

Análisis comparativo de la incidencia de los métodos de diseño ACI 211.1 y O'Reilly en la economía de concretos hidráulicos convencionales

Cristihan David Riascos Narváz, ✉ cristihanriascos@gmail.com

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

Director: Vicente Parra Santacruz, Ingeniero Especialista en Estructuras



Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
Octubre, 2022

Nota de Responsabilidad

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1° del Acuerdo No 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Presidente del Comité

Jurado 1

Jurado 2

Agradecimientos

A Dios por iluminar mi camino y estar conmigo en todo momento.

A mi familia, por ser mi motivación para salir adelante.

Al ingeniero Vicente Parra, por haber creído en el proyecto y acompañarme como director, al igual que por sus enseñanzas y consejos me van a ayudar en mi vida profesional.

Al ingeniero Brayan Narváez, por su gran apoyo y acompañamiento durante todo el proceso y quien me motivo a emprender este trabajo de investigación.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas las personas que estuvieron conmigo en este proceso. A mi madre Rosario Narváez, que con su amor incondicional estuvo siempre a mi lado apoyándome para poder cumplir este logro. A mi padre, Jesús Riascos, quien siempre se preocupó por sacar adelante a nuestra familia y me enseñó a ser un hombre de bien y con valores. A mis hermanos Joseph y Jonathan, quienes motivaron a culminar este trabajo para poder ser un ejemplo para ellos y ayudarlos a cumplir sus metas. A mi novia Laura, por haberme acompañado durante este proceso y enseñarme que con esfuerzo y dedicación se pueden cumplir cualquier meta.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis comparativo entre dos métodos de diseño de concretos, el método ACI 211.1 y el método O'Reilly, el primero corresponde a un método práctico de amplio uso en Colombia y el segundo es un método alternativo enfocado en la disminución del contenido de cemento en el concreto. Para el análisis se diseñaron concretos de 21 MPa y 28 MPa de resistencia especificada a la compresión mediante los dos métodos mencionados, manteniendo un mismo valor de asentamiento, el cual fue de 7,5 cm.

Como resultado del análisis se encontró que existe una disminución del contenido de cemento en los concretos diseñados con el método O'Reilly respecto a los diseñados con el método ACI 211.1, la cual fue de 5,6% en los concretos de 21 MPa y de 5,4% en los concretos de 28 MPa. En términos económicos, debido al ahorro de cemento, el concreto de 21 MPa diseñado con el método O'Reilly presentó un costo 3,7 % más bajo que el concreto de la misma resistencia diseñado con el método ACI 211.1, en el caso del concreto de 28 MPa esta diferencia de costos fue de 3,6%.

En cuanto al peso unitario, no se encontró una variación significativa entre los concretos diseñados con los dos métodos analizados, debido a que la diferencia porcentual entre los pesos unitarios en estado plástico fue menor al 2% y en estado endurecido menor al 1%.

En lo que respecta a los ensayos complementarios no se encontró una variación significativa en la temperatura de los concretos en estado plástico, mientras que en el caso del módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión en edades tempranas se obtuvieron valores mayores en los concretos diseñados con el método O'Reilly.

Palabras clave: Concreto hidráulico, Método ACI 211.1, Método O'Reilly, Agregados, Peso unitario del concreto, Porcentaje de vacíos, Módulo de elasticidad, Temperatura del concreto.

ABSTRACT

In the present work, a comparative analysis was carried out between two concrete design methods, the ACI 211.1 method and the O'Reilly method, the first of these corresponds to a practical method widely used in Colombia and the second one is an alternative method focused on the decrease in cement content in the concrete. For the analysis concretes of 21 MPa and 28 MPa of specified resistance to compression were designed by means of the two mentioned methods, maintaining the same slump value, which was 7,5 cm.

As a result of the analysis, it was found that there is a decrease in the cement content in the concretes designed with the O'Reilly method compared to those designed with the ACI 211.1 method, which was 5,6% in the 21 MPa concretes and 5,4% in the 28 MPa concretes. In economic terms, due to the saving of cement, the 21 MPa concrete designed with the O'Reilly method presented a cost 3,7% lower than the concrete of the same resistance designed with the ACI 211.1 method, in the case of the 28 MPa concrete this cost difference was 3,6%.

With respect to density, no significant variation was found between the concretes designed with the two methods analyzed, because the percentage difference between the densities in the plastic state was less than 2% and in the hardened state less than 1%.

Regarding the complementary tests, no significant variation was found in the temperature of the concretes in the plastic state, while in the case of the modulus of elasticity and the compressive strength at early ages, higher values were obtained in the concretes designed with the O'Reilly method.

Keywords: Concrete, ACI 211.1 method, O'Reilly method, Aggregates, Concrete density, Percentage of voids, Elastic modulus, Concrete temperature.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	16
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
A. Descripción del problema.....	17
B. Formulación del problema.....	17
C. Antecedentes.....	18
III. JUSTIFICACIÓN.....	19
IV. OBJETIVOS	20
A. Objetivo general	20
B. Objetivos específicos	20
V. MARCO TEÓRICO	21
A. Concreto hidráulico	21
1) Cemento.....	21
2) Agua.....	22
3) Agregados	22
4) Aditivos y adiciones	23
B. Propiedades del concreto	23
1) Resistencia.....	23
2) Durabilidad	24
3) Manejabilidad	24
C. Diseño de mezclas de concreto.....	25
1) Método de diseño ACI 211.1.....	25
2) Método de diseño O'Reilly.....	31
VI. METODOLOGÍA	35

A. Tamaño de la muestra.....	35
B. Metodología de trabajo.....	37
C. Equipos y calibración	37
D. Materiales utilizados.....	38
1) Cemento.....	38
2) Agregados	38
E. Especificaciones de diseño	39
1) Resistencia especificada a la compresión (f'_c).....	39
2) Asentamiento	39
3) Nomenclatura.....	39
F. Procedimiento para la elaboración de las mezclas de concreto	40
VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL	41
A. Caracterización de los materiales	41
1) Caracterización del cemento.....	41
2) Caracterización de los agregados	42
B. Determinación de las resistencias de diseño.....	45
C. Diseño de concretos por el método ACI 211.1	48
1) Datos de entrada	48
2) Parámetros para las proporciones iniciales.....	48
3) Estimación de las proporciones de los agregados	48
4) Proporciones iniciales.....	50
5) Primera mezcla de prueba.....	50
6) Segunda mezcla de prueba	51
7) Tercera mezcla de prueba	51
D. Diseño de concretos con el método O'Reilly.....	54

1) Datos de entrada	54
2) Determinación de la mezcla óptima de agregados	54
3) Determinación del agua de mezcla	58
4) Proporciones iniciales	60
5) Determinación de la característica "A" del agregado	60
6) Determinación de la cantidad real de cemento	61
7) Ajustes y determinación de las proporciones finales	61
E. Peso unitario de los concretos	64
1) Peso unitario en estado plástico	64
2) Peso unitario en estado endurecido	65
F. Temperatura de los concretos	66
G. Evolución de la resistencia de los concretos	66
H. Módulo de elasticidad y relación de Poisson de los concretos	67
I. Porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados	67
VIII. RESULTADOS	68
A. Proporciones de los concretos	68
B. Resultados del peso unitario de los concretos	69
1) Peso unitario en estado plástico	69
2) Peso unitario en estado endurecido	69
C. Resultados de la temperatura de los concretos	70
D. Resultados del módulo de elasticidad y relación de Poisson de los concretos	70
E. Resultados de la evolución de la resistencia de los concretos	70
F. Resultados del porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados	70
IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	71
A. Comparación del contenido de cemento	71

B. Análisis de costos	72
1) Análisis de precios unitarios.....	72
2) Relación entre la resistencia y el costo de los concretos	73
C. Análisis del peso unitario de los concretos.....	74
D. Análisis de la temperatura de los concretos	74
E. Análisis de la evolución de resistencia de los concretos	75
F. Análisis del módulo de elasticidad de los concretos.....	76
G. Análisis del porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados	77
X. CONCLUSIONES.....	78
XI. RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS	81
ANEXOS.....	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA I. ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA CEMENTOS.....	22
TABLA II. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU TAMAÑO.....	23
TABLA III. RELACIONES A/C PARA CEMENTOS COLOMBIANOS TIPO 1.....	26
TABLA IV. GRANULOMETRÍA DE LA CURVA IDEAL DE WEYMOUTH.....	27
TABLA V. TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTÁNDAR.....	36
TABLA VI. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO.....	38
TABLA VII. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS.....	38
TABLA VIII. NOMENCLATURA EMPLEADA PARA LOS CONCRETOS.....	39
TABLA IX. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DEL CEMENTO.....	41
TABLA X. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.....	42
TABLA XI. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	42
TABLA XII. PARÁMETROS DE LA MEZCLA DE PRUEBA PILOTO.....	45
TABLA XIII. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LA MEZCLA DE PRUEBA PILOTO.....	46
TABLA XIV. FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	47
TABLA XV. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA.....	47
TABLA XVI. RESISTENCIA DE DISEÑO PARA CADA TIPO DE CONCRETO.....	47
TABLA XVII. DATOS DE ENTRADA – MÉTODO ACI 211.1.....	48
TABLA XVIII. PARÁMETROS PARA DEFINIR LAS PROPORCIONES INICIALES – MÉTODO ACI 211.1.....	48
TABLA XIX. PROPORCIONES DE AGREGADOS DEL MÉTODO ACI 211.1.....	49
TABLA XX. GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS.....	49
TABLA XXI. PROPORCIONES INICIALES EN PESO SECO – ACI - 21 MPA.....	50
TABLA XXII. PROPORCIONES INICIALES EN PESO SECO – ACI - 28 MPA.....	50
TABLA XXIII. PROPORCIONES DE LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA.....	50
TABLA XXIV. RELACIÓN A/C UTILIZADA EN LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA.....	51
TABLA XXV. PROPORCIONES SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA – ACI - 21 MPa.....	51
TABLA XXVI. PROPORCIONES SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA – ACI - 28 MPA.....	51
TABLA XXVII. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA.....	51
TABLA XXVIII. RELACIÓN A/C PARA LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA.....	53

TABLA XXIX. PROPORCIONES TERCERA MEZCLA DE PRUEBA – ACI - 21 MPa.....	53
TABLA XXX. PROPORCIONES TERCERA MEZCLA DE PRUEBA – ACI - 28 MPa	53
TABLA XXXI. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA .	53
TABLA XXXII. DATOS DE ENTRADA – MÉTODO O’REILLY	54
TABLA XXXIII. PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS GRUESOS.....	56
TABLA XXXIV. PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	57
TABLA XXXV. PROPORCIONES DE AGREGADOS DEL MÉTODO O'REILLY	58
TABLA XXXVI. DOSIFICACIONES EMPÍRICAS PARA CONCRETOS	58
TABLA XXXVII. PARÁMETROS DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA.....	58
TABLA XXXVIII. ASENTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA	59
TABLA XXXIX. AGUA DE MEZCLA INICIAL DE LOS CONCRETOS.....	59
TABLA XL. PROPORCIONES INICIALES – O'REILLY - 21 MPA.....	60
TABLA XLI. PROPORCIONES INICIALES – O'REILLY - 28 MPA	60
TABLA XLII. RESISTENCIA DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON LAS PROPORCIONES INICIALES	60
TABLA XLIII. CARACTERÍSTICA “A” DEL AGREGADO	61
TABLA XLIV. CANTIDAD REAL DE CEMENTO	61
TABLA XLV. PROPORCIONES CALCULADAS – O'REILLY - 21 MPA.....	61
TABLA XLVI. PROPORCIONES CALCULADAS – O'REILLY - 28 MPA	61
TABLA XLVII. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE PROPORCIONES CALCULADAS.	62
TABLA XLVIII. AJUSTE POR RESISTENCIA – O'REILLY - 28 MPA.....	62
TABLA XLIX. MEZCLAS DE PRUEBA PARA EL AJUSTE POR ASENTAMIENTO	63
TABLA L. PROPORCIONES AJUSTADAS POR ASENTAMIENTO – O'REILLY-21 MPA .	63
TABLA LI. PROPORCIONES AJUSTADAS POR ASENTAMIENTO – O'REILLY-28 MPA	63
TABLA LII. RESULTADOS DE LAS MEZCLAS AJUSTADAS	63
TABLA LIII. PROPORCIONES FINALES DE LOS CONCRETOS	68
TABLA LIV. RESULTADOS DEL AFORO DEL RECIPIENTE.....	69
TABLA LV. PESO UNITARIO EN ESTADO PLÁSTICO	69
TABLA LVI. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO.....	69

TABLA LVII. TEMPERATURA DE LOS CONCRETOS EN ESTADO PLÁSTICO	70
TABLA LVIII. MÓDULO ELÁSTICO Y RELACIÓN DE POISSON	70
TABLA LIX. RESISTENCIAS DE LOS CONCRETOS A DIFERENTES EDADES	70
TABLA LX. PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS	70
TABLA LXI. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	71
TABLA LXII. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS CONCRETOS	72
TABLA LXIII. COMPARACIÓN DEL COSTO DE LOS CONCRETOS	73
TABLA LXIV. COMPARACIÓN DEL PESO UNITARIO EN ESTADO PLÁSTICO	74
TABLA LXV. COMPARACIÓN DEL PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO.....	74
TABLA LXVI. PORCENTAJES DE RESISTENCIA DE LOS CONCRETOS VS. EDAD.....	75
TABLA LXVII. COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL ..	76
TABLA LXVIII. COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (ECUACIÓN 22) ...	77
TABLA LXIX. COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (ECUACIÓN 23).....	77
TABLA LXX. COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Procedimiento del ensayo de asentamiento.	24
Fig. 2. Procedimiento para el diseño de mezclas con el método ACI 211.1	30
Fig. 3. Procedimiento para el diseño de mezclas con el método O'Reilly.....	34
Fig. 4. Representación gráfica del intervalo de confianza	35
Fig. 5. Tamaño de la muestra para cada tipo de concreto	36
Fig. 6. Metodología para el desarrollo del trabajo	37
Fig. 7. Pasos para la elaboración de las mezclas de concreto	40
Fig. 8. Ensayos de caracterización del cemento.....	41
Fig. 9. Ensayos de caracterización de los agregados.....	43
Fig. 10. Granulometría de los agregados.....	44
Fig. 11. Comparación de la granulometría de la mezcla de agregados y la curva de Weymouth..	49
Fig. 12. Determinación de la relación A/C para la tercera mezcla de prueba – ACI - 21 MPa	52
Fig. 13. Determinación de la relación A/C para la tercera mezcla de prueba – ACI - 28 MPa	52
Fig. 14. Procedimiento para determinar el peso unitario de las mezclas de agregados	55
Fig. 15. Gráfico del porcentaje de vacíos de las mezclas de agregados gruesos	56
Fig. 16. Gráfico del porcentaje de vacíos de las mezclas de agregados finos y gruesos	57
Fig. 17. Regresión lineal para la determinación del agua de la mezcla	59
Fig. 18. Ensayos de control realizados a las mezclas de prueba	64
Fig. 19. Procedimiento para determinar el volumen del recipiente por aforado.....	64
Fig. 20. Procedimiento para determinar el peso unitario del concreto en estado plástico	65
Fig. 21. Obtención de las dimensiones y el peso de los cilindros de prueba	65
Fig. 22. Medición de la temperatura del concreto en estado plástico	66
Fig. 23. Curado de cilindros por el método de inmersión	66
Fig. 24. Montaje para determinar el módulo de elasticidad y relación de Poisson.....	67
Fig. 25. Mezcla de agregados para determinar el porcentaje de vacíos	67
Fig. 26. Gráfico comparativo del contenido de cemento de cada tipo de concreto	71
Fig. 27. Gráficas de las ecuaciones de resistencia vs. costo de los concretos	73
Fig. 28. Gráfico comparativo de la temperatura de los concretos.....	74

Fig. 29. Curvas de evolución de resistencia para concretos de 21 MPa75

Fig. 30. Curvas de evolución de resistencia para concretos de 28 MPa76

I. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo se han desarrollado diferentes procedimientos para determinar las proporciones de los materiales que constituyen el concreto hidráulico, estos procedimientos se conocen como métodos de diseño de mezclas y están basados en fundamentos teóricos o empíricos.

Actualmente en Colombia y en muchos países latinoamericanos el método más usado para el diseño de mezclas de concreto es el desarrollado por el American Concrete Institute (ACI), conocido comúnmente como método ACI 211.1, sin embargo, existen otros métodos de diseño alternativos que pueden ser más eficientes en algunas propiedades del concreto, como es el caso del método O'Reilly, que se encuentra enfocado en la disminución del contenido de cemento en el concreto para obtener ciertos beneficios, especialmente económicos.

Por lo anterior, en el presente trabajo se realizó un análisis comparativo de los métodos ACI 211.1 y O'Reilly en el diseño de concretos convencionales, para determinar el posible beneficio económico que se puede obtener con el método O'Reilly, usando materiales disponibles en una región de Colombia, donde el método ACI 211.1 es preponderante. Si bien el análisis se realizó desde un punto de vista principalmente económico, también se analizaron otras propiedades del concreto como el peso unitario, la temperatura y el módulo de elasticidad.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. Descripción del problema

Existe un amplio estudio alrededor del mundo sobre los métodos de diseño de concretos, lo que ha permitido que cada país o región adopte sus propios métodos según las condiciones y necesidades particulares que presente, en el caso de Colombia el método preponderante para el diseño de mezclas de concreto es el ACI 211.1, el cual ha sido adaptado a las condiciones y materiales del medio colombiano [1]. Si bien el método ACI 211.1 ha podido implementarse de manera satisfactoria en el país, su preponderancia ha causado que las experiencias con otros métodos de diseño sean escasas.

Dentro de los métodos de diseño alternativos al método ACI 211.1 se encuentran el método O'Reilly, el cual es ampliamente usado en países centroamericanos como Cuba, donde se ha demostrado que permite disminuir el contenido de cemento en los concretos en comparación a otros métodos, no obstante, su efectividad puede variar si se lo emplea en lugares con distintas condiciones en las que fue probado, por tal motivo, se hace necesario investigar sobre el desempeño de este método en Colombia y compararlo con los métodos que se usan normalmente en el país.

B. Formulación del problema

¿Cuál es la incidencia que tienen los métodos ACI 211.1 y O'Reilly en el diseño de concretos hidráulicos desde un punto de vista económico, empleando materiales disponibles en la región?

C. Antecedentes

Existen antecedentes de investigaciones realizadas en distintos países sobre el método O'Reilly y su comparación con otros métodos de diseño de concretos, en países como Brasil, Bolivia, Venezuela, República Dominicana, Nicaragua y España, se han realizado estudios comparativos con los métodos más utilizados en cada país, incluido el del ACI, obteniendo resultados donde se evidenciaron los beneficios del método O'Reilly en la compacidad y la disminución del contenido de cemento en el concreto [2].

Por otra parte, también existen antecedentes de trabajos donde no se ha encontrado ninguna ventaja técnica o económica del método O'Reilly en comparación a otros métodos, dentro de estos trabajos se encuentra el realizado por Calderón [3], quien comparó los métodos ACI 211.1 y O'Reilly en el diseño de un concreto fabricado con agregados gruesos de tipo canto rodado, concluyendo que el método O'Reilly no representaba ninguna ventaja frente al método del ACI, tomando en cuenta el proceso de diseño, el tiempo y la economía. De igual forma, en el estudio de Torralles et al. [4], se comparó el método O'Reilly con dos métodos de diseño usados comúnmente en Brasil, uno de ellos basado en el método ACI 211.1, encontrando que el método O'Reilly no presentaba un ahorro significativo de cemento respecto a los otros métodos analizados.

Por lo anterior, se puede evidenciar que si bien existen antecedentes de estudios e investigaciones donde se ha comparado el método O'Reilly con el método ACI 211.1, se han presentado resultados variables, los cuales han dependido del país y las condiciones particulares donde se ha desarrollado cada trabajo, y no permite establecer un consenso general sobre las ventajas de un método sobre el otro.

III. JUSTIFICACIÓN

La justificación del presente trabajo está sustentada sobre dos aspectos fundamentales, la economía y el impacto ambiental.

En cuanto al aspecto económico, se sabe que el cemento es el material más costoso que constituye el concreto, por lo tanto, la cantidad de cemento determinará en gran medida el costo final del concreto y por consiguiente también influirá en la economía de las obras de infraestructura donde se lo emplee, lo anterior adquiere más relevancia en un país como Colombia, donde el precio del cemento se ha venido incrementando en los últimos años, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [5], en el año 2020 el cemento presentó un alza de 16,55% en su precio respecto al año anterior, por lo tanto, el presente trabajo se justifica por el posible beneficio económico que puede representar la investigación de metodologías destinadas al ahorro de cemento y que aún no han sido implementadas en Colombia por falta de antecedentes experimentales, como es el caso del método O'Reilly.

Con respecto al impacto ambiental, se sabe que la industria cementera aporta cerca del 8% del total de las emisiones de CO₂ en el mundo [6], además de producir otras afectaciones ambientales como el deterioro paisajístico, las emisiones de polvo y un alto consumo de energía [7], en consecuencia, ante la creciente demanda de cemento en muchos países, incluido Colombia, analizar alternativas que pueden lograr una disminución del consumo de este material en el concreto, como lo propone el método O'Reilly, es una estrategia muy importante para la mitigación del daño ambiental causado por la producción de cemento, especialmente si estas alternativas se pueden implementar a gran escala.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de la incidencia económica del método ACI 211.1 y el método O'Reilly en el diseño de concretos hidráulicos convencionales.

B. Objetivos específicos

- Estimar el costo por metro cúbico de concretos diseñados con el método ACI 211.1 y el método O'Reilly, manteniendo las mismas especificaciones de resistencia a la compresión y asentamiento.
- Encontrar la diferencia del contenido de cemento entre los concretos diseñados con los métodos ACI 211.1 y O'Reilly.
- Verificar el cumplimiento del nivel de resistencia de los concretos diseñados con los métodos ACI 211.1 y O'Reilly según el numeral C.5.6.3.3 del título C del reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).
- Comparar los costos entre los concretos diseñados con el método ACI 211.1 y los concretos diseñados con el método O'Reilly.
- Determinar la diferencia en el peso unitario en estado plástico y endurecido de los concretos diseñados con los métodos ACI 211.1 y O'Reilly.
- Realizar ensayos complementarios de temperatura, evolución de resistencia y módulo de elasticidad a los concretos diseñados con los métodos ACI 211.1 y O'Reilly, para observar la incidencia que tienen ambos métodos en las propiedades mencionadas.

V. MARCO TEÓRICO

A. Concreto hidráulico

El concreto hidráulico es uno de los materiales más usados actualmente en la industria de la construcción, puede definirse como; “la mezcla de un material aglutinante (cemento portland, cemento portland compuesto, o cemento portland con adiciones cementantes), un material de relleno (agregados finos y gruesos), agua, aire, aditivos y adiciones suplementarias, que al fraguar y endurecer forma un sólido único desde el punto de vista mecánico (piedra artificial), y con el paso del tiempo adquiere rigidez y resistencia (principalmente a la compresión) con una durabilidad apropiada a las condiciones de servicio” [8, p. 44].

Las propiedades y características del concreto dependen de los requerimientos o especificaciones particulares del uso al que esté destinado, por tal motivo, los concretos se pueden clasificar de diferentes maneras, de acuerdo al tipo de especificación al que se esté refiriendo, por ejemplo, la resistencia, la fluidez, el peso unitario, etc.

Como ya se mencionó, el concreto es una mezcla de diferentes materiales, en su forma básica está constituido por cemento, agua y agregados, adicionalmente puede contener aditivos o adiciones, a continuación, se describe de forma general cada uno de estos materiales.

1) Cemento

El cemento hidráulico, también llamado cemento portland, es un producto que se deriva de la pulverización del clinker, al cual se le adiciona una o más formas de sulfato de calcio, como el yeso, eventualmente puede contener otras adiciones siempre y cuando estas no afecten la calidad del material [9]. La propiedad principal del cemento es su capacidad de reaccionar con el agua para formar un material conglomerante llamado pasta, que tiene la función de aglutinar los demás materiales que constituyen al concreto.

En cuanto a sus características físicas, se presenta en forma de un polvo fino, de color gris y con un peso específico cercano a $3,15 \text{ g/cm}^3$ en cementos normales o no adicionados, mientras que en los cementos con adiciones distintas al yeso el valor es cercano a $2,90 \text{ g/cm}^3$ [10].

TABLA I. ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA CEMENTOS

Parámetro	Descripción	Especificación	
		NTC-121	ASTM C-1157
Finura Blaine	Mínimo. (cm^2/g)	A	A
Cambio de longitud por autoclave	Máximo (%)	0.80	0.80
Tiempo de fraguado, ensayo Vicat	Mínimo (minutos)	45	45
	Máximo (minutos)	420	420
Contenido de aire en mortero	Máximo (%)	12	12
Resistencia mínima a la compresión	28 días (MPa)	24	28

2) Agua

Es un compuesto formado por hidrógeno y oxígeno que al entrar en contacto con el cemento produce reacciones químicas en un proceso llamado hidratación, dichas reacciones confieren a la mezcla, también llamada pasta, propiedades aglutinantes y de endurecimiento. En cuanto a su calidad, la norma NTC – 3459 especifica las características que debe tener el agua para ser usada en los concretos, de manera general, se puede decir que el agua que se utilice en la elaboración del concreto debe ser apta para el consumo humano y no debe contener sustancias contaminantes [11].

3) Agregados

Los agregados son partículas sólidas inertes que se combinan con la pasta de cemento para formar el concreto, constituyen entre el 60% y 75% del volumen total de la mezcla [12], lo que genera que tengan una gran importancia desde el punto de vista económico, debido a que el costo de los agregados es inferior al de otros materiales como el cemento, por otra parte, los agregados también confieren beneficios funcionales al concreto, como la estabilidad volumétrica y la resistencia a los esfuerzos cortantes [13]. Los agregados se pueden clasificar en función del tamaño de sus partículas, tal como se muestra en la tabla II.

TABLA II. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU TAMAÑO

Tamaño de las partículas (mm)	Denominación más corriente	Clasificación
Inferior a 0.002	Arcilla	Fracción muy fina
Entre 0.002 - 0.074	Limo	
Entre 0.074 - 4.76	Arena	Agregado fino
Entre 4.76 - 19.1	Gravilla	
Entre 19.1 - 50.8	Grava	Agregado grueso
Entre 50.8 - 152.4	Piedra	
Superior a 152.4	Rajón, piedra bola	

Nota: tomada de Sanchez [1, p. 706]

4) *Aditivos y adiciones*

Son materiales adicionales al cemento, el agua y los agregados que se incorporan al concreto con un objetivo específico, el término “aditivos” se refiere a las sustancias de origen químico, que se añaden a la mezcla para modificar una o varias de las propiedades del concreto, por su parte, el término “adiciones” está referido fundamentalmente a los materiales que son añadidos al concreto para incrementar la resistencia o la durabilidad [14].

B. Propiedades del concreto

1) Resistencia

Se define como la capacidad del concreto para resistir esfuerzos, que pueden ser de compresión, flexión, tensión o cortante, destacándose entre todos, la resistencia a la compresión, por la alta eficiencia del concreto para soportar este tipo de esfuerzo. Según ASOCRETO [15, p. 119], la resistencia del concreto depende de los siguientes factores:

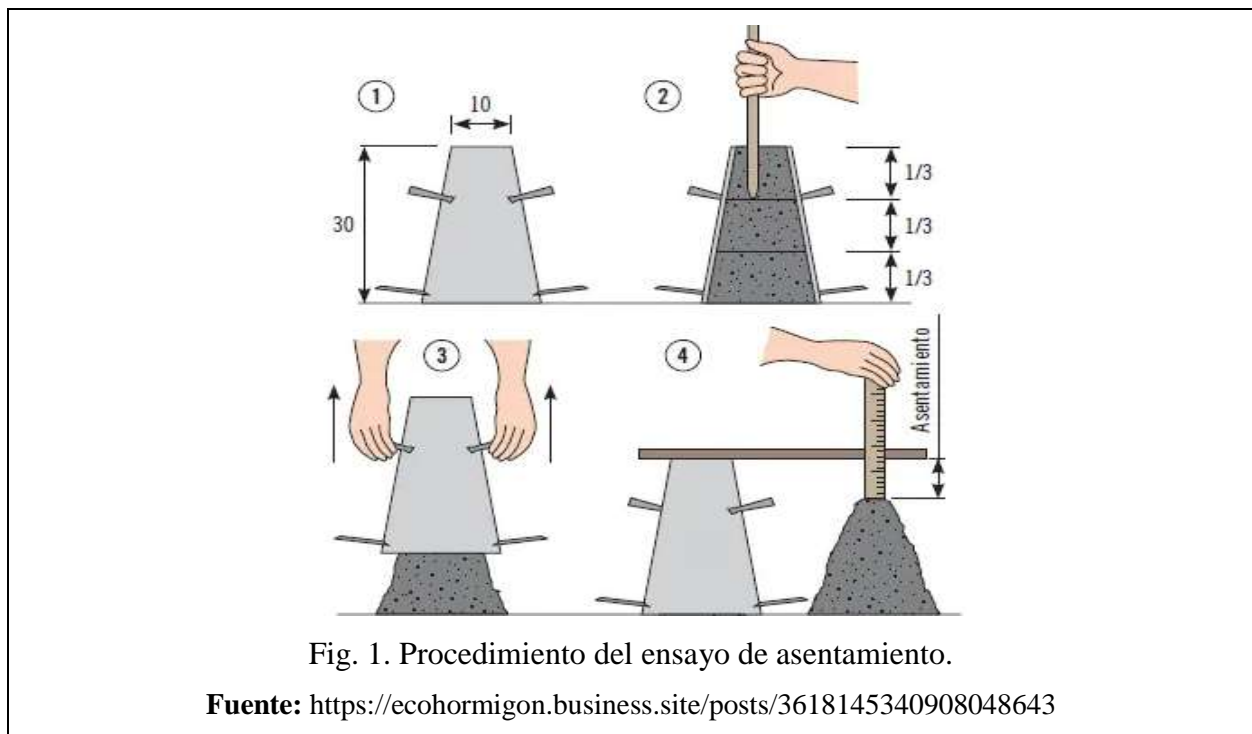
- La resistencia de la pasta endurecida
- La adherencia entre la pasta y los agregados
- La resistencia propia de las partículas del agregado

2) Durabilidad

Es la capacidad que tiene el concreto para resistir la acción de los agentes ambientales, los ataques de origen químico o biológico, la abrasión y cualquier otro proceso que pueda causar su deterioro [16]. Al igual que la resistencia, la durabilidad es una propiedad fundamental que se debe tener en cuenta para garantizar la integridad del concreto durante su vida útil. La durabilidad depende principalmente de la facilidad con que los líquidos o los gases entran en el concreto, a esto se le denomina comúnmente “permeabilidad” y está relacionada con la porosidad del material [13].

3) Manejabilidad

Es la propiedad del concreto en estado fresco o plástico que determina su facilidad para ser mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad, es decir que no presente segregación o exudación [17]. La manejabilidad del concreto no se puede medir directamente, pero se puede correlacionar con otras propiedades como la fluidez, que se determina mediante el ensayo de asentamiento descrito en la norma NTC-396, cuyo procedimiento se muestra en la figura 1.



C. Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas se define como “el proceso de escoger los componentes adecuados del concreto y determinar las cantidades relativas de los mismos con el objeto de producir, tan económicamente como sea posible, un concreto con un cierto mínimo de propiedades, especialmente la resistencia, durabilidad y consistencia” [18, p. 509]. Al procedimiento empleado para determinar las proporciones de los materiales que constituyen la mezcla de concreto se le denomina “método de diseño”.

Es importante mencionar que independientemente del método, el diseño del concreto debe hacerse con base en el peso de sus materiales y no respecto a su volumen, debido a las variaciones que se pueden presentar por el grado de compactación y el abultamiento de las partículas de los agregados a causa de la humedad [1].

1) Método de diseño ACI 211.1

Es un método de diseño que se encuentra descrito en la guía “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)”, publicada por el ACI Committee 211 [19]. Actualmente es el método de dosificación más utilizado en el mundo, siendo adecuado para cualquier tipo de concreto [20].

En Colombia, el método de diseño ACI 211.1 es la alternativa más utilizada en la dosificación de concretos hidráulicos, sin embargo, debido a que las propiedades de los agregados disponibles en el país algunas veces no cumplen con las especificaciones exigidas por el método, se han hecho ciertas modificaciones al procedimiento original, como el uso de curvas granulométricas para la dosificación de los agregados [1].

El método ACI 211.1 se puede dividir en siete (7) pasos, que se deben seguir de forma secuencial, a continuación, se describe de forma general cada uno de estos pasos.

Paso 1 – Establecer los datos de entrada: Como paso inicial se deben definir las especificaciones de resistencia y asentamiento del concreto, opcionalmente se puede especificar el contenido de aire, por otra parte, se necesita conocer las siguientes propiedades de los materiales: peso específico del cemento y de los agregados, granulometría de los agregados, tamaño máximo y tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Paso 2 – Estimación del contenido de agua de mezcla: Se estima una cantidad de agua que con base en la experiencia haya demostrado lograr el asentamiento requerido, en caso de no disponer de información experimental, se puede usar tablas de referencia como la tabla del anexo A1.

Paso 3 – Selección de la relación Agua/Cemento (A/C): Se determina con base en resultados de ensayos de resistencia para concretos con diferentes relaciones A/C (agua/cemento), en caso de carecer de esta información se puede emplear tablas de referencia como la tabla III.

TABLA III. RELACIONES A/C PARA CEMENTOS COLOMBIANOS TIPO 1

Resistencia a la compresión (kgF/cm ²)	Relación Agua/Cemento		
	Límite superior	Límite medio	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,70	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Nota: Tomada de Sanchez [1, p. 238]

Paso 4 – Cálculo del contenido de cemento: Se determina mediante la ecuación (1).

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{\text{Agua de mezcla}}{\text{Relación } \frac{A}{C}} \quad (1)$$

Paso 5 – Estimación de las proporciones de los agregados: Si los agregados cumplen con las especificaciones de las normas NTC-174 o ASTM C-33, se sigue el procedimiento descrito en el método ACI 211.1, donde los porcentajes de los agregados se determinan con base en el peso unitario del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, no obstante, en países como Colombia generalmente no se cuenta con controles de calidad que garanticen el cumplimiento de las normas en los agregados, por consiguiente, se ha tenido que implementar métodos alternativos, como el método de la Road Note Laboratory (RNL), también conocido como “método gráfico” [15, p. 186], que consiste en determinar los porcentajes de los agregados para que la mezcla de sus granulometrías se ajuste a una curva granulométrica ideal.

Una curva granulométrica ideal describe una granulometría teórica derivada de estudios experimentales, la cual busca lograr la máxima capacidad de acomodamiento y compactación de las partículas, para lograr la máxima densidad y con esto la máxima resistencia del concreto [15]. Según Rivera [17, p. 107] “para concretos que se compacten manualmente o con vibración normal, se recomienda utilizar la curva basada en el criterio de Weymouth”, a la cual se le realiza un ajuste para disminuir el porcentaje de partículas finas.

TABLA IV. GRANULOMETRÍA DE LA CURVA IDEAL DE WEYMOUTH

Tamiz	%Pasante	
	Curva de Weymouth	Curva de Weymouth ajustada
1 1/2"	100	100
1"	-	-
3/4 "	81,6	78,1
1/2"	-	-
3/8"	65,6	58,9
#4	53,0	43,9
#8	42,9	31,9
#16	34,8	22,1
#30	28,1	14,2
#50	22,8	7,8
#100	18,4	2,6

Nota: Tomada de Rivera [17, p. 108]

Si bien el método gráfico es efectivo para mezclar dos tipos de agregados, se vuelve poco eficiente al momento de mezclar tres o más materiales, teniendo que repetir el procedimiento más de una vez, por esta razón, se han desarrollado alternativas más prácticas, como el método racional para la mezcla de tres agregados, propuesto por Mora [21], y que se describe a continuación.

Para utilizar el método racional primeramente se deben definir las siguientes variables:

- **a_i**, % pasante del tamiz *i* de la curva granulométrica ideal
- **f_i**, % pasante del tamiz *i* de la granulometría del agregado 1
- **g_i**, % pasante del tamiz *i* de la granulometría del agregado 2
- **h_i**, % pasante del tamiz *i* de la granulometría del agregado 3

Luego se establecen unas nuevas variables de reemplazo con base en las ecuaciones (2), (3) y (4).

$$U_i = h_i - f_i \quad (2)$$

$$V_i = h_i - g_i \quad (3)$$

$$W_i = a_i - h_i \quad (4)$$

Por último, los porcentajes de los agregados se calculan con las ecuaciones (5), (6) y (7).

$$p = -100 * \left(\frac{(\sum U_i W_i) * (\sum V_i^2) - (\sum V_i W_i) * (\sum U_i V_i)}{(\sum U_i^2 * \sum V_i^2) - (\sum U_i V_i)^2} \right) \quad (5)$$

$$q = -100 * \left(\frac{(\sum V_i W_i) * (\sum U_i^2) - (\sum U_i W_i) * (\sum U_i V_i)}{(\sum U_i^2 * \sum V_i^2) - (\sum U_i V_i)^2} \right) \quad (6)$$

$$r = 100 - p - q \quad (7)$$

Donde *p*, *q* y *r*, son los porcentajes finales de los agregados 1, 2 y 3 respectivamente.

Paso 5- proporciones en peso seco: Con los resultados obtenidos en los pasos anteriores se establecen las proporciones iniciales en peso seco de los materiales para un volumen absoluto de concreto de un (1) metro cúbico.

Paso 6 – Ajuste por humedad de los agregados: Se realiza el ajuste de las proporciones por humedad de los agregados con base en las ecuaciones (8) y (9).

$$\text{Peso húmedo} = \text{Peso seco} * (1 + \% \text{ de humedad}) \quad (8)$$

$$\text{Aporte de agua del agregado} = \text{Peso seco} * (\% \text{ humedad} - \% \text{ de absorción}) \quad (9)$$

Paso 7 – Ajuste a las mezclas de prueba: El método ACI 211.1 es iterativo, lo que significa que se deben ajustar las proporciones de la mezcla final con base en los resultados de varias mezclas, normalmente se deben realizar tres mezclas de prueba.

- **Primera mezcla (Ajuste por humedad):** En esta mezcla se realiza el ajuste por humedad de los agregados y se determina cantidad adicional de agua que se debe añadir al agua de la mezcla para alcanzar el asentamiento buscado, es importante determinar la relación A/C real que se utilizó y la resistencia de la mezcla.
- **Segunda mezcla (Ajuste por asentamiento):** Para esta mezcla se ajustan las proporciones con la cantidad de agua usada en la primera mezcla, variando la cantidad de cemento y agregado fino para mantener la misma relación A/C. Con las proporciones de esta mezcla se deben realizar ensayos de control de resistencia y asentamiento.
- **Tercera mezcla (Ajuste por resistencia):** En caso que la primera y la segunda mezcla no cumplan con la resistencia requerida, se realiza una tercera mezcla de prueba, con una nueva relación A/C, obtenida a partir de una interpolación con los datos de resistencia y relación A/C de la primer y segunda mezcla de prueba.

En la figura 2 se esquematiza el procedimiento de diseño con el método ACI 211.1.

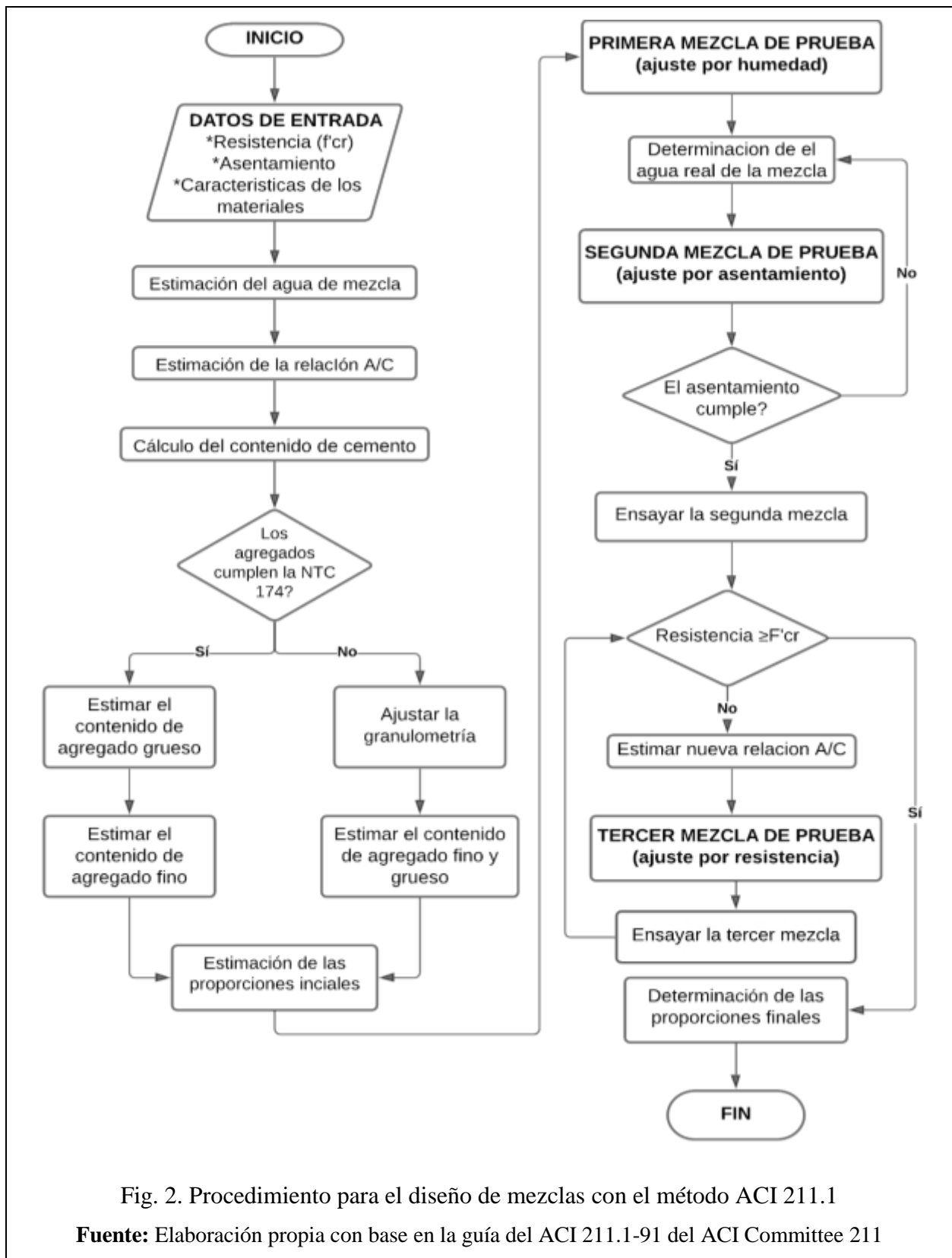


Fig. 2. Procedimiento para el diseño de mezclas con el método ACI 211.1

Fuente: Elaboración propia con base en la guía del ACI 211.1-91 del ACI Committee 211

2) Método de diseño O'Reilly

Este método fue desarrollado por el Dr. Vitervo O'Reilly y ha tenido un uso importante en países centroamericanos como Cuba [22]. El objetivo principal de este método es la disminución del contenido de cemento en el concreto, a través de la combinación óptima de los agregados finos y gruesos que permita obtener un porcentaje de vacíos mínimo en la estructura interna del concreto, reduciendo así la cantidad de pasta necesaria para llenar los vacíos entre las partículas de los agregados y por consiguiente obteniendo una disminución del contenido de cemento, según O'Reilly [22] esta disminución puede ser del 15% o más en comparación a métodos como el ACI o el europeo, lo que permite obtener beneficios funcionales y económicos en el concreto. El método O'Reilly es un procedimiento secuencial y se divide en los siguientes pasos:

Paso 1 – Establecer los datos de entrada: Primeramente, se debe definir el valor del asentamiento y la resistencia del concreto, también se deben determinar las siguientes propiedades de los materiales: peso específico del cemento y de los agregados, peso unitario de los agregados y la resistencia a la compresión del cemento (alternativamente puede usarse el valor suministrado por el fabricante).

Paso 2 – Determinación de la relación óptima de los agregados: En este paso se determina el porcentaje óptimo en peso de los agregados. Para esto se realizan diferentes mezclas de agregados, variando en cada una los porcentajes del agregado fino y grueso, y mediante ensayos de peso unitario compactado se determina la mezcla que logre el menor porcentaje de vacíos usando la ecuación (10), dicha mezcla será la relación óptima de los agregados.

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{PE_m - PU_m}{PE_m} * 100 \quad (10)$$

Donde;

- **PE_m**: Peso específico promedio de la mezcla de agregados.
- **PU_m**: Peso unitario compactado de la mezcla de agregados.

Paso 3: Determinación de la cantidad de agua: En este paso se fija una cantidad de cemento tentativa que a partir de la experiencia con los materiales se pueda relacionar aproximadamente, con la resistencia requerida del concreto, en caso de no disponer de datos experimentales puede usarse una tabla de dosificación empírica como referencia. Posteriormente usando esta cantidad prefijada de cemento junto con la relación óptima de agregados del paso anterior, se realizan diferentes mezclas de prueba, variando en cada una la cantidad de agua y determinando su asentamiento, hasta encontrar la cantidad que logre el asentamiento requerido.

Paso 4: Determinación del valor característico (A): Con el agua de mezcla determinada en el paso 3, junto con la cantidad prefijada de cemento y las proporciones óptimas de agregados del paso 2, se realizan cilindros de prueba, que son ensayados a la compresión a la edad que especifique el diseño, posteriormente con base en los resultados de la resistencia, la relación A/C de la mezcla y el valor del asentamiento, se calcula un factor conocido como característica “A” del agregado grueso, usando la ecuación (11):

$$A = \frac{R_h}{R_c * (M1 * V + M2)} \quad (11)$$

Donde;

- **R_h**, resistencia a la compresión de los cilindros de la mezcla de prueba
- **R_c**, resistencia a la compresión del cemento
- **M1** y **M2**, valores adimensionales dependientes del asentamiento y que se determinan con la tabla del Anexo A2
- **V**, Coeficiente dependiente de la relación A/C utilizada, se determina con la tabla del Anexo A3

Paso 5: Cálculo del contenido real de cemento: A partir del valor de la característica “A” del agregado obtenido en el paso anterior y la resistencia de diseño del concreto (f'_{cr}), se calcula un nuevo valor del coeficiente V, con base en la ecuación (12).

$$V = \frac{\left(\frac{F' cr}{R_c \cdot A}\right) - M_2}{M_1} \quad (12)$$

Con el nuevo valor del coeficiente V se obtiene una nueva relación A/C de la tabla del Anexo A3, con esta nueva relación A/C y el agua de mezcla determinada en el paso 3, se calcula el contenido real de cemento con la ecuación (13).

$$\text{Contenido real de cemento} = \frac{\text{Agua de mezcla}}{\text{Nueva relación } \frac{A}{C}} \quad (13)$$

Paso 6: Determinación de las proporciones finales: Con los valores obtenidos en los pasos anteriores, que son: la mezcla óptima de agregados (Paso 2), el agua de mezcla (Paso 3) y la cantidad de cemento (Paso 5), se realiza una nueva mezcla de prueba, a la cual se le determina el valor de asentamiento y resistencia a la compresión, si estos valores cumplen con las especificaciones se establecen las proporciones de esta mezcla de prueba como las proporciones definitivas del concreto diseñado.

Si la mezcla de prueba anterior no cumple con las especificaciones se deben realizar ajustes a las proporciones, en el caso donde la resistencia obtenida sea menor a la especificada, se recalcula el valor de la característica “A” del agregado y se repite el procedimiento desde el paso 4, de igual forma cuando el valor del asentamiento es diferente al esperado, se realiza un procedimiento similar al del paso 2, variando la cantidad de agua en mezclas de prueba, pero manteniendo la misma relación A/C, hasta encontrar la cantidad de agua que logre el asentamiento requerido.

Es importante mencionar que se debe realizar el ajuste de las proporciones por humedad de los agregados en cada una de las mezclas de prueba realizadas durante el procedimiento.

En la figura 3 se muestra un diagrama de flujo que describe el procedimiento de diseño con el método O’Reilly.

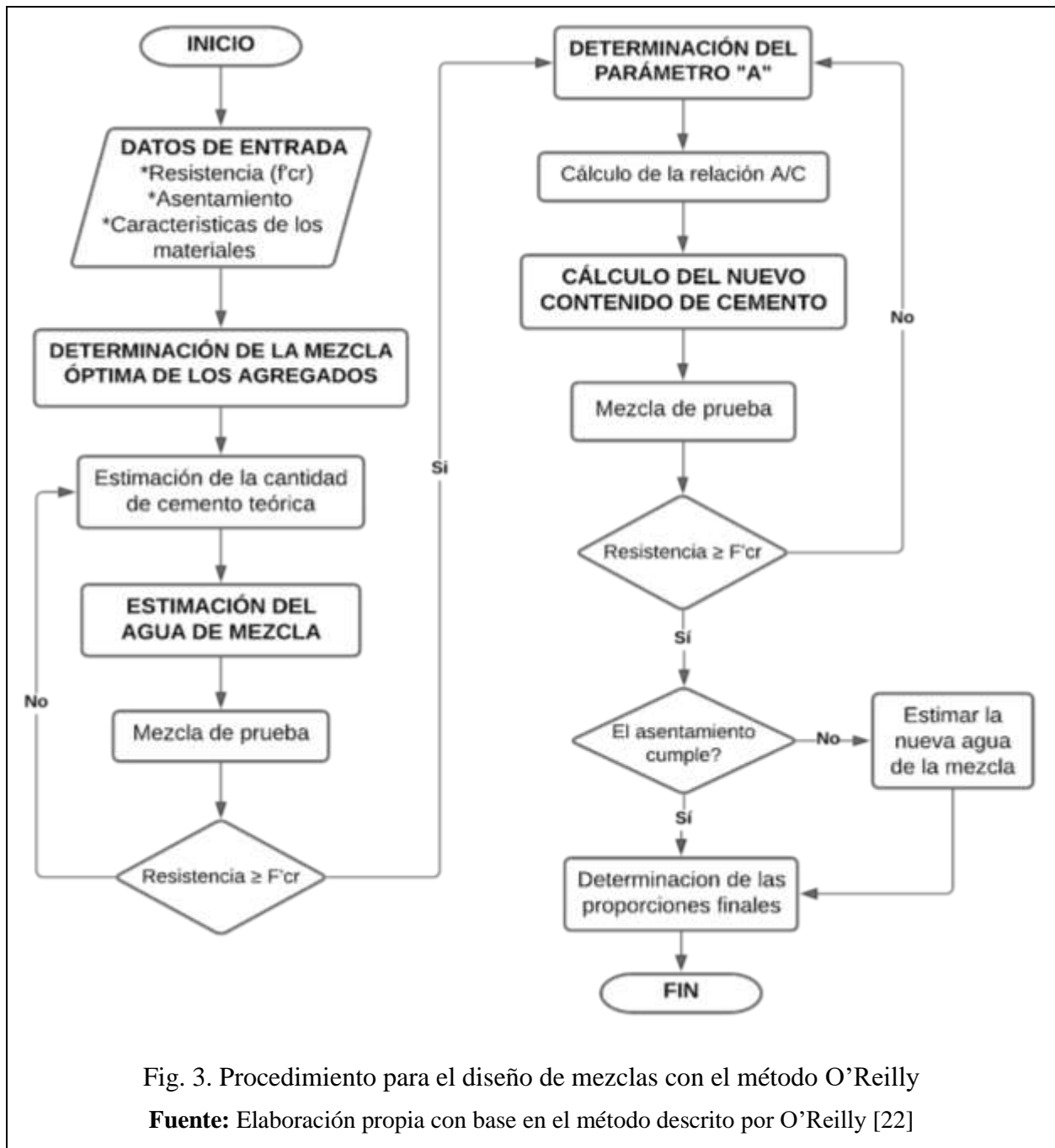


Fig. 3. Procedimiento para el diseño de mezclas con el método O'Reilly

Fuente: Elaboración propia con base en el método descrito por O'Reilly [22]

VI. METODOLOGÍA

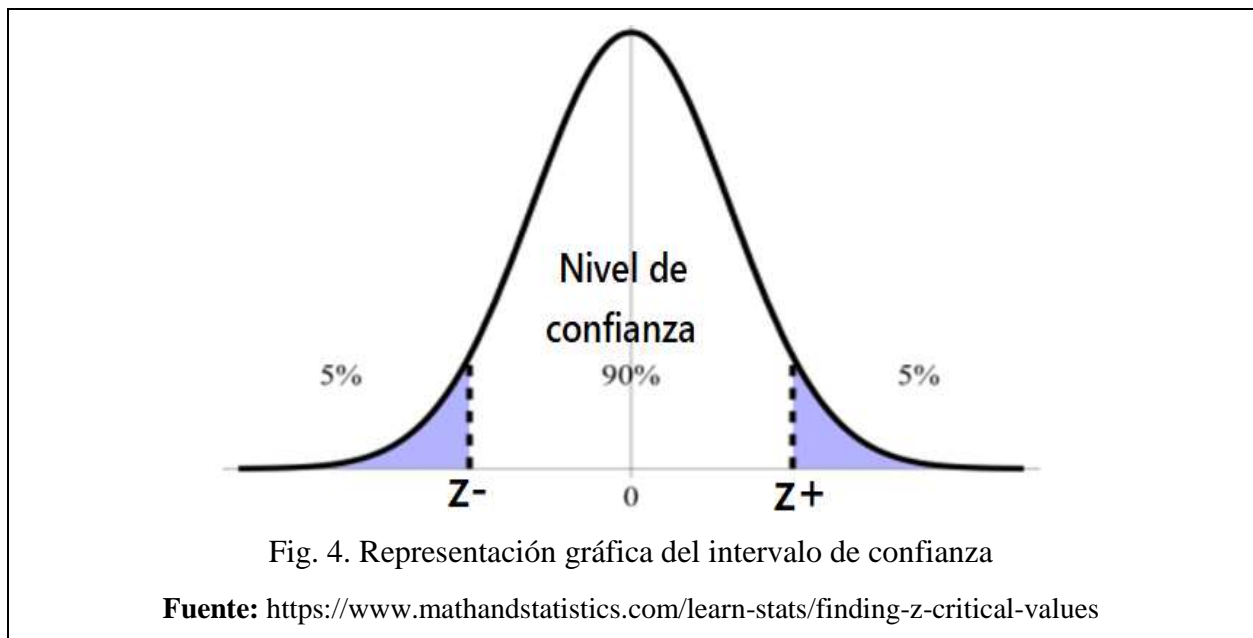
A. Tamaño de la muestra

Para definir el tamaño de la muestra (n) de los concretos analizados en el presente trabajo, se hizo uso de la ecuación (14), sugerida por Jaramillo [23].

$$\text{Tamaño de la muestra } (n) = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2} \quad (14)$$

Donde;

- **Intervalo de confianza (Z):** Representa un rango entre dos valores simétricos ($\pm Z$) respecto a una media muestral, que delimitan el área bajo una curva de distribución normal equivalente a un nivel de confianza establecido, que para el presente trabajo fue del 90%, el cual representa la probabilidad que la media poblacional se encuentre dentro de dicho intervalo.



Para encontrar el intervalo de confianza (Z) se recurrió a la tabla de distribución normal (tabla 5), donde se buscó el valor del intervalo para el nivel de confianza establecido del 90% (0,90).

Como los valores tabulados representan la totalidad de la curva a la izquierda de $+Z$, se debe sumar el 5% del área izquierda fuera del intervalo, obteniendo que el valor buscado es 95% (0,95), este valor se interpoló de la tabla V obteniendo que el valor del intervalo de confianza (Z) es **1,645**.

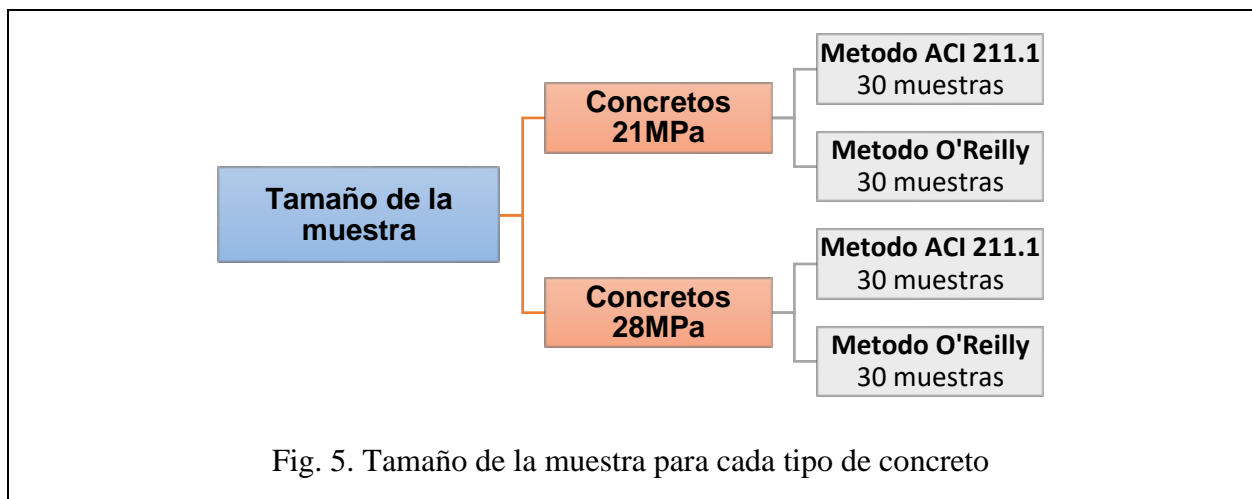
TABLA V. TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTÁNDAR

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633

Nota: Tomada de Walpole, Myers, & Myers [24, p. 735]

- **Probabilidad de ocurrencia (p):** Es la probabilidad de éxito del parámetro a evaluar, según Jaramillo [23], en caso de desconocerse se puede asumir un valor de 0,5.
- **Margen de error (e):** En el presente trabajo se asumió un margen de error del 15%.
- **Tamaño de la muestra (n):** El tamaño de la muestra corresponde al número total de cilindros de concreto que fueron fabricados para cada tipo de concreto. Reemplazando los anteriores valores en la ecuación (14), se obtiene:

$$\text{Tamaño de la muestra } (n) = \frac{1,645^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{0,15^2} \approx 30$$



B. Metodología de trabajo

La metodología usada para el desarrollo del presente trabajo se muestra en la figura 6.

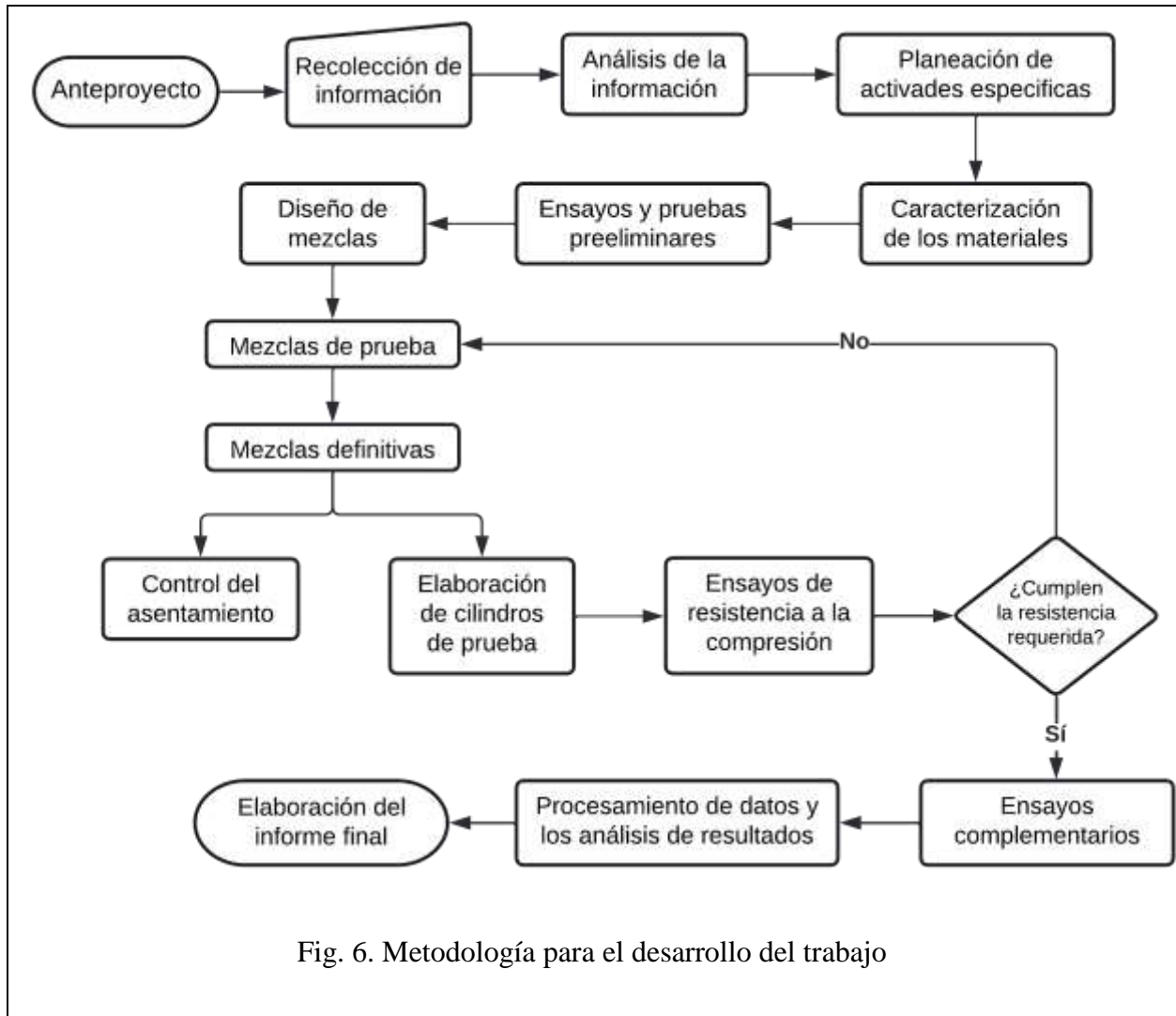


Fig. 6. Metodología para el desarrollo del trabajo

C. Equipos y calibración

El certificado de calibración de la máquina empleada para realizar los ensayos de resistencia a la compresión se muestra en el Anexo B. De igual forma, los equipos y herramientas usados para la realización de los ensayos de asentamiento, peso unitario, temperatura y módulo de elasticidad, cumplen con las especificaciones exigidas por las normas NTC.

D. Materiales utilizados**1) Cemento**

En el presente trabajo se utilizó cemento de uso general (tipo U.G) de la marca argos, sus especificaciones técnicas se muestran en la tabla VI.

TABLA VI. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO

Parametros físicos	Norma	Valor
Finura Blaine, min (cm ² /g)	NTC 33	2800
Cambio por longitud autoclave expansión, máx. (%)	NTC 107	0.80
Tiempo de fraguado ensayo de Vicat, mínimo (min)	NTC 118	45
Tiempo de fraguado ensayo de Vicat, máximo (min)	NTC 118	420
Contenido de aire en volumen de mortero, máx. (%)	NTC 224	12
Expansión de barras de mortero a 14 días	NTC 4927	0.020
Resistencia mínima a la compresión, 3 días (MPa)	NTC 220	9.0
Resistencia mínima a la compresión, 7 días (MPa)	NTC 220	16.0
Resistencia mínima a la compresión, 28 días (MPa)	NTC 220	26.0

Nota: tomada de ficha técnica argos – cemento gris tipo U.G

2) Agregados

En el presente trabajo se utilizó tres tipos de agregados, un agregado fino y dos tipos de agregado grueso, los cuales se describen en la tabla VII.

TABLA VII. DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS

Tipo de agregado	Descripción	Procedencia
Fino	Arena negra natural	Cantera Las Terrazas - Pasto, Nariño.
Grueso	Gravilla de trituración	Cantera La Vega - Pasto, Nariño.
Grueso	Grava de trituración	Cantera La Vega - Pasto, Nariño.

E. Especificaciones de diseño

1) Resistencia especificada a la compresión ($f'c$)

En el presente trabajo se analizó de manera individual dos (2) clases de concreto de diferente especificación de resistencia, las cuales fueron:

- Clase 1: Concretos de 21 MPa de resistencia especificada a la compresión a los 28 días.
- Clase 2: Concretos de 28 MPa de resistencia especificada a la compresión a los 28 días.

Los concretos de cada clase fueron diseñados mediante los métodos ACI 211.1 y método O'Reilly, la tolerancia aceptada de la diferencia entre la resistencia de diseño y los resultados experimentales se definió en el rango de **0%** a **+5%** de la resistencia de diseño.

2) Asentamiento

Para todos los concretos analizados se especificó un asentamiento de 7,5 cm o 3". La tolerancia aceptada entre el valor especificado y los resultados experimentales fue de ± 1 cm.

3) Nomenclatura

Para facilitar la identificación de los resultados y presentar los datos de una forma más organizada y clara se utilizó la nomenclatura mostrada en la tabla VII.

TABLA VIII. NOMENCLATURA EMPLEADA PARA LOS CONCRETOS

Resistencia $f'c$ (MPa)	Asentamiento (cm)	Método de diseño	Nomenclatura
21	7,5	ACI 211.1	ACI – 21 MPa
21	7,5	O'Reilly	O'Reilly – 21 MPa
28	7,5	ACI 211.1	ACI – 28 MPa
28	7,5	O'Reilly	O'Reilly – 28 MPa

F. Procedimiento para la elaboración de las mezclas de concreto

<p>PASO 1 – Control de humedad</p> <p>Se mide la humedad de los agregados antes de realizar cada mezcla de concreto, con el fin de ajustar las proporciones por humedad</p>	
<p>PASO 2 – Pesaje de los materiales</p> <p>Se realiza el pesaje de los materiales según las proporciones y volumen de concreto que se va producir en cada mezcla.</p>	
<p>PASO 3 – Mezclado</p> <p>Se humecta la mezcladora y se añaden los materiales, empezando por los agregados gruesos y una parte del agua, luego se añade el agregado fino y el cemento, se mezcla durante 30 segundos y se añade el resto del agua. Luego se realiza un mezclado de 3 minutos, seguido de un descanso de 3 minutos y otro de mezclado de 2 minutos.</p>	
<p>PASO 4 – Elaboración de cilindros</p> <p>Se aplica un desmoldante y se ajustan los moldes cilíndricos con una llave, posteriormente se llenan los moldes con el concreto en 3 capas de igual espesor, compactando 25 veces con la varilla apisonadora y se enrasa, adicionalmente se aplica vibración externa con un mazo de goma.</p>	
<p>PASO 5 – Desmoldado y curado</p> <p>24 horas después del fundido del concreto, se retira los cilindros de los moldes y se colocan en un tanque de agua, donde se curan hasta la edad prefijada para el ensayo de compresión.</p>	

Fig. 7. Pasos para la elaboración de las mezclas de concreto

VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A. Caracterización de los materiales

1) Caracterización del cemento

Los ensayos de la caracterización del cemento se realizaron siguiendo la norma técnica colombiana (NTC), en la tabla IX se muestran los resultados obtenidos.

TABLA IX. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DEL CEMENTO

Ensayo	Norma	Resultado
Densidad	NTC-221	2,94 g/cm ³
Peso unitario suelto	NTC-92	1,15 g/cm ³
Resistencia a la compresión (28 días)	NTC-220	29,6 MPa



2) Caracterización de los agregados

En la tabla X se muestran los resultados de los ensayos de caracterización físico-mecánica de los agregados finos y gruesos.

TABLA X. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Ensayo	Norma	Arena	Gravilla	Grava
Granulometría	NTC - 174		Tabla XI	
Humedad	NTC - 1776	2,45%	0,40%	0,30%
Absorción	NTC - 237	5,80%		
	NTC - 176		2,58%	1,71%
Peso específico	NTC - 237	2,37 g/cm ³		
	NTC - 176		2,52 g/cm ³	2,59 g/cm ³
Masa unitaria suelta	NTC - 92	1,25 g/cm ³	1,33 g/cm ³	1,39 g/cm ³
Equivalente de arena	NTC - 6179	69,3%		
Impurezas orgánicas	NTC - 127	no presenta		

TABLA XI. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Tamiz	%Pasante Arena	%Pasante Gravilla	%Pasante Grava
1 1/2"	100	100	100
1"	100	100	70,8
3/4 "	100	100	38,6
1/2"	100	77,6	9,3
3/8"	100	42,1	4,5
#4	96,0	9,1	1,2
#8	78,6	7,4	0
#16	56,5	5,1	0
#30	34,1	4,3	0
#50	15,3	3,3	0
#100	9,6	2,9	0
T.M		3/4"	1 1/2"
T.M.N		3/4"	1 1/2"
M.F	3,01		



Fig. 9. Ensayos de caracterización de los agregados

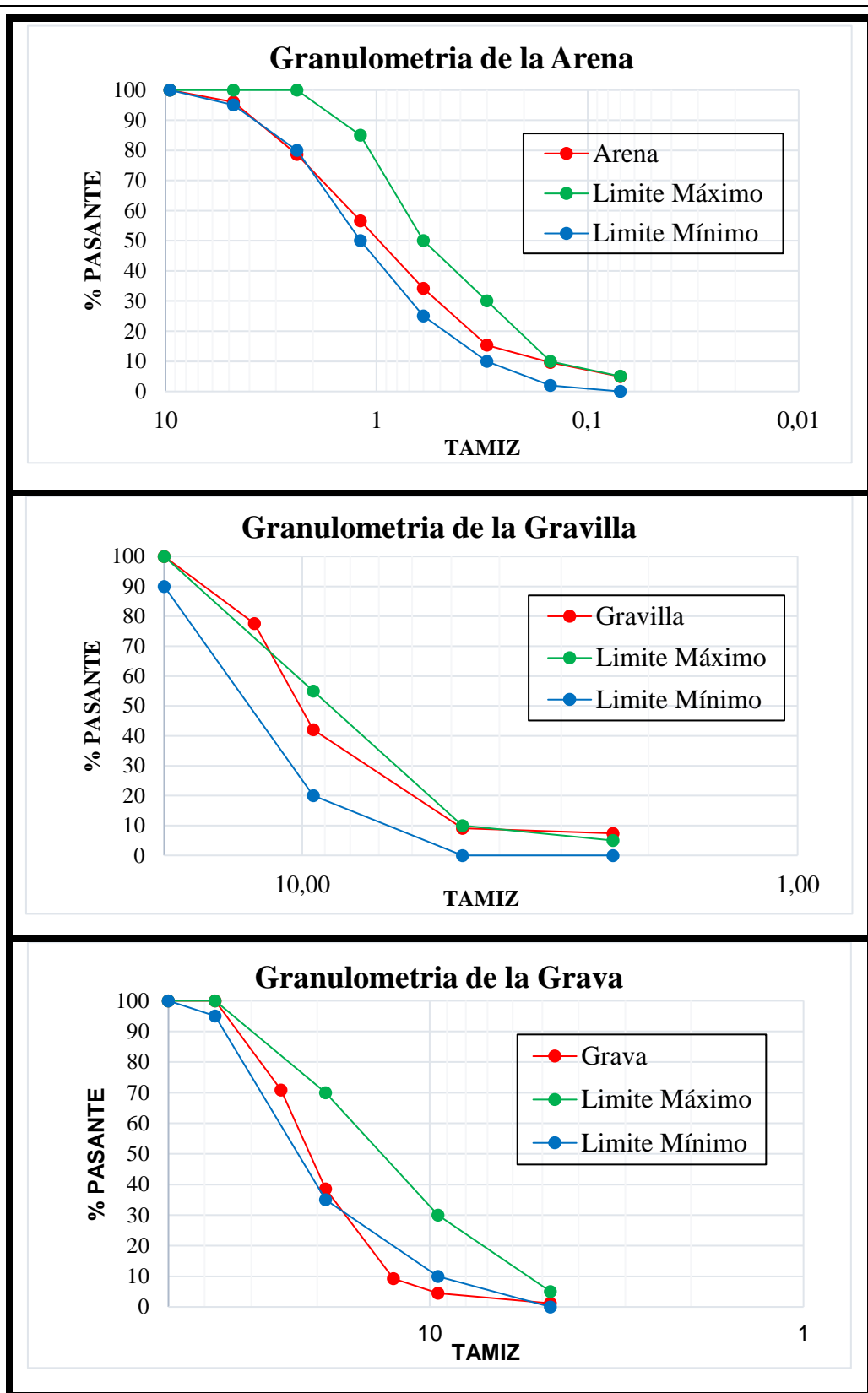


Fig. 10. Granulometría de los agregados

Nota: Los limites mostrados corresponden a los especificados por la norma NTC - 174

B. Determinación de las resistencias de diseño

Para calcular la resistencia de diseño de los concretos, se realizó una mezcla de prueba piloto, con el fin de determinar la desviación estándar que se espera obtener con los materiales utilizados y las condiciones de trabajo en el laboratorio. En la tabla XII se muestran los parámetros utilizados para la elaboración de la mezcla de prueba piloto.

TABLA XII. PARÁMETROS DE LA MEZCLA DE PRUEBA PILOTO

Parámetro	Valor	Referencia
Asentamiento	7,5 cm	
Tamaño máximo nominal	1 1/2"	Tabla XI
Agua de mezcla	181 (kg/m ³ ccto)	Anexo A 1
Resistencia especificada (f'c)	21 MPa	
Resistencia de diseño (f'cr)	29,3 MPa	Tabla C.5.3.2.2 NSR-10
Relación A/C inicial teórica	0,46	Tabla III
Relación A/C real utilizada	0,61	
% de agregados	42 % Arena	Ajuste granulométrico – curva de Weymouth ajustada
	26 % Gravilla	
	32 % Grava	

Con la mezcla de prueba piloto se realizaron 15 ensayos de compresión (promedio de la resistencia de dos cilindros), con el fin de obtener el número mínimo de ensayos exigidos por el reglamento NSR-10 para calcular la desviación estándar [25], la cual se determina con la ecuación (15).

$$Desviación\ estándar\ (S) = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)} \right]^{1/2} \quad (15)$$

Por disponer de menos de 30 ensayos, se corrigió el valor de la desviación estándar por el factor de indicado en la tabla C.5.3.1.2 del reglamento NSR -10 (tabla XIV), los resultados del cálculo la desviación estándar se muestra en la tabla XV.

TABLA XIII. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LA MEZCLA DE PRUEBA PILOTO

Ensayo	Cilindro	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1	1	26,87	27,35
	2	27,84	
2	1	25,38	25,05
	2	24,72	
3	1	24,29	24,90
	2	25,51	
4	1	24,39	24,86
	2	25,34	
5	1	27,83	27,40
	2	26,97	
6	1	27,91	27,32
	2	26,72	
7	1	24,78	24,91
	2	25,03	
8	1	24,55	24,47
	2	24,39	
9	1	27,24	27,22
	2	27,19	
10	1	27,64	27,05
	2	26,46	
11	1	24,47	24,56
	2	24,65	
12	1	27,64	27,11
	2	26,58	
13	1	25,25	25,06
	2	24,88	
14	1	26,75	26,84
	2	26,93	
15	1	26,63	26,68
	2	26,73	
Promedio			26,05

TABLA XIV. FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra
Menos de 15	Emplee la tabla C.5.3.2.2
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30	1,00

Nota: Tomada del reglamento NSR-10. Título C. Capítulo C.5 [25]

TABLA XV. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Desviación estándar (S)	Número de ensayos	Factor de modificación	Desviación estándar corregida (Ss)
1,21 MPa	15	1,16	1,40 MPa

Las resistencias de diseño (f'_{cr}) se calcularon con las ecuaciones (16) y (17), dadas por el reglamento NSR – 10 (Título C, tabla C.5.3.2.1), los resultados se presentan en la tabla XVI.

$$f'_{cr} (\text{criterio 1}) = f'c + 1,34 * Ss \quad (16)$$

$$f'_{cr} (\text{criterio 2}) = f'c + 2,33 * Ss - 3,5 \quad (17)$$

TABLA XVI. RESISTENCIA DE DISEÑO PARA CADA TIPO DE CONCRETO

Tipo de concreto (MPa)	Resistencia especificada $f'c$ (MPa)	Desviación estándar Ss (MPa)	f'_{cr} Criterio 1 (MPa)	f'_{cr} Criterio 2 (MPa)	Resistencia de diseño f'_{cr} (MPa)
ACI - 21 MPa	21	1,40	22,88	20,76	23
O'Reilly - 21 MPa	21	1,40	22,88	20,76	23
ACI - 28 MPa	28	1,40	29,88	27,76	30
O'Reilly - 28 MPa	28	1,40	29,88	27,76	30

C. Diseño de concretos por el método ACI 211.1

1) Datos de entrada

Los datos de entrada para el diseño de los concretos se muestran en la tabla XVII.

TABLA XVII. DATOS DE ENTRADA – MÉTODO ACI 211.1

Tipo de concreto	ACI - 21 MPa	ACI - 28 MPa
Resistencia de diseño (f'_{cr})	23 MPa	30 MPa
Asentamiento	7,5 cm	7,5 cm
Características de los materiales	Tablas IX y X	Tablas IX y X

2) Parámetros para las proporciones iniciales

Los parámetros para determinar las proporciones iniciales se muestran en la tabla XVIII.

TABLA XVIII. PARÁMETROS PARA DEFINIR LAS PROPORCIONES INICIALES – MÉTODO ACI 211.1

Tipo de concreto	ACI - 21 MPa	ACI - 28 MPa	Referencia
Agua de mezcla (kg/m^3 ccto)	181	181	Anexo A1
Relación A/C	0,55	0,46	Tabla III
Cemento (kg/m^3 ccto)	329	393	Ecuación 1

3) Estimación de las proporciones de los agregados

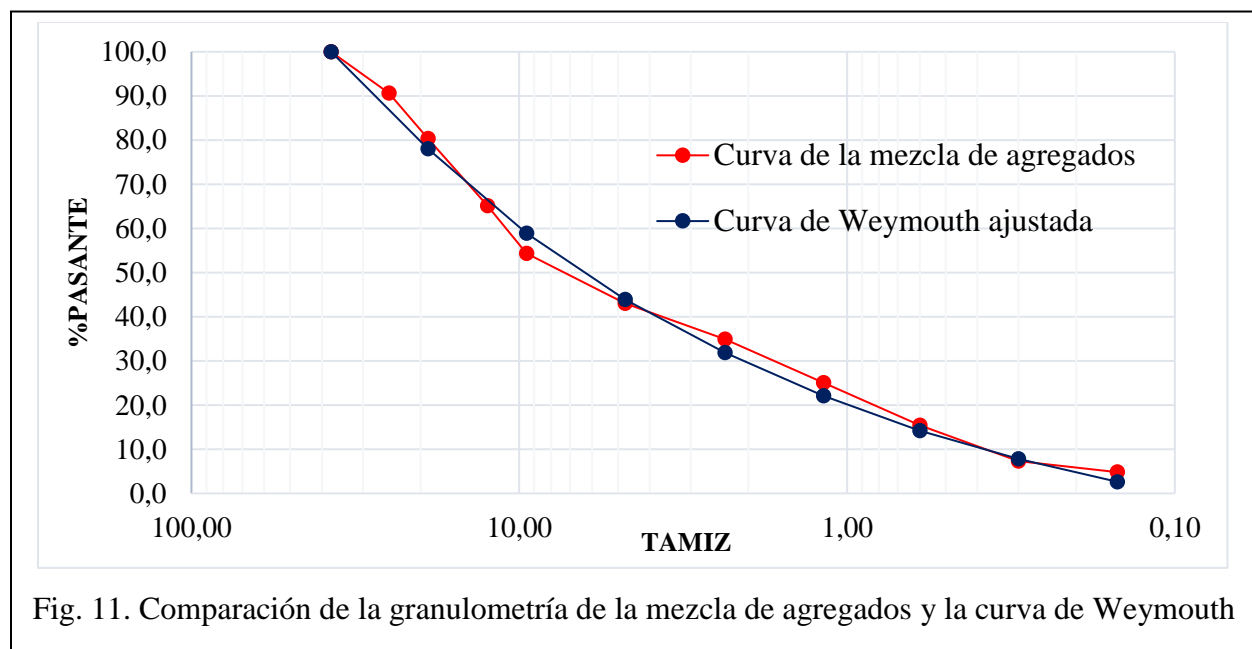
Para encontrar los porcentajes de los agregados se realizó un ajuste granulométrico mediante el método racional usando como referencia la curva de Weymouth ajustada. En la tabla XIX se muestran los resultados del ajuste y en la figura 11 se muestra la comparación de la curva granulométrica de la mezcla de los agregados con la curva ideal de Weymouth ajustada, (en el Anexo G se muestra de manera más detallada los cálculos realizados para el ajuste).

TABLA XIX. PROPORCIONES DE AGREGADOS DEL MÉTODO ACI 211.1

Agregado	Porcentaje
Arena	42%
Gravilla	26%
Grava	32%

TABLA XX. GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

Tamiz	%Pasante Arena	%Pasante Gravilla	%Pasante Grava	%Pasante Mezcla de agregados	Curva ajustada de Weymouth
1 1/2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1"	100,0	100,0	70,8	90,7	-
3/4 "	100,0	100,0	38,6	80,3	78,1
1/2"	100,0	77,6	9,3	65,1	-
3/8"	100,0	42,1	4,5	54,4	58,9
#4	96,0	9,1	1,2	43,1	43,9
#8	78,6	7,4	0,0	34,9	31,9
#16	56,5	5,1	0,0	25,1	22,1
#30	34,1	4,3	0,0	15,4	14,2
#50	15,3	3,3	0,0	7,3	7,8
#100	9,6	2,9	0,0	4,8	2,6
Porcentajes	42%	26%	32%		



4) *Proporciones iniciales*

Con los parámetros anteriores se determinó las proporciones en peso seco (tablas XXI y XXII).

TABLA XXI. PROPORCIONES INICIALES EN PESO SECO – ACI - 21 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Peso seco (kg/ m ³ ccto)	181	329	735	455	560	2261
Proporciones peso seco	0,55	1,00	2,23	1,38	1,70	
Volumen (lt/ m ³ ccto)	181	112	310	181	216	1000

TABLA XXII. PROPORCIONES INICIALES EN PESO SECO – ACI - 28 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Peso seco (kg/ m ³ ccto)	181	393	712	441	543	2271
Proporciones peso seco	0,46	1,00	1,81	1,12	1,38	
Volumen (lt/ m ³ ccto)	181	134	301	175	210	1000

5) *Primera mezcla de prueba*

Para la primera mezcla de prueba se elaboró un volumen de concreto de 42 lt (0,042 m³), para elaborar 6 cilindros y realizar 1 ensayo de asentamiento. A las proporciones en peso seco de cada concreto se les realizó un ajuste por humedad de los agregados, obteniéndose las cantidades de material mostradas en la tabla XXIII.

TABLA XXIII. PROPORCIONES DE LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA

	ACI – 21 MPa	ACI – 28 MPa
Agua (kg)	9,35	9,29
Cemento (kg)	13,75	13,75
Arena (kg)	31,45	16,44
Gravilla (kg)	19,09	18,50
Grava (kg)	23,47	22,74

Para lograr el asentamiento requerido se tuvo que añadir una cantidad de agua adicional al agua de mezcla prefijada, modificando la relación A/C, en la tabla XXIV se muestra esta modificación.

TABLA XXIV. RELACIÓN A/C UTILIZADA EN LA PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA

Concreto	A/C inicial	Agua adicional (kg)	A/C utilizada
ACI – 21 MPa	0,55	2,10	0,70
ACI – 28 MPa	0,46	2,35	0,60

6) Segunda mezcla de prueba

Con base en la cantidad de agua agregada en la primera mezcla, se realizó el ajuste para mantener la relación A/C que se definió al comienzo, los resultados se muestran en las tablas XXV y XXVI.

TABLA XXV. PROPORCIONES DE LA SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA – ACI-21 MPa

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	220	136	266	172	206	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	220	400	630	433	533	2217
Proporciones en peso seco	0,55	1,00	1,57	1,08	1,33	

TABLA XXVI. PROPORCIONES DE LA SEGUNDA MEZCLA DE PRUEBA – ACI-28 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	225	166	245	166	198	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	225	488	581	418	514	2225
Proporciones en peso seco	0,46	1,00	1,19	0,86	1,05	

7) Tercera mezcla de prueba

Debido a que las resistencias de la primera y segunda mezcla de prueba no cumplieron con la resistencia requerida (ver tabla XXVII), se realizó una tercera mezcla de prueba, donde se obtuvo una nueva relación A/C a partir de las utilizadas en las anteriores mezclas de prueba.

TABLA XXVII. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

Tipo de concreto	1ra Mezcla de prueba		2da Mezcla de prueba	
	A/C	Resistencia (MPa)	A/C	Resistencia (MPa)
ACI – 21 MPa	0,70	19,62	0,55	30,63
ACI – 28 MPa	0,60	27,35	0,46	37,41

Para encontrar la nueva relación A/C se ubicó en un gráfico los valores de resistencia y relación A/C de la primera y segunda mezcla de prueba, posteriormente se graficó la curva descrita por los datos de la tabla III y se trazó una curva paralela que pasa por los puntos de las mezclas de prueba, con esta curva se interpoló el nuevo valor de la relación A/C (ver figuras 12 y 13).

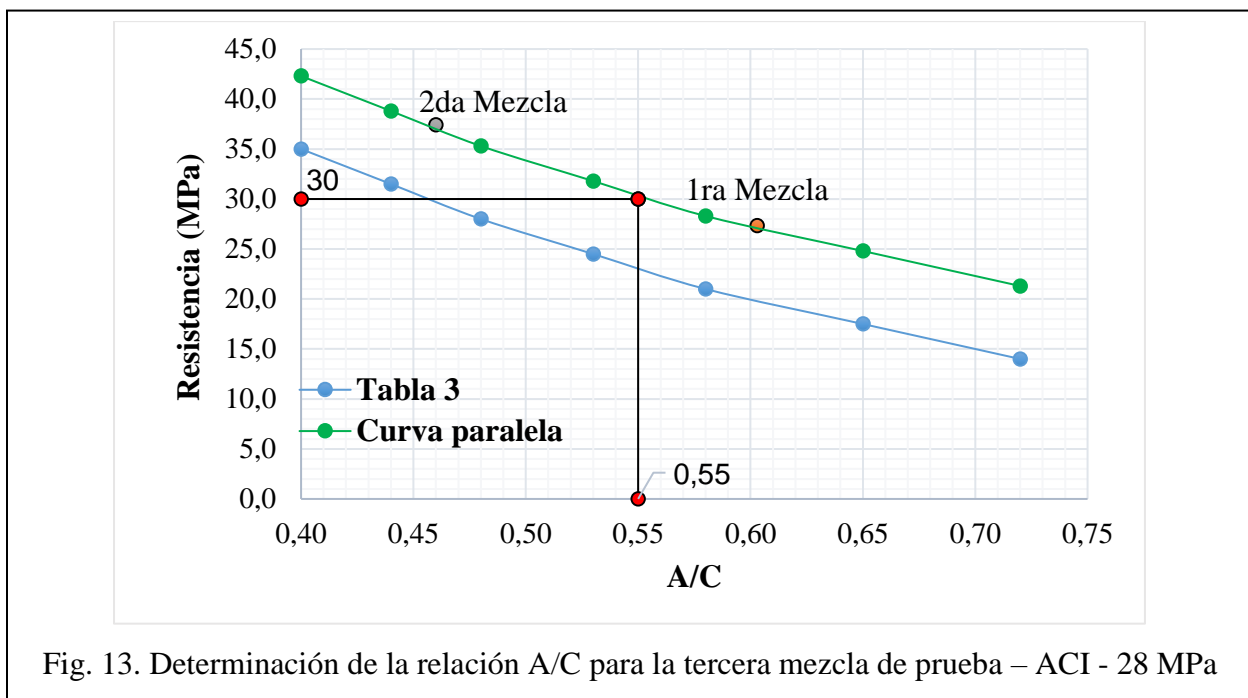
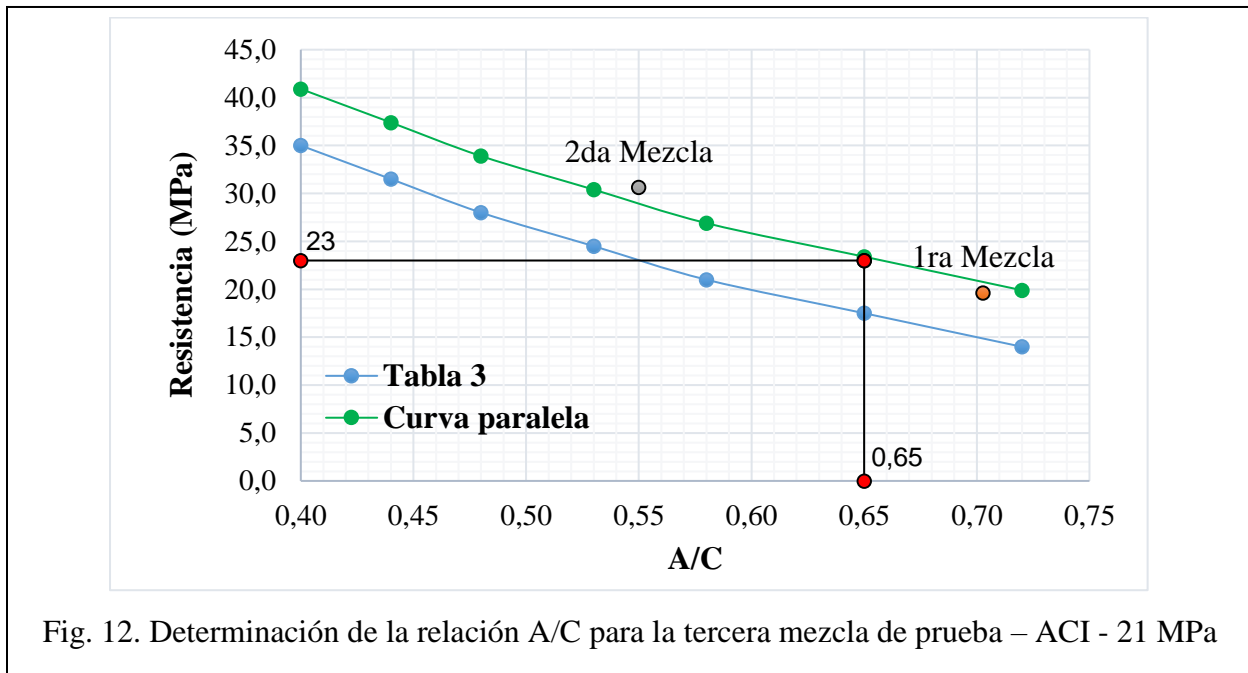


TABLA XXVIII. RELACIÓN A/C PARA LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA

Tipo de concreto	Relación A/C
ACI – 21 MPa	0,65
ACI – 28 MPa	0,55

En las tablas XXIX y XXX se muestran las proporciones de la tercera mezcla, ajustadas con la nueva relación A/C.

TABLA XXIX. PROPORCIONES DE LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA – ACI - 21 MPa

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	220	115	287	172	206	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	220	339	679	433	533	2205
Proporciones en peso seco	0,65	1,00	2,01	1,28	1,57	

TABLA XXX. PROPORCIONES DE LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA – ACI - 28 MPa

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	225	139	272	166	198	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	225	408	646	418	514	2210
Proporciones en peso seco	0,55	1,00	1,58	1,02	1,26	

Se realizaron ensayos de resistencia y asentamiento con las proporciones de la tercera mezcla para cada tipo de concreto, obteniendo los resultados de presentan en la tabla XXXI.

TABLA XXXI. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA TERCERA MEZCLA DE PRUEBA

Tipo de concreto	Resistencia (MPa)	Asentamiento (cm)
ACI – 21 MPa	23,44	8
ACI – 28 MPa	30,69	7,5

Como los resultados se encuentran dentro de las tolerancias permitidas las proporciones finales de los concretos diseñados con el método ACI 211.1, corresponden a las proporciones de la tercera mezcla de prueba (tablas XXIX y XXX).

D. Diseño de concretos con el método O'Reilly***1) Datos de entrada***

Los datos de entrada para el diseño de los concretos se muestran en la tabla XXXII.

TABLA XXXII. DATOS DE ENTRADA – MÉTODO O'REILLY

Parámetros	O'Reilly - 21 MPa	O'Reilly - 28 MPa
Resistencia de diseño (f'_{cr})	23 MPa	30 MPa
Asentamiento	7,5 cm	7,5 cm
Características de los materiales	Tablas IX y X	Tablas IX y X

2) Determinación de la mezcla óptima de agregados

Para determinar los porcentajes de cada agregado se realizaron diferentes mezclas de agregados, a las cuales se determinó su peso unitario compactado siguiendo el procedimiento mostrado en la figura 14, el peso unitario se determinó con la ecuación (18).

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{\text{Peso de la muestra compactada}}{\text{Volumen del recipiente}} \quad (18)$$

Posteriormente se calculó el peso específico promedio de cada mezcla de agregados a partir del peso específico de cada agregado y su porcentaje en la mezcla, usando la ecuación (19).

$$\text{Peso específico promedio} = \%A_1 * PE_1 + \%A_2 * PE_2 + \dots \%A_n * PE_n \quad (19)$$

Donde;

- **%An**, es el porcentaje del agregado n en la mezcla
- **PE_n**, es el peso específico del agregado n

Finalmente, con los valores de peso unitario compactado y peso específico se determinó el porcentaje de vacíos de cada mezcla, con la ecuación (10), que fue descrita en el marco teórico.

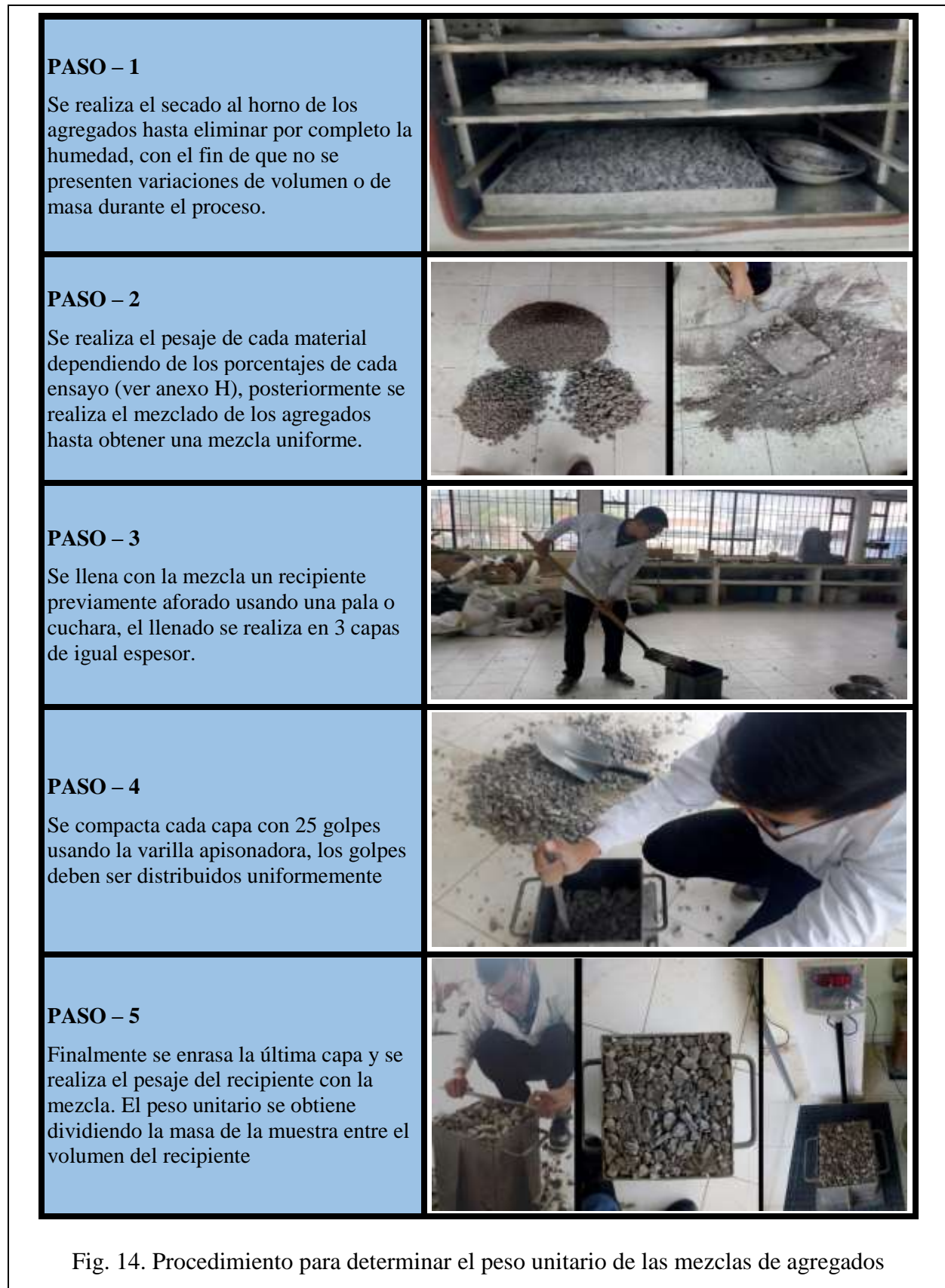
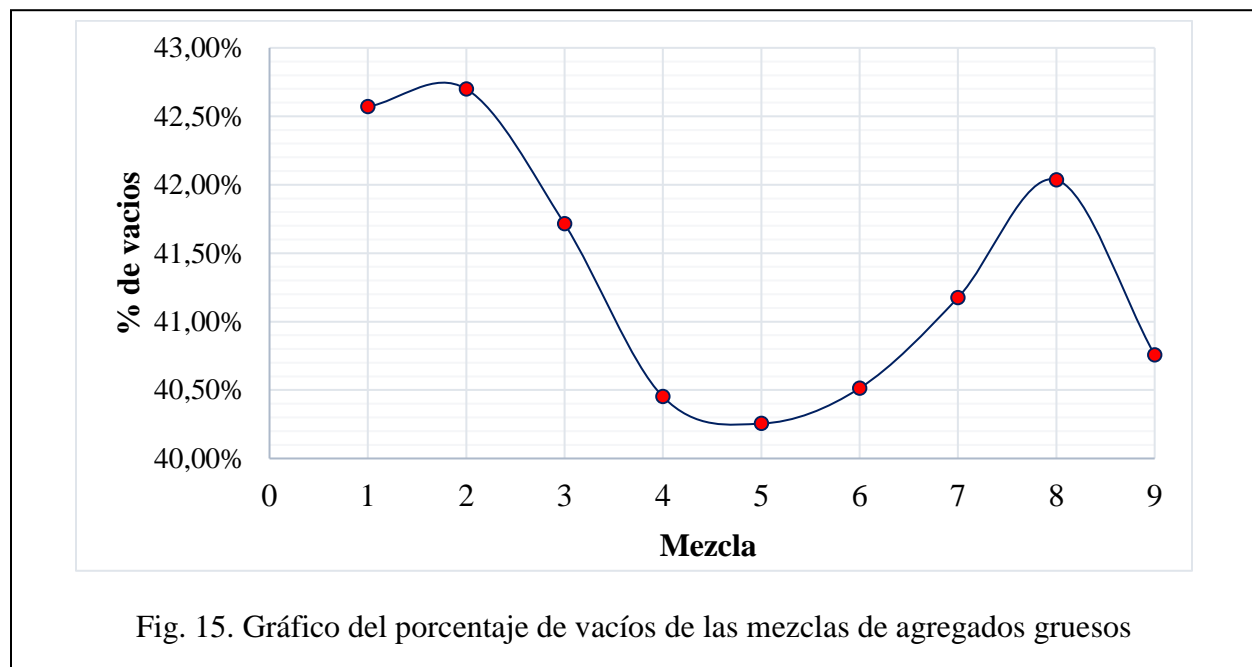


Fig. 14. Procedimiento para determinar el peso unitario de las mezclas de agregados

Como en el presente trabajo se utilizó tres tipos de agregados, el proceso se realizó primeramente con los agregados gruesos (grava y gravilla), una vez obtenida la mezcla óptima de agregados gruesos se realizó el procedimiento combinando esta mezcla con el agregado fino (arena).

TABLA XXXIII. PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS GRUESOS

Mezcla	% Grava	% Gravilla	Peso específico (kg/m ³)	Peso unitario (kg/m ³)	% de vacíos
1	30%	70%	2541	1458	42,61%
2	35%	65%	2545	1457	42,74%
3	40%	60%	2548	1484	41,75%
4	45%	55%	2552	1518	40,49%
5	50%	50%	2555	1526	40,29%
6	55%	45%	2559	1521	40,55%
7	60%	40%	2562	1506	41,21%
8	65%	35%	2566	1486	42,07%
9	70%	30%	2569	1521	40,79%



Como se puede observar en la tabla XXXIII y la figura 15, la mezcla óptima en peso de los agregados gruesos corresponde a 50% de grava y 50% de gravilla (mezcla 5).

Con la mezcla de agregados gruesos y la arena se repitió el procedimiento para encontrar el % de vacíos de la mezcla óptima de agregados finos y gruesos, ver tabla XXXIV.

TABLA XXXIV. PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

Mezcla	% Arena	% A. gruesos	Peso específico (kg/m ³)	Peso unitario (kg/m ³)	% de vacíos
1	35%	65%	2490,3	1713,4	31,20%
2	40%	60%	2481,0	1715,9	30,84%
3	45%	55%	2471,8	1702,4	31,13%
4	50%	50%	2462,5	1693,4	31,23%
5	55%	45%	2453,3	1675,9	31,69%
6	60%	40%	2444,0	1664,9	31,88%

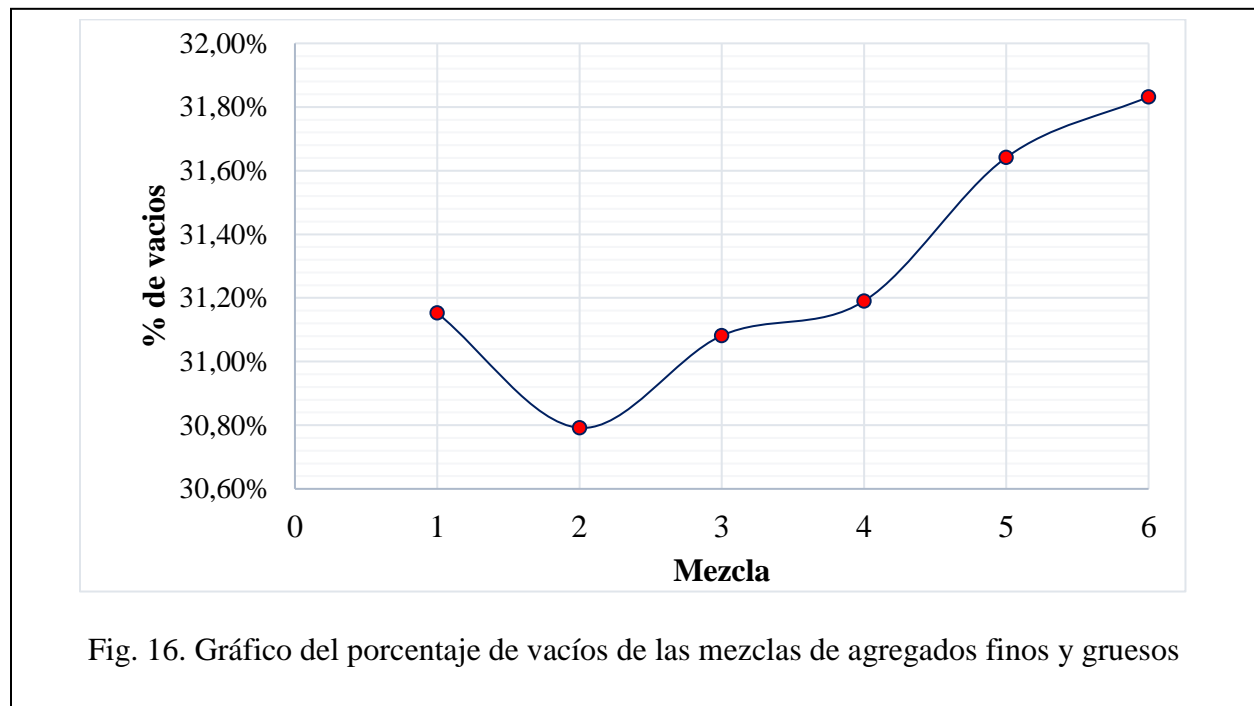


Fig. 16. Gráfico del porcentaje de vacíos de las mezclas de agregados finos y gruesos

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que los porcentajes óptimos de la mezcla de agregados finos y gruesos corresponden a 40% de arena y 60% de agregados gruesos, como la mezcla de agregados gruesos usada fue de 50% de gravilla y 50 % de grava, estos porcentajes se multiplicaron por el 60%. En la tabla XXXV se muestran los porcentajes finales de cada agregado.

TABLA XXXV. PROPORCIONES DE AGREGADOS DEL MÉTODO O'REILLY

Agregado	Porcentaje
Arena	40%
Gravilla	30%
Grava	30%

3) Determinación del agua de mezcla

Para determinar el agua de mezcla se realizaron mezclas de prueba con diferentes cantidades de agua para encontrar la que permita obtener el asentamiento requerido, estas mezclas se realizaron con las proporciones de los agregados del paso anterior y una cantidad tentativa de cemento, obtenida de una tabla de dosificación empírica (tabla XXXVI) que se usó como referencia al no disponer de datos experimentales, cabe mencionar que esta cantidad de cemento no es definitiva y solo se usa como dato de entrada para realizar los ajustes del método. De la tabla XXXVI se obtuvo que el contenido de cemento por metro cúbico para los concretos de 21 MPa y 28 MPa fue de 350 kg y 420 kg respectivamente. En la tabla XXXVII se consigan los parámetros de las mezclas.

TABLA XXXVI. DOSIFICACIONES EMPÍRICAS PARA CONCRETOS

Proporción	Cemento (kg)	Arena (m ³)	Triturado (m ³)	Resistencia (psi)	Resistencia (MPa)
1: 2: 2	420	0,67	0,67	4000	28,0
1: 2: 2.5	380	0,60	0,76	3500	24,5
1: 2: 3	350	0,56	0,84	3000	21,0
1: 2: 3.5	320	0,52	0,9	2500	17,5
1: 2: 4	300	0,48	0,95	2000	14,0

Nota: Tomada de www.hormigonobra.blogspot.com

TABLA XXXVII. PARÁMETROS DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

Parámetros	O'Reilly – 21 MPa	O'Reilly – 28 MPa	Referencia
Cantidad de cemento (kg/m ³ ccto)	350 kg	420 kg	Tabla XXXVI
Cantidad de agua (kg/m ³ ccto)	Variable	Variable	
% Arena	40%	40%	
% Gravilla	30%	30%	Tabla XXXV
% Grava	30%	30%	

A partir de los resultados de asentamiento de las mezclas de prueba mostrados en la tabla XXXVIII, se realizó una regresión lineal (figura 17) para determinar la cantidad de agua de mezcla necesaria para obtener el asentamiento especificado de 7,5 cm, en la tabla XXXIX se muestran el agua de mezcla obtenida para cada tipo de concreto.

TABLA XXXVIII. ASENTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

Tipo de concreto	Mezcla	Cemento (kg/m ³ ccto)	Agua (kg/m ³ ccto)	A/C	Asentamiento (cm)
O'Reilly – 21MPa	1	350	200	0,57	1,5
	2	350	205	0,59	3,5
	3	350	210	0,60	6
	4	350	215	0,61	10
	5	350	220	0,63	13,5
O'Reilly – 28 MPa	1	420	205	0,49	1
	2	420	210	0,50	4
	3	420	215	0,51	5,5
	4	420	220	0,52	9
	5	420	225	0,54	14

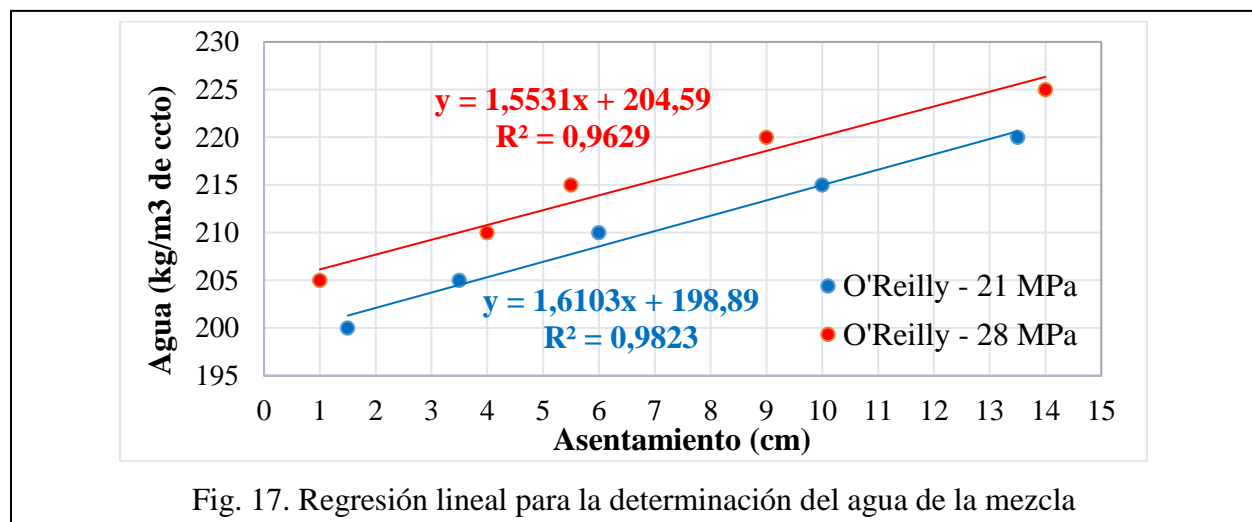


Fig. 17. Regresión lineal para la determinación del agua de la mezcla

TABLA XXXIX. AGUA DE MEZCLA INICIAL DE LOS CONCRETOS

Tipo de concreto	Agua de mezcla
O'Reilly – 21 MPa	211 (kg/m ³ ccto)
O'Reilly – 28 MPa	216 (kg/m ³ ccto)

4) *Proporciones iniciales*

Con el agua de mezcla encontrada anteriormente, la cantidad de cemento prefijada y los porcentajes óptimos de los agregados, se definieron las proporciones iniciales para cada tipo de concreto, las cuales se muestran en las tablas XL y XLI.

TABLA XL. PROPORCIONES INICIALES – O'REILLY - 21 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	211	119	280	198	192	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	211	350	664	498	498	2221
Proporciones en peso seco	0,60	1,00	1,90	1,42	1,42	

TABLA XLI. PROPORCIONES INICIALES – O'REILLY - 28 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	216	143	268	189	184	216
Peso seco (kg/m ³ ccto)	216	420	635	477	477	2224
Proporciones en peso seco	0,51	1,00	1,51	1,14	1,14	

Con estas proporciones iniciales se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, los resultados obtenidos se muestran en la tabla XLII.

TABLA XLII. RESISTENCIA DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON LAS PROPORCIONES INICIALES

Tipo de concreto	Resistencia a la compresión (MPa)
O'Reilly - 21 MPa	26,21
O'Reilly - 28 MPa	33,95

5) *Determinación de la característica "A" del agregado*

La característica A del agregado se determinó mediante la ecuación (11), en la tabla XLIII se muestran los valores de la característica A para cada tipo de concreto, junto con los parámetros usados para su cálculo.

TABLA XLIII. CARACTERÍSTICA “A” DEL AGREGADO

Parámetro	O’Reilly – 21 MPa	O’Reilly – 28 MPa	Referencia
Rh (Resistencia de la mezcla)	26,21 MPa	33,95 MPa	Tabla XLII
Rc (Resistencia del cemento)	29,6 MPa	29,6 MPa	Tabla IX
M1 (factor de asentamiento)	4,1729	4,1729	Anexo A2
M2 (factor de asentamiento)	0,3328	0,3328	Anexo A2
A/C	0,60	0,51	T. XXXV y XXXVIII
V (factor de relación A/C)	0,2218	0,2924	Anexo A3
Característica A	0,7037	0,7386	Ecuación 11

6) Determinación de la cantidad real de cemento

Se calculó un nuevo valor del coeficiente “V” con la ecuación (12) y se obtuvo una nueva relación A/C con la tabla anexo A3, con la cual se determinó la cantidad real de cemento para los concretos.

TABLA XLIV. CANTIDAD REAL DE CEMENTO

Tipo de concreto	Parámetro V	A/C	Cantidad de cemento
O’Reilly – 21 MPa	0,1849	0,65	325 (kg/m ³ de ccto)
O’Reilly – 28 MPa	0,2491	0,56	386 (kg/m ³ de ccto)

7) Ajustes y determinación de las proporciones finales

Con las proporciones de los agregados, agua de mezcla y la cantidad real de cemento determinados anteriormente, se establecieron unas nuevas proporciones para los concretos (tablas XLV y XLVI).

TABLA XLV. PROPORCIONES CALCULADAS – O’REILLY - 21 MPa

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Peso seco (kg/m ³ ccto)	211	325	672	504	504	2217
Proporciones en peso seco	0,65	1	2,07	1,55	1,55	

TABLA XLVI. PROPORCIONES CALCULADAS – O’REILLY - 28 MPa

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Peso seco (kg/m ³ ccto)	216	386	647	485	485	2219
Proporciones en peso seco	0,56	1	1,68	1,26	1,26	

- **Ajuste por resistencia**

Con las nuevas proporciones de los concretos (tablas XLV y XLVI) se realizaron ensayos de resistencia para verificar si cumplían con la resistencia requerida, en la tabla XLVII se muestran los resultados.

TABLA XLVII. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE PROPORCIONES CALCULADAS

Tipo de concreto	Resistencia obtenida (MPa)	Resistencia requerida (MPa)
O'Reilly - 21 MPa	23,41	23
O'Reilly - 28 MPa	29,18	30

Como se observa en la tabla XLVII, la mezcla de prueba del concreto O'Reilly - 28 MPa no cumplió con la resistencia de diseño, por lo tanto, se efectuó un ajuste a las proporciones, volviendo a calcular la característica "A" del agregado con la resistencia obtenida y repitiendo el procedimiento descrito anteriormente para encontrar una nueva relación A/C, que para el presente caso fue de 0.55, en la tabla XLVIII se muestran las proporciones ajustadas con la nueva relación A/C, con estas proporciones se elaboraron cilindros de prueba los cuales fueron ensayados a la compresión, obteniendo un valor promedio de 30,43 MPa, que cumple con la especificación.

TABLA XLVIII. AJUSTE POR RESISTENCIA – O'REILLY - 28 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	216	134	272	192	187	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	216	393	645	483	483	2220
Proporciones en peso seco	0,55	1,00	1,64	1,23	1,23	

- **Ajuste por asentamiento**

Luego de realizar los ajustes por resistencia se determinó el asentamiento de los concretos de 21 MPa y 28 MPa, obteniendo valores de 9,5 cm y 10 cm respectivamente, como estos valores fueron superiores al valor especificado de 7,5 cm, se realizó un ajuste al agua de mezcla, mediante la elaboración de mezclas de prueba con diferentes cantidades de agua, manteniendo la misma relación A/C, hasta encontrar la cantidad de agua de mezcla que logre el asentamiento requerido.

TABLA XLIX. MEZCLAS DE PRUEBA PARA EL AJUSTE POR ASENTAMIENTO

Tipo de concreto	Mezcla	Cemento	Agua	A/C	Asentamiento (cm)
O'Reilly - 21 MPa	1	308	200	0,65	1,5
	2	315	205	0,65	6
	3	325	211	0,65	9,5
O'Reilly - 28 MPa	1	373	205	0,55	1
	2	382	210	0,55	4,5
	3	393	216	0,55	10

A partir de los resultados mostrados en la tabla XLIX, se realizó una regresión lineal de donde se obtuvo que el agua de mezcla por metro cúbico requerida para los concretos O'Reilly-21 MPa y O'Reilly-28 MPa, fue de 208 kg y 213 kg respectivamente. Con estos nuevos valores del agua de mezcla se ajustaron las proporciones de las mezclas, como se muestra en las tablas L y LI.

TABLA L. PROPORCIONES AJUSTADAS POR ASENTAMIENTO – O'REILLY - 21 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	208	109	286	201	196	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	208	320	677	508	508	2220
Proporciones en peso seco	0,65	1	2,12	1,59	1,59	

TABLA LI. PROPORCIONES AJUSTADAS POR ASENTAMIENTO – O'REILLY - 28 MPA

	Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Σ
Volumen absoluto (lt/m ³ ccto)	213	132	274	193	188	1000
Peso seco (kg/m ³ ccto)	213	387	649	487	487	2224
Proporciones en peso seco	0,55	1	1,68	1,26	1,26	

Con las proporciones ajustadas, se realizaron ensayos de resistencia y asentamiento obteniendo los resultados de la tabla LII, como estos resultados cumplieron con las especificaciones, las proporciones finales para los concretos fueron las mostradas en las tablas L y LI.

TABLA LII. RESULTADOS DE LAS MEZCLAS AJUSTADAS

Tipo de concreto	Resistencia (MPa)	Asentamiento (cm)
O'Reilly – 21 MPa	24,46	7
O'Reilly – 28 MPa	31,23	7,5



E. Peso unitario de los concretos

1) Peso unitario en estado plástico

Para encontrar el peso unitario del concreto en estado fresco inicialmente se determinó el volumen de un recipiente de medida (figura 19), luego se realizó el llenado del concreto como se muestra en la figura 20, el peso unitario se calculó dividiendo este peso entre el volumen del recipiente.





2) *Peso unitario en estado endurecido*

El peso unitario en estado endurecido se determinó a partir del diámetro, la altura y el peso de los cilindros de prueba, obtenidos como se muestra en la figura 21.



F. Temperatura de los concretos

Se midió la temperatura de los concretos en estado plástico utilizando un termómetro digital, tal como se describe en la norma NTC – 3357.

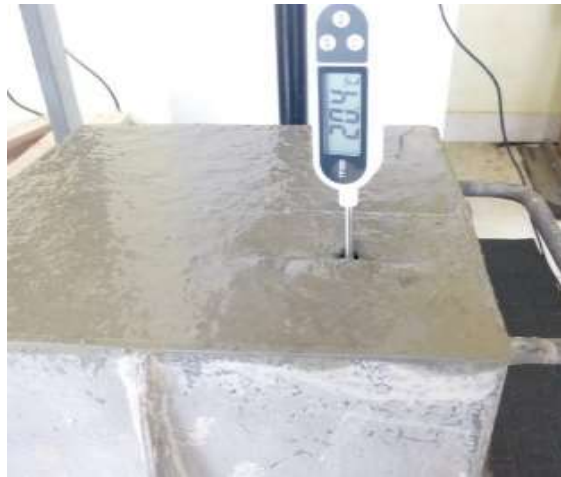


Fig. 22. Medición de la temperatura del concreto en estado plástico

G. Evolución de la resistencia de los concretos

Con las proporciones finales de los concretos se realizaron cilindros de prueba, los cuales fueron ensayados a la compresión a diferentes edades, 7,14, 28 y 56 días, es importante mencionar que los cilindros fueron curados de forma continua hasta la edad del ensayo.



Fig. 23. Curado de cilindros por el método de inmersión

H. Módulo de elasticidad y relación de Poisson de los concretos

Se determinó el módulo de elasticidad y la relación de Poisson para cada tipo de concreto siguiendo la norma NTC – 4025, el montaje empleado para el ensayo se muestra en la figura 24.



Fig. 24. Montaje para determinar el módulo de elasticidad y relación de Poisson

I. Porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados

Siguiendo el mismo procedimiento empleado para determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados en el método O'Reilly, se determinó el porcentaje de vacíos para las proporciones de los agregados obtenidas en el método ACI 211.1, con el fin de comparar los dos valores.



Fig. 25. Mezcla de agregados para determinar el porcentaje de vacíos

VIII. RESULTADOS

A. *Proporciones de los concretos*

En la tabla LIII se muestran las proporciones finales por metro cúbico de cada tipo de concreto, obtenidas mediante los métodos ACI 211.1 y O'Reilly, cuyo procedimiento fue descrito en el desarrollo experimental.

TABLA LIII. PROPORCIONES FINALES DE LOS CONCRETOS

Tipo de concreto	Tipo de proporción	Proporciones de los materiales					Σ
		Agua	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	
ACI - 21 MPa	Peso seco (kg/m ³ de ccto)	220	339	679	433	533	2205
	Proporciones en peso seco	0,65	1,0	2,0	1,3	1,6	
	Volumen suelto (m ³ /m ³ de ccto)	0,22	0,29	0,54	0,33	0,38	1,77
	Proporciones en volumen suelto		1,0	1,9	1,1	1,3	
ACI - 28 MPa	Peso seco (kg/m ³ de ccto)	225	408	646	418	514	2211
	Proporciones en peso seco	0,55	1,0	1,6	1,0	1,3	
	Volumen suelto (m ³ /m ³ de ccto)	0,22	0,35	0,52	0,31	0,37	1,78
	Proporciones en volumen suelto		1,0	1,5	0,9	1,0	
O'Reilly - 21 MPa	Peso seco (kg/m ³ de ccto)	208	320	677	508	508	2220
	Proporciones en peso seco	0,65	1,0	2,1	1,6	1,6	
	Volumen suelto (m ³ /m ³ de ccto)	0,21	0,28	0,54	0,38	0,37	1,78
	Proporciones en volumen suelto		1,00	2,0	1,4	1,3	
O'Reilly - 28 MPa	Peso seco (kg/m ³ de ccto)	213	387	649	487	487	2224
	Proporciones en peso seco	0,55	1,0	1,7	1,3	1,3	
	Volumen suelto (m ³ /m ³ de ccto)	0,21	0,34	0,52	0,37	0,35	1,79
	Proporciones en volumen suelto		1,0	1,5	1,1	1,0	

B. Resultados del peso unitario de los concretos**1) Peso unitario en estado plástico**

En la tabla LIV se muestran los resultados del aforo del recipiente empleado para los ensayos, los pesos unitarios obtenidos se consignan en la tabla LV.

TABLA LIV. RESULTADOS DEL AFORO DEL RECIPIENTE

Peso del recipiente (kg)	Peso del agua + recipiente (kg)	Peso del agua (kg)	Temperatura del agua (°C)	Densidad del agua (kg/m³)	Volumen aforado (m³)
15,25	30,72	15,47	18,1	998,68	0,01549

TABLA LV. PESO UNITARIO EN ESTADO PLÁSTICO

Tipo de concreto	Peso unitario (kg/m³)
ACI – 21 MPa	2232
O'Reilly – 21 MPa	2256
ACI – 28 MPa	2240
O'Reilly – 28 MPa	2267

2) Peso unitario en estado endurecido

En la tabla LVI se muestran los resultados del peso unitario en estado endurecido obtenidos para cada tipo de concreto, las dimensiones y el peso de los cilindros se consignan en el anexo D.

TABLA LVI. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO

Tipo de concreto	Peso unitario (kg/m³)
ACI – 21 MPa	2219
O'Reilly – 21 MPa	2241
ACI – 28 MPa	2230
O'Reilly – 28 MPa	2246

C. Resultados de la temperatura de los concretos

TABLA LVII. TEMPERATURA DE LOS CONCRETOS EN ESTADO PLÁSTICO

Tipo de concreto	Temperatura
ACI – 21 MPa	19,6 °C
O'Reilly – 21 MPa	20,4 °C
ACI – 28 MPa	21,2 °C
O'Reilly – 28 MPa	20,1 °C

D. Resultados del módulo de elasticidad y relación de Poisson de los concretos

TABLA LVIII. MÓDULO ELÁSTICO Y RELACIÓN DE POISSON

Tipo de concreto	Módulo de elasticidad (MPa)	Relacion de Poisson
ACI – 21 MPa	28523	0,22
O'Reilly – 21 MPa	29894	0,19
ACI – 28 MPa	33349	0,17
O'Reilly – 28 MPa	34057	0,21

E. Resultados de la evolución de la resistencia de los concretos

TABLA LIX. RESISTENCIAS DE LOS CONCRETOS A DIFERENTES EDADES

Tipo de concreto	Resistencia (MPa)			
	7 días	14 días	28 días	56 días
21 MPa - ACI	13,97	19,72	23,81	28,36
21 MPa - O'Reilly	14,49	19,84	23,28	27,57
28 MPa - ACI	19,85	25,21	30,63	37,68
28 MPa - O'Reilly	21,43	26,75	31,19	37,33

F. Resultados del porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados

TABLA LX. PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS

Método	Proporciones de los agregados	% de vacios
ACI 211.1	42% Arena – 26% Gravilla – 32% Grava	31,16%
O'Reilly	40% Arena – 30% Gravilla – 30% Grava	30,79%

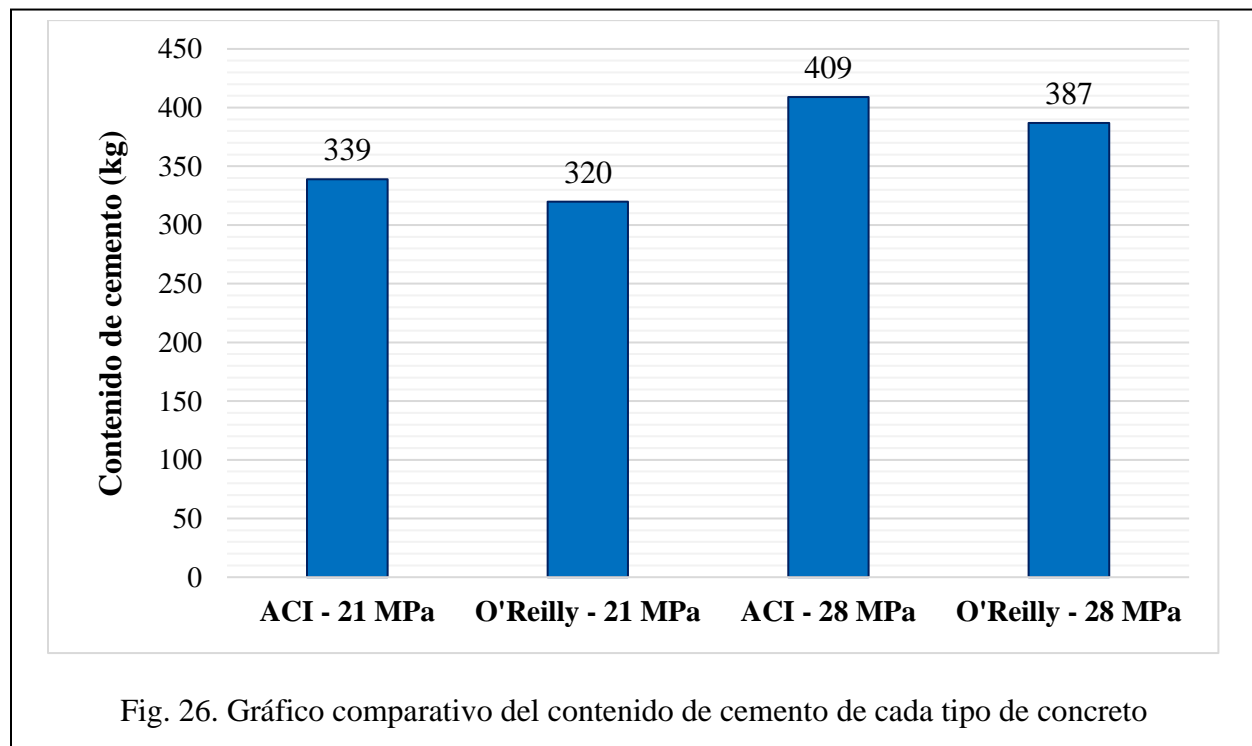
IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

A. Comparación del contenido de cemento

A partir de las proporciones de los concretos mostradas en la tabla LIII se determinó la diferencia del contenido de cemento entre los concretos diseñados con cada método, en la tabla LXI se muestran los resultados obtenidos.

TABLA LXI. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Tipo de concreto	Contenido de cemento (kg/m ³ de ccto)	Diferencia (kg/m ³ de ccto)	% de variación
ACI – 21 MPa	339	19	5,6 %
O'Reilly – 21 MPa	320		
ACI – 28 MPa	408	21	5,4 %
O'Reilly – 28 MPa	387		



B. Análisis de costos**1) Análisis de precios unitarios**

En la tabla LXII se muestra el análisis de precios unitarios para determinar el costo por metro cúbico de cada tipo de concreto con base en los precios de los materiales empleados. En la tabla LXIII se muestra la comparación de los costos.

TABLA LXII. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS CONCRETOS

Tipo de concreto	Material	Unidad	Cantidad	Vr. unitario	Vr. total
ACI – 21 MPa	Agua	lt	220	\$40	\$8.800
	Cemento	kg	339	\$650	\$220.350
	Arena	m3	0,54	\$46.000	\$25.007
	Gravilla	m3	0,33	\$55.000	\$17.893
	Grava	m3	0,38	\$53.000	\$20.338
			<i>Costo total del concreto por m³</i>		\$292.387
O'Reilly – 21 MPa	Agua	lt	208	\$40	\$8.320
	Cemento	kg	320	\$650	\$208.000
	Arena	m3	0,54	\$46.000	\$24.934
	Gravilla	m3	0,38	\$55.000	\$20.992
	Grava	m3	0,37	\$53.000	\$19.384
			<i>Costo total del concreto por m³</i>		\$281.629
ACI – 28 MPa	Agua	lt	225	\$40	\$9.000
	Cemento	kg	408	\$650	\$265.200
	Arena	m3	0,52	\$46.000	\$23.792
	Gravilla	m3	0,31	\$55.000	\$17.273
	Grava	m3	0,37	\$53.000	\$19.613
			<i>Costo total del concreto por m³</i>		\$334.877
O'Reilly – 28 MPa	Agua	lt	213	\$40	\$8.520
	Cemento	kg	387	\$650	\$251.550
	Arena	m3	0,52	\$46.000	\$23.902
	Gravilla	m3	0,37	\$55.000	\$20.124
	Grava	m3	0,35	\$53.000	\$18.582
			<i>Costo total del concreto por m³</i>		\$322.679

TABLA LXIII. COMPARACIÓN DEL COSTO DE LOS CONCRETOS

Tipo de concreto	Costo / m ³	Diferencia	% de variación
ACI – 21 MPa	\$ 292.387		
O'Reilly – 21 MPa	\$ 281.629	\$ 10.758	3,7 %
ACI – 28 MPa	\$ 334.877		
O'Reilly – 28 MPa	\$ 322.679	\$ 12.198	3,6 %

2) Relación entre la resistencia y el costo de los concretos

A partir del costo de los concretos de 21 MPa y 28 MPa diseñados con cada método se determinaron expresiones que relacionan la resistencia a la compresión y el costo de los concretos mediante una interpolación lineal. Para los concretos diseñados con el método ACI 211.1 la relación entre la resistencia y el costo está dada por la ecuación (20), mientras que en los concretos diseñados con el método O'Reilly está dada por la ecuación (21).

$$\text{Costo por m}^3 \text{ de concreto} = 6070 * \text{Resistencia (MPa)} + 164917 \quad (20)$$

$$\text{Costo por m}^3 \text{ de concreto} = 5864 * \text{Resistencia (MPa)} + 158479 \quad (21)$$

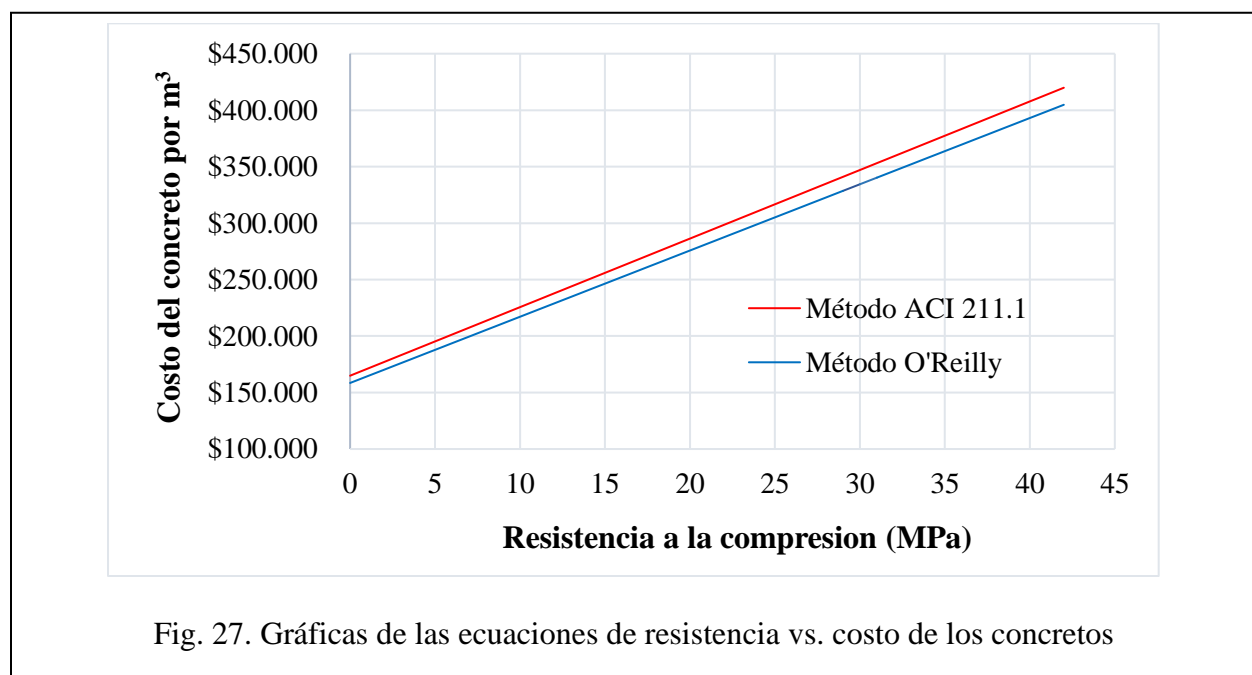


Fig. 27. Gráficas de las ecuaciones de resistencia vs. costo de los concretos

C. Análisis del peso unitario de los concretos

En las tablas LXIV y LXV se muestra la comparación del peso unitario en estado plástico y en estado endurecido de los concretos diseñados con cada método.

TABLA LXIV. COMPARACIÓN DEL PESO UNITARIO EN ESTADO PLÁSTICO

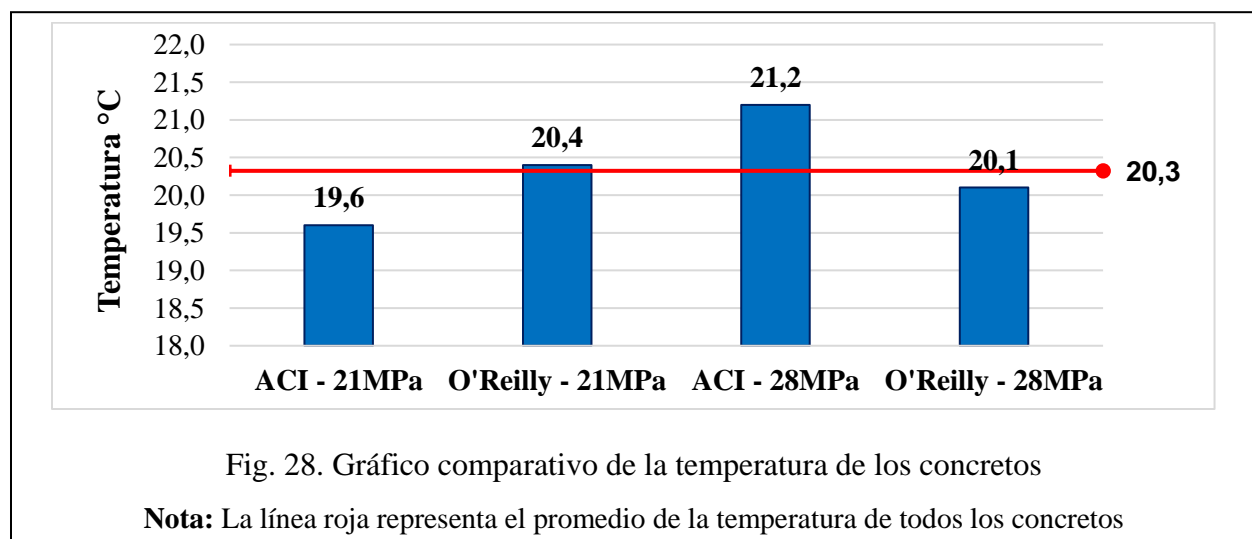
Tipo de concreto	Peso unitario (kg/m ³)	Diferencia (kg/m ³)	% de variación
ACI - 21 MPa	2232	24	1,06 %
O'Reilly - 21 MPa	2256		
ACI - 28 MPa	2243	27	1,19 %
O'Reilly - 28 MPa	2267		

TABLA LXV. COMPARACIÓN DEL PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO

Tipo de concreto	Peso unitario (kg/m ³)	Diferencia (kg/m ³)	% de variación
ACI - 21 MPa	2219	22	0,98%
O'Reilly - 21 MPa	2241		
ACI - 28 MPa	2230	16	0,73%
O'Reilly - 28 MPa	2246		

D. Análisis de la temperatura de los concretos

En la figura 28 se muestra la comparación de la temperatura de los concretos en estado plástico.

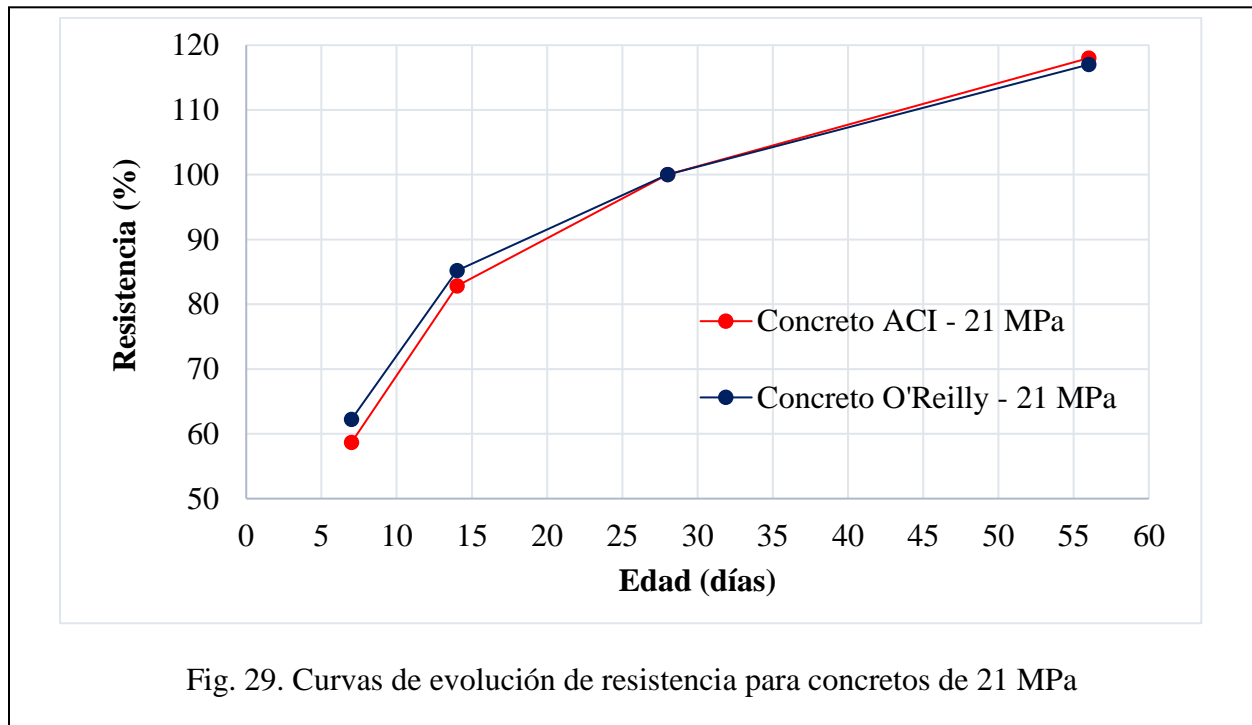


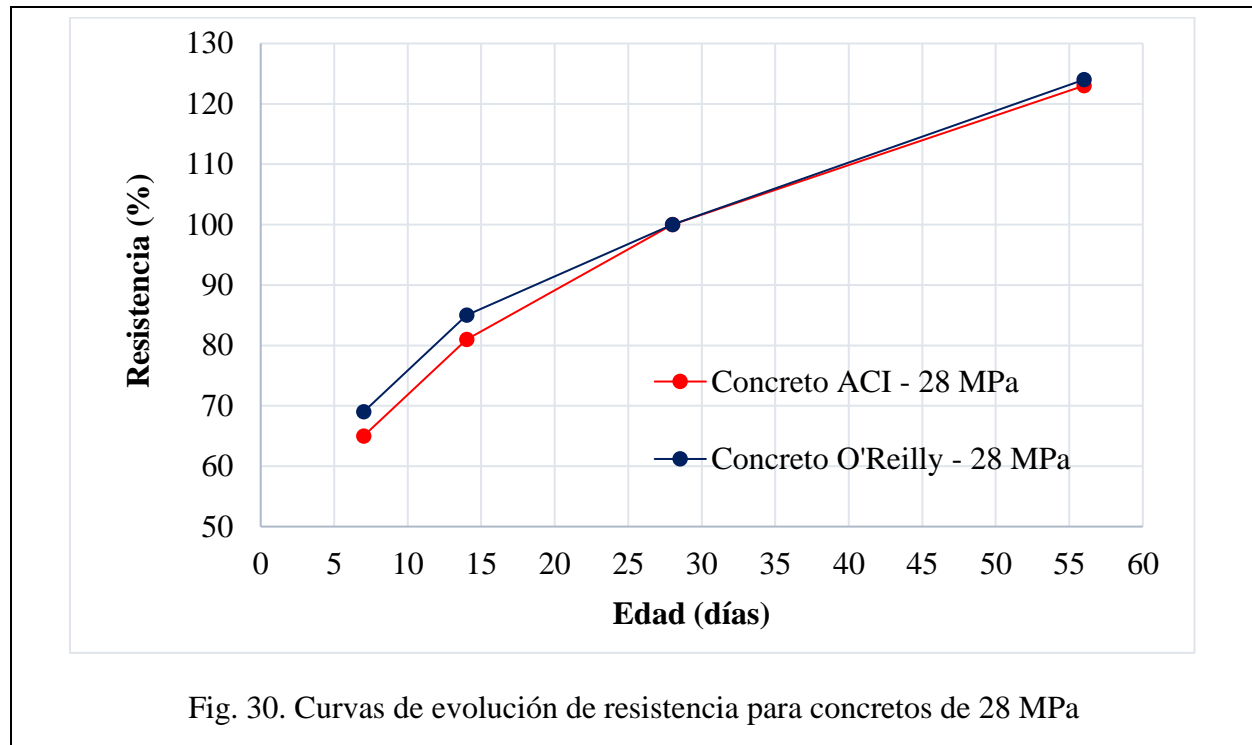
E. Análisis de la evolución de resistencia de los concretos

Con las resistencias obtenidas de los concretos a diferentes edades (tabla LIX), se determinó el porcentaje de resistencia adquirido en cada edad respecto a la resistencia a los 28 días, tal como se muestra en la tabla LXVI, a partir de estos porcentajes se construyeron las curvas de evolución de resistencia para cada tipo de concreto, las cuales se muestran en las figuras 29 y 30.

TABLA LXVI. PORCENTAJES DE RESISTENCIA DE LOS CONCRETOS VS. EDAD

Tipo de concreto	7 días	14 días	28 días	56 días
21 MPa - ACI	59%	83%	100%	119%
21 MPa - O'Reilly	62%	85%	100%	118%
28 MPa - ACI	65%	82%	100%	123%
28 MPa - O'Reilly	69%	86%	100%	120%





F. Análisis del módulo de elasticidad de los concretos

Se comparó el valor del módulo de elasticidad de los concretos de la misma resistencia diseñados con cada método, tal como se muestra en la tabla LXVII.

TABLA LXVII. COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

Tipo de concreto	Módulo de elasticidad (MPa)	% de variación
ACI – 21 MPa	28523	4,6 %
O'Reilly – 21 MPa	29894	
ACI – 28 MPa	33349	2,1 %
O'Reilly – 28 MPa	34057	

Adicionalmente se comparó el módulo de elasticidad con un valor teórico especificado por el reglamento NSR – 10 (Titulo C, numeral C.8.5), que se obtiene con la ecuación (22), y que es ampliamente utilizado para el análisis y diseño estructural de elementos de concreto. Cabe mencionar que el módulo fue calculado utilizando la resistencia real de los cilindros de prueba.

$$\text{Módulo de elasticidad (MPa)} = 4700 * \sqrt{f'c \text{ (MPa)}} \quad (22)$$

TABLA LXVIII. COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (ECUACIÓN 22)

Tipo de concreto	Valor experimental (MPa)	Valor – Ecuación 22 (MPa)	% de variación
ACI – 21 MPa	28523	22813	25,0 %
O'Reilly – 21 MPa	29894	22619	32,2 %
ACI – 28 MPa	33349	26354	26,5 %
O'Reilly – 28 MPa	34057	26139	30,3 %

De igual forma, se realizó la comparación con un valor alternativo (ecuación (23)), sugerido por el reglamento NSR-10 (Titulo C, comentario CR.8.5) para determinar el módulo de elasticidad de concretos elaborados con agregados de origen ígneo, como los empleados en el presente trabajo.

$$\text{Módulo de elasticidad (MPa)} = 5500 * \sqrt{f'c \text{ (MPa)}} \quad (23)$$

TABLA LXIX. COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (ECUACIÓN 23)

Tipo de concreto	Valor experimental (MPa)	Valor – Ecuación 23 (MPa)	% de variación
ACI – 21 MPa	28523	26696	6,8 %
O'Reilly – 21 MPa	29894	26469	12,9 %
ACI – 28 MPa	33349	30839	8,1 %
O'Reilly – 28 MPa	34057	30588	11,3 %

G. Análisis del porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados

En la tabla LXX se compara el porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados de cada método.

TABLA LXX. COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS DE LAS MEZCLAS DE AGREGADOS

Método	% de vacíos	% de variación
ACI 211.1	31,16%	27,7%
O'Reilly	30,79%	

X. CONCLUSIONES

- Con base en las proporciones de los concretos se encontró que existe una disminución del contenido de cemento en los concretos diseñados con el método O'Reilly respecto a los diseñados con el método ACI 211.1, esta disminución fue del 5,6% para los concretos de 21 MPa y de 5,2% para los concretos de 28 MPa, no obstante, estos porcentajes son inferiores al ahorro del 15% que propone la teoría del método O'Reilly.
- A partir del análisis de costos, se determinó que el ahorro de cemento obtenido con el método O'Reilly permitió disminuir en 3,7% el costo del concreto de 21 MPa y en 3,6% el del concreto de 28 MPa, debido a que estos porcentajes son relativamente bajos, se puede decir que la disminución de costos en los concretos diseñados con el método O'Reilly se vuelve significativa cuando se producen grandes volúmenes de concreto.
- Según los ensayos de peso unitario, se puede concluir que no existe una diferencia significativa en el peso de los concretos diseñados por cada método, debido a que la diferencia entre los pesos unitarios en estado plástico fue menor al 2% y en estado endurecido menor al 1%.
- En lo que respecta al desarrollo de la resistencia del concreto con la edad, se encontró un comportamiento similar entre los concretos diseñados con cada método analizado, sin embargo, los concretos diseñados con el método O'Reilly presentaron resistencias ligeramente superiores en edades tempranas, específicamente a los 7 y 14 días.
- A partir de la comparación de los resultados experimentales, se obtuvo que la temperatura de los concretos en estado plástico no presentó una variación considerable y tampoco se evidenció un comportamiento que relacione la temperatura del concreto con la resistencia o el método de diseño empleado.

- Se encontró que el módulo de elasticidad presentó un valor más alto en los concretos diseñados con el método O'Reilly en comparación a los diseñados con el método ACI 211.1, por consiguiente, se puede concluir que la disminución del contenido de cemento en los concretos incrementa el valor del módulo de elasticidad.
- Se compararon los valores del módulo de elasticidad de los concretos obtenidos experimentalmente con dos valores teóricos especificados por el reglamento NSR – 10, uno de ellos corresponde a un valor general para concretos de peso normal y el segundo es un valor usado específicamente para concretos con agregados de origen ígneo, como resultado se obtuvo que el módulo de elasticidad experimental de los concretos diseñados con los métodos ACI 211.1 y O'Reilly fue superior a los valores teóricos definidos por el reglamento NSR – 10, presentando una menor diferencia con el valor especificado para concretos fabricados con agregados de origen ígneo.
- Se observó que el porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados del método O'Reilly fue menor al de la mezcla de agregados del método ACI 211.1, por lo tanto, se puede concluir que el porcentaje de vacíos de la mezcla de agregados es directamente proporcional al contenido de cemento en el concreto, debido a que los concretos diseñados con el método O'Reilly presentaron un menor consumo de cemento en comparación a los diseñados con el método ACI 211.1.

XI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en los ensayos de peso unitario usados para determinar el porcentaje de vacíos de un agregado o una mezcla de agregados, el proceso de compactación sea realizado por un solo operario, esto con el fin de evitar variaciones en la energía de compactación que puedan alterar el valor de los resultados experimentales, los cuales tienen una gran importancia en el método O'Reilly.
- Antes de realizar una mezcla de concreto se recomienda hacer un control previo de la humedad de los agregados y realizar los ajustes respectivos a las proporciones, independientemente si se está trabajando en un ambiente controlado como el de un laboratorio.
- Para la profundización del tema tratado en el presente trabajo se sugiere realizar un análisis comparativo de los métodos de diseño ACI 211.1 y O'Reilly desde el punto de vista de la durabilidad de los concretos, que es una propiedad que también se ve afectada por el contenido de cemento.
- Se recomienda realizar un trabajo donde se compare los métodos de diseño ACI 211.1 y O'Reilly usando aditivos plastificantes, debido a que el uso de este tipo de aditivos disminuye la cantidad de agua que debe ser añadida al concreto, reduciendo a su vez la cantidad de cemento necesaria para lograr la relación A/C, lo cual puede incidir en la diferencia del contenido de cemento y el costo los concretos diseñados con ambos métodos.
- Se sugiere investigar la incidencia que tienen los métodos ACI 211.1 y O'Reilly en el contenido de cemento del concreto usando agregados de fuentes diferentes a las usadas en el presente trabajo que también se encuentren en la región.

REFERENCIAS

- [1] D. Sanchez, Tecnología del concreto y el mortero, Quinta ed., Bogotá D.C: Bhandar, 2001.
- [2] V. O'Reilly, «Método O'Reilly de dosificación del hormigón,» *Edificar*, pp. 4-7, Noviembre 1997.
- [3] E. Calderon, Diseño de hormigón con cantos rodados provenientes del río chanchan a través de los métodos ACI y O'Reilly, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2015.
- [4] B. Toralles, Á. Couto, G. Nogueira, G. Sandoval, G. Alves, I. Souza y R. Paulino, «Comparative study of different design methods for conventional concretes,» *Revista de Engenharia e Tecnologia*, vol. 10, nº 1, pp. 184-198, 2018.
- [5] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), «Índice de Costos de la Construcción de Vivienda Enero - 2020,» enero 2020. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/iccv/bol_iccv_ene20.pdf.
- [6] J. Lehne y F. Preston, «Making Concrete Change Innovation in Low - carbon Cement and Concret,» Chatham House, London, 2018.
- [7] Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL), «Manual de prevención de la contaminación en el sector del cemento,» CAR/PL, Barcelona, 2008.
- [8] D. Sanchez, «Nuevas tendencias en la especificación y diseño de mezclas de concreto,» *Revista Noticreto*, nº 73, pp. 45-49, noviembre 2004.
- [9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), *Norma NTC-121. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento. Definiciones*, 1982.
- [10] J. Silva, «Conociendo las propiedades físicas del cemento: ¿qué y cómo?,» s.f.. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/cemento/propiedades-fisicas-del-cemento>.
- [11] L. Gutierrez de Lopez, El concreto y otros materiales para la construcción, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [12] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese y J. Tanesi, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Primera ed., Illinois: Portland Cement Association, 2004.

- [13] A. Neville, *Properties of concrete*, Fourth ed., Wiley, 1996.
- [14] B. Gomero, «Aditivos y adiciones minerales para el concreto,» Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería civil, Lima, 2006.
- [15] ASOCRETO, *Tecnología del Concreto- Tomo 1- Materiales, propiedades y diseño de mezclas*, Tercera ed., Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2010.
- [16] J. Silva, «Durabilidad en el concreto: Definiendo la frase,» s.f.. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/durabilidad-del-concreto-definiendo-la-frase>.
- [17] G. Rivera, *Concreto simple*, Popayán: Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería, s.f..
- [18] A. Neville, *Tecnología del concreto*, México D.F: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013.
- [19] American Concrete Institute. Committee 211, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*” (Reapproved 2002), 2002, pp. 1-38.
- [20] J. Garcia, «Diseño de hormigones dirigido a la aplicación,» 2004. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3327>.
- [21] H. Mora, «Un método no gráfico en diseño de mezclas de concreto,» *Ingeniería e Investigación - Universidad Nacional de Colombia*, n° 28, pp. 41-48, 1992.
- [22] V. O'Reilly, *Métodos para dosificar concretos de elevado desempeño*, México D.F: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007.
- [23] F. Jaramillo, «Tamaño apropiado de muestra para obtención de conclusiones válidas en una investigación.,» 2009. [En línea]. Available: <https://revistas.ceipa.edu.co/index.php/lupa/article/download/536/731>.
- [24] R. Walpole, R. Myers y S. Myers, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Novena ed., México D.F: PEARSON, 2012.
- [25] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, «Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. NSR -10,» AIS, Bogotá, 2010.

ANEXOS

Anexo A. Tablas de referencia para los métodos de diseño

Anexo A 1. Agua de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales

Revenimiento		Agua, kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
(cm)	(pulg)	9.5 mm (3/8")*	12.5 mm (1/2")*	19 mm (3/4")*	25 mm (1")*	37.5 mm (1 1/2")*	50 mm (2")*	75 mm (3")**	150 mm (6") **
Concreto sin aire incluido									
2.5 a 5.0	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido									
2.5 a 5.0	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	---
Contenido promedio ^Δ total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**xx	1.0**xx
	Media	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**xx	3.0**xx
	Extrema+++	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**xx	4.0**xx

* Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, razonablemente bien formados y con granulometrías dentro de los límites de especificaciones aceptadas.

+ Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de 40 mm, mediante tamizado húmedo.

++ Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba, cuando se utilizan agregados de tamaño máximo nominal de 60 o 150 mm. Son promedios para agregados gruesos razonablemente bien formados y con buena granulometría de grueso a fino.

Δ En varios documentos del ACI aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para control en el campo. Entre estos documentos están ACI 201, 345, 318 y 302. La norma ASTM C 94 para concretos premezclados también proporciona los límites del contenido de aire. Los requerimientos que aparecen en otros documentos no siempre pueden concordar exactamente, por lo que al proporcionar concreto debe prestarse atención a la selección de un contenido de aire que se ajusta a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.

**Para concretos que contienen agregados grandes que serán tamizados en húmedo a través de la malla de 1 1/2", antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material de tamaño inferior a 40 mm debe ser como el tabulado en la columna de 40 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje del total.

xx Cuando se emplea agregado grande en concretos con bajo factor de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la relación agua/cemento y de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de aire. Generalmente, sin embargo, para dichos tamaños máximos grandes de agregado, los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa deben tomarse en consideración aunque pueda haber poca o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.

+++ Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen del mortero va a ser sustancialmente diferente del determinado en esta obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando un 9% del volumen real del mortero.

Nota: tomada de la guía Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete ACI 211.1-91 (2002, pág. 8), adaptación: Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas"

Anexo A 2. Valores de los coeficientes M1 y M2 para la determinación del parámetro A

Asentamiento (cm)	M1	M2
3	4,4447	0,2930
4	4,3843	0,3014
5	4,3239	0,3101
6	4,2635	0,3189
7	4,2031	0,3281
8	4,1427	0,3375
9	4,0823	0,3472
10	4,0219	0,3572
11	3,9615	0,3674
12	3,9011	0,3780
13	3,8407	0,3888
14	3,7803	0,4000
15	3,7199	0,4115

Nota: Tomada de [22, p. 85]

Anexo A 3. Valor del coeficiente V para diferentes relaciones A/C

A/C	V	A/C	V	A/C	V	A/C	V
0,30	0,5229	0,40	0,3979	0,50	0,3010	0,60	0,2218
0,31	0,5086	0,41	0,3872	0,51	0,2924	0,61	0,2147
0,32	0,4946	0,42	0,3786	0,52	0,2840	0,62	0,2076
0,33	0,4815	0,43	0,3665	0,53	0,2757	0,63	0,2007
0,34	0,4685	0,44	0,3565	0,54	0,2676	0,64	0,1938
0,35	0,4559	0,45	0,3468	0,55	0,2596	0,65	0,1870
0,36	0,4437	0,46	0,3372	0,56	0,2518	0,66	0,1805
0,37	0,4318	0,47	0,3279	0,57	0,2441	0,67	0,1739
0,38	0,4202	0,48	0,3186	0,58	0,2366	0,68	0,1675
0,39	0,4089	0,49	0,3098	0,59	0,2291	0,69	0,1612

Nota: Tomada de [22, p. 86]

Anexo B. Certificado de calibración de la máquina usada para los ensayos de resistencia



NUMERO: F-160
 Number
 PÁGINAS: 1 de 4
 Pages

INSTRUMENTO: MAQUINA DE ENSAYO A COMPRESIÓN / FLEXIÓN
Instrument

FABRICANTE: PINZUAR
Manufacturer

MODELO: PC-107D
Model

NÚMERO DE SERIE: 118
Serial Number

RANGO DE MEDICIÓN: 2 kN 1000 kN
Measurement Range

SOLICITANTE: UNIVERSIDAD DE NARIÑO
Customer

DIRECCIÓN, CIUDAD: CIUDADELA UNIVERSITARIA TORO ABAJO/PASTO
Address

SITIO DE CALIBRACIÓN: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
Site calibration

FECHA DE CALIBRACIÓN: 2021-10-19
Date of calibration
 (aaaa-mm-dd)

FECHA DE EXPEDICIÓN: 2021-10-23
Date of issue
 (aaaa-mm-dd)

NUMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: Cuatro (4)
Number of pages of this certificate and Documents Attached

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que pueden derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing Laboratory assumes no responsibility for damages ensuing of mis use of the calibrated instruments.


El presente certificado no puede ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita por parte de RL INSTRUMENT

This report may not be partially or fully reproduced without the written approval of RL INSTRUMENT

El usuario es responsable de la nueva calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados

The user is responsible for having the apparatus calibrated at appropriate intervals

FIRMAS AUTORIZADAS :
 authorized signatures


 TEC. LEONIDAS TRUJILLO
 Asistente Técnico de Metrología
 Revisado por - Checked By


 Tec. RODRIGO GONZALEZ C.
 Jefe de Departamento de Metrología
 Aprobado por - Approved By



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CERTIFICATE OF CALIBRATION

Instrument S.A.S
Laboratorio de Metrología

Calibración y Mantenimiento de Equipos
para Laboratorios de Suelos, Concretos,
Asfaltos y Capacitación.

NUMERO: **F-160**
Number:
PÁGINAS: 2 de 4
Pages:

MÉTODO DE MEDICIÓN Method of measurement:	Fuerza indicada Constante
NORMA TÉCNICA Standard:	NTC/ISO 7500-1: 2007-07-25
INTERVALO CALIBRADO Calibration interval:	100 kN 800 kN

INDICADOR DEL MENSURANDO	
TIPO DE INDICACIÓN (Type):	DIGITAL
FABRICANTE (Manufacturer):	PINZUAR
MODELO (Model):	PC-107D
NÚMERO DE SERIE (Serial Number):	118

TRANSDUCTOR DEL MENSURANDO	
FABRICANTE (Manufacturer):	N/A
MODELO (Model):	N/A
NÚMERO DE SERIE (Serial Number):	N/A

1.0 DATOS OBTENIDOS DURANTE LA CALIBRACIÓN:

TOMA DE DATOS DEL INSTRUMENTO PATRÓN (kN)						
INDICACIÓN MÁQUINA DE ENSAYO (kN)	L1	L2	L3	L2' (REVERSIBILIDAD)	L4 (ACCESORIOS)	% De Carga
100,0	101,032	101,132	101,088	-	-	10
200,0	202,035	202,103	202,104	-	-	20
300,0	303,018	303,147	303,028	-	-	30
400,0	404,019	404,089	401,159	-	-	40
500,0	504,016	504,101	504,089	-	-	50
600,0	605,012	605,014	605,024	-	-	60
700,0	705,021	705,146	705,026	-	-	70
800,0	806,027	806,116	806,019	-	-	80
				-	-	
				-	-	
				-	-	



NUMERO: F-160
 Number
PÁGINAS: 3 de 4
 Pages

2. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Dirección de Carga		COMPRESIÓN					Límite Inferior de la Escala del Instrumento		2.0		kN		
Tipo de Indicación		DIGITAL					Resolución		0.01		kN		
Indicación del Instrumento Patrón						Unidad: kN		Errores Encontrados				Unidad: %	
Indicación del Instrumento a Calibrar	L1	L2	L3	L4	L5	Promedio	a*	q*	b*	v*	Accesoria*	Incertidumbre expandida	k
100.0	101.03	101.13	101.10	-	-	101.1	0.010	-1.075	0.240	-	-	3.7E-01	1.98
200.0	202.03	202.10	202.10	-	-	202.1	0.005	-1.028	0.092	-	-	3.7E-01	1.98
300.0	303.02	303.15	303.03	-	-	303.1	0.003	-1.011	0.099	-	-	3.7E-01	1.98
400.0	404.02	404.09	401.18	-	-	403.1	0.003	-0.768	1.605	-	-	5.7E-01	2.00
500.0	504.02	504.10	504.09	-	-	504.1	0.002	-0.807	0.036	-	-	3.7E-01	1.98
600.0	605.01	605.01	605.02	-	-	605.0	0.002	-0.829	0.004	-	-	3.7E-01	1.98
700.0	705.02	705.15	705.03	-	-	705.1	0.001	-0.718	0.035	-	-	3.7E-01	1.98
800.0	806.03	806.12	806.02	-	-	806.1	0.001	-0.751	0.023	-	-	3.7E-01	1.98
Indicación real de la máquina	0.00	0.00	0.00	-	-								

Notas: a*: Resolución Relativa (%), q*: Error relativo de Exactitud (%), b*: Error relativo de Repetibilidad (%), v*: Error relativo de Reversibilidad (%), fo*: Error relativo de Cero (%)

3. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CALIBRACIÓN (°C)

	L1	L2	L3	L4	L5
T. Inicial	12.0	13.0	13.0	-	-
T. Final	12.0	12.0	13.0	-	-

4. MÁXIMOS ERRORES ENCONTRADOS (Unidad % de la Lectura)

	a	q	b	v	f	Accesoria	Incertidumbre expandida	k
	0.01	-1.08	1.61	-	0.00	-	0.57	1.98
NTC-ISO 7500-1:2007 Numeral	0.2.1	0.5.1	0.5.2	0.4.0	0.4.5	0.4.6	Anexo D	



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CERTIFICATE OF CALIBRATION

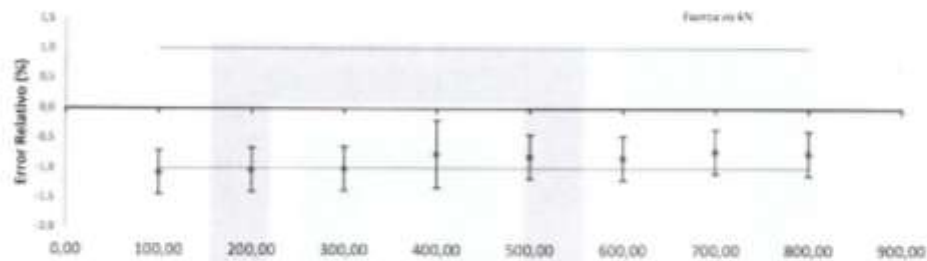
Instrument S.A.S
Laboratorio de Metrología

Calibración y Mantenimiento de Equipos
para Laboratorios de Suelos, Concretos,
Asfaltos y Capacitación.

NUMERO: **F-160**
Number

PÁGINAS: 4 de 4
Pages

3. GRAFICOS DE ERROR CALCULADO



5. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida relativa referida en la tabla del numeral 1 es la incertidumbre combinada (método mínimos cuadrados) multiplicada por el k correspondiente de la misma tabla, esto ha sido determinado de acuerdo al anexo D de la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 7500-1:2007 y la NTC GTC 51:1997. El Factor de cobertura k para una distribución normal corresponde a una cobertura aproximada del 95%.

6. CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO

Según los máximos errores encontrados (Numeral 3) y de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO-7500-1:2007-07-25 numeral 7, tabla 2, y la incertidumbre expandida estimada, la máquina de ensayo se clasifica así:

CARGA	RANGOS DE MEDICIÓN		DIRECCIÓN DE CARGA	CLASE DE PRECISIÓN
10% al 80%	100,0	800,0	kN	1,0
20% al 80%	200,0	800,0	kN	1,0

7. TRAZABILIDAD

Patrón Utilizado: TRANSDUCTOR DE FUERZA KAL - 1 MN

Certificado No. 298F

Incertidumbre asociada (k=2): \pm %


OBSERVACIONES

- De acuerdo con los resultados anteriores se anexa el sello: **F-160 0**
- Si el instrumento de ensayo es reubicado, deberá ser repetida la calibración en el sitio.
- La máquina de ensayo debe ser calibrada inmediatamente después de cualquier reparación del sistema eléctrico o mecánico ya que esto afecta la operación del sistema de medida.
- RL INSTRUMENT, puede abstenerse de expedir un certificado cuando por características técnicas considere que el equipo no es apto para ser calibrado.


~FIN DEL CERTIFICADO~

Anexo C. Ensayos de caracterización físico – mecánica de los materiales


Anexo C 1. Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado fino (arena)

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados Norma NTC -92				Fecha:
					Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado		MUESTRA: 1			
MATERIAL: Arena negra		PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
PESO UNITARIO SUELTO					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso de la muestra + recipiente	g	11925	11910	11915	11917
Peso del recipiente	g	8275	8275	8275	8275
Volumen de recipiente	cm3	2916	2916	2916	2916
Peso unitario suelto	g/cm3	1,252	1,247	1,248	1,249
% de vacíos	%	42,3%	42,6%	42,5%	42,4%
PESO UNITARIO COMPACTADO					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso de muestra + recipiente	g	12280	12330	12310	12307
Peso del recipiente	g	8275	8275	8275	8275
Volumen de recipiente	cm3	2916	2916	2916	2916
Peso unitario suelto	g/cm3	1,406	1,410	1,404	1,407
% de vacíos	%	35,2%	35,0%	35,3%	35,2%
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:			Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


Anexo C 2. Peso específico y absorción del agregado fino (arena)

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso específico y absorción del agregado fino Norma NTC -237			Fecha:
					Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado		MUESTRA: 1			
MATERIAL: Arena negra		PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
FRACCIÓN FINA – 96%					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Temperatura	°C	23	23	23	
Peso de la muestra SSS	g	500	250	250	
Peso del matraz + agua	g	1287,4	649,1	668,3	
Peso del matraz + agua + muestra	g	1589,1	800,2	819,9	
Peso de la muestra seca	g	473,7	237,6	237,3	
Peso específico aparente	g/cm ³	2,38	2,40	2,41	2,39
Peso específico estado SSS	g/cm ³	2,52	2,52	2,53	2,52
Peso específico nominal	g/cm ³	2,75	2,74	2,76	2,75
Absorción	%	5,53	5,22	5,40	5,38
FRACCIÓN GRUESA – 4%					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso muestra SSS al aire	g	263,1	242,5	164,5	
Peso muestra SSS + canastilla en agua	g	468,5	457,9	421,6	
Peso canastilla	g	346,2	346,2	346,2	
Peso muestra SSS en agua	g	122,3	111,7	75,4	
Peso seco	g	227,9	209,8	141,3	
Peso específico aparente	g/cm ³	1,61	1,60	1,58	1,60
Peso específico estado SSS	g/cm ³	1,86	1,85	1,84	1,85
Peso específico nominal	g/cm ³	2,15	2,13	2,14	2,14
Absorción	%	15,45	15,59	16,42	15,82
PROMEDIOS PONDERADOS					
Peso específico aparente	g/cm ³				2,37
Peso específico estado SSS	g/cm ³				2,49
Peso específico nominal	g/cm ³				2,73
Absorción	%				5,80%
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:			Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		

Anexo C 3. Granulometría del agregado fino (arena)

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Análisis granulométrico por tamizado de agregados finos y gruesos Norma NTC -77						Fecha:
							Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado				MUESTRA: 1			
MATERIAL: Arena negra				PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
TAMIZ		Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	% Pasante	Límites NTC - 174		¿Cumple la NTC-174?
Pulg.	mm				Mínimo	Máximo	
3/8"	9,51	0,0	0	100,0%	100%	100%	Si
#4	4,76	112,8	112,8	96,0%	95%	100%	Si
#8	2,38	492,4	605	78,6%	80%	100%	No
#16	1,19	626,2	1231	56,6%	50%	85%	Si
#30	0,60	635,2	1867	34,1%	25%	50%	Si
#50	0,30	532,5	2399	15,4%	10%	30%	Si
#100	0,15	161,9	2561	9,6%	2%	10%	Si
#200	0,07	134,4	2695	4,9%	0%	5%	Si
OBSERVACIONES:							
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo C 4. Equivalente de arena para el agregado fino (arena)

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Valor de equivalente de arena en suelos y agregado fino Norma NTC -6179						Fecha:
							Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado				MUESTRA: 1			
MATERIAL: Arena negra				PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
ENSAYO No		1	2	3	Promedio		
Lectura nivel de arena, A (mm)		79	80	80	79,7		
Lectura nivel de arcilla, B (mm)		115	115	115	115		
Equivalente de arena $C=A/B*100$		68,7	69,57	69,57	69,28		
OBSERVACIONES:							
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo C 5. Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado grueso (gravilla)

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados NTC -92				Fecha: 	
					Página: 1 de 1	
PROYECTO: Trabajo de grado			MUESTRA: 1			
MATERIAL: Gravilla			PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
PESO UNITARIO SUELTO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Peso de la muestra + recipiente	g		35850	35890	35820	35853
Peso del recipiente	g		15250	15250	15250	15250
Volumen de recipiente	cm ³		15480	15480	15480	15480
Peso unitario suelto	g/cm ³		1,331	1,333	1,329	1,331
% de vacíos	%		47,2%	47,1%	47,3%	47,2%
PESO UNITARIO COMPACTADO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Peso de la muestra + recipiente	g		37570	37660	37540	37590
Peso del recipiente	g		15250	15250	15250	15250
Volumen de recipiente	cm ³		15480	15480	15480	15480
Peso unitario suelto	g/cm ³		1,442	1,448	1,440	1,443
% de vacíos	%		42,8%	42,6%	42,9%	42,8%
OBSERVACIONES:						
Elaborado por:			Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			

Anexo C 6. Peso específico y absorción del agregado grueso (gravilla)

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO			Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES			Página:
		Peso específico y absorción del agregado grueso			1 de 1
		NTC -176			
PROYECTO: Trabajo de grado		MUESTRA: 1			
MATERIAL: Gravilla		PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
FRACCIÓN FINA – 9%					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Temperatura	°C	23	23	23	
Peso de la muestra SSS	g	250	250	250	
Peso del matraz + agua	g	650,3	655,4	668,3	
Peso del matraz + agua + muestra	g	806,9	812,2	824,5	
Peso de la muestra seca	g	241,2	240,6	242,0	
Peso específico aparente	g/cm ³	2,57	2,58	2,56	2,57
Peso específico estado SSS	g/cm ³	2,66	2,68	2,66	2,67
Peso específico nominal	g/cm ³	2,84	2,86	2,81	2,84
Absorción	%	3,65	3,91	3,31	3,62%
FRACCIÓN GRUESA – 91%					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso muestra SSS al aire	g	693,2	577,6	435,7	
Peso muestra SSS + canastilla en agua	g	773,5	700,3	596,4	
Peso canastilla	g	346,2	346,2	346,2	
Peso muestra SSS en agua	g	427,3	354,1	265,9	
Peso seco	g	676,6	563,7	425,1	
Peso específico aparente	g/cm ³	2,54	2,52	2,50	2,52
Peso específico estado SSS	g/cm ³	2,60	2,58	2,56	2,58
Peso específico nominal	g/cm ³	2,71	2,68	2,66	2,68
Absorción	%	2,45	2,47	2,49	2,47%
PROMEDIOS PONDERADOS					
Peso específico aparente	g/cm ³				2,52
Peso específico estado SSS	g/cm ³				2,59
Peso específico nominal	g/cm ³				2,69
Absorción	%				2,58%
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:			Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


Anexo C 7. Granulometría del agregado grueso (gravilla)

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Análisis granulométrico por tamizado de agregados finos y gruesos Norma NTC -77					Fecha:
							Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado				MUESTRA: 1			
MATERIAL: Gravilla				PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
TAMIZ		Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	% Pasante	Límites NTC - 174		¿Cumple la NTC-174?
Pulg.	mm				Mínimo	Máximo	
3/4 "	19,00	0	0	100,0%	90,0	100,0	Si
1/2"	12,70	2232,9	2232,9	77,6%	-	-	Si
3/8"	9,51	3542,5	5775,4	42,1%	20,0	55,0	Si
#4	4,76	3287,4	9062,8	9,1%	0,0	10,0	Si
#8	2,38	168,6	9231,4	7,4%	0,0	5,0	No
#16	1,19	226,6	9458	5,1%	-	-	Si
#30	0,60	84,6	9542,6	4,3%	-	-	Si
#50	0,30	95,1	9637,7	3,3%	-	-	Si
#100	0,15	35,4	9673,1	2,9%	-	-	Si
#200	0,07	134,2	9807,3	1,6%	-	-	Si
OBSERVACIONES:							
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo C 8. Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado grueso (grava)

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados Norma NTC - 92				Fecha: 	
					Página: 1 de 1	
PROYECTO: Trabajo de grado			MUESTRA: 1			
MATERIAL: Grava			PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
PESO UNITARIO SUELTO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Peso de muestra + recipiente	g		36780	36810	36710	36767
Peso del recipiente	g		15250	15250	15250	15250
Volumen de recipiente	cm ³		15480	15480	15480	15480
Peso unitario suelto	g/cm ³		1,390	1,392	1,385	1,389
% de vacíos	%		46,1%	46,2%	46,2%	46,2%
PESO UNITARIO COMPACTADO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Peso de muestra + recipiente	g		38480	38400	38380	38420
Peso del recipiente	g		15250	15250	15250	15250
Volumen de recipiente	cm ³		15480	15480	15480	15480
Peso unitario suelto	g/cm ³		1,501	1,495	1,494	1,497
% de vacíos	%		41,8%	42,0%	42,1%	42,0%
OBSERVACIONES:						
Elaborado por:			Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo C 9. Peso específico y absorción del agregado grueso (grava)

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso específico y absorción del agregado grueso Norma NTC - 176				Fecha:
					Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado		MUESTRA: 1			
MATERIAL: Grava		PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso muestra SSS al aire	g	1082,4	1294,8	1089,6	
Peso muestra SSS + canastilla en agua	g	755,6	889,7	762,1	
Peso canastilla	g	84,5	84,5	84,5	
Peso muestra SSS en agua	g	671,1	805,2	677,6	
Peso seco	g	1064,7	1274,0	1069,9	
Peso específico aparente	g/cm ³	2,58	2,60	2,59	2,59
Peso específico estado SSS	g/cm ³	2,63	2,64	2,64	2,63
Peso específico nominal	g/cm ³	2,70	2,71	2,72	2,71
Absorción	%	1,7	1,6	1,8	1,71%
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:			Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


Anexo C 10. Granulometría del agregado grueso (grava)

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Análisis granulométrico por tamizado de agregados finos y gruesos Norma NTC -77					Fecha:
							Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado				MUESTRA: 1			
MATERIAL: Grava				PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
TAMIZ		Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	% Pasante	Límites NTC - 174		¿Cumple la NTC-174?
Pulg.	mm				Mínimo	Máximo	
1 1/2"	38,1	0	0	100,0%	95	100	Si
1"	25,40	5831,3	5831,3	70,8%	-	-	-
3/4 "	19,00	6436,4	12267,7	38,6%	35	70	Si
1/2"	12,70	5853,6	18121,3	9,3%	-	-	-
3/8"	9,51	957,3	19078,6	4,5%	10	30	No
#4	4,76	654,9	19733,5	1,2%	0	5	No
OBSERVACIONES:							
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			



Anexo C 11. Peso específico o densidad del cemento


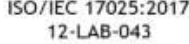
	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso específico del cemento hidráulico Norma NTC -221				Fecha:	
					Página: 1 de 1	
PROYECTO: Trabajo de grado			MUESTRA: 1			
MATERIAL: Cemento			PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Masa del cemento	g	64	64	64	64	64
Lectura inicial	g/cm ³	0,7	0,5	0,9	0,7	0,7
Lectura final	g/cm ³	22,5	22,2	22,7	22,5	22,5
Volumen desplazado	cm ³	21,8	21,7	21,8	21,8	21,8
Peso específico	g/cm ³	2,94	2,95	2,94	2,94	2,94
OBSERVACIONES:						
Elaborado por:			Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			

Anexo C 12. Peso unitario del cemento

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso unitario del cemento Norma NTC - 92				Fecha:	
					Página: 1 de 1	
PROYECTO: Trabajo de grado			MUESTRA: 1			
MATERIAL: Cemento			PROCEDENCIA: Cantera las terrazas			
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Peso de muestra + recipiente	g	9135	9185	9165	9162	9162
Peso del recipiente	g	6995	6995	6995	6995	6995
Volumen de recipiente	cm ³	2142	2142	2142	2142	2142
Peso unitario suelto	g/cm ³	1,139	1,162	1,153	1,152	1,152
OBSERVACIONES:						
Elaborado por:			Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			

Anexo C 13. Resistencia del cemento a la compresión

INFORME DE ENSAYO
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE CEMENTO

COMPANIA: BRAYAN ALEXIS NARVAEZ RIASCOS			
CIUDAD:	Pasto, Colombia	PLANTA:	---
DIRECCIÓN:	Calle 3 A Sur 22 B 21	CIUDAD:	---
CONTACTO:	Ing. Cristhian David Riascos Narvaez	DIRECCIÓN:	---
TELÉFONO:	3188188395	TELÉFONO:	---

MUESTRA:	19815	PROCEDENCIA:	Pasto, Nariño
DESCRIPCIÓN:	Cemento gris UG Fecha 18/11/2021		

FECHA DE RECEPCIÓN	2021-11-25	FECHA DE ELABORACION	2021-12-09
FECHA DE EMISION	2022-01-19		

ORDEN DE TRABAJO	19815	INFORME	623-21
-------------------------	-------	----------------	--------

Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm ó 2" de lado. NTC 220 : 2017-08-16

LABORATORIO DEL CEMENTO

Humedad %	55	Tipo de cemento	---
Temperatura ambiente (°C)	23,0	Masa del cemento usado (g)	1000,0
Procedencia de la Arena	Ottawa	Masa de la arena usada (g)	2750,0
Volumen de agua usada (cm ³)	490,0	Temperatura del agua (°C)	22,0
RELACION A/C (%)	49,0	FLUJO %	111

RESISTENCIA DE CUBOS

FECHA DE ENSAYO	Edad (Días)	CARGA DE ROTURA		RESISTENCIA A LA COMPRESION	
		(kgf)	(N)	(MPa)	(kgf/cm ²)
2021-12-10	1	3691	36200	14,5	147,6
2021-12-10	1	---	---	---	---
2021-12-10	1	3773	37000	14,8	150,9
Promedio		3732	36600	14,6	149,3
2021-12-12	3	4956	48600	19,4	198,2
2021-12-12	3	5221	51200	20,5	208,8
2021-12-12	3	4986	48900	19,6	199,4
Promedio		5054	49567	19,8	202,2
2021-12-16	7	6088	59700	23,9	243,5
2021-12-16	7	5935	58200	23,3	237,4
2021-12-16	7	5802	56900	22,8	232,1
Promedio		5942	58267	23,3	237,6
2022-01-06	28	7729	75800	29,8	303,3
2022-01-06	28	7536	73900	29,6	301,4
2022-01-06	28	7750	76000	29,6	301,7
Promedio		7672	75233	29,6	302,1

OBSERVACIONES: Ninguna.






FOR 012-046- VERSION 06 - 2021-10-08

FIN DEL INFORME DE ENSAYO.

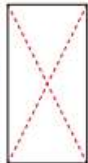

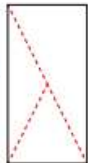
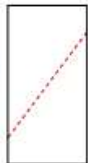
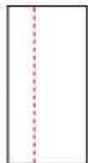
* Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras suministradas al Laboratorio por el cliente. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información, técnica o comercial. Prohibida su reproducción.

* El laboratorio es responsable de toda la información suministrada en el presente documento, excepto cuando la información sea suministrada por el cliente y pueda llegar a afectar la validez de los resultados aquí emitidos.

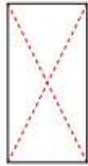

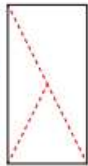
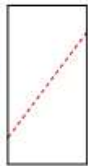
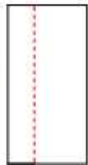
Km 3.5 Vía Bogotá Siberia,
 Centro Empresarial Metropolitano Bodega 34, Módulo 4
 PBX: (571) 898 5417
 procemco@procem.co


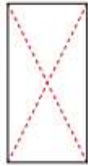

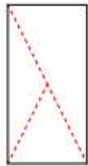
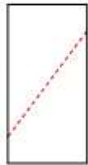
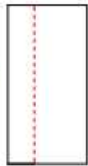
Anexo D. Resultados de resistencia de los cilindros de prueba**Anexo D 1. Resultados primera y segunda mezcla de prueba – concreto ACI - 21 MPa**

Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES							Página:
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto							1 de 1
NTC -673							
Primera mezcla de prueba							
1	0,154	0,305	12,65	28	19,90	D	Falla A 
2	0,153	0,304	12,35	28	18,78	B	
3	0,152	0,306	12,29	28	19,49	D	
4	0,153	0,305	12,42	28	19,58	B	
5	0,154	0,305	12,68	28	19,85	B	
6	0,152	0,304	12,23	28	20,11	B	
Segunda mezcla de prueba							
1	0,151	0,300	11,98	28	29,37	D	Falla B 
2	0,152	0,305	12,31	28	32,34	E	
3	0,153	0,306	12,44	28	31,34	B	Falla C 
4	0,152	0,303	12,17	28	30,64	C	
5	0,152	0,305	12,30	28	29,38	D	
6	0,152	0,307	12,41	28	30,71	B	Falla D 
							Falla E 
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


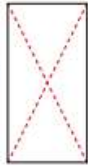

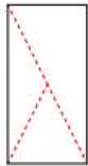
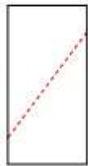
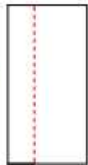
Anexo D 2. Resultados tercera mezcla de prueba – Concreto ACI - 21 MPa

Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	UNIVERSIDAD DE NARIÑO		
							Fecha:	Página:	
							LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES		
							Resistencia a la compresión de cilindros de concreto		
							NTC -673		
							1 de 1		
Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas		
1	0,152	0,305	12,315	28	22,72	B	Falla A		
2	0,152	0,304	12,280	28	23,61	B			
3	0,154	0,306	12,595	28	23,69	D			
4	0,152	0,305	12,250	28	23,36	B			
5	0,153	0,305	12,440	28	22,81	B			
6	0,151	0,307	12,235	28	23,13	B	Falla B		
7	0,152	0,305	12,260	28	23,83	B			
8	0,152	0,305	12,275	28	22,68	B			
9	0,153	0,305	12,405	28	23,44	B			
10	0,152	0,303	12,210	28	23,23	D			
11	0,150	0,306	12,005	28	23,96	B	Falla C		
12	0,152	0,304	12,280	28	24,94	D			
13	0,150	0,304	11,950	28	23,34	B			
14	0,153	0,306	12,460	28	23,45	B			
15	0,153	0,302	12,365	28	22,91	B			
16	0,150	0,304	11,895	28	24,24	D	Falla D		
17	0,152	0,304	12,270	28	22,60	B			
18	0,153	0,305	12,460	28	23,17	E			
19	0,155	0,304	12,700	28	22,45	B			
20	0,151	0,305	12,145	28	24,32	B			
21	0,152	0,304	12,210	28	23,05	B	Falla E		
22	0,153	0,306	12,505	28	23,56	C			
23	0,152	0,306	12,360	28	22,79	B			
24	0,154	0,303	12,520	28	21,91	B			
25	0,153	0,305	12,415	28	24,08	B			
26	0,152	0,306	12,320	28	24,21	B			
27	0,151	0,305	12,155	28	23,63	B			
28	0,153	0,306	12,460	28	23,14	B			
29	0,152	0,305	12,310	28	23,23	B			
30	0,154	0,305	12,585	28	23,63	D			
Elaborado por:					Revisado por:				
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ				





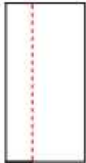
Anexo D 3. Resultados primera y segunda mezcla de prueba – concreto ACI - 28 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto					NTC -673		1 de 1
Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas
Primera mezcla de prueba							
1	0,153	0,304	12,44	28	27,69	B	Falla A 
2	0,152	0,303	12,23	28	27,38	D	
3	0,153	0,306	12,54	28	26,74	D	
4	0,153	0,305	12,48	28	28,36	B	
5	0,153	0,304	12,50	28	26,91	D	
6	0,154	0,305	12,69	28	27,02	B	
Segunda mezcla de prueba							
1	0,153	0,305	12,52	28	38,68	D	Falla B 
2	0,153	0,305	12,46	28	38,39	A	
3	0,154	0,304	12,65	28	37,77	C	Falla C 
4	0,153	0,306	12,58	28	36,33	D	
5	0,152	0,305	12,31	28	35,94	D	Falla D 
6	0,155	0,303	12,77	28	37,32	A	
							Falla E 
Elaborado por:					Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


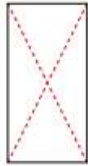

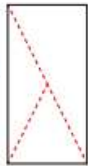
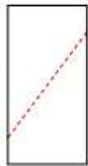
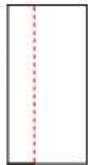
Anexo D 4. Resultados tercera mezcla de prueba – Concreto ACI - 28 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto					NTC -673		1 de 1
Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas
1	0,152	0,304	12,310	28	31,15	A	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 20px;"> <p>Falla A</p>  </div> <div style="margin-bottom: 20px;"> <p>Falla B</p>  </div> <div style="margin-bottom: 20px;"> <p>Falla C</p>  </div> <div style="margin-bottom: 20px;"> <p>Falla D</p>  </div> <div> <p>Falla E</p>  </div> </div>
2	0,151	0,305	12,140	28	29,81	D	
3	0,152	0,304	12,285	28	30,28	C	
4	0,153	0,304	12,470	28	30,72	D	
5	0,152	0,305	12,325	28	29,65	B	
6	0,151	0,304	12,160	28	30,83	D	
7	0,151	0,304	12,160	28	31,72	D	
8	0,155	0,304	12,805	28	30,92	B	
9	0,151	0,305	12,165	28	31,29	A	
10	0,151	0,306	12,260	28	30,07	D	
11	0,154	0,302	12,520	28	31,80	D	
12	0,152	0,306	12,355	28	29,91	C	
13	0,154	0,305	12,655	28	31,39	A	
14	0,152	0,305	12,365	28	30,19	B	
15	0,152	0,305	12,320	28	32,42	B	
16	0,151	0,305	12,175	28	31,25	D	
17	0,152	0,305	12,320	28	30,39	D	
18	0,152	0,305	12,315	28	31,02	C	
19	0,154	0,306	12,695	28	29,81	D	
20	0,151	0,305	12,180	28	31,35	D	
21	0,153	0,306	12,550	28	28,91	E	
22	0,150	0,305	11,985	28	30,22	D	
23	0,150	0,305	11,995	28	30,63	D	
24	0,151	0,305	12,195	28	30,42	D	
25	0,153	0,305	12,505	28	28,59	A	
26	0,152	0,305	12,370	28	32,97	D	
27	0,152	0,306	12,405	28	31,12	B	
28	0,152	0,305	12,365	28	30,53	D	
29	0,152	0,305	12,305	28	30,14	D	
30	0,153	0,305	12,540	28	32,10	D	
Elaborado por:					Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


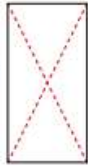

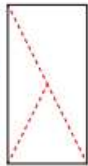
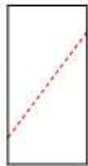
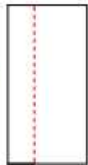
Anexo D 5. Resultados mezclas de prueba – Concreto O’Reilly - 21 MPa

Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas	
							Falla A	Falla B
Mezcla de prueba para determinar el parámetro “A”								
1	0,152	0,304	12,390	28	26,57	C		
2	0,152	0,306	12,435	28	27,75	D		
3	0,153	0,303	12,510	28	24,60	B	Falla A 	
4	0,151	0,303	12,205	28	25,71	B		
5	0,152	0,305	12,370	28	26,28	E		
6	0,151	0,304	12,190	28	26,44	D		
7	0,152	0,305	12,435	28	27,60	B	Falla B 	
8	0,153	0,307	12,620	28	25,96	B		
9	0,152	0,305	12,395	28	25,34	D		
Mezcla de prueba ajustada por asentamiento								
1	0,154	0,305	12,725	28	22,95	B		
2	0,152	0,307	12,495	28	24,60	B		
3	0,152	0,305	12,380	28	22,78	D	Falla C 	
4	0,155	0,305	12,855	28	21,97	D		
5	0,153	0,304	12,540	28	23,69	B		
6	0,152	0,305	12,410	28	24,46	B	Falla D 	
							Falla E 	
Elaborado por:					Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


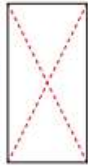

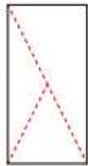
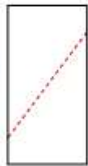
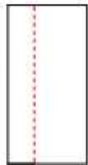
Anexo D 6. Resultados mezcla final ajustada – Concreto O'Reilly - 21 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:
		Resistencia a la compresión de cilindros de concreto					1 de 1
		NTC -673					
Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas
1	0,151	0,305	12,265	28	24,77	B	Falla A 
2	0,150	0,304	12,020	28	23,72	B	
3	0,152	0,305	12,410	28	23,54	B	
4	0,154	0,304	12,680	28	23,14	B	
5	0,153	0,302	12,370	28	23,86	B	
6	0,151	0,306	12,280	28	22,46	B	Falla B 
7	0,152	0,305	12,335	28	24,88	B	
8	0,154	0,304	12,675	28	22,67	D	Falla C 
9	0,151	0,305	12,235	28	25,09	B	
10	0,152	0,304	12,320	28	24,61	B	Falla D 
11	0,151	0,305	12,210	28	23,26	B	
12	0,152	0,304	12,340	28	23,64	D	Falla E 
13	0,150	0,306	12,155	28	24,89	B	
14	0,153	0,305	12,565	28	23,34	D	
15	0,152	0,306	12,405	28	24,33	B	
16	0,154	0,305	12,735	28	23,64	B	
17	0,153	0,306	12,640	28	24,54	B	
18	0,153	0,304	12,585	28	23,92	E	
19	0,151	0,303	12,175	28	25,12	B	
20	0,152	0,305	12,450	28	24,93	B	
21	0,152	0,306	12,470	28	25,28	B	
22	0,153	0,305	12,640	28	24,18	B	
23	0,152	0,303	12,375	28	23,36	B	
24	0,152	0,304	12,345	28	24,13	B	
25	0,153	0,304	12,505	28	23,94	B	
26	0,152	0,305	12,360	28	24,66	B	
27	0,155	0,304	12,835	28	23,81	D	
28	0,152	0,305	12,415	28	24,36	B	
29	0,153	0,304	12,550	28	24,21	B	
30	0,151	0,305	12,265	28	24,30	D	
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo D 7. Resultados mezclas de prueba – Concreto O'Reilly - 28 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto					NTC -673		1 de 1
Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas
Mezcla de prueba para determinar el parámetro "A"							
1	0,151	0,305	12,24	28	33,26	C	Falla A 
2	0,152	0,305	12,43	28	34,69	D	
3	0,154	0,304	12,68	28	33,08	D	
4	0,152	0,305	12,45	28	35,35	C	
5	0,152	0,305	12,39	28	34,11	B	
6	0,153	0,305	12,60	28	32,96	D	
7	0,151	0,306	12,26	28	33,87	A	
8	0,152	0,303	12,38	28	34,01	C	
9	0,153	0,304	12,56	28	34,19	B	
Mezcla de prueba ajustada por resistencia							
1	0,152	0,306	12,48	28	29,76	D	Falla B 
2	0,154	0,304	12,74	28	28,43	B	
3	0,153	0,307	12,64	28	29,68	D	
4	0,152	0,305	12,41	28	27,92	C	
5	0,152	0,304	12,38	28	30,54	D	
6	0,153	0,304	12,59	28	28,77	D	
Mezcla de prueba ajustada por asentamiento							
1	0,151	0,304	12,22	28	31,23	B	Falla C 
2	0,153	0,305	12,59	28	32,44	B	
3	0,153	0,303	12,54	28	30,65	D	
4	0,155	0,305	12,93	28	30,79	B	
5	0,153	0,305	12,64	28	31,09	A	
6	0,152	0,300	12,18	28	31,10	D	
							Falla D 
							Falla E 
Elaborado por:				Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo D 8. Resultados mezcla final ajustada – Concreto O’Reilly - 28 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto					NTC -673		1 de 1
Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	Tipos de fallas
1	0,153	0,304	12,570	28	30,50	D	    
2	0,151	0,306	12,330	28	30,08	B	
3	0,151	0,306	12,275	28	28,97	B	
4	0,152	0,307	12,475	28	31,43	C	
5	0,152	0,306	12,420	28	29,93	E	
6	0,151	0,305	12,305	28	30,89	B	
7	0,152	0,304	12,390	28	30,46	A	
8	0,151	0,305	12,280	28	30,62	B	
9	0,152	0,306	12,460	28	30,66	C	
10	0,152	0,304	12,415	28	29,70	B	
11	0,152	0,300	12,210	28	32,22	D	
12	0,154	0,305	12,690	28	29,53	C	
13	0,153	0,304	12,585	28	30,94	E	
14	0,152	0,305	12,405	28	30,51	C	
15	0,152	0,305	12,370	28	29,04	A	
16	0,151	0,305	12,235	28	31,28	B	
17	0,150	0,304	12,110	28	31,22	D	
18	0,151	0,305	12,260	28	29,83	D	
19	0,153	0,307	12,670	28	32,17	C	
20	0,154	0,305	12,785	28	29,91	D	
21	0,152	0,303	12,350	28	30,15	D	
22	0,152	0,304	12,425	28	29,92	D	
23	0,152	0,305	12,490	28	31,01	B	
24	0,154	0,306	12,775	28	29,18	D	
25	0,152	0,306	12,510	28	31,10	B	
26	0,151	0,305	12,205	28	29,86	B	
27	0,155	0,306	12,910	28	29,97	D	
28	0,150	0,305	12,135	28	31,42	B	
29	0,153	0,305	12,580	28	29,69	A	
30	0,153	0,300	12,470	28	30,80	B	
Elaborado por:					Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


Anexo D 9. Resultados de ensayos de resistencia a diferentes edades

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:	
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Resistencia a la compresión de cilindros de concreto NTC -673					Página: 1 de 1	
Tipo de concreto	Cilindro	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Tipo de falla	
ACI – 21MPa	1	0,152	0,305	12,35	7	14,13	B	
	2	0,152	0,306	12,41	7	13,81	B	
	3	0,151	0,303	12,20	14	19,49	B	
	4	0,154	0,305	12,58	14	19,95	D	
	5	0,152	0,306	12,39	28	23,59	B	
	6	0,153	0,304	12,44	28	24,03	B	
	7	0,152	0,305	12,32	56	28,85	B	
	8	0,152	0,305	12,28	56	27,87	D	
O'Reilly – 21 MPa	1	0,152	0,304	12,37	7	14,92	B	
	2	0,154	0,305	12,66	7	14,06	D	
	3	0,152	0,305	12,45	14	20,98	E	
	4	0,152	0,305	12,51	14	18,70	B	
	5	0,152	0,304	12,35	28	23,76	D	
	6	0,151	0,305	12,23	28	22,80	B	
	7	0,153	0,305	12,57	56	27,38	B	
	8	0,152	0,306	12,42	56	27,76	B	
ACI – 28MPa	1	0,153	0,305	12,46	7	19,49	D	
	2	0,152	0,303	12,30	7	20,21	B	
	3	0,152	0,307	12,33	14	25,73	E	
	4	0,155	0,305	12,72	14	24,69	A	
	5	0,153	0,305	12,43	28	30,11	E	
	6	0,151	0,306	12,28	28	31,15	B	
	7	0,152	0,305	12,35	56	38,10	C	
	8	0,152	0,304	12,32	56	37,26	B	
O'Reilly – 28 MPa	1	0,152	0,305	12,43	7	20,74	C	
	2	0,151	0,305	12,26	7	22,12	D	
	3	0,151	0,304	12,22	14	26,16	D	
	4	0,153	0,305	12,59	14	27,34	A	
	5	0,152	0,304	12,47	28	32,11	C	
	6	0,152	0,304	12,38	28	30,27	B	
	7	0,150	0,301	11,94	56	37,75	A	
	8	0,153	0,306	12,62	56	36,91	B	
Elaborado por:					Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			


Anexo E. Resultados de los ensayos de peso unitario de los concretos en estado plástico**Anexo E 1. Peso unitario de los concretos en estado fresco**

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Peso unitario del concreto en estado fresco Norma NTC - 92				Fecha:
					Página: 1 de 1
PROYECTO: Trabajo de grado		MUESTRA:			
MATERIAL: Concreto hidráulico		PROCEDENCIA: Universidad de Nariño			
CONCRETO ACI – 21 MPa					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso de la muestra	kg	34,55	34,64	34,53	34,57
Volumen de recipiente	m ³	0,01549	0,01549	0,01549	0,01549
Peso unitario del concreto fresco	kg/m ³	2230	2236	2229	2232,0
CONCRETO O'Reilly – 21 MPa					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso de la muestra	kg	35,08	34,86	34,91	34,95
Volumen de recipiente	m ³	0,01549	0,01549	0,01549	0,01549
Peso unitario del concreto fresco	kg/m ³	2265	2250	2254	2256
CONCRETO ACI – 28 MPa					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso de la muestra	kg	34,68	34,75	34,66	34,70
Volumen de recipiente	m ³	0,01549	0,01549	0,01549	0,01549
Peso unitario del concreto fresco	kg/m ³	2239	2243	2238	2240
CONCRETO O'Reilly – 28 MPa					
ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Peso de la muestra	kg	35,04	35,18	35,13	35,12
Volumen de recipiente	m ³	0,01549	0,01549	0,01549	0,01549
Peso unitario del concreto fresco	kg/cm ³	2262	2271	2268	2267
OBSERVACIONES:					
Elaborado por:			Revisado por:		
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ			Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ		


Anexo F. Resultados de los ensayos de módulo de elasticidad y relación de Poisson**Anexo F 1. Módulo de elasticidad y relación de Poisson - concreto ACI – 21 MPa**

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO						Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES						Página:
		Módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto						1 de 1
		Norma NTC - 4025						
Carga (KN)	Deformación longitudinal (mm)	Deformación transversal (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	ϵ Longitudinal (mm / mm)	ϵ Transversal (mm / mm)	Esfuerzo (MPa)	
5	0,008	0,001	151	306	0,000013	0,000003	0,28	
10	0,011	0,001	151	306	0,000018	0,000003	0,56	
15	0,017	0,001	151	306	0,000028	0,000003	0,84	
20	0,022	0,002	151	306	0,000036	0,000007	1,12	
25	0,030	0,003	151	306	0,000049	0,000010	1,40	
30	0,035	0,003	151	306	0,000057	0,000010	1,68	
35	0,042	0,003	151	306	0,000069	0,000010	1,95	
40	0,047	0,003	151	306	0,000077	0,000010	2,23	
45	0,054	0,005	151	306	0,000088	0,000017	2,51	
50	0,059	0,005	151	306	0,000096	0,000017	2,79	
60	0,072	0,006	151	306	0,000118	0,000020	3,35	
70	0,084	0,007	151	306	0,000137	0,000023	3,91	
80	0,097	0,008	151	306	0,000158	0,000026	4,47	
90	0,107	0,009	151	306	0,000175	0,000030	5,03	
100	0,124	0,010	151	306	0,000203	0,000033	5,58	
110	0,137	0,011	151	306	0,000224	0,000036	6,14	
120	0,142	0,012	151	306	0,000232	0,000040	6,70	
130	0,154	0,015	151	306	0,000252	0,000050	7,26	
140	0,167	0,017	151	306	0,000273	0,000056	7,82	
150	0,177	0,018	151	306	0,000289	0,000060	8,38	
160	0,189	0,021	151	306	0,000309	0,000070	8,93	
170	0,203	0,022	151	306	0,000332	0,000073	9,49	
180	0,210	0,023	151	306	0,000343	0,000076	10,05	
Esfuerzo S1 (MPa)	1,43	ϵ_1	0,000050	ϵ_{t1}	0,000010	Módulo elástico (MPa)	28523	
Esfuerzo S2 (MPa)	9,42	ϵ_2	0,000330	ϵ_{t2}	0,000072	Relación de Poisson	0,22	
Elaborado por:				Revisado por:				
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ				


Anexo F 2. Módulo de elasticidad y relación de Poisson - concreto ACI – 28 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:	
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:	
		Módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto					1 de 1	
		Norma NTC - 4025						
Carga (KN)	Deformación longitudinal (mm)	Deformación transversal (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	ϵ Longitudinal (mm / mm)	ϵ Transversal (mm / mm)	Esfuerzo (MPa)	
5	0,003	0,000	152	305	0,000005	0,000000	0,28	
10	0,005	0,001	152	305	0,000008	0,000003	0,55	
15	0,008	0,001	152	305	0,000013	0,000003	0,83	
20	0,010	0,001	152	305	0,000016	0,000003	1,10	
25	0,015	0,002	152	305	0,000025	0,000007	1,38	
30	0,019	0,003	152	305	0,000031	0,000010	1,65	
35	0,027	0,004	152	305	0,000044	0,000013	1,93	
40	0,031	0,005	152	305	0,000051	0,000016	2,20	
45	0,038	0,005	152	305	0,000062	0,000020	2,48	
50	0,046	0,006	152	305	0,000075	0,000023	2,76	
60	0,052	0,007	152	305	0,000085	0,000026	3,31	
70	0,060	0,008	152	305	0,000098	0,000030	3,86	
80	0,069	0,009	152	305	0,000113	0,000033	4,41	
90	0,076	0,009	152	305	0,000125	0,000036	4,96	
100	0,086	0,010	152	305	0,000141	0,000039	5,51	
110	0,092	0,011	152	305	0,000151	0,000043	6,06	
120	0,104	0,012	152	305	0,000170	0,000046	6,61	
130	0,113	0,013	152	305	0,000185	0,000049	7,16	
140	0,124	0,014	152	305	0,000203	0,000053	7,72	
150	0,136	0,014	152	305	0,000223	0,000053	8,27	
160	0,147	0,015	152	305	0,000241	0,000056	8,82	
170	0,153	0,016	152	305	0,000251	0,000056	9,37	
180	0,169	0,016	152	305	0,000277	0,000063	9,92	
190	0,178	0,017	152	305	0,000292	0,000066	10,47	
200	0,188	0,017	152	305	0,000308	0,000056	11,02	
210	0,202	0,019	152	305	0,000331	0,000063	11,57	
220	0,211	0,020	152	305	0,000346	0,000066	12,12	
230	0,223	0,021	152	305	0,000366	0,000069	12,68	
Esfuerzo S1 (MPa)		2,17	ϵ_1	0,000050	ϵ_{t1}	0,000016	Módulo elástico (MPa)	33349
Esfuerzo S2 (MPa)		12,58	ϵ_2	0,000362	ϵ_{t2}	0,000068	Relación de Poisson	0,17
Elaborado por:					Revisado por:			
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ					Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ			

Anexo F 3. Módulo de elasticidad y relación de Poisson - concreto O'Reilly – 21 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO						Fecha:
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES						Página:
Módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto						Norma NTC - 4025		1 de 1
Carga (KN)	Deformación longitudinal (mm)	Deformación transversal (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	ϵ Longitudinal (mm / mm)	ϵ Transversal (mm / mm)	Esfuerzo (MPa)	
5	0,006	0,001	153	305	0,000010	0,000003	0,27	
10	0,009	0,001	153	305	0,000015	0,000003	0,54	
15	0,013	0,002	153	305	0,000021	0,000007	0,82	
20	0,016	0,002	153	305	0,000026	0,000007	1,09	
25	0,021	0,003	153	305	0,000034	0,000010	1,36	
30	0,028	0,003	153	305	0,000046	0,000010	1,63	
35	0,035	0,004	153	305	0,000057	0,000013	1,90	
40	0,040	0,005	153	305	0,000066	0,000016	2,18	
45	0,045	0,006	153	305	0,000074	0,000020	2,45	
50	0,051	0,006	153	305	0,000084	0,000020	2,72	
60	0,057	0,007	153	305	0,000093	0,000023	3,26	
70	0,070	0,007	153	305	0,000115	0,000023	3,81	
80	0,082	0,008	153	305	0,000134	0,000026	4,35	
90	0,094	0,009	153	305	0,000154	0,000029	4,90	
100	0,109	0,010	153	305	0,000179	0,000033	5,44	
110	0,117	0,012	153	305	0,000192	0,000039	5,98	
120	0,127	0,012	153	305	0,000208	0,000039	6,53	
130	0,138	0,014	153	305	0,000226	0,000046	7,07	
140	0,149	0,014	153	305	0,000244	0,000046	7,61	
150	0,160	0,016	153	305	0,000262	0,000052	8,16	
160	0,173	0,017	153	305	0,000284	0,000056	8,70	
170	0,184	0,018	153	305	0,000302	0,000059	9,25	
180	0,192	0,019	153	305	0,000315	0,000062	9,79	
Esfuerzo S1 (MPa)	1,73	$\epsilon 1$	0,000050	$\epsilon t 1$	0,000011	Módulo elástico (MPa)	29894	
Esfuerzo S2 (MPa)	9,26	$\epsilon 2$	0,000302	$\epsilon t 2$	0,000059	Relación de Poisson	0,19	
Elaborado por:				Revisado por:				
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ				

Anexo F 4. Módulo de elasticidad y relación de Poisson - concreto O'Reilly – 28 MPa

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO					Fecha:	
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					Página:	
		Módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto					1 de 1	
		Norma NTC - 4025						
Carga (KN)	Deformación longitudinal (mm)	Deformación transversal (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	ϵ Longitudinal (mm / mm)	ϵ Transversal (mm / mm)	Esfuerzo (MPa)	
5	0,002	0,000	152	304	0,000003	0,000000	0,28	
10	0,003	0,000	152	304	0,000005	0,000000	0,55	
15	0,007	0,001	152	304	0,000012	0,000003	0,83	
20	0,011	0,002	152	304	0,000018	0,000007	1,10	
25	0,017	0,003	152	304	0,000028	0,000010	1,38	
30	0,020	0,003	152	304	0,000033	0,000010	1,65	
35	0,024	0,005	152	304	0,000039	0,000016	1,93	
40	0,030	0,005	152	304	0,000049	0,000016	2,20	
45	0,039	0,006	152	304	0,000064	0,000020	2,48	
50	0,046	0,007	152	304	0,000076	0,000023	2,76	
60	0,055	0,008	152	304	0,000090	0,000026	3,31	
70	0,064	0,010	152	304	0,000105	0,000033	3,86	
80	0,073	0,011	152	304	0,000120	0,000036	4,41	
90	0,082	0,012	152	304	0,000135	0,000039	4,96	
100	0,089	0,013	152	304	0,000146	0,000043	5,51	
110	0,097	0,014	152	304	0,000160	0,000046	6,06	
120	0,106	0,015	152	304	0,000174	0,000049	6,61	
130	0,114	0,015	152	304	0,000188	0,000049	7,16	
140	0,122	0,016	152	304	0,000201	0,000053	7,72	
150	0,135	0,018	152	304	0,000222	0,000059	8,27	
160	0,143	0,019	152	304	0,000235	0,000063	8,82	
170	0,151	0,020	152	304	0,000248	0,000066	9,37	
180	0,160	0,020	152	304	0,000263	0,000066	9,92	
190	0,177	0,022	152	304	0,000291	0,000072	10,47	
200	0,186	0,023	152	304	0,000306	0,000076	11,02	
210	0,195	0,024	152	304	0,000321	0,000079	11,57	
220	0,209	0,024	152	304	0,000344	0,000079	12,12	
230	0,215	0,025	152	304	0,000354	0,000082	12,68	
Esfuerzo S1 (MPa)	2,22	ϵ_1	0,000050	ϵt_1	0,000017	Módulo elástico (MPa)	34057	
Esfuerzo S2 (MPa)	12,37	ϵ_2	0,000348	ϵt_2	0,000080	Relación de Poisson	0,21	
Elaborado por:				Revisado por:				
CRISTIHAN DAVID RIASCOS NARVAEZ				Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ				

Anexo G. Resultados del cálculo de las proporciones de agregados con el método racional [21]

0	1	2	3	4	5 (3-1)	6 (3-2)	7 (4-3)	8 (5*5)	9 (6*6)	10 (7*7)	11 (5*6)	12 (5*7)	13 (6*7)
TAMIZ	%Pasante Arena (fi)	%Pasante Gravela (gi)	%Pasante Gravela (hi)	Curva de Weymouth (ai)	Ui	Vi	Wi	Ui^2	Vi^2	Wi^2	(Ui.Vi)	(Ui.Wi)	(Vi.Wi)
1 1/2"	100	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100	100,0	70,8	87,0	-29,2	-29,2	16,2	852,6	852,6	263,7	852,6	-474,2	-474,2
3/4 "	100	100,0	38,6	78,1	-61,4	-61,4	39,5	3773,6	3773,6	1558,9	3773,6	-2425,4	-2425,4
1/2"	100	77,6	9,3	66,5	-90,7	-68,3	57,2	8234,1	4670,1	3275,3	6201,1	-5193,2	-3911,0
3/8"	100	42,1	4,5	58,9	-95,5	-37,6	54,4	9127,0	1412,9	2964,5	3591,1	-5201,6	-2046,6
#4	96	9,1	1,2	43,9	-94,8	-7,9	42,7	8993,6	62,2	1826,9	747,8	-4053,4	-337,0
#8	79	7,4	0,0	31,9	-78,6	-7,4	31,9	6185,3	54,4	1015,4	580,3	-2506,1	-235,1
#16	57	5,1	0,0	22,1	-56,6	-5,1	22,1	3198,1	26,1	488,5	288,7	-1249,9	-112,8
#30	34	4,3	0,0	14,2	-34,1	-4,3	14,2	1165,5	18,1	201,6	145,3	-484,8	-60,4
#50	15	3,3	0,0	7,8	-15,4	-3,3	7,8	235,7	10,9	60,7	50,7	-119,6	-25,7
#100	10	2,9	0,0	2,6	-9,6	-2,9	2,6	92,9	8,7	6,9	28,4	-25,4	-7,8
				Σ	-566,1	-227,4	288,7	41858,5	10889,7	11662,4	16259,6	-21733,6	-9636,2

%de Arena (p)	41,8	≈	42,0
%de Gravela (q)	26,1	≈	26,0
% de Grava (r)	32,1	≈	32,0

Anexo H. Procedimiento para estimar la cantidad aproximada de los agregados para el ensayo de porcentaje vacíos del método O'Reilly

Para determinar la cantidad necesaria de cada agregado para el ensayo de porcentaje de vacíos en el método O'Reilly y evitar que se generen desperdicios altos o se presente una falta de material durante el ensayo se puede utilizar el siguiente procedimiento:

1) Se debe contar con los siguientes datos de entrada:

- Peso unitario compactado de cada agregado (PU_i)
- Volumen del recipiente (V)
- Porcentaje de cada agregado en la mezcla para el ensayo de vacíos ($\%A_i$)

2) Se determina el peso unitario compactado de la mezcla (PUM) con la ecuación (24).

$$PUM = (PU_1 * \%A_1) + (PU_2 * \%A_2) + \dots (PU_n * \%A_n) \quad (24)$$

3) Se encuentra el peso total de agregados para el ensayo (PTe) con la ecuación (25).

$$PTe = 1,10 * PUM * V \quad (25)$$

4) Finalmente, el peso de cada agregado para el ensayo (PA_i), con la ecuación (26).

$$PA_i = PTe * \%A_i \quad (26)$$

Ejemplo: Encontrar el peso de los agregados (gravilla y grava), para el ensayo de vacíos de la mezcla 40% Gravilla y 60% Grava, el peso unitario compactado de la gravilla es de 1443 kg/m^3 y el de la grava es 1497 kg/m^3 , el volumen del recipiente es de $0,01549 \text{ m}^3$.

$$PUM = (1443 * 40\%) + (1497 * 60\%) = 1475 \text{ kg/m}^3$$

$$PTe = 1,10 * 1475 * 0,01549 = 25,14 \text{ kg}$$

$$PA_1(\text{Gravilla}) = 25,13 * 40\% = \mathbf{10,06 \text{ kg}}$$

$$PA_2(\text{Grava}) = 25,13 * 60\% = \mathbf{15,08 \text{ kg}}$$