.	59

Anexo 10. Resultados análisis de laboratorio de generación de micro-nano burbujas de aire.	60
Anexo 11. Dosificación para hormigón de resistencia 210 kg/cm ²	63
Anexo 12. Dosificación para hormigón de resistencia 280 kg/cm ²	64
Anexo 14. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de prueba de f 'c 210 kg/cm ²	65
Anexo 15. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de prueba de f 'c 280 kg/cm ²	66
Anexo 17. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de f 'c 210 kg/cm ² (sin incluir micro-nano burbujas).....	67
Anexo 18. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de f 'c 210 kg/cm ² (incluyendo micro-nano burbujas).	68
Anexo 19. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de f 'c 280 kg/cm ² (sin incluir micro-nano burbujas).....	69
Anexo 20. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de f 'c 280 kg/cm ² (incluyendo micro-nano burbujas).	70
Anexo 21. Resultados ensayo de compresión diametral para cilindros de f 'c 210 y 280 kg/cm ² (incluyendo y sin incluir micro-nano burbujas).....	71
ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gradación Finos	6
Tabla 2. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón.....	7
Tabla 3. Requisitos de gradación para áridos gruesos (Tamaño 56).....	8
Tabla 4. Tipos de Cemento Portland.....	9
Tabla 5. Requisitos físicos normalizados.....	10
Tabla 6. Requisitos físicos opcionales	10
Tabla 7. Parámetros de Aceptación para Agua Potable.	11
Tabla 8. Rangos aproximados de resistencia a tracción del concreto.	15
Tabla 9. Número de muestras ser elaboradas.....	20
Tabla 10. Reporte material más fino que pasa el tamiz N° 200.....	25
Tabla 11. Reporte material más fino que pasa el tamiz N° 200 (después del lavado).....	26
Tabla 12. Reporte determinación del material orgánico en el agregado fino	26
Tabla 13. Reporte granulometría (agregado fino).....	27
Tabla 14. Reporte granulometría (agregado grueso).....	29
Tabla 15. Reporte densidad relativa y capacidad de absorción (agregado fino).....	30
Tabla 16. Reporte densidad relativa y capacidad de absorción (agregado grueso) ...	31
Tabla 17. Reporte densidad suelta de los agregados.....	32
Tabla 18. Reporte densidad compactada de los agregados	32
Tabla 19. Reporte densidad de la mezcla para condición compactada	33
Tabla 20. Reporte densidad (cemento).....	34
Tabla 21. Reporte de generación de micro-nano burbujas.....	35
Tabla 22. Reporte dosificación ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)	36
Tabla 23. Reporte dosificación ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$)	37
Tabla 24. Características del agua a usarse en la mezcla de hormigón.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes comunes del Hormigón.....	5
Figura 2. Disposición de generador de Micro-Nano Burbujas	12
Figura 3. Efectos de la edad en la resistencia a compresión $f'c$	13
Figura 4. Efecto de la relación W/C en la resistencia del hormigón a los 28 días.....	16
Figura 5. Curva granulométrica (agregado fino).....	28
Figura 6. Curva granulométrica (agregado grueso)	29
Figura 7. Resumen resultado de ensayos de prueba.....	38
Figura 8. Resultado ensayo de prueba a compresión (210 kg/cm ²)	38
Figura 9. Resultado ensayo de prueba a compresión (280 kg/cm ²)	38
Figura 10. Contraste de resultados ensayo de prueba a compresión (210 kg/cm ²)....	39
Figura 11. Contraste de resultados ensayo de prueba a compresión (280 kg/cm ²)....	40
Figura 12. Contraste de resultados ensayo de prueba a tracción indirecta.....	41

RESUMEN

La industria en la actualidad se encuentra en desarrollo de aditivos que mejoren las propiedades del hormigón introduciendo hoy en día un segmento conocido como nano-aditivos los cuales funcionan alterando directamente las microestructuras que se generan en la mezcla de cemento, otorgando así diferentes propiedades tanto mecánicas como estéticas. El objetivo más importante es evaluar la influencia de adicionar micro-nano burbujas de aire al agua de amasado en las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido. Para lograrlo, se realizó un análisis en el laboratorio de los materiales usados, obteniendo sus propiedades físico-químicas y físico-mecánicas, según corresponda, para con ellas realizar el diseño de la mezcla del hormigón, luego usando una bomba multifase, se añadió micro-nano burbujas de aire al agua para luego mezclar junto con los materiales pétreos y cemento obteniendo un hormigón con menos trabajabilidad que aquel sin la adición de dichas nanopartículas, luego se elaboró probetas cilíndricas experimentales y de control que fueron ensayadas a distintas edades, a compresión simple y tracción indirecta.

Se obtuvo resultados que mostraron que la adición de micro-nano burbujas de aire al agua de amasado del hormigón nos aporta un incremento en las propiedades mecánicas de este compuesto en un porcentaje de 15.9 y 17.7 para resistencia a compresión simple y tracción, respectivamente. Con lo cual se llegó a la conclusión de que, al añadir este tipo de nanopartículas a la composición del hormigón, éste mejoró su comportamiento cuando fue sometido a esfuerzos de compresión y tracción.

PALABRAS CLAVE: Nanoaditivos, Nanopartículas, Micro-nano burbujas, Propiedades mecánicas, Tracción indirecta, Compresión simple.

ABSTRACT

The industry is currently developing additives that improve the properties of concrete, introducing today a segment known as nano-additives, which work by directly altering the microstructures that are generated in the cement mixture, thus granting different mechanical properties. as aesthetic. The most important objective is to evaluate the influence of adding micro-nano air bubbles to the mixing water on the mechanical properties of concrete in the hardened state. To achieve this, an analysis of the materials used was carried out in the laboratory, obtaining their physical-chemical and physical-mechanical properties, as appropriate, in order to design the concrete mixture with them, then using a multiphase pump, micro -nano bubbles of air to the water to then mix together with the stone materials and cement, obtaining a concrete with less workability than that without the addition of said nanoparticles, then experimental and control cylindrical specimens were made that were tested at different ages, in compression simple and indirect traction.

Results were obtained that showed that the addition of micro-nano air bubbles to the mixing water of the concrete gives us an increase in the mechanical properties of this compound in a percentage of 15.9 and 17.7 for resistance to simple compression and traction, respectively. With which it was concluded that, by adding this type of nanoparticles to the composition of the concrete, it improved its behavior when subjected to compressive and tensile stresses.

KEYWORDS: Nanoadditives, Nanoparticles, Micro-Nano bubbles, Mechanical properties, Indirect traction, Simple compression.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

Esta investigación es pertinente en el sentido que se ha tratado de mejorar el desempeño del hormigón añadiendo nuevos materiales a la mezcla o sustituyendo completa o parcialmente sus componentes típicos por otros innovadores como fibras naturales o artificiales, puzolanas o similares pero no hemos tratado de cambiar las propiedades de sus componentes ordinarios y eso es lo que se plantea hacer en el desarrollo de este proyecto y así poder generar evidencia experimental dentro de un mundo relativamente nuevo, ya que hoy en día aún se están construyendo las bases para el uso de micro y nano burbujas en el hormigón. Por ello se considera importante explotar esta línea investigativa y así entender mejor el comportamiento del hormigón elaborado con agua enriquecida de este nano material. Siguiendo el rumbo trazado por:

Sagravani Arefi y Naeeni Mozaffari en el año 2016 donde se enfocan en agregar micro-nano burbujas de aire al agua antes de ser mezclada con los demás agregados, estudiando propiedades importantes como la resistencia a compresión, tracción, tiempo de fraguado inicial y final y las variaciones de temperatura durante el fraguado. Donde sus conclusiones evidencian un aumento del 19% en la resistencia a compresión y de un 16% de la resistencia a tracción, además de una disminución notable en el tiempo y temperatura de fraguado en las muestras ensayadas de hormigón que contiene agua con micro-nano burbujas. [1]

Moein Khoshroo, Shirzadi Ali y Ketebic Ali en el año 2017 se enfocaron en los efectos del agua de micro-nanoburbujas y aditivos minerales binarios en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Donde concluyen que en las pruebas de resistencia a la tracción, compresión y resistencia eléctrica para una muestra compuesta de 10% de zeolita, 10% de puzolana y 100% de agua con micro-nano burbujas existe una mejora de un 18, 46 y 271% respectivamente. [2]

Hassani Mohammad, Torki Ali y otros en el año 2019 donde se enfocaron en el efecto del uso de agua con micro-nano burbujas sin agregar aditivos y agua normal en las propiedades mecánicas del mortero de cemento y muestras de concreto. Teniendo como resultados un incremento de la resistencia a la compresión del 6%, 18.3% y 16.3% a edades de 7, 28 y 90 días. [3]

Asadollahfardi Gholamreza, Monhsen Zadeh Pouriya y otros en el año 2019 se enfocaron en el efecto del uso de meta-caolín y agua con micro-nano burbujas en las propiedades del hormigón. Evidenciando un incremento en las resistencias a la compresión, tracción, resistividad y absorción de agua hasta del 13.2%, 19.64%, 164.7% y 66.95% respectivamente, en comparación con muestras de control a una edad de 28 días. [4]

Zhenghong Tian, Xinchun Jiao y Hanang Yang en el año 2020 se enfocaron en el estudio experimental de las propiedades del hormigón mezclado con nanoburbujas de agua. Concluyen que en las pruebas de resistencia a compresión existe un aumento de entre un 3 y 10% en la resistencia en comparación con muestras de control. [5]

Quienes han obtenido resultados alentadores manipulando las propiedades del hormigón incluyendo agua enriquecida de micro-nano burbujas de aire, componentes finos generalmente puzolanas u otros aditivos químicos, es por este motivo que resultará interesante analizar cómo influye solamente la adición de micro-nano burbujas de aire al agua de amasado del hormigón en sus propiedades mecánicas. Y para poder lograrlo se realizarán pruebas de compresión y tracción por compresión diametral (tracción indirecta) a una serie de probetas las cuales serán contrastadas con especímenes de control.

1.1.2. Justificación

El hormigón es uno de los materiales más usados en la construcción de todo tipo de obras civiles de infraestructura hechas por el hombre en Ecuador, Latinoamérica y el mundo.

Es tanta su popularidad que se estima que por cada persona en el mundo se produce más de 1 m³ al año, esto se debe a la facilidad de producir/obtener sus componentes y su fácil manipulación a temperatura ambiente. [6] Pero viéndolo desde el punto de vista de los recursos naturales resulta inimaginable la sustitución del hormigón por otro compuesto tomando en cuenta que el cemento es su principal componente. Esto genera gran preocupación por la cantidad de energía consumida, las emisiones de gases producidas y liberadas en el ambiente tras su producción que puede llegar a representar entre el 5 y 8% de la producción mundial de CO₂ artificial. [7] [2] Por tanto, la sustitución o la optimización del uso de sus componentes puede significar una solución a la constante presión de innovar en este campo.

La innovación es el efecto de incluir mejoras introduciendo algo nuevo, pero esto es relativamente complicado cuando se trata de materiales cementosos a menos que estén dirigidas a la mejora del rendimiento, convirtiéndose en procesos iterativos de adición y/o reemplazo de los diferentes elementos que lo componen. La industria actual trabaja para mejorar las propiedades del hormigón introduciendo aditivos en la mezcla, mejorando así diferentes cualidades del hormigón y a su vez incrementando su costo de producción y generando más desechos, siendo así que la industria de la nanotecnología propone la adición de nanoaditivos, alterando directamente las microestructuras que se crean en la mezcla cementicia, con la adición de nanotubos de carbono, nanoóxidos metálicos, incluso el empleo de nanotejidos mejorando las propiedades mecánicas del hormigón. [8] [9]

Uno de los materiales de la nanotecnología son las Micro-Nano Burbujas de Aire que se forman en medios acuosos donde alteran propiedades como el pH, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad eléctrica, entre otros. Pueden ser generadas de diferentes maneras, por ejemplo, usando tubos de cavitación [10], tubos Venturi [11] o bombas eléctricas [12]. Las microburbujas (MB) y las nanoburbujas (NB) son burbujas que

tienen diferentes tamaños para cada clasificación, estos van desde los 10 a 50 μm y $<200\text{ nm}$, respectivamente. [13] [14]

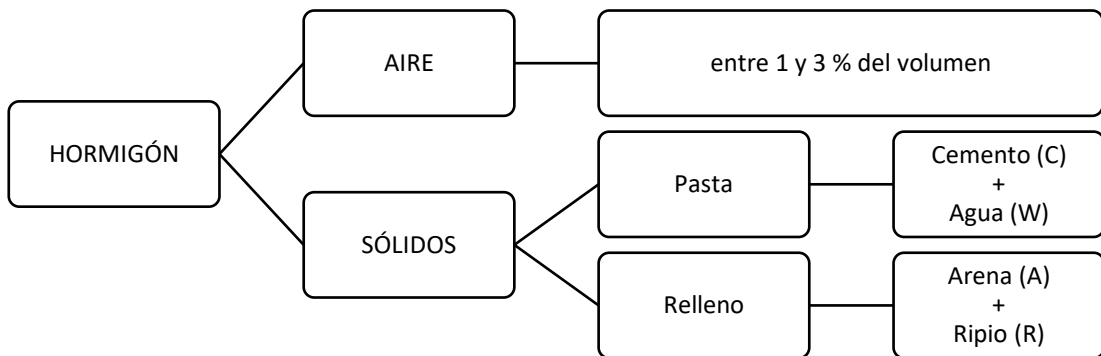
En diversos estudios realizados se ha observado que la adición de diferentes compuestos como el metakaolín o zeolita, acompañados con micro-nano burbujas ha significado un incremento de aproximadamente un 16 y 19% en las propiedades del hormigón en estado endurecido como resistencia a la compresión y tracción, respectivamente. [7] [4] [1] Además, se observa que no solo cambia las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido, sino que también lo hace cuando este aún se encuentra en estado fresco modificando, por ejemplo, su trabajabilidad. [15]

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. El hormigón

También suele ser llamado concreto, este compuesto originado de forma artificial con la mezcla de diferentes porciones de cemento, agua, arena y piedra (ripio) y en función de los requerimientos o por condiciones especiales de uso también, pudiera estar conformado por aditivos.

Figura 1. Componentes comunes del Hormigón.



Fuente: Erick Rodrigo Tipantasig Lopez.

1.1.3.2. Los Agregados o Áridos

Según [16], un árido será entendido como un material granular sea este: arena, grava, piedra triturada u otros similares, que combinados con un aglomerante se obtenga hormigón o mortero de cemento.

Estos son capaces de ocupar hasta las tres cuartas partes en volumen del hormigón, por esta razón es importante la adecuada selección de ellos, ya que si usamos áridos débiles esto puede repercutir en la resistencia del hormigón. [17]

Las funciones principales que los agregados cumplen en el hormigón son: reducir el costo de producción, bajando la cantidad de cemento usada; transferir sus propiedades de resistencia al hormigón y, la reducción de cambios volumétricos durante el proceso de fraguado. [17]

La arena

Según [18], el fino, árido fino o simplemente arena será de obtención natural, elaborada o una combinación de ellas. Entendiéndose por elaborada o fabricada a la arena resultante de procesos de trituración de rocas, gravas o demás expresados en [16].

Principalmente se denominará agregado fino o arena al agregado con tamaño menor a los 4.75 mm (Tamiz #4 o 4.75 mm de abertura) pero a su vez será mayor a los 75 μm (Tamiz #200 o 75 μm de abertura) [17]

Para que una arena sea admitida para ser usada como componente en la elaboración de hormigón, debe cumplir con los requisitos que se establecen en NTE INEN 872 [18]. Esta norma define las características que el agregado debe poseer para obtener un hormigón de buena calidad.

Gradación. – graduación o análisis granulométrico se utiliza para expresar la distribución de tamaño de las partículas del árido. Para que se considere una arena de buena calidad debe tener una gradación comprendida dentro de los límites expresados en la Tabla 1.

Tabla 1. Gradación Finos

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que Pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 10
2.36 mm	80 a 100
1.18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	5 a 30
150 μm	0 a 10

Fuente: NTE INEN 872

Además, menciona que su módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1. Se debe entender que el módulo de finura es la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de abertura 150 μm hasta 9.5 mm. [16] [18]

Sustancias perjudiciales. – no debe superar los límites expresados en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón.

Detalle	Porcentaje de la muestra total, en masa. Máximo
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3,0
Material más fino que 75 µm: Hormigón sujeto a abrasión	3,0 ^A
Todos los demás hormigones	5,0 ^A
Carbón y lignito: Donde es importante la apariencia superficial del hormigón	0,5
Todos los demás hormigones	1,0

^A En el caso de arena fabricada, si el material más fino que 75 µm consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquisto, se permite incrementar estos límites a 5% y 7%, respectivamente.

Fuente: NTE INEN 872

Además de lo expresado en la Tabla 2, el árido fino debe estar libre de impurezas orgánicas perjudiciales. Los áridos que hayan sido evaluados por el ensayo de impurezas orgánicas descrito en la NTE INEN 855 y que producen un color más oscuro que el color patrón no deben ser usados, excepto en los casos descritos en el apartado 5.1.3.1 de [18]

Densidad Relativa del Agregado. – también conocida como gravedad específica, esta es una característica que ayuda a conocer la porción que el agregado ocupa dentro de una mezcla. Una arena que posee una densidad aparente mayor a 2.60 gr/cm³ se considera de buena calidad para el hormigón, mientras que una que sea inferior a 2.30 gr/cm³ no se debería usar. Esta propiedad se debe determinar cumpliendo con el procedimiento descrito en NTE INEN 856.

Capacidad de Absorción del Agregado. – se refiere a la capacidad que tiene el agua en penetrar los poros de las partículas del agregado, no se tomará en cuenta el agua libre en la superficie externa de las partículas. Esta propiedad se expresa como un porcentaje de la masa seca. Esta propiedad se debe determinar cumpliendo con el procedimiento descrito en NTE INEN 856.

El ripio

Según [18], el grueso, árido grueso o simplemente ripio consistirá en grava, grava triturada, piedra triturada o una combinación de estos. Principalmente se denominará agregado grueso o ripio al agregado con tamaño mayor a los 4.75 mm (Tamiz #4 o 4.75 mm de abertura) [17]

Para que el ripio sea admitido para ser usado como componente en la elaboración de hormigón, debe cumplir con los requisitos que se establecen en NTE INEN 872 [18]. Esta norma define las características que el agregado debe poseer para obtener un hormigón de buena calidad.

Gradación. – graduación o análisis granulométrico se utiliza para expresar la distribución de tamaño de las partículas del árido. Para que se considere una grava de buena calidad debe tener una gradación comprendida dentro de los límites expresados en la Tabla 3.

Tabla 3. Requisitos de gradación para áridos gruesos (Tamaño 56)

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que Pasa
37.5 mm	100
25.0 mm	90 a 100
19.0 mm	40 a 85
12.5 mm	10 a 40
9.5 mm	0 a 15
4.75 mm	0 a 5

Fuente: NTE INEN 872

Sustancias perjudiciales. – no debe superar los límites expresados en la Tabla 3 detallada en NTE INEN 872.

Densidad Relativa del Agregado. – también conocida como gravedad específica, esta es una característica que ayuda a conocer la porción que el agregado ocupa dentro de una mezcla. Una grava que posee una densidad aparente mayor a 2.60 gr/cm³ se considera de buena calidad para el hormigón, mientras que una que sea inferior a 2.30 gr/cm³ no se debería usar. Esta propiedad se debe determinar cumpliendo con el procedimiento descrito en NTE INEN 856.

Capacidad de Absorción del Agregado. – se refiere a la capacidad que tiene el agua en penetrar los poros de las partículas del agregado, no se tomará en cuenta el agua libre en la superficie externa de las partículas. Esta propiedad se expresa como un porcentaje de la masa seca. Esta propiedad se debe determinar cumpliendo con el procedimiento descrito en NTE INEN 856.

1.1.3.3. El Cemento

El cemento Portland es un cemento hidráulico principalmente compuesto por silicato de calcio, que es capaz de fraguar y endurecerse por una reacción química desatada por la adición de agua. Esta reacción es llamada hidratación, al mezclar el cemento con agua obtenemos una masa llamada pasta que, al adicionarle un fino o arena obtendremos un mortero de cemento y al agregarle también grava o ripio obtendremos un compuesto llamado hormigón o concreto. La pasta de cemento actúa como un adhesivo uniendo los agregados formando así el compuesto deseado, sea un mortero o el concreto, siendo estos los materiales de construcción más usados en el mundo. [19]

En nuestro medio existe una clasificación del cemento de acuerdo con los requisitos específicos de desempeño como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de Cemento Portland.

Tipo	Uso
GU	Para construcción en general.
HE	Alta resistencia inicial.
MS	Moderada resistencia a los sulfatos.
HS	Alta resistencia a los sulfatos.
MH	Moderado calor de hidratación.
LH	Bajo calor de hidratación.

Fuente: NTE INEN 2380

Además [20], establece requisitos específicos que los fabricantes deben cumplir para garantizar el desempeño óptimo de cada Tipo de Cemento detallado en la Tabla 4.

Tabla 5. Requisitos físicos normalizados

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B Inicial, no menos de, minutos Inicial, no más de, minutos	INEN 158	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	c	c	c	c	c	c
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D 1 día 3 días 7 días 28 días	INEN 488	-- 13 20 28	12 24 -- --	-- 11 18 --	-- 11 18 25	-- 5 11 --	-- -- 11 21
Calor de hidratación 7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo 28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo	INEN 199	-- --	-- --	-- --	-- --	290 (70) --	250 (60) 290 (70)
Expansión en barra de mortero 14 días, % máximo	INEN 2 529	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E 6 meses, % máximo 1 año, % máximo	INEN 2 503	-- --	-- --	0,10 --	0,05 0,10	-- --	-- --

^A El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

^E En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Fuente: NTE INEN 2380

Tabla 6. Requisitos físicos opcionales

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Opción R. Baja reactividad con áridos reactivos álcali – sílice ^F . Expansión a: 14 días, % máximo 56 días, % máximo	INEN 867	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060
Falso fraguado, penetración final, % mínimo	INEN 875	50	50	50	50	50	50
Resistencia a la compresión, ^G 28 días, MPa, mínimo	INEN 488	--	--	28,0	--	22,0	--
Contracción por secado	INEN 1 508	-- ^G	-- ^G	-- ^G	-- ^G	-- ^G	-- ^G

^F No se debe solicitar el cumplimiento de este requisito a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

^G A pedido del comprador, se debe suministrar datos sobre la contracción por secado.

Fuente: NTE INEN 2380

1.1.3.4. El Agua

El agua es un componente vital y el de mayor cuidado dentro de la mezcla del concreto debido al importante papel que desempeña tanto como agua de amasado y de curado. Agua de amasado. – esta tiene una doble función principalmente participa en la reacción de hidratación con el cemento y, por otro lado, también contribuye con la

propiedad de trabajabilidad del hormigón. Se debe ser cuidadoso en este punto con el agua, es decir, limitarla lo máximo posible por el hecho que al tener un exceso de esta tiende a evaporarse y crear poros capilares cuya presencia disminuye la resistencia del concreto. [17] [21]

Agua de curado. – esta es la más importante en el proceso de elaboración del concreto durante la etapa de fraguado y el primer endurecimiento. Su principal función es la de evitar la retracción prematura y la desecación además de mejorar la hidratación del cemento. Es muy importante que el concreto se cure con abundante agua, pero esta al tener un contacto de mayor duración que el agua de amasado se corre riesgo en aportar sustancias no favorables para la salud de nuestro hormigón. [17] [21]

De acuerdo con NTE INEN 1855-1 [22] y NTE INEN 1855-2 [23] que rigen los requerimientos tanto para el hormigón premezclado como preparado en obra, sugieren que idealmente se use agua potable que cumpla con la normativa NTE INEN 1108 [24]. Por lo que se deberá cumplir con los requisitos mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de Aceptación para Agua Potable.

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01
¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos. * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰ Po, ²²⁴ Ra, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²³⁹ Pu ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰ Co, ⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ²¹⁰ Pb, ²²⁶ Ra		

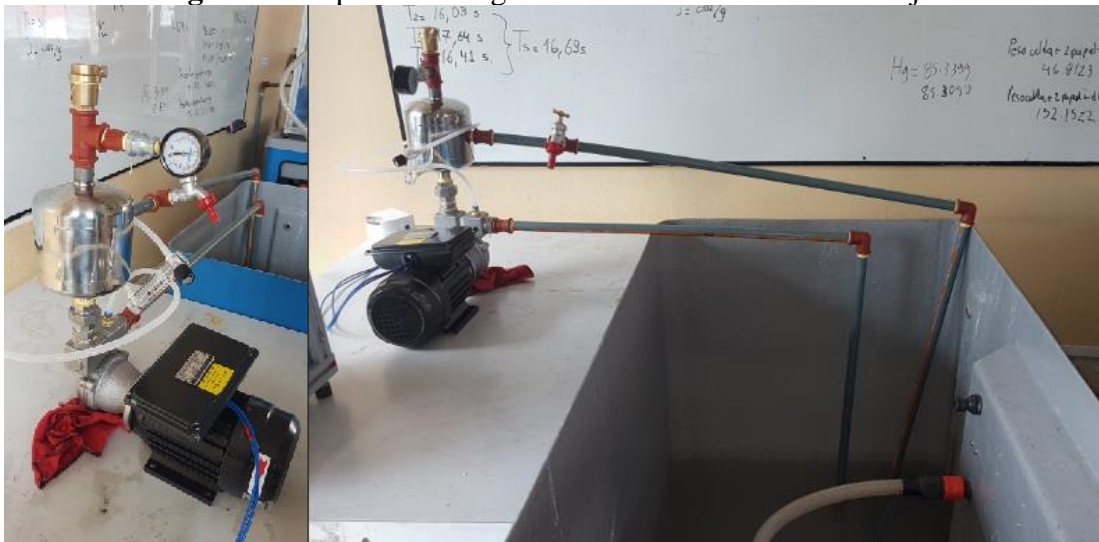
Fuente: NTE INEN 1108

A pesar de que las mismas normas NTE INEN 1855-1 y NTE INEN 1855-2 permiten el uso de agua no potable que reúnan características especificadas, se deberá preferir el uso de agua potable. [22] [23]

Proceso de adición de micro-nano burbujas en agua potable

El proceso de adición de micro-nano burbujas de aire en el agua viene compuesto por un sistema semicontinuo como se muestra en la Figura 2, el cual consta de una bomba multifase de 1 Hp a la que se conecta una tubería de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 1.65 m de longitud además de un conducto de 5 mm de diámetro seguido por un regulador de caudal de aire en la zona de succión, mientras que en la zona de descarga de la bomba se acopla un tanque de estabilización de 4.0 L, en una de sus salidas se conecta a una válvula de aire y un manómetro, en la otra se conecta la tubería de descarga al tanque principal de $\frac{1}{2}$ " diámetro y 1.85 m de longitud con una llave para toma rápida de muestras.

Figura 2. Disposición de generador de Micro-Nano Burbujas



Fuente: Erick Rodrigo Tipantasig López

El sistema de generación de micro-nano burbujas se hizo funcionar mediante la recirculación de 100 L de agua potable contenida en el tanque de reserva a un caudal de 500 L/h con un tiempo de permanencia del agua en el sistema hidráulico de 12 minutos y, la inyección de aire atmosférico directamente a la bomba mediante la presión de vacío generada por sí misma en la zona de succión con un flujo controlado

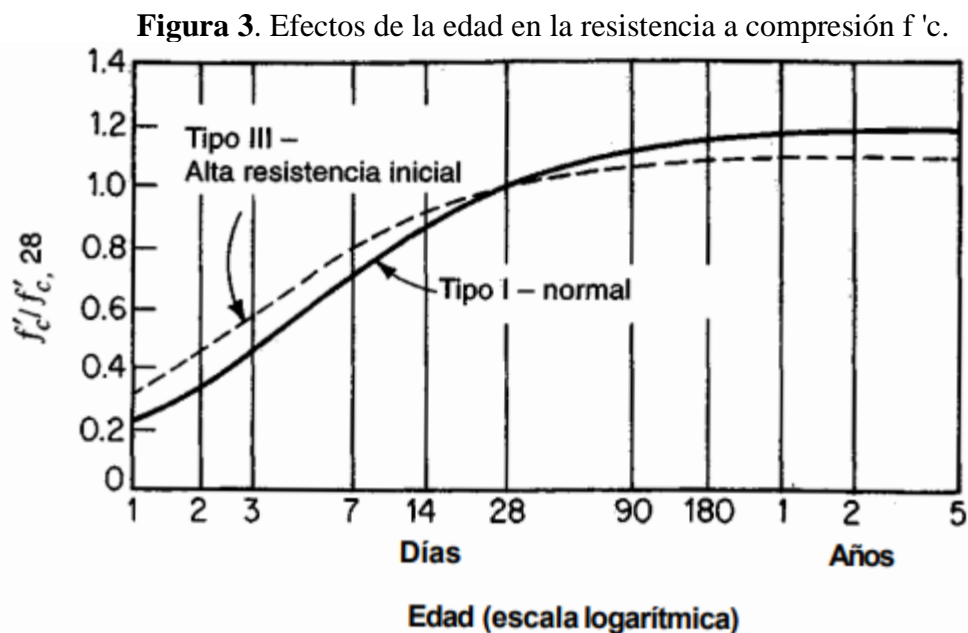
por un regulador de flujo de aire en un extremo, dando como resultado la mezcla de aire / líquido en los impulsores de la bomba a una presión de 4 bares.

1.1.3.5. Propiedades mecánicas del hormigón

Resistencia a compresión

La resistencia a compresión simple del concreto es su propiedad mecánica principal y la más importante, es por ella que es el material más usado en la industria de la construcción. A esta la podemos precisar como la relación entre la capacidad de soportar una carga paralela a su eje longitudinal por unidad de área del elemento estudiado, pudiendo expresarla sea en unidades del Sistema Internacional como MPa o Kg/cm² o en el Sistema Inglés como psi o ksi. [17]

El hormigón al ser un material que obtiene su resistencia por la hidratación del cemento tiene diferentes magnitudes de resistencia en función de su edad, es por esto que se ha determinado un período de tiempo en el que se considera que ha llegado a su resistencia máxima, surgiendo con esto el término f'_c que se refiere a una resistencia determinada del concreto en una edad dada, usualmente los 28 días, aunque en hormigones de alta resistencia puede referirse incluso a una edad de 7 días. [17] [25]



Fuente: Arthur H. Nilson

Es importante destacar que la resistencia del concreto está ligada a cada uno de sus componentes, por lo que debemos cuidar factores como la composición química del cemento, calidad de los agregados, condiciones ambientales de fabricación y curado, pero principalmente la relación agua – cemento (W/C) que cuanto más baja sea mayor será la resistencia del concreto fabricado y viceversa. Estos factores son muy importantes y cambiantes según la región de donde provengan los materiales o el lugar donde se lo fabrique, es por esto que la Figura 2 se presenta solamente de forma esquemática y no se deberá usar para predecir la resistencia de una mezcla de concreto.

Resistencia a la Tracción

Como se mencionó en el apartado anterior la principal característica mecánica del concreto es su resistencia a la compresión, pero este material también es capaz de resistir esfuerzos de tracción o tensión, aunque en menor medida que en compresión, volviéndose esta propiedad importante en ciertas ocasiones.

Determinar esta magnitud de una forma real en el concreto se ha vuelto complicado por las dificultades que el ensayo de tracción directa presenta, ya que una concentración de esfuerzo en las muescas o incluso el más mínimo desalineamiento de la probeta alterarían los resultados. Es así como han propuesto un método denominado tracción indirecta como una alternativa a la tracción directa, consiste en el uso de una probeta similar en características a una sometida a compresión simple con la diferencia que esta debe ser ensayada en forma horizontal tal como se describe en la NTE INEN 2648 [26] [25]

Para poder tener una idea rápida y aproximada de la resistencia a la tensión de un elemento de concreto se han generado tablas, como la presentada a continuación, que recogen datos experimentales en correlación con el módulo de resistencia a compresión del hormigón ($f'c$) o con su módulo de ruptura (f_r). [25]

Tabla 8. Rangos aproximados de resistencia a tracción del concreto.

	Concreto de peso normal (lb/pulg ²)	Concreto de peso liviano (lb/pulg ²)
Resistencia a la tensión directa f'_t	3 a 5 $\sqrt{f'_c}$	2 a 3 $\sqrt{f'_c}$
Resistencia a la tensión indirecta f_{ct}	6 a 8 $\sqrt{f'_c}$	4 a 6 $\sqrt{f'_c}$
Módulo de rotura f_r	8 a 12 $\sqrt{f'_c}$	6 a 8 $\sqrt{f'_c}$

Fuente: Arthur H. Nilson

Como se observa en la Tabla 8 la resistencia a tracción del concreto puede representar alrededor de entre el 5 y 10% de su resistencia a compresión. Además, que muestra que las resistencias de compresión y tracción no son proporcionales entre sí, lo que significa que cuando tengamos un aumento sustancial en la resistencia a compresión del concreto esta no representará más que un mínimo incremento en la resistencia a tracción. [25]

1.1.3.6. Diseño de mezcla de hormigón (Dosificación)

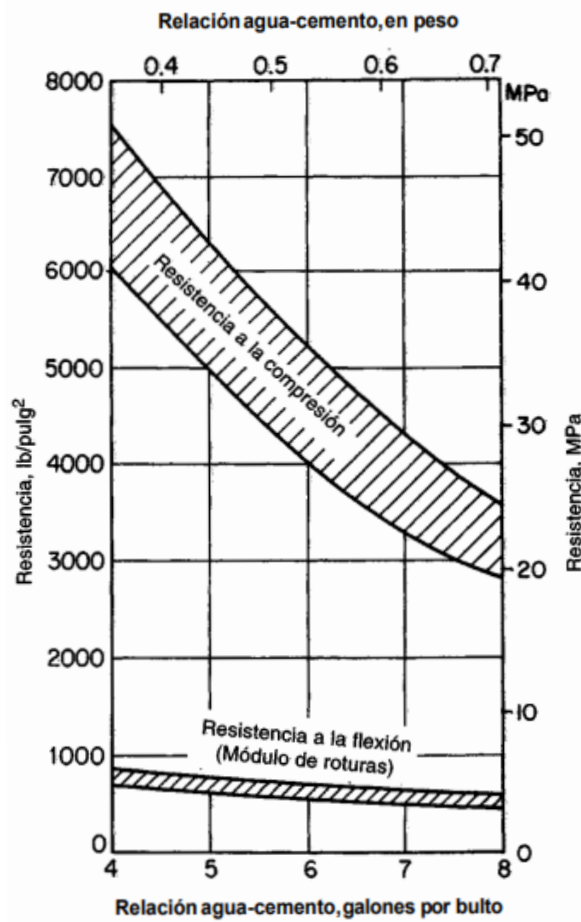
Se llama dosificación a las proporciones de agregados, agua y cemento que componen la mezcla de concreto. Existen diferentes formas o métodos de obtener estas proporciones, esto es llamado el diseño de la mezcla. En el diseño de la mezcla de hormigón el factor más importante a la hora de lograr la resistencia deseada y un ahorro en el costo del producto será la relación agua – cemento (W/C). Este factor, bajo costo, obliga a un uso menor del componente más costoso del concreto, es decir, el cemento, pero siempre cuidando la calidad de este y demás componentes.

Los agregados juegan también un papel muy importante dentro de la mezcla, mientras mejor sea su gradación, menor cantidad de pasta de cemento será necesaria para ocupar el volumen de vacíos, ya que estos son los encargados de llenar los vacíos de la mezcla tratando de reducirlos lo máximo posible y crear una masa compacta y uniforme. Complementando a todo esto está el agua, la cual es requerida tanto para hidratar la pasta de cemento como para hidratar los agregados. Mientras se agrega agua a la mezcla, propiedades del concreto como la plasticidad y fluidez aumentan, es decir, su trabajabilidad mejora, repercutiendo en la resistencia final del producto por los vacíos que deja ésta dentro de la estructura del hormigón. Para reducir este impacto que deja el aumento excesivo de agua se debe adicionar cemento recuperando la trabajabilidad

a un punto menos fluido y afectando a la relación agua – cemento (W/C). Desde la perspectiva de descrita la relación agua – cemento (W/C) es la más importante para garantizar la resistencia deseada de la mezcla de concreto.

En la Figura 3 se observa la influencia que tiene la relación agua – cemento (W/C) en la resistencia esperada del hormigón.

Figura 4. Efecto de la relación W/C en la resistencia del hormigón a los 28 días.



Fuente: Arthur H. Nilson

1.1.4. Hipótesis

Es la adición de micro-nano burbujas de aire al agua de amasado un factor que modifique las propiedades mecánicas del hormigón.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la adición de micro-nano burbujas de aire al agua de amasado en las propiedades mecánicas del hormigón.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Describir las propiedades de los agregados pétreos, tecnología de adición de micro-nano burbujas de aire al agua y normativa a cumplir.
- Diseñar la dosificación de la mezcla de hormigón para resistencia a la compresión a los 28 días de 21 y 28 MPa.
- Evaluar la resistencia del hormigón a compresión y tracción de muestras elaboradas con agua potable y con agua potable añadida micro-nano burbujas de aire.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Nivel de Investigación

Se considerará como niveles de investigación los que se detallan a continuación: exploratorio, experimental y, comparativo concluyente.

Nivel exploratorio. – Comprende el análisis en laboratorio de los materiales usados para la producción de probetas de hormigón, como son las propiedades físico – mecánicas de los materiales pétreos y las propiedades físico – químicas del agua usada tanto para las muestras patrón como para las modificadas (agua que contiene agua con micro – nano burbujas de aire).

Nivel experimental. – Este nivel de investigación estará compuesto por lo siguiente:

- a. Diseño experimental de la dosificación requerida para obtener un hormigón de 21 MPa y 28 MPa de resistencia a los 28 días de curado en las muestras patrón.
- b. Determinación de la concentración óptima de micro-nano burbujas de aire disueltas en agua potable según las pautas descritas en la información bibliográfica recopilada para el desarrollo de esta investigación.
- c. Elaboración de probetas patrón y modificadas de hormigón para ser curadas y ensayadas según los objetivos propuestos.

Nivel comparativo concluyente. – Comprende la comparativa de los resultados arrojados por los ensayos realizados a los especímenes de prueba y así poder establecer si la adición de agua con micro-nano burbujas de aire es capaz de modificar las propiedades mecánicas del hormigón.

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

Para el diseño de la dosificación del hormigón se realizarán doce (12) probetas para cada resistencia requerida con un total de veinte y cuatro (24) las que serán ensayadas a los 7, 14, 21 y 28 días de haber sido elaboradas. Si no se alcanza la resistencia de diseño requerida se realizarán las correcciones necesarias y se repetirá el proceso.

2.2.2. Muestra

El número de muestras a ser ensayadas para la fase de experimentación son las que se detallan a continuación, en la Tabla 9.

Tabla 9. Número de muestras ser elaboradas

Muestra	Resistencia f'c (kg/cm ²)	Muestras para ensayo de		Total
		Compresión	*Tracción Ind	
Diseño	210	12	-	12
	280	12	-	12
Control	210	12	3	15
	280	12	3	15
Con micro-nano burbujas	210	12	3	15
	280	12	3	15
Total		72	12	84

* las probetas elaboradas para el ensayo de compresión diametral o tracción indirecta serán cilindros de 15 cm de diámetro, 30 cm de altura y ensayados solamente a los 28 días de edad.

Fuente: Erick Rodrigo Tipantasig López

2.3. Materiales y Equipos

Se determinará las propiedades físico – mecánicas de los agregados y del cemento a ser usados, por medio de pruebas que recomienda la normativa nacional e internacional (NTE INEN y ASTM), para lo cual se usarán los equipos y materias descritos en las secciones siguientes.

2.3.1. Materiales

- Agua potable
- Árido fino y grueso (arena y ripio)
- Cemento hidráulico Tipo GU
- Gasolina
- Tubería de PVC

2.3.2. Equipos

- Balanza electrónica 6000 gr de capacidad
- Balanza mecánica 100 Kg de capacidad
- Bandeja metálica
- Banco hidráulico (Almacenamiento de agua)
- Bomba multifase generadora de micro-nano burbujas
- Brocha
- Calibrador pie de rey
- Cámara de curado
- Cámara fotográfica
- Canastilla
- Cepillo de acero
- Computador
- Concretera
- Cono de Abrams
- Embudo
- Equipo de protección personal
- Flexómetro
- Franela
- Horno eléctrico
- Juego de tamices para finos (#200, #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8")
- Juego de tamices para gruesos (#4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2")
- Manómetro 6 Bares
- Máquina de compresión
- Martillo de goma

- Moldes cilíndricos
- Pala
- Palustre
- Picnómetro
- Pipeta
- Probeta graduada
- Recipientes
- Sacos de lona
- Soportes para ensayos a tracción indirecta
- Tamizadora eléctrica
- Termómetro
- Tiras de rodamiento
- Válvula de aire
- Varilla lisa con punta redondeada

2.4. Métodos

2.4.1. Plan de Recolección de Datos

Para obtener un hormigón de buena calidad y minimizar errores se seguirá procedimientos especificados en la normativa nacional e internacional, siendo estas la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN) y la normativa de la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), por sus siglas en inglés, esta última solo será considerada solo en caso de no existir normativa local. Las actividades por desarrollarse serán en tres (3) fases: muestreo, ensayos de caracterización y diseño inicial de hormigón y, elaboración de especímenes para ensayo.

Muestreo

- Recolección de material (agregado fino y grueso) a ser usado, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-695.
- Traslado a la zona de almacenamiento.
- Disminución de muestra a tamaño para ensayo de laboratorio, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-2566.

- Cuantificación, etiquetado y almacenamiento de muestras a ser ensayadas.
- Procesamiento en laboratorio de materiales.

Ensayos de caracterización y diseño inicial de hormigón

- Secado en horno del agregado fino y grueso.
- Determinación del material fino que pasa el tamiz #200 o 0.75um, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-697.
- Determinación de material orgánico en el agregado fino para hormigón, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-855.
- Análisis granulométrico del agregado fino y grueso, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-696.
- Determinación de densidad relativa y absorción del agregado fino, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-856.
- Determinación de densidad relativa y absorción del agregado grueso, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-857.
- Determinación de peso unitario para condición suelta y compactada, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-858.
- Determinación de densidad real del cemento, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-156.
- Diseño de mezcla de hormigón para resistencia a la compresión a los 28 días de 21 MPa y 28 MPa, siguiendo el método de densidad óptima.
- Enriquecimiento de agua potable con micro-nano burbujas de aire, según lo que se detalla en la investigación de Etchepare Ramiro y otros en el año de 2017 [12].

Elaboración de especímenes para ensayo

Los procedimientos que se desarrollarán en esta sección están divididos en dos (2) fases: fase de prueba del diseño y fase de prueba experimental.

Fase de prueba del diseño.

(En esta sección se trabajará con todos los materiales a excepción del agua potable enriquecida con micro-nano burbujas de aire.)

- Muestreo de hormigón en estado fresco, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-1763.
- Prueba de asentamiento del hormigón en estado fresco, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-1578.
- Determinación de la resistencia a compresión simple de cilindros de hormigón curados por 7, 14, 21 y 28 días, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-1573.

Fase de prueba experimental

(En esta sección se trabajará con dos (2) tipos de mezclas. Las mezclas de Tipo A, denominadas (AP), contendrán agua potable, mientras que las mezclas de Tipo B, denominadas (AMNB), contendrán agua potable enriquecida con micro-nano burbujas de aire.)

- Muestreo de hormigón en estado fresco, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-1763.
- Prueba de asentamiento del hormigón en estado fresco, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-1578.
- Determinación de la resistencia a compresión simple de cilindros de hormigón curados por 7, 14, 21 y 28 días, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-1573.
- Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de cilindros de hormigón curados por 28 días, según el procedimiento detallado en la norma INEN NTE-2648.

2.4.2. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información

En esta etapa, los datos recopilados en las secciones anteriores se organizarán tanto por etiquetado (muestras físicas) como en hojas de cálculo y gráficos (de datos cualitativos y cuantitativos) para lograr un mejor entendimiento e interpretación de la información. Una vez recopilada toda la información se procederá a realizar cuadros de análisis y comparación de resultados según los objetivos planteados para el proyecto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Análisis de determinación del material más fino que pasa el tamiz N° 200

El análisis para determinar el material más fino que pasa por el tamiz N° 200 (75 μm) se realizó siguiendo la norma NTE INEN-697, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [27]

Tabla 10. Reporte material más fino que pasa el tamiz N° 200

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 697			
<i>MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200</i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
Ma	Masa seca inicial de la muestra	gr	295.86	298.65
Md	Masa seca de la muestra después del lavado	gr	268.54	269.89
M = Ma - Md	Diferencia del material antes y después de lavado	gr	27.32	28.76
V2	Porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	9.2	9.6
	Promedio de porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	9.4	

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

El agregado fino estudiado supera el porcentaje máximo de finos que pasan el Tamiz N° 200 según los límites permitidos en la Tabla 2 que se encuentra especificada en la Norma NTE INEN-872, donde dice que el material más fino que 75 μm para un hormigón sujeto a abrasión tendrá un porcentaje máximo de 3.0 % y para todos los demás hormigones será de máximo un 5.0 % y estos valores podrán ser aumentados en un 2.0 % respectivamente solo si se sabe que el material es una arena fabrica. [18]

El material estudiado no cumple ninguno de los parámetros antes descritos, por lo tanto, como opción para evitar el descarte de dicho material se procede al lavado del agregado fino donde se obtuvieron los resultados descritos a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Reporte material más fino que pasa el tamiz N° 200 (después del lavado)

<i>MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200</i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
Ma	Masa seca inicial de la muestra	gr	292.36	289.57
Md	Masa seca de la muestra después del lavado	gr	290.47	288.39
M = Ma - Md	Diferencia del material antes y después de lavado	gr	1.89	1.18
V2	Porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	0.6	0.4
	Promedio de porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	0.5	

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Se puede evidenciar la disminución de materiales más finos que el tamiz N° 200, cumpliendo con la Tabla 2 de referencia en NTE INEN-872, por lo que se concluye que el material es apto para ser usado en la elaboración de hormigón solo después de haber sido sometido a un proceso de lavado.

3.1.2. Análisis de determinación del material orgánico en el agregado fino para hormigón

El análisis para determinar el material orgánico en el agregado fino que va a ser usado para la elaboración de hormigón se realizó siguiendo la norma NTE INEN-855, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [28]

Tabla 12. Reporte determinación del material orgánico en el agregado fino

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 855	
<i>DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN</i>		
DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Fotografía		
Número de comparador de referencia (Serie de Gardner)	3 (11)	3 (11)
Lectura de comparación (Serie de Gardner)	más oscuro que 3 (> 11)	más claro que 1 (< 8)
Contenido orgánico	Aceptable	Aceptable
Observaciones	Muestra de arena antes de ser lavada.	Muestra de arena después de ser lavada.

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

El color determinado por comparación para la muestra 1 del agregado fino estudiado es más oscuro que el color número 11 de la escala de Gardner, mientras que en la muestra 2 que corresponde a la misma arena sometida a lavado es más clara que el color número 8 de la escala de Gardner, para lo que según la interpretación del numeral 5.8 de la Norma NTE INEN-855, se entiende que para el material analizado en la muestra 1 puede contener cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas, mientras que para el material analizado en la muestra 2 éste contendría cantidades apropiadas de impurezas orgánicas, por lo tanto, puede ser usado en la elaboración de hormigón. [28]

3.1.3. Análisis granulométrico del agregado fino

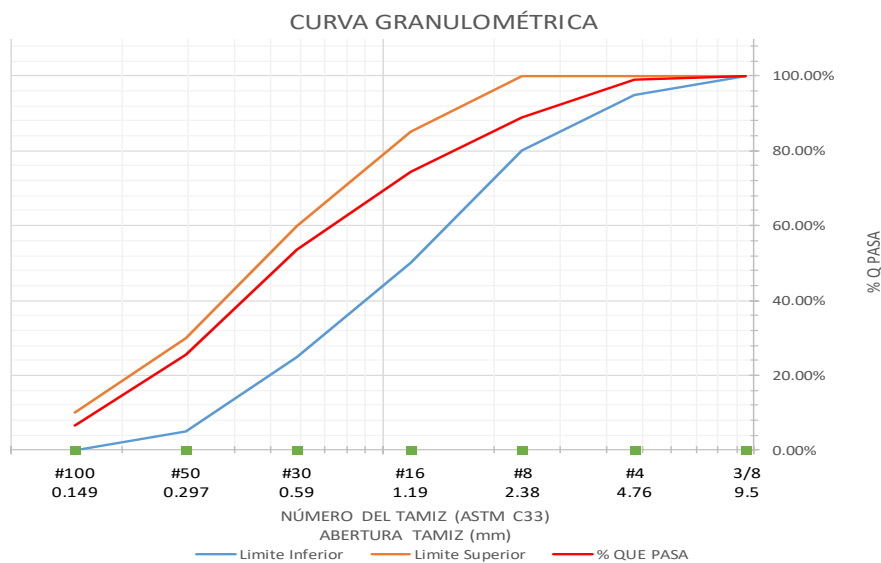
El análisis de granulometría de finos se realizó siguiendo la norma NTE INEN-696, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [29]

Tabla 13. Reporte granulometría (agregado fino)

ORIGEN:		MINA YAMBO SUR				
PESO MUESTRA:		589.93 gr.	PÉRDIDA DE MUESTRA:		0.15%	
NORMA:		NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 696				
ENSAYADO POR:		ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ				
<i>Tamiz</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Retenido parcial (gr)</i>	<i>Retenido acumulado (gr)</i>	<i>% Retenido acumulado</i>	<i>% que pasa</i>	<i>Límites NTE INEN-872:2011 % que pasa</i>
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.76	5.37	5.37	0.91%	99.09%	95 - 100
#8	2.38	60.59	65.96	11.20%	88.80%	80 - 100
#16	1.19	84.27	150.23	25.50%	74.50%	50 - 85
#30	0.59	123.8	274.03	46.52%	53.48%	25 - 60
#50	0.297	163.91	437.94	74.35%	25.65%	5 - 30
#100	0.149	112.9	550.84	93.51%	6.49%	0 - 10
#200	0.075	35	585.84	99.46%	0.54%	-
BANDEJA		3.2	589.04	100.00%	0.00%	-
MÓDULO DE FINURA				2.52		

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Figura 5. Curva granulométrica (agregado fino)



Interpretación de resultados

El agregado fino estudiado cumple con la gradación especificada en la Norma NTE INEN-872, obteniendo una curva granulométrica dentro de los límites mínimos y máximos que ésta especifica, aunque se observa que en los tamices menores al N° 16 el material empieza a tender a ser fino sin superar el límite marcado, caracterizándose también con un módulo de finura de 2.52 cumpliendo con la Norma NTE INEN-872 que sugiere la utilización de un material fino con un módulo de finura comprendido entre 2.3 y 3.1. [18]

3.1.4. Análisis granulométrico del agregado grueso

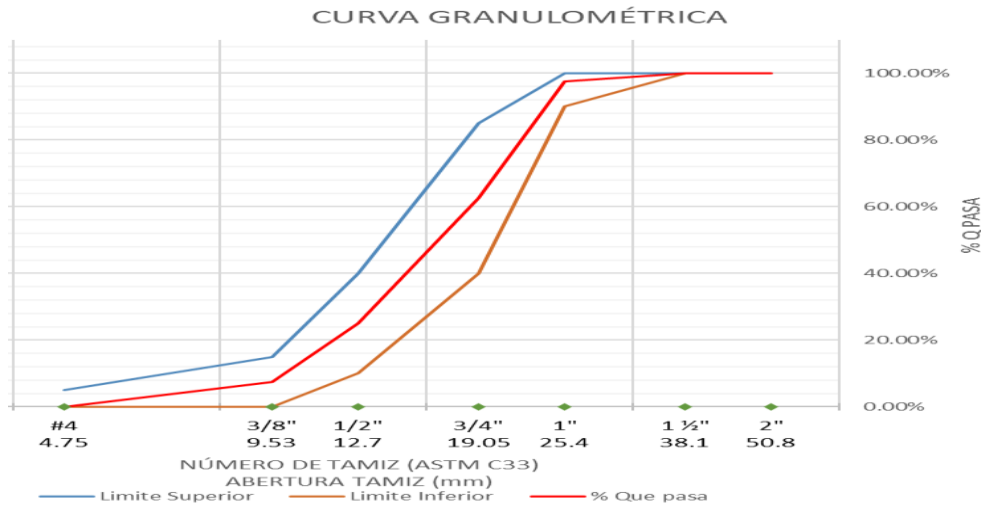
El análisis de granulometría de gruesos se realizó siguiendo la norma NTE INEN-696, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [29]

Tabla 14. Reporte granulometría (agregado grueso)

ORIGEN:		MINA YAMBO SUR				
PESO MUESTRA:		8000 gr.	PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0.06	
NORMA:		NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 696				
ENSAYADO POR:		ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ				
<i>Tamiz</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Retenido parcial (gr)</i>	<i>Retenido acumulado (gr)</i>	<i>% Retenido acumulado</i>	<i>% que pasa</i>	<i>Límites NTE INEN-872:2011 % que pasa</i>
2"	50.8	0.00	0.00	0.00%	100.00%	-
1 ½"	38.1	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100
1"	25.4	197.30	197.30	2.47%	97.53%	90 - 100
¾"	19.05	2798.56	2995.86	37.47%	62.53%	40 - 85
½"	12.7	2995.32	5991.18	74.93%	25.07%	10 - 40
⅜"	9.53	1406.56	7397.74	92.52%	7.48%	0 - 15
#4	4.75	597.81	7995.55	100.00%	0.00%	0 - 5
BANDEJA		0.00	7995.55	100.00%	0.00%	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				1"		

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Figura 6. Curva granulométrica (agregado grueso)



Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

El agregado grueso estudiado cumple con la gradación número 56 especificada para áridos gruesos en la Norma NTE INEN-872, obteniendo una curva granulométrica dentro de los límites mínimos y máximos que ésta especifica, observándose que el material se encuentra en los valores medios de dichos límites por lo que sus partículas no tienden a superar ningún límite marcado, caracterizándose también por su tamaño nominal máximo de 1". [18]

3.1.5. Determinación de densidad relativa y absorción del agregado fino

La determinación de la densidad relativa del agregado fino se realizó siguiendo la norma NTE INEN-856, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [30]

Tabla 15. Reporte densidad relativa y capacidad de absorción (agregado fino)

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 856			
<i>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	145.38	
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	235.40	
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	698.77	
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	463.37	
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	644.32	
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.94	
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1.00	
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	35.57	
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	90.02	
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	35.65	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.525	
<i>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	30.55	31.95
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	63.18	50.07
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	32.63	18.12
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	62.36	49.63
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	31.81	17.68
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.58	2.49
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.53	

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

El agregado fino estudiado bajo el procedimiento gravimétrico (picnómetro) posee una densidad relativa en estado SSS de 2.525 gr/cm³ con una capacidad de absorción de 2.53 %, cumpliendo con lo especificado para un árido de densidad normal que está comprendido entre 2.4 y 3.0 según lo detallado en la Norma NTE INEN-694.

3.1.6. Determinación de densidad relativa y absorción del agregado grueso

La determinación de la densidad relativa del agregado grueso se realizó siguiendo la norma NTE INEN-857, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [31]

Tabla 16. Reporte densidad relativa y capacidad de absorción (agregado grueso)

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR		
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ		
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 857		
<i>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</i>			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1239.00
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1077.00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	6291.00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	4182.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5052.00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3105.00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1949.57
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2.591
<i>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</i>			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	30.55 31.95
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	203.46 191.16
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	172.91 159.21
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	200.25 188.18
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	169.70 156.23
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1.89 1.91
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.90

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

El agregado grueso estudiado bajo el procedimiento gravimétrico posee una densidad relativa en estado SSS de 2.591 gr/cm³ con una capacidad de absorción de 1.90 % cumpliendo con lo especificado para un árido de densidad normal que está comprendido entre 2.4 y 3.0 según lo detallado en la Norma NTE INEN-694. [16]

3.1.7. Determinación del peso unitario para condición suelta y compactada

La determinación de la densidad suelta y compactada de los agregados fino y grueso se realizó siguiendo la norma NTE INEN-858, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [32]

Tabla 17. Reporte densidad suelta de los agregados

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
MASA RECIPIENTE:	9.985 Kg.			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
VOLUMEN RECIPIENTE:	20.22 dm ³	FECHA:	30/may/2022	
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
GRUESO	38.260	28.275	1.398	1.396
	38.160	28.175	1.393	
FINO	41.930	31.945	1.580	1.578
	41.865	31.880	1.577	

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Tabla 18. Reporte densidad compactada de los agregados

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
MASA RECIPIENTE:	9.985 Kg.			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
VOLUMEN RECIPIENTE:	20.22 dm ³			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Promedio (kg/dm³)</i>
GRUESO	40.755	30.770	1.522	1.516
	40.540	30.555	1.511	
FINO	43.120	33.135	1.639	1.643
	43.285	33.300	1.647	

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

Los agregados estudiados bajo el procedimiento por varillado y por paladas arroja como densidad suelta 1.396 y 1.578 g/cm³ y como densidad compactada 1.516 y 1.643 g/cm³ de los agregados grueso y fino, respectivamente, esto contrastando con la Norma NTE INEN-694 nos indica que estos áridos pertenecen a la categoría de áridos de densidad normal, ya que, estos se encuentran dentro del rango detallado en la norma de 1.120 y 1.920 g/cm³. [16]

3.1.8. Determinación del peso unitario de la mezcla para condición compactada

La determinación de la densidad compactada de la mezcla de los agregados fino y grueso se realizó siguiendo la norma NTE INEN-858, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados.

[32]

Tabla 19. Reporte densidad de la mezcla para condición compactada

ORIGEN:		MINA Y AMBO SUR						
MASA RECIPIENTE:		9.985 Kg.						
ENSAYADO POR:		ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ						
VOLUMEN RECIPIENTE:		20.22 dm ³						
NORMA:		NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 858:2010						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.755	30.770	1.522	1.516
					40.540	30.555	1.511	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.615	33.630	1.663	1.667
					43.760	33.775	1.670	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	46.190	36.205	1.791	1.781
					45.795	35.810	1.771	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	48.180	38.195	1.889	1.887
					48.115	38.130	1.886	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	49.120	39.135	1.935	1.935
					49.110	39.125	1.935	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	48.965	38.980	1.928	1.924
					48.810	38.825	1.920	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	47.865	37.880	1.873	1.868
					47.645	37.660	1.863	

Gráfico porcentaje óptimo vs. Densidad aparente

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40.00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60.00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	36.00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64.00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1.935
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1.911

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

En la Tabla 19 se puede observar las diferentes densidades compactadas que la mezcla de diferentes porciones de los agregados fino y grueso pueden generar, obteniendo que la mezcla de proporciones 40% de fino y 60% de gruesos, genera la mayor densidad de la mezcla, siendo la mezcla óptima una disminución del 4% a los finos y una adición del mismo porcentaje a los gruesos, dándonos una proporción de 36% para finos y 64% para grueso siendo ésta la proporción óptima de la mezcla de áridos, característica importante en los métodos de diseño de mezclas de hormigón.

3.1.9. Determinación de densidad del cemento

La determinación de la densidad del cemento se realizó siguiendo la norma NTE INEN-156, en la cual se detalla equipos y materiales necesarios, procedimiento a seguir y reporte e interpretación de resultados. [33]

Tabla 20. Reporte densidad (cemento)

TIPO:	Holcim GU			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 156			
<i>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
Ma	Masa del frasco + gasolina	gr	328.51	309.77
V1	Lectural Inicial de la gasolina	cm3	0.70	1.20
Mp	Masa del frasco + gasolina + cemento	gr	384.77	373.23
V2	Lectura Final de la gasolina	cm3	20.60	23.70
$V3 = V2 - V1$	Volumen Desalojado de gasolina	cm3	19.90	22.50
$Mc = Mp - Ma$	Masa del cemento usado	gr	56.26	63.46
$DRC = Mc / V3$	Densidad del cemento	gr/cm3	2.827	2.820
	Densidad real promedio	gr/cm3	2.824	

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

Bajo el procedimiento detallado en la normativa se ha podido determinar que la densidad del cemento usado es de apenas 2.824 g/cm³ lo que difiere en gran medida con lo que el fabricante expresa en el detalle de su bolsa, donde expresan que dicho lote de cemento posee una densidad de 3.150 g/cm³.

3.1.10. Enriquecimiento de agua potable con micro-nano burbujas de aire

La adición de micro-nano burbujas de aire se realizó según el procedimiento que se detalla en la sección 1.1.3.4. del presente documento, tomando agua del grifo del sistema de suministro público sometiéndolo a un sistema hidráulico detallado en la Figura 2, donde se recoge los siguientes resultados.

Tabla 21. Reporte de generación de micro-nano burbujas.

TIPO DE ENSAYO		GENERACIÓN DE MICRO-NANO BURBUJAS DE AIRE					
ENSAYADO POR:		ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ					
MUESTRA (ciclos)	TIEMPO PERMANENCIA A (min.)	TEMPERATURA (°C)	pH ^a (UpH)	TAMAÑO DE PARTÍCULAS* (µm)	TURBIDEZ ^a (NTU)	Oxígeno Disuelto ^a (mg/L)	Conductividad Eléctrica ^a (us/cm)
0	0.0	15.0	7.03	≈ 300	1.6	7.17	<140
15	180.0	16.5	7.55	0.1 - 20	10.7	5.80	<140
30	360.0	18.2	7.69	PNV	16.4	5.19	<140
NOTAS:							
* - Determinado según las capacidades de microscopio óptico.							
PNV - Partículas no visibles a través del microscopio óptico usado. (se asume partículas menores al último registro)							
^a - Parámetros determinados según informes de laboratorio No. LACQUA 22 - 3883/3884/3885							

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Interpretación de resultados

Bajo el procedimiento detallado en la sección 1.1.3.4. del presente se obtiene los resultados presentados en la Tabla 21, donde se ha determinado la presencia de burbujas de diferentes tamaños en función del ciclo de permanencia en el sistema. En cada muestra reportada se observa una disminución del tamaño de partículas (burbujas) hasta la muestra identificada como 30 donde ya no tenemos resultados visibles por el microscopio óptico usado, según la tendencia inicial, el tamaño de burbujas esperado en la muestra siguiente será menor a la última registrada. También se evidencia un aumento de la turbidez de las muestras lo que significa que existen burbujas en suspensión dentro del medio acuoso como se evidencia con las observaciones por medio del microscopio, se observa también un aumento del potencial de hidrógeno tendiendo a las bases, pero lo más significativo es la disminución del oxígeno disuelto muy semejante a lo expuesto por Evangelos Favvas, et al en [34] donde en una concentración de aproximadamente 5.0 ppm obtiene las

mejores características tanto de concentración de nanopartículas como del diámetro promedio por mililitro de solución.

Por lo tanto, el agua que será usada para la elaboración de hormigón con micro-nano burbujas de aire será la que posee las características de la muestra 30, con un tiempo de permanencia en el circuito de 360 min.

3.1.11. Diseño de mezclas de hormigón

En esta sección se mostrará la dosificación para cada resistencia requerida según los parámetros solicitados por el método de la densidad óptima descrito en el capítulo V de [17].

Tabla 22. Reporte dosificación ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)

DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL						
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS			
$f'c$	210	Kg/cm ²	WC	0.58		
Asentamiento	3 - 6	cm	CP (%)	POV + 2% + 6%(POV)		
DRC	2.824	gr/cm ³	CÁLCULOS			
DRA	2.525	gr/cm ³	DRM	2.568	kg/dm ³	
DRR	2.591	gr/cm ³	POV	25.581	%	
DSA	1.578	gr/cm ³	CP	291.153	dm ³	
DSR	1.396	gr/cm ³	C	311.684	Kg	
POA	36	%	W	180.777	Its	
POR	64	%	A	644.447	kg	
DOM	1.911	gr/cm ³	R	1175.588	kg	
CANTIDAD REQUERIDA	12	cilindros *	VR	0.0188	m3	
RENDIMIENTO	61.01	%	VN	0.0262	m3	
DOSIFICACIÓN AL PESO						
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg PARA ENSAYO		
W	180.777		0.58	4.736		
C	311.684		1.00	8.166		
A	644.447		2.07	16.884		
R	1175.588		3.77	30.799		
TOTAL	2312.496		kg/m ³ Densidad del Horm.			

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Tabla 23. Reporte dosificación ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$)

DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
$f'c$	280	Kg/cm ²	W/C	0.52	
Asentamiento	3 - 6	cm	CP (%)	POV + 2% + 6%(POV)	
DRC	2.824	gr/cm ³	CÁLCULOS		
DRA	2.525	gr/cm ³	DRM	2.568	kg/dm ³
DRR	2.591	gr/cm ³	POV	25.581	%
DSA	1.578	gr/cm ³	CP	291.155	dm ³
DSR	1.396	gr/cm ³	C	333.078	Kg
POA	36	%	W	173.200	lts
POR	64	%	A	644.447	kg
DOM	1.911	gr/cm ³	R	1175.588	kg
CANTIDAD REQUERIDA	12	cilindros *	VR	0.019	m ³
RENDIMIENTO	60.76	%	VN	0.026	m ³
DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg PARA ENSAYO	
W	173.200		0.52	4.546	
C	333.078		1.00	8.742	
A	644.447		1.93	16.914	
R	1175.588		3.53	30.854	
TOTAL	2326.314		kg/m ³ Densidad del Horm.		

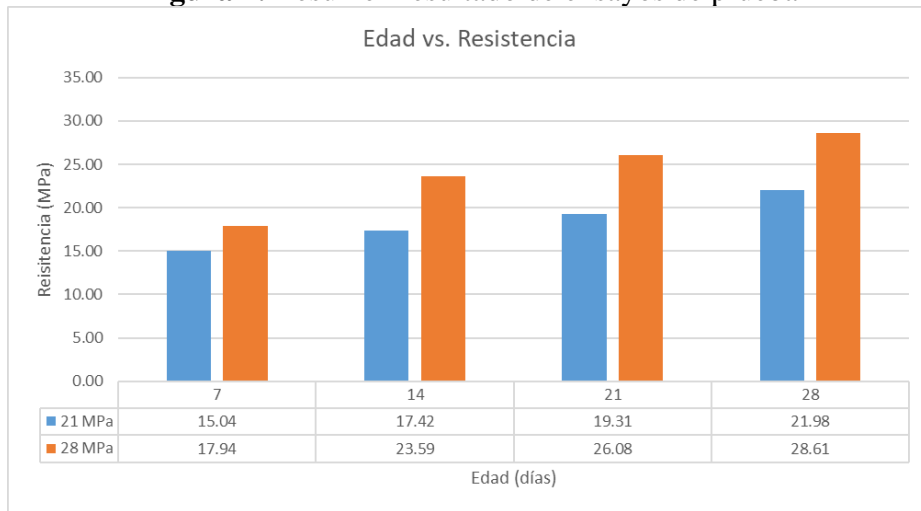
Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

3.1.12. Resultados de las mezclas de prueba

Las dosificaciones descritas en las Tablas 22 y 23 fueron puestas a prueba con la elaboración de cilindros de diámetro 10 cm y altura 20 cm; los cuales fueron ensayados a compresión simple a edades de 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados obtenidos con el ensayo de dichos cilindros se encuentran detallados en la sección de anexos, siendo el Anexo 14 y 15 correspondientes a resistencias de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , respectivamente.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos del ensayo a compresión de las dos dosificaciones de prueba, así como el contraste entre los resultados esperados con los obtenidos por cada dosificación.

Figura 7. Resumen resultado de ensayos de prueba



Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Figura 8. Resultado ensayo de prueba a compresión (210 kg/cm²)



Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Figura 9. Resultado ensayo de prueba a compresión (280 kg/cm²)



Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Como se observan en los datos expuestos en los Anexos 14 y 15 y en las Figuras 7, 8 y 9, el diseño de la dosificación para una resistencia de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² es satisfactoria, por lo tanto, no se realizará cambios en ellas.

3.1.13. Resultados de las mezclas experimentales

3.1.13.1. Resistencia a compresión simple

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas a compresión simple de cilindros de hormigón para resistencias de 210 y 280 Kg/cm² usando agua potable y agua potable enriquecida con micro-nano burbujas de aire.

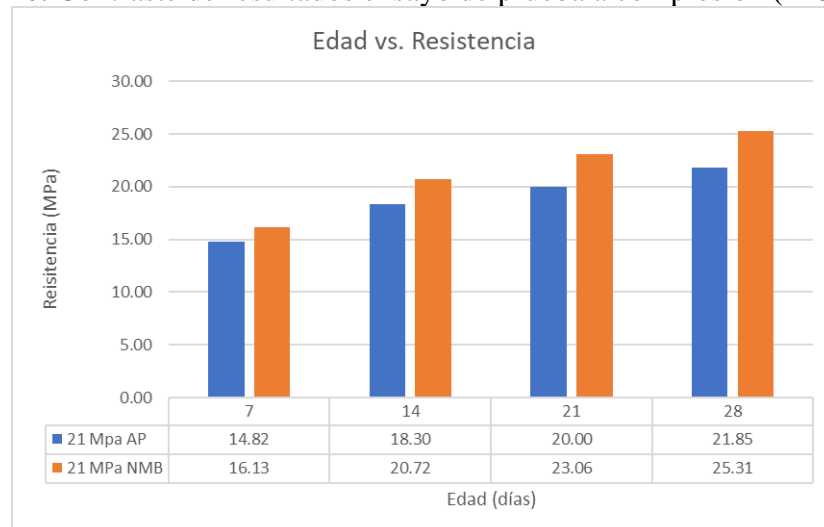
Las características de los dos tipos del agua usada es la que se detalla a continuación:

Tabla 24. Características del agua a usarse en la mezcla de hormigón

TIPO DE AGUA	pH (UpH)	TURBIDEZ (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (us/cm)
Agua potable (AP)	7.03	1.6	7.17	<140
Agua potable con Micro-Nano Burbujas (MNB)	7.69	16.4	5.19	<140

Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

Figura 10. Contraste de resultados ensayo de prueba a compresión (210 kg/cm²)



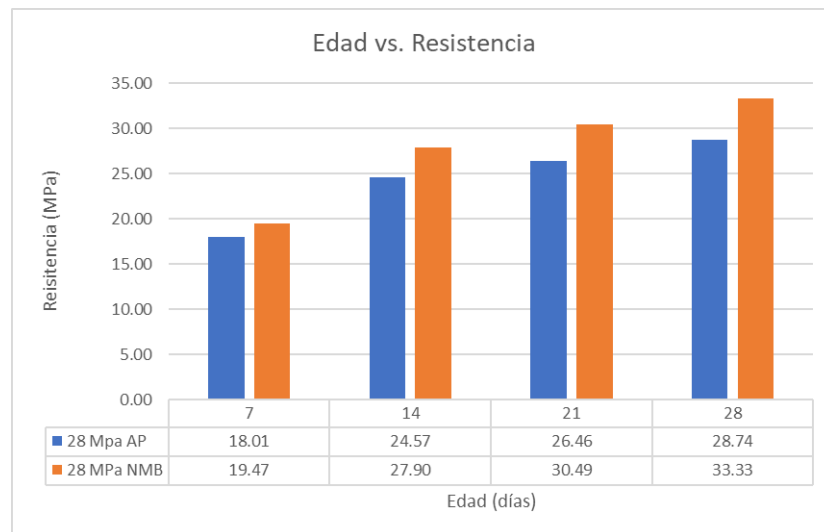
Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

En la Figura 10 podemos observar los resultados de las pruebas a compresión realizadas a cilindros de hormigón de edades 7, 14, 21 y 28 días, elaborados para una

resistencia de 210 kg/cm², los cuales contienen agua potable obtenida del grifo de suministro con un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L y agua potable sometida al proceso descrito en 1.1.3.4 con un contenido de oxígeno disuelto de 5.19 mg/L, con lo que se obtiene según lo detallado por Evangelos Favvas, et al en [34] una concentración de micro y nano burbujas de aire en el agua de 3.1x10⁸ partículas por mililitro.

En la figura anterior podemos evidenciar el aumento de la resistencia a compresión simple del hormigón a diferentes edades, existiendo un aumento de 8.78, 13.17, 15.29 y 15.83 %, respectivamente, entre el hormigón elaborado con agua de un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L (AP) y 5.19 mg/L (MNB).

Figura 11. Contraste de resultados ensayo de prueba a compresión (280 kg/cm²)



Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

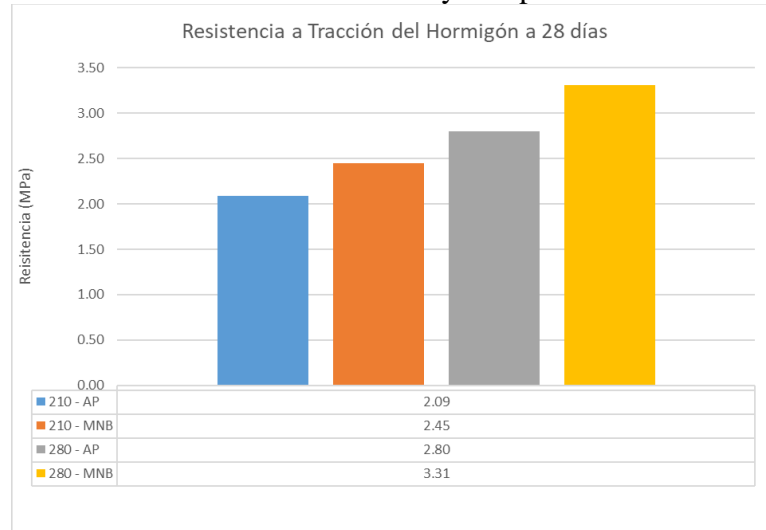
En la Figura 11 podemos observar los resultados de las pruebas a compresión realizadas a cilindros de hormigón de edades 7, 14, 21 y 28 días, elaborados para una resistencia de 210 kg/cm², los cuales contienen agua potable obtenida del grifo de suministro con un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L y agua potable sometida al proceso descrito en 1.1.3.4 con un contenido de oxígeno disuelto de 5.19 mg/L, con lo que se obtiene según lo detallado por Evangelos Favvas, et al en [34] una concentración de micro y nano burbujas de aire en el agua de 3.1x10⁸ partículas por mililitro.

En la figura anterior podemos evidenciar el aumento de la resistencia a compresión simple del hormigón a diferentes edades, existiendo un aumento de 8.01, 13.56, 15.23 y 15.99 %, respectivamente, entre el hormigón elaborado con agua de un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L (AP) y 5.19 mg/L (MNB).

3.1.13.2. Resistencia a compresión diametral (Tracción Indirecta)

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de compresión diametral (tracción indirecta) de cilindros de hormigón para resistencias de 210 y 280 Kg/cm² usando agua potable (AP) y agua potable enriquecida con micro-nano burbujas de aire (MNB).

Figura 12. Contraste de resultados ensayo de prueba a tracción indirecta



Realizado por: Erick Rodrigo Tipantasig López

En la Figura 12 podemos observar los resultados de las pruebas a compresión diametral realizadas a cilindros de hormigón a una edad de 28 días, elaborados para una resistencia a la compresión simple objetivo de 210 y 280 kg/cm². Ahí se evidencia el aumento de la resistencia a tracción del hormigón, existiendo un aumento, atribuido a la adición de micro-nano burbujas de aire al agua de la mezcla, de un 17.22 y 18.21%, respectivamente para cada resistencia estudiada.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Con base a la norma NTE INEN 872, se ha determinado las propiedades de los agregados pétreos para el uso en mezclas de hormigón, obteniendo los resultados detallados a continuación: el material procedente de la zona sur de la Laguna de Yambo con base en los análisis realizados se determina su aptitud para ser usado en la elaboración de hormigón de calidad poseyendo una buena distribución granulométrica, pudiendo ser identificados por un módulo de finura igual a 2.52 y un tamaño nominal máximo de 1 pulgada, sus densidades relativas son de 2525 y 2591 kg/m³ contando con una capacidad de absorción de 2.53 y 1.90% para el árido fino y grueso, respectivamente.

- La tecnología usada para la adición de micro-nano burbujas de aire al agua potable está basada en investigaciones previas, usándose una bomba centrífuga multifase con acoples a depósitos transitorios de estabilización de partículas resultantes de la mezcla aire/líquido, produciendo una alteración del agua en sus propiedades como un aumento en el pH y turbidez de 7.03 a 7.69 UpH y 1.6 a 16.4 NTU, respectivamente, con una disminución del oxígeno disuelto desde 7.17 a 5.19 mg/L.

- El diseño de la mezcla de hormigón se lo realizó usando principalmente el método de densidad óptima, consiguiendo las siguientes proporciones de materiales para elaborar un metro cúbico de hormigón con una resistencia de 210 kg/cm²: 180.78 litros de agua, 311.68 kg de cemento del tipo GU, 644.45 kg de arena de mina lavada y 1175.59 kg de ripio con un tamaño nominal máximo de 1 pulgada, mientras que para un hormigón de resistencia 280 kg/cm² se necesita 180.00 litros de agua, 382.98 kg de cemento del tipo GU, 641.25 kg de arena de mina lavada y 1076.36 kg de ripio con un tamaño nominal máximo de 1 pulgada, todo lo antes detallado considerando que el material se encuentra en una condición de Saturado con Superficie Seca (SSS).

- Después de realizar las pruebas de compresión simple se obtuvieron los siguientes resultados: para especímenes diseñados para una resistencia de 210 kg/cm² donde se usó agua potable sin aditivos con un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L, se obtuvo una resistencia promedio de 148.2, 183.0, 200, 218.5 kg/cm² para edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente; mientras para especímenes diseñados para la misma resistencia pero con el uso de agua potable a la que se añadió micro-nano burbujas de aire con un contenido de oxígeno disuelto de 5.19 mg/L, se obtuvo una resistencia promedio de 161.3, 207.2, 230.6 y 253.1 kg/cm² para edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.
- Después de realizar las pruebas de compresión simple se obtuvieron los siguientes resultados: para especímenes diseñados para una resistencia de 280 kg/cm² donde se usó agua potable sin aditivos con un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L, se obtuvo una resistencia promedio de 180.1, 245.7, 264.6 y 287.4 kg/cm² para edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente; para especímenes diseñados para la misma resistencia pero con el uso de agua potable a la que se añadió micro-nano burbujas de aire con un contenido de oxígeno disuelto de 5.19 mg/L, se obtuvo una resistencia promedio de 194.7, 279.0 304.9 y 333.3 kg/cm² para edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.
- Después de realizar las pruebas de tracción indirecta se obtuvieron los siguientes resultados: para especímenes curados a 28 días diseñados para una resistencia de 210 kg/cm² donde se usó agua potable sin aditivos con un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L y agua potable a la que se añadió micro-nano burbujas de aire con un contenido de oxígeno disuelto de 5.19 mg/L, se obtuvo una resistencia promedio de 20.9 y 24.5 kg/cm², respectivamente, y para aquellos especímenes diseñados para una resistencia a compresión simple de 280 kg/cm² se obtuvo una resistencia promedio de 28.0 y 33.1 kg/cm², respectivamente.
- Después de haber analizado los datos tanto de resistencia a compresión simple como de tracción indirecta de las muestras de control (AP) con un contenido de oxígeno disuelto de 7.17 mg/L, como las que fueron añadidas micro-nano

burbujas de aire (MNB) con un contenido de oxígeno disuelto de 5.19 mg/L, se puede evidenciar un aumento significativo de la resistencia estudiada teniendo un incremento promedio de 8.4, 13.4, 15.3 y 15.9 % para la resistencia a compresión simple a edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente, mientras que para los especímenes ensayados a tracción indirecta los datos reflejan un incremento promedio del 17.7%.

- Finalmente se concluye que el cambio en las propiedades del agua, específicamente, la disminución del oxígeno disuelto, por la adición de micro-nano burbujas de aire al agua de amasado del hormigón, influye en las propiedades mecánicas del hormigón, mejorando notablemente su resistencia a la compresión desde edades tempranas, como se puede evidenciar en las investigaciones hechas por Sagravani Arefi en el 2016, Moein Khoshroo en el 2017, Hassani Mohammad et al., y Asadollahfardi Gholamreza et al., en el 2019 y la más reciente de Zhenghong Tian et al., en el 2020, en las cuales todos coinciden en la mejora de las propiedades del hormigón en estado endurecido.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis minucioso de costos para tener una noción económica clara de la viabilidad de la puesta en marcha de esta tecnología a gran escala.
- Se recomienda realizar investigaciones que fusionen la tecnología aquí descrita con estudios de adición de fibras, compuestos orgánicos e inorgánicos o algún otro tipo de nanotecnología que modifique de manera positiva las propiedades mecánicas del hormigón.
- Se recomienda la fusión de otras técnicas de incorporación de micro-nano burbujas de aire al agua, a la ya descrita en el presente para así tratar de mejorar la eficiencia de generación de estas partículas.
- Se recomienda la consideración de los Anexos 14 y 15 como una dosificación comprobada de forma experimental para la producción de hormigón con

resistencias a compresión simple de 210 y 280 kg/cm², siempre que se utilice materiales de la mina mencionada o muy cercanos a ella.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Arefi, S. F. Saghravani and R. Mozaffari Naeeni, "Mechanical Behavior of Concrete, Made with Micro-Nano Air Bubbles," *Civil Engineering Infrastructures Journal*, vol. 49, no. 1, pp. 139-147, 2016.
- [2] M. Khoshroo, A. A. Shirzadi Javid and A. Katebi, "Effects of micro-nano bubble water and binary mineral admixtures on the mechanical and durability properties of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 164, no. 1, pp. 371-385, 2017.
- [3] M. S. Hassani, A. Torki, G. Asadollahfardi, S. . F. Saghravani and J. Shafaei, "The effect of water to cement ratio and age on the mechanical properties of cement mortar and concrete made of micro-nano bubbles without adding any admixtures," *Structural Concrete*, vol. 22, no. 1, pp. 756-768, 2019.
- [4] G. Asadollahfardi, P. MohsenZadeh, S. F. Saghravani and N. Mohamadzadeh, "The effects of using metakaolin and micro-nanobubble water on concrete properties," *Journal of Building Engineering*, vol. 25, no. 100781, 2019.
- [5] T. Zhenghong, J. Xincheng, Y. Hangang and L. Ang, "Properties of Concrete Mixed by Nano-bubble Water," *Journal of Building Materials*, vol. 23, no. 2, pp. 279-285, 2020.
- [6] K. L. Scrivener and J. Kirkpatrick, "Innovation in use and research on cementitious material," *Cement and Concrete Research*, vol. 38, no. 2, pp. 128-136, 2008.
- [7] P. Mohsen Zadeh, S. F. Saghravani and G. Asodollahfardi, "Mechanical and durability properties of concrete containing zeolite mixed with meta-kaolin and micro-nano bubbles of water," *Structural Concrete*, vol. 20, no. 2, pp. 786-797, 2018.


- [8] R. J. Flatt, N. Roussel y C. R. Cheeseman, «Concrete: An eco material that needs to be improved,» *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 32, nº 11, pp. 2787-2798, 2012.
- [9] M. Orozco, Y. Avila, S. Restrepo y A. Parody, «Factors influencing concrete quality: a survey to the principal actors of the industry,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 33, nº 2, pp. 161-172, 2018.
- [10] H. Oliviera, A. Azevedo and J. Rubio, "Nanobubbles generation in a high-rate hydrodynamic cavitation tube," *Minerals Engineering*, vol. 116, pp. 32-34, 2018.
- [11] Y. Xiong y F. Peng, «Optimization of cavitation venturi tube design for pico and nano bubbles generation,» *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 25, nº 4, pp. 523-529, 2015.
- [12] R. Etchepare, H. Oliviera, M. Nicknig, A. Azevedo and J. Rubio, "Nanobubbles: Generation using a multiphase pump, properties and features in flotation," *Minerals Engineering*, vol. 112, pp. 19-26, 2017.
- [13] E. P. Favvas and G. Z. Kyzas, "Bulk nanobubbles, generation methods and potential applications," *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, vol. 54, p. 101455, 2021.
- [14] M. Jong-Min y O. Seung Hoon, «Generation and Stability of Bulk Nanobubbles,» *Langmuir*, vol. 33, nº 15, pp. 3818-3823, 2017.
- [15] B. Yahyaei and G. Asadollahfardi, "Study of using micro-nano bubble to improve workability and durability of self-compact concrete," *Structural Concrete*, pp. 1-14, 2020.
- [16] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 694. Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón. Terminología*, Quito, 2010.
- [17] S. Medina Robalino, *Hormigón*, Ambato, 2014.

- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 872. Áridos para Hormigón. Requisitos.*, Quito, 2011.
- [19] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese y J. Tanesi, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Skokie: Portland Cement Association, 2004.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2380. Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para Cementos Hidráulicos*, Quito, 2011.
- [21] D. Sánchez de Guzman, *Tecnología del Concreto y del Mortero*, Bogotá, 2001.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1855-1. Hormigones. Hormigón Premezclado. Requisitos*, Quito, 2015.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1855-2. Hormigones. Hormigón Preparado en Obra. Requisitos*, Quito, 2015.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1108. Agua Potable. Requisitos*, Quito, 2011.
- [25] A. H. Nilson, *Diseño de estructuras de concreto V12*, Bogotá: McGraw-Hill, 2001.
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2648. Muestreo. Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón.*, Quito, 2013.
- [27] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 697. Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (No. 200), mediante lavado*, Quito, 2010.
- [28] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 855. Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*, Quito, 2010.
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*, Quito, 2011.

- [30] Instituto Nacional de Normalización, *NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*, Quito, 2010.
- [31] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 857 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*, Quito, 2010.
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 858 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*, Quito, 2010.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 156 Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*, Quito, 2009.
- [34] E. Favvas, G. Kyzas, E. Efthimiadou y A. Mitropoulos, «Bulk nanobubbles, generation methods and potential applications,» *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, vol. 54, nº 101455, 2021.
- [35] M. Romo Proaño, *Temas de Hormigón Armado*, Quito: ESPE, 2008.

ANEXO TABULACIÓN DE RESULTADOS

Anexo 1. Resultados ensayo material más fino que pasa el tamiz N° 200

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL			
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>			
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR		
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ		
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 697		
MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
Ma	Masa seca inicial de la muestra	gr	295.86 298.65
Md	Masa seca de la muestra después del lavado	gr	268.54 269.89
M = Ma - Md	Diferencia del material antes y después de lavado	gr	27.32 28.76
V2	Porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	9.2 9.6
	Promedio de porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	9.4

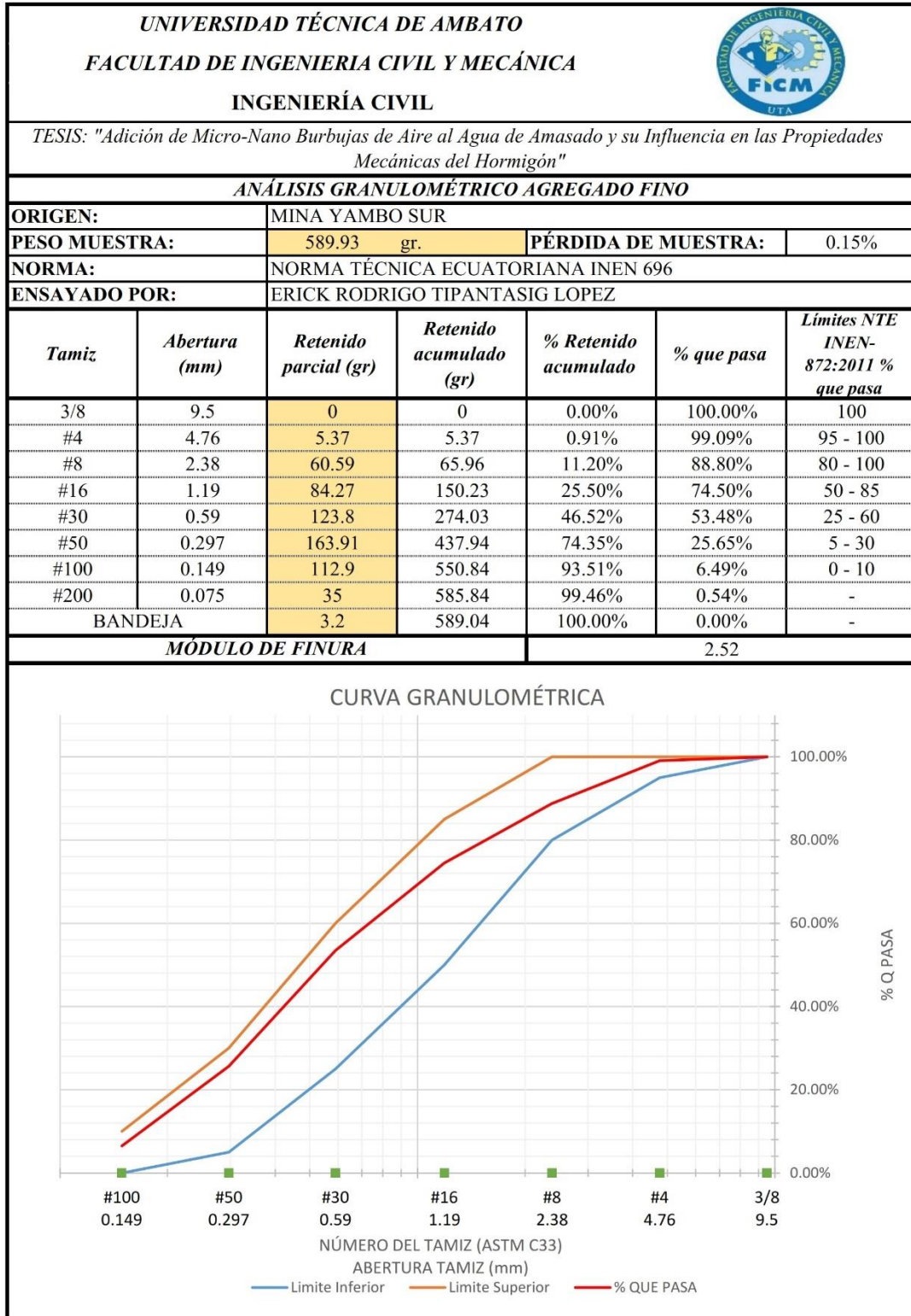
Después del Lavado

MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
Ma	Masa seca inicial de la muestra	gr	292.36 289.57
Md	Masa seca de la muestra después del lavado	gr	290.47 288.39
M = Ma - Md	Diferencia del material antes y después de lavado	gr	1.89 1.18
V2	Porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	0.6 0.4
	Promedio de porcentaje que pasa el Tamiz 200	%	0.5

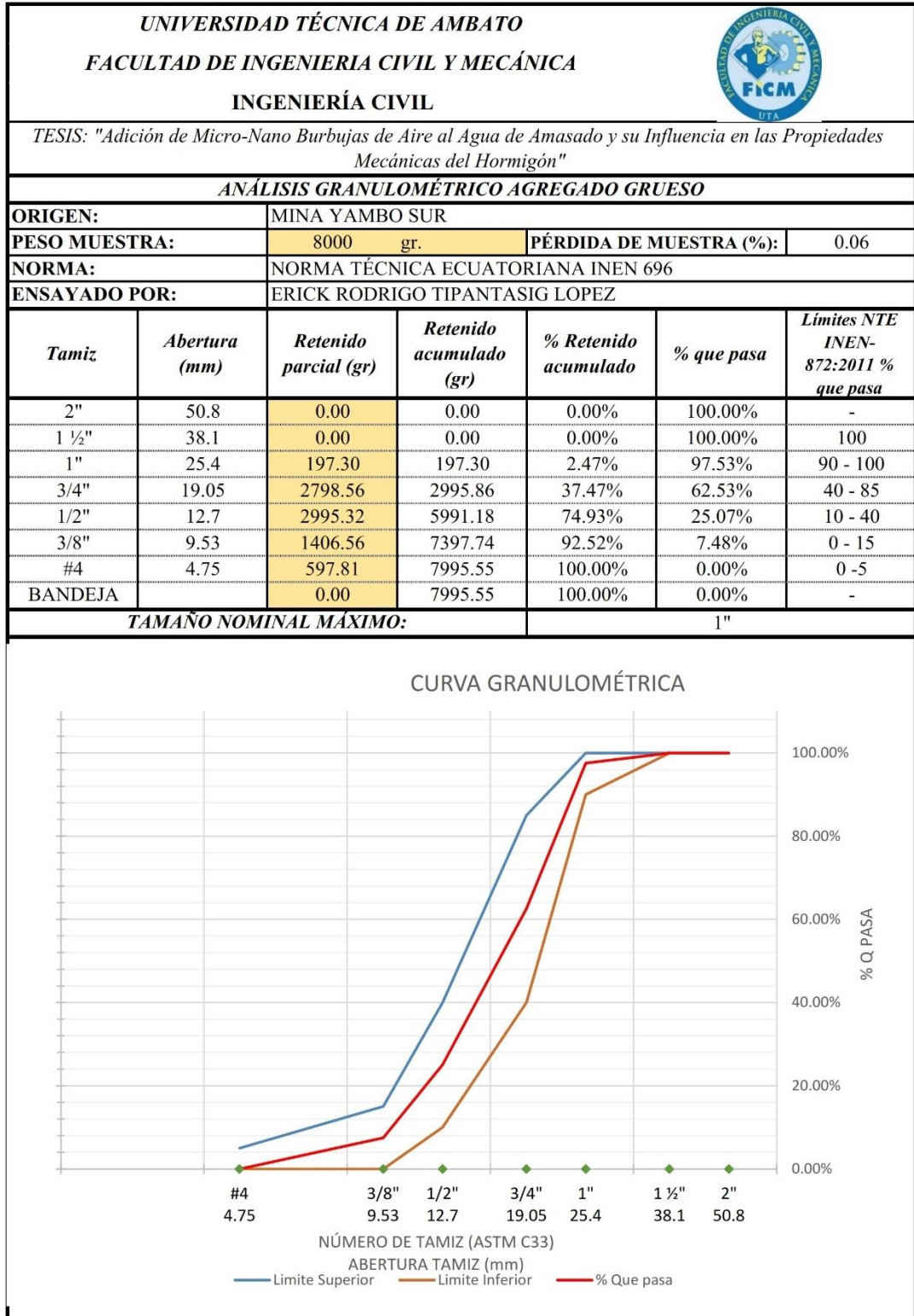
Anexo 2. Resultados ensayo para la determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL</p>		
		
<p><i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i></p>		
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 855	
DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN		
DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Fotografía		
Número de comparador de referencia (Serie de Gardner)	3 (11)	3 (11)
Lectura de comparación (Serie de Gardner)	más oscuro que 3 (> 11)	más claro que 1 (< 8)
Contenido orgánico	Aceptable	Aceptable
Observaciones	Muestra de arena antes de ser lavada.	Muestra de arena después de ser lavada.


Anexo 3. Resultados ensayo de análisis granulométrico del agregado fino




Anexo 4. Resultados ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.




Anexo 5. Resultados ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		INGENIERÍA CIVIL	
					
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>					
DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR				
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ				
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 856				
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa del picnómetro	gr	145.38		
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	235.40		
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	698.77		
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	463.37		
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	644.32		
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.94		
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1.00		
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	35.57		
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	90.02		
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	35.65		
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.525		
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	30.55	31.95	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	63.18	50.07	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	32.63	18.12	
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	62.36	49.63	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	31.81	17.68	
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.58	2.49	
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.53		

Anexo 6. Resultados ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
INGENIERÍA CIVIL				
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 857			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1239.00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1077.00	
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	6291.00	
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	4182.00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1.00	
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5052.00	
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3105.00	
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1949.57	
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm3	2.591	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	30.55	31.95
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	203.46	191.16
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	172.91	159.21
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	200.25	188.18
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	169.70	156.23
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1.89	1.91
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.90	

Anexo 7. Resultados ensayo de densidad compactada y suelta del agregado fino y grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL				
				
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>				
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
MASA RECIPIENTE:	9.985 Kg.			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
VOLUMEN RECIPIENTE:	20.22 dm ³			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Promedio (kg/dm³)</i>
GRUESO	40.755	30.770	1.522	1.516
	40.540	30.555	1.511	
FINO	43.120	33.135	1.639	1.643
	43.285	33.300	1.647	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL				
				
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>				
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR			
MASA RECIPIENTE:	9.985 Kg.			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
VOLUMEN RECIPIENTE:	20.22 dm ³	FECHA:	30/may/2022	
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
GRUESO	38.260	28.275	1.398	1.396
	38.160	28.175	1.393	
FINO	41.930	31.945	1.580	1.578
	41.865	31.880	1.577	

Anexo 8. Resultados ensayo de densidad aparente compactada de la mezcla.


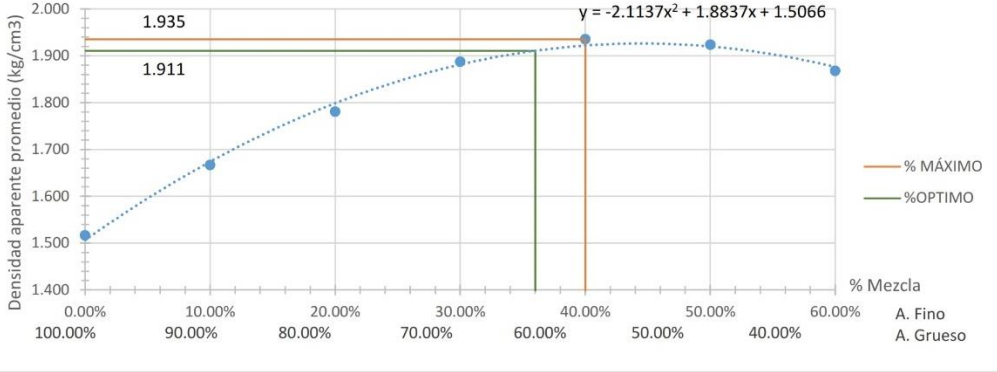

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA		INGENIERÍA CIVIL				
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		MINA YAMBO SUR						
MASA RECIPIENTE:		9.985 Kg.						
ENSAYADO POR:		ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ						
VOLUMEN RECIPIENTE:		20.22 dm ³						
NORMA:		NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 858:2010						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.755	30.770	1.522	1.516
					40.540	30.555	1.511	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.615	33.630	1.663	1.667
					43.760	33.775	1.670	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	46.190	36.205	1.791	1.781
					45.795	35.810	1.771	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	48.180	38.195	1.889	1.887
					48.115	38.130	1.886	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	49.120	39.135	1.935	1.935
					49.110	39.125	1.935	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	48.965	38.980	1.928	1.924
					48.810	38.825	1.920	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	47.865	37.880	1.873	1.868
					47.645	37.660	1.863	

Gráfico porcentaje óptimo vs. Densidad aparente




Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40.00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60.00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	36.00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64.00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1.935
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1.911

Anexo 9. Resultados ensayo de densidad real del cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL				
<i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i>				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
TIPO:	Holcim GU			
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ			
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 156			
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
Ma	Masa del frasco + gasolina	gr	328.51	309.77
V1	Lectural Inicial de la gasolina	cm3	0.70	1.20
Mp	Masa del frasco + gasolina + cemento	gr	384.77	373.23
V2	Lectura Final de la gasolina	cm3	20.60	23.70
$V3 = V2 - V1$	Volumen Desalojado de gasolina	cm3	19.90	22.50
$Mc = Mp - Ma$	Masa del cemento usado	gr	56.26	63.46
$DRC = Mc / V3$	Densidad del cemento	gr/cm3	2.827	2.820
	Densidad real promedio	gr/cm3	2.824	

Anexo 10. Resultados generación de micro-nano burbujas de aire.

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>INGENIERÍA CIVIL</p>							
<p><i>TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"</i></p>							
TIPO DE ENSAYO		GENERACIÓN DE MICRO-NANO BURBUJAS DE AIRE					
ENSAYADO POR:		ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ					
MUESTRA	TIEMPO PERMANENCIA	TEMPERATURA	pH^a	TAMAÑO DE PARTÍCULAS*	TURBIDEZ^a	Oxígeno Disuelto^a	Conductividad Eléctrica^a
(ciclos)	(min.)	(°C)	(UpH)	(µm)	(NTU)	(mg/L)	(us/cm)
0	0.0	15.0	7.03	≈ 300	1.6	7.17	<140
15	180.0	16.5	7.55	0.1 - 20	10.7	5.80	<140
30	360.0	18.2	7.69	PNV	16.4	5.19	<140
NOTAS:							
* - Determinado según las capacidades de microscopio óptico.							
PNV - Partículas no visibles a través del microscopio óptico usado. (se asume partículas menores al último registro)							
^a - Parámetros determinados según informes de laboratorio No. LACQUA 22 - 3883/3884/3885							

Anexo 10. Resultados análisis de laboratorio de generación de micro-nano burbujas de aire.

“Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables”
www.lacquanalisis.com

No. LACQUA 22 - 3883

SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO
Acreditación N° SAE LEN 11-010
LABORATORIO DE ENSAYOS

Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	---	MUESTRA 1	
Atención a	Erick Tipantasig		
Dirección	Ambato		
Teléfonos	0987478967		
e-mail	ericktipantasig@yahoo.com		
Procedencia	---	Contenido declarado	1000 ml
Identificación muestra	Agua potable	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido claro	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	21-jul-22	Fecha de análisis	Del 21 de julio al 01 de agosto de 2022	Código Muestra	A-3623
Fecha Ingreso al Laboratorio	21-jul-22	Fecha emisión informe	01 de agosto	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	42,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Conductividad	µs/cm	<140	PRO TEC 013 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 B	± 3,17 %
Oxígeno Disuelto*	mg/l	7,17	PRO TEC 061 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 O G	± 13,99 %
pH	UpH	7,03	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Turbiedad	NTU	1,60	PRO TEC 060 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 B	± 21,50 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado	** Parámetro No acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance	*** Parámetro Subcontratado Acreditado
	**** Parámetro Subcontratado No Acreditado

Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
2. Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
3. Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Gissela Acosta
Analista

Dr. Harold Jiménez
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América

INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3884



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	---	MUESTRA 2	
Atención a	Erick Tipantasiq		
Dirección	Ambato		
Teléfonos	0987478967		
e-mail	ericktipantasiq@yahoo.com		
Procedencia	---	Contenido declarado	1000 ml
Identificación muestra	Agua potable	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido claro	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Detos del Análisis:					
Fecha toma muestra	21-jul.-22	Fecha de análisis	Del 21 de julio al 01 de agosto de 2022	Código Muestra	A-3624
Fecha Ingreso al Laboratorio	21-jul.-22	Fecha emisión informe	01 de agosto	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	42,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Conductividad	µs/cm	<140	PRO TEC 013 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2510 B	± 3,17 %
Oxígeno Disuelto	mg/l	5,80	PRO TEC 061 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 4500 O G	± 13,99 %
pH	UpH	7,55	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Turbiedad	NTU	10,70	PRO TEC 060 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2130 B	± 21,50 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado

Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los analisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este analisis
- Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los analisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de informacion recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Gisela Acosta
Analista



Dr. Harold Jiménez
Director Técnico



"Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables"
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3885



Acreditación N° SAE LEN 11-010
 LABORATORIO DE ENSAYOS

Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	---	MUESTRA 3	
Atención a	Erick Tipantasig		
Dirección	Ambato		
Teléfonos	0987478967		
e-mail	ericktipantasig@yahoo.com		
Procedencia	---	Contenido declarado	1000 ml
Identificación muestra	Agua potable	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido claro	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	21-jul.-22	Fecha de análisis	Del 21 de julio al 01 de agosto de 2022	Código Muestra	A-3625
Fecha Ingreso al Laboratorio	21-jul.-22	Fecha emisión informe	01 de agosto	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	42,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Conductividad	µs/cm	<140	PRO TEC 013 / Standard Methods. Ed. 23. 2017, 2510 B	± 3,17 %
Oxígeno Disuelto	mg/l	5,19	PRO TEC 061 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 O G	± 13,99 %
pH	UpH	7,69	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Turbiedad	NTU	16,40	PRO TEC 060 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2130 B	± 21,50 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado

* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado

*** Parámetro Subcontratado Acreditado

**** Parámetro Subcontratado No Acreditado

Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
2. Los analisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este analisis
3. Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los analisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:

Inga Gisela Acosta
 Analista



Dr. Harold Jiménez
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
 Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
 Ambato, Ecuador - Sud América

Anexo 11. Dosificación para hormigón de resistencia 210 kg/cm².

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA CIVIL



TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

DOSIFICACIÓN PARA RESISTENCIA DE 21 MPa	
ORIGEN:	MINA YAMBO SUR
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ
MÉTODO:	DENSIDAD ÓPTIMA

DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
f'c	210	Kg/cm²	W/C	0.58	
Asentamiento	3 - 6	cm	CP (%)	POV + 2% + 6%(POV)	
DRC	2.824	gr/cm ³	CÁLCULOS		
DRA	2.525	gr/cm ³	DRM	2.568	kg/dm ³
DRR	2.591	gr/cm ³	POV	25.581	%
DSA	1.578	gr/cm ³	CP	291.155	dm ³
DSR	1.396	gr/cm ³	C	311.684	Kg
POA	36	%	W	180.777	lts
POR	64	%	A	644.447	kg
DOM	1.911	gr/cm ³	R	1175.588	kg

CANTIDAD REQUERIDA	12	cilindros *	VR	0.0188	m3
RENDIMIENTO	61.01	%	VN	0.0262	m3

DOSIFICACIÓN AL PESO			
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg PARA ENSAYO
W	180.777	0.58	4.736
C	311.684	1.00	8.166
A	644.447	2.07	16.884
R	1175.588	3.77	30.799
TOTAL	2312.496	kg/m³ Densidad del Horm.	

NOMENCLATURA:			
DRC	Densidad Real del Cemento	CP (%)	Cantidad de Pasta en %
DRA	Densidad Real de la Arena	DRM	Densidad Real de la Mezcla
DRR	Densidad Real del Ripio	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos
DSA	Densidad Suelta de la Arena	CP	Cantidad de Pasta
DSR	Densidad Suelta del Ripio	C	Cantidad de Cemento
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	W	Cantidad de Agua
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio	A	Cantidad de Arena
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla	R	Cantidad de Ripio
W/C	Relación Agua Cemento	VR	Volumen Requerido
		VN	Volumen Necesario

* cilindros de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.

Anexo 12. Dosificación para hormigón de resistencia 280 kg/cm².

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA CIVIL



TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

DOSIFICACIÓN PARA RESISTENCIA DE 21 MPa

ORIGEN:	MINA YAMBO SUR
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ
MÉTODO:	DENSIDAD ÓPTIMA

DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL

DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
f _c	280	Kg/cm ²	W/C	0.47	
Asentamiento	3 - 5	cm	fm	365	Kg/cm ²
DRC	2.824	gr/cm ³	CÁLCULOS		
DRA	2.525	gr/cm ³	DRM	2.568	kg/dm ³
DRR	2.591	gr/cm ³	POV	25.581	%
DSA	1.578	gr/cm ³	CP	291.153	dm ³
DSR	1.396	gr/cm ³	C	382.980	Kg
POA	36	%	W	180.001	lts
POR	64	%	A	645.250	kg
DOM	1.911	gr/cm ³	R	1076.360	kg

CANTIDAD REQUERIDA	12 cilindros *	VR	0.0188 m ³
RENDIMIENTO	61.91 %	VN	0.0260 m ³

DOSIFICACIÓN AL PESO


MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg PARA ENSAYO
W	180.001	0.47	4.685
C	382.980	1.00	9.969
A	645.250	1.68	16.795
R	1076.360	2.81	28.017
TOTAL	2284.591	kg/m³ Densidad del Horm.	

NOMENCLATURA:

DRC	Densidad Real del Cemento	fm	Cantidad de Pasta en %
DRA	Densidad Real de la Arena	DRM	Densidad Real de la Mezcla
DRR	Densidad Real del Ripio	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos
DSA	Densidad Suelta de la Arena	CP	Cantidad de Pasta
DSR	Densidad Suelta del Ripio	C	Cantidad de Cemento
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	W	Cantidad de Agua
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio	A	Cantidad de Arena
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla	R	Cantidad de Ripio
W/C	Relación Agua Cemento	VR	Volumen Requerido
		VN	Volumen Necesario

* cilindros de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.

Anexo 14. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de prueba de $f'c$ 210 kg/cm².

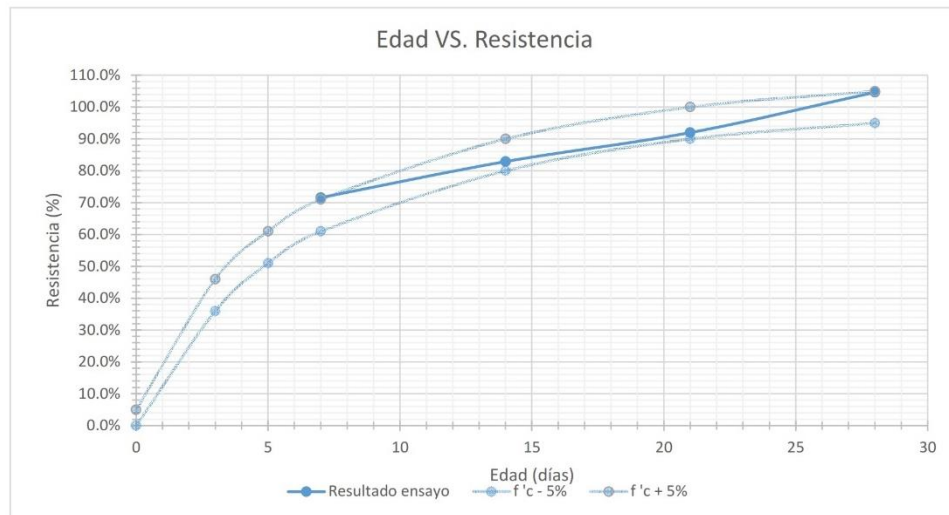
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL	
---	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE MUESTRA:	DISEÑO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 21 MPa.	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	FECHA DE ELABORACIÓN
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573	07/04/2022


EDAD	ID	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA COMPRESIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
(días)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
7	1	99.8	201.0	7822.60	102.70	13.13	15.04
	2	100.2	201.0	7885.43	117.15	14.86	
	3	100.3	201.0	7901.18	120.24	15.22	
14	4	99.6	201.3	7791.28	131.36	16.86	17.42
	5	100.2	200.7	7885.43	136.66	17.33	
	6	102	200.0	8171.28	147.55	18.06	
21	7	100.1	200.0	7869.70	152.25	19.35	19.31
	8	99.8	200.0	7822.60	157.37	20.12	
	9	100	200.0	7853.98	145.15	18.48	
28	10	100	200.0	7853.98	178.17	22.68	21.98
	11	100.2	201.0	7885.43	110.14	13.97	
	12	100	200.0	7853.98	167.17	21.28	

edad	días	7	14	21	28
resistencia	%	71.6%	82.9%	92.0%	104.7%



Observaciones:
 En los cilindros de ID 1 y 11 han existido anomalías que podrían estar relacionadas con la elaboración o con condiciones especiales desconocidas por lo que no serán tomados en cuenta en el promedio final de la resistencia de dicha edad, principalmente por el motivo que analizando la mediana del grupo de datos por edad, estos valores están fuera de un rango de +/- 5% de desviación permitida.

Anexo 15. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de prueba de $f'c$ 280 kg/cm².

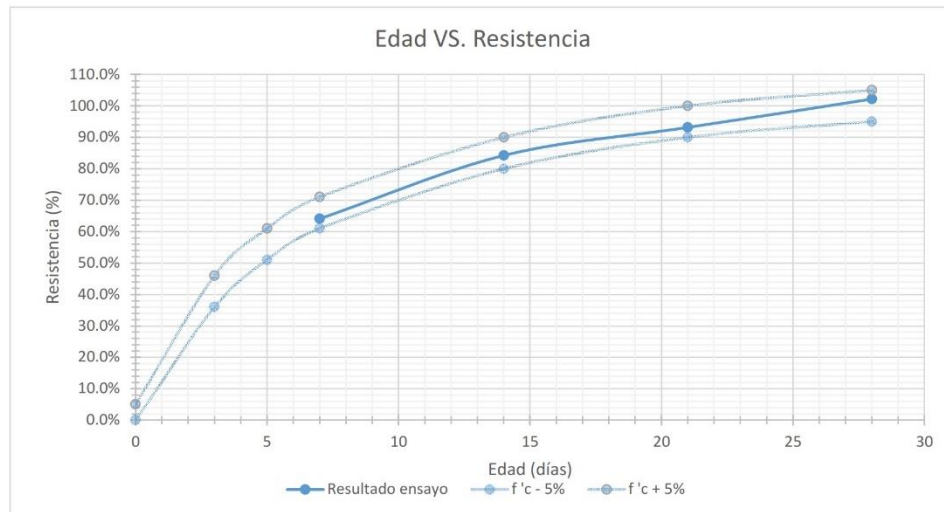
<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>INGENIERÍA CIVIL</p>	
--	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE MUESTRA:	DISEÑO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 28 MPa.	FECHA DE ELABORACIÓN
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	DE CILINDROS:
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573	21/04/2022


EDAD	ID	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA COMPRESIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
(días)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
7	1	101.6	200.0	8107.32	140.00	17.27	17.94
	2	100.1	200.0	7869.70	145.00	18.43	
	3	100.2	201.0	7885.43	143.00	18.13	
14	4	101.5	200.7	8091.37	191.00	23.61	23.59
	5	100.6	199.7	7948.51	183.00	23.02	
	6	101.7	199.3	8123.29	196.00	24.13	
21	7	101.6	201.0	8107.32	210.00	25.90	26.08
	8	100.3	200.0	7901.18	207.00	26.20	
	9	101.4	202.0	8075.43	211.00	26.13	
28	10	100.1	200.0	7869.70	223.00	28.34	28.61
	11	100.0	210.0	7853.98	225.00	28.65	
	12	100.1	210.0	7869.70	227.00	28.84	

edad	días	7	14	21	28
resistencia	%	64.1%	84.2%	93.1%	102.2%



Observaciones:
NINGUNA

Anexo 17. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de $f'c$ 210 kg/cm² (sin incluir micro-nano burbujas).

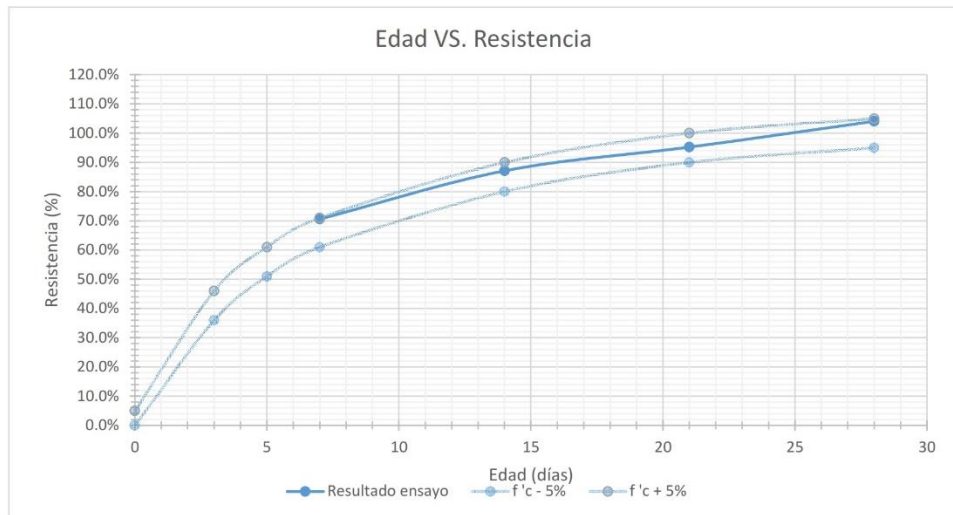
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL	
---	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE MUESTRA:	DISEÑO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 21 Mpa (sin incluir MNB).	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	FECHA DE ELABORACIÓN
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573	16/05/2022


EDAD	ID	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA COMPRESIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
(días)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
7	1	100	201.0	7853.98	113.49	14.45	14.82
	2	100.3	201.0	7901.18	119.00	15.06	
	3	100.5	201.0	7932.72	118.70	14.96	
14	4	99.8	201.3	7822.60	142.39	18.20	18.30
	5	99.7	201.2	7806.93	140.29	17.97	
	6	100.1	200.1	7869.70	147.49	18.74	
21	7	100.1	200.0	7869.70	155.70	19.78	20.00
	8	100.3	200.0	7901.18	156.34	19.79	
	9	100.1	200.0	7869.70	160.70	20.42	
28	10	100.1	200.0	7869.70	174.15	22.13	21.85
	11	100	200.0	7853.98	176.26	22.44	
	12	100.2	201.0	7885.43	170.15	21.58	

edad	días	7	14	21	28
resistencia	%	70.6%	87.2%	95.2%	104.1%



Observaciones:

Anexo 18. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de $f'c$ 210 kg/cm² (incluyendo micro-nano burbujas).

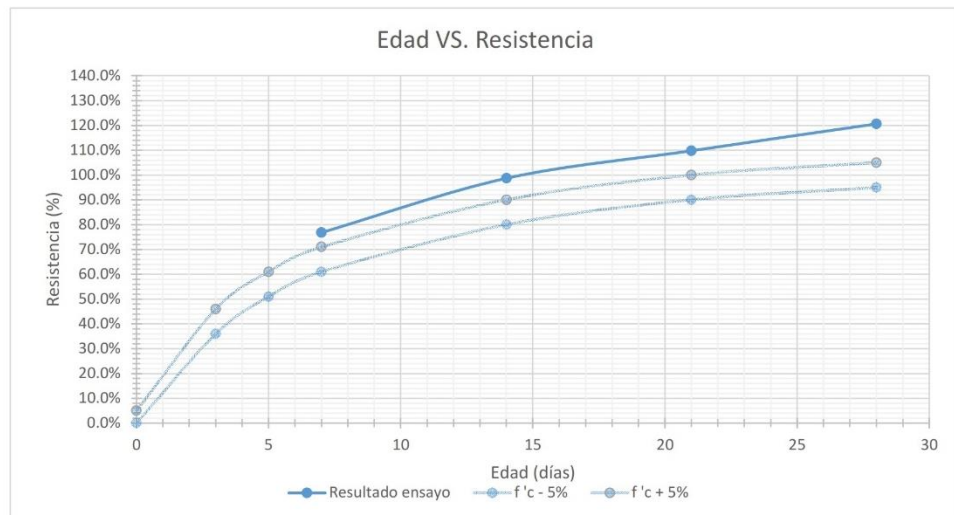
<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>INGENIERÍA CIVIL</p>	
--	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE MUESTRA:	DISEÑO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 21 Mpa (incluido MNB).	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	FECHA DE ELABORACIÓN
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573	16/05/2022


EDAD	ID	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA COMPRESIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
(días)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
7	1	99.8	200.0	7822.60	125.70	16.07	16.13
	2	99.7	200.0	7806.93	126.34	16.18	
	3	100.1	201.0	7869.70	126.91	16.13	
14	4	101.5	200.7	8091.37	167.85	20.74	20.72
	5	100.1	199.7	7869.70	164.18	20.86	
	6	101.7	199.3	8123.29	166.85	20.54	
21	7	101.6	201.0	8107.32	187.22	23.09	23.06
	8	100.6	200.0	7948.51	183.25	23.05	
	9	101.4	202.0	8075.43	185.91	23.02	
28	10	99.7	201.0	7806.93	198.59	25.44	25.31
	11	99.9	203.0	7838.28	198.66	25.34	
	12	100.5	200.0	7932.72	199.59	25.16	

edad	días	7	14	21	28
resistencia	%	76.8%	98.6%	109.8%	120.5%



Observaciones:

Anexo 19. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de $f'c$ 280 kg/cm² (sin incluir micro-nano burbujas).

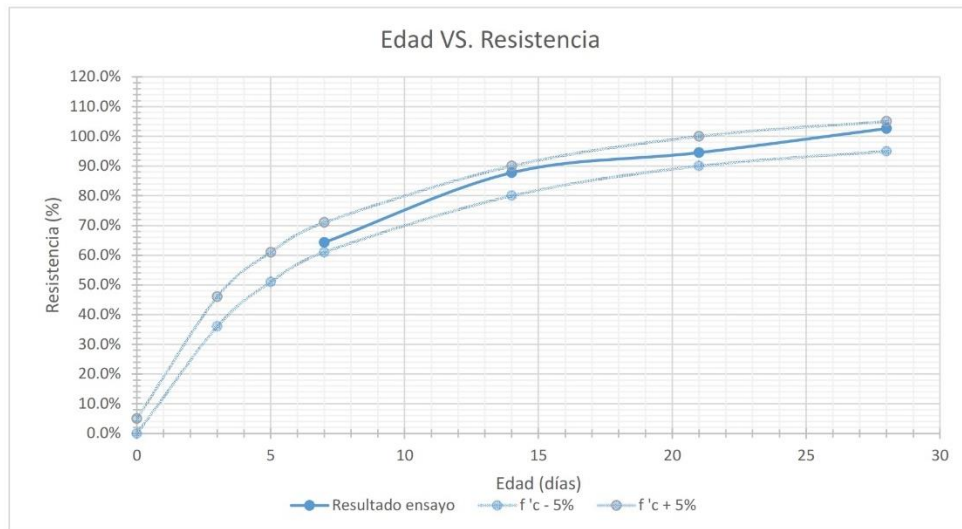
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL	
---	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE MUESTRA:	DISEÑO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 28 Mpa (sin incluir MNB).	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	FECHA DE ELABORACIÓN
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573	16/05/2022


EDAD	ID	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA COMPRESIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
(días)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
7	1	100.2	201.0	7885.43	140.70	17.84	18.01
	2	100.6	200.0	7948.51	142.15	17.88	
	3	100.5	201.0	7932.72	145.16	18.30	
14	4	101.6	200.7	8107.32	198.36	24.47	24.57
	5	100.6	199.7	7948.51	195.79	24.63	
	6	101.7	199.3	8123.29	199.85	24.60	
21	7	101.6	201.0	8107.32	211.61	26.10	26.46
	8	100.6	200.0	7948.51	216.84	27.28	
	9	102.3	202.0	8219.42	213.60	25.99	
28	10	101.9	200.0	8155.27	230.00	28.20	28.74
	11	99.9	201.0	7838.28	230.15	29.36	
	12	100.6	202.0	7948.51	227.66	28.64	

edad	días	7	14	21	28
resistencia	%	64.3%	87.7%	94.5%	102.6%



Observaciones:

Anexo 20. Resultados ensayo de compresión simple cilindros de $f'c$ 280 kg/cm² (incluyendo micro-nano burbujas).

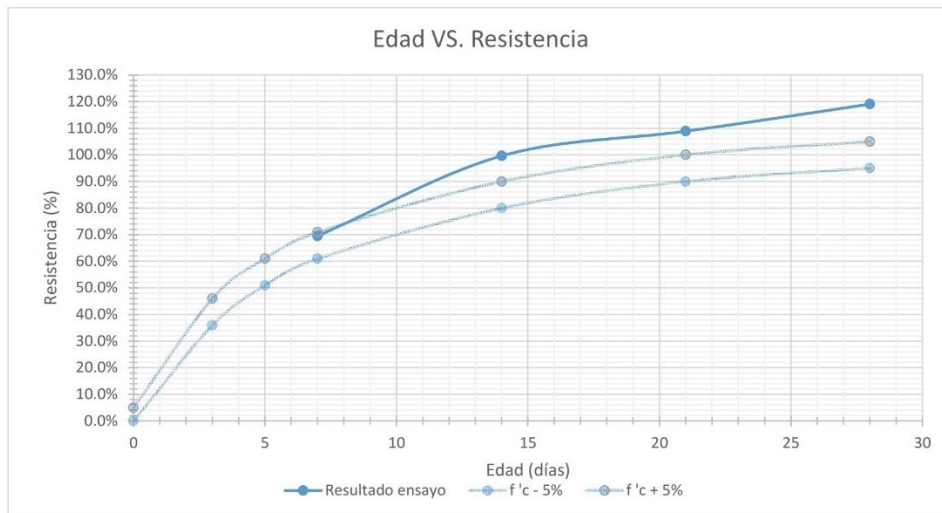
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL	
---	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE MUESTRA:	DISEÑO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 28 Mpa (incluido MNB).	
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ	FECHA DE ELABORACIÓN
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573	16/05/2022


EDAD	ID	DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA COMPRESIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO
(días)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
7	1	99.8	200.0	7822.60	150.56	19.25	19.47
	2	100.1	200.0	7869.70	153.97	19.56	
	3	100.3	201.0	7901.18	154.85	19.60	
14	4	101.0	200.7	8011.85	224.52	28.02	27.90
	5	100.6	199.7	7948.51	223.96	28.18	
	6	101.7	199.3	8123.29	223.31	27.49	
21	7	101.6	201.0	8107.32	246.30	30.38	30.49
	8	100.3	200.0	7901.18	242.39	30.68	
	9	101.4	202.0	8075.43	245.48	30.40	
28	10	100.1	200.0	7869.70	263.35	33.46	33.33
	11	100.0	201.0	7853.98	262.22	33.39	
	12	100.1	201.0	7869.70	260.81	33.14	

edad	días	7	14	21	28
resistencia	%	69.5%	99.6%	108.9%	119.0%



Observaciones:

Anexo 21. Resultados ensayo de compresión diametral para cilindros de $f'c$ 210 y 280 kg/cm² (incluyendo y sin incluir micro-nano burbujas).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL	
---	---

TESIS: "Adición de Micro-Nano Burbujas de Aire al Agua de Amasado y su Influencia en las Propiedades Mecánicas del Hormigón"

TIPO DE ENSAYO	ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL
ENSAYADO POR:	ERICK RODRIGO TIPANTASIG LOPEZ
NORMA:	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2648
EDAD:	28 DÍAS

TIPO	DIÁMETRO (mm.)	LONGITUD (mm.)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTENCIA (Mpa)	PROP. GRUESO FRACTURADO (%)	TIPO DE FRACTURA *	RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)
210 - AP	152.7	300	150 256.40	2.09	ND	2	2.09
	153.0	301	151 362.50	2.09	ND	1	
	151.0	303	150 368.60	2.09	ND	1	
210 - AMNB	153.3	304	179 365.60	2.45	ND	1	2.45
	152.7	304	177 814.00	2.44	ND	1	
	152.0	300	176 559.60	2.46	ND	1	
280 - AP	150.7	303	201 659.80	2.81	ND	2	2.80
	151.0	303	202 565.40	2.82	ND	1	
	151.6	303	200 563.60	2.78	ND	2	
280 - AMNB	153.5	302	239 514.30	3.29	ND	2	3.31
	150.5	300	235 365.00	3.32	ND	1	
	153.0	303	242 351.60	3.33	ND	1	

NOTAS:
* Tipos de fractura: 1. Fractura normal 2. Fractura de Triple Endimiento 3. Fractura por Corte 4. Fractura por Compresión Local
ND - No Determinado

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



