

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA**

**Facultad de Ciencias y Tecnología**

**Escuela de Química**



Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción.

**Trabajo de grado presentado por:**

**Nicole Novoa**

**Laura García**

**Para optar por el título de:**

**Ingeniera Química**

**Santo Domingo, Distrito Nacional**

**REPÚBLICA DOMINICANA**

**2021**



## **AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco Dios por la bendición de poder estudiar y culminar este grado. Por darme las fuerzas, motivación y siempre sustentarme en los momentos que más necesitaba.

Agradezco a la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, por haberme abierto las puertas y aceptado en su seno científico. A mis maestros Josefina Castillo, Mayra Sánchez, Milagros López, Ramón Pérez y Ramón Sánchez por haber compartido sus conocimientos, apoyo incondicional y amistad durante todo este tiempo.

De manera especial, agradezco a mi mentora Maribel Espinosa y a la ingeniera Doris Peña, por sus consejos, motivación y apoyo siempre que las he necesitado. Gracias por inspirarme a lograr mis objetivos y a desarrollarme como profesional.

Gracias a la empresa ILS INATEC, Industria Nacional de Tecnología SRL, por habernos permitido desarrollar nuestro trabajo de grado en sus instalaciones, proporcionándonos sus materiales y equipos. En especial al Ing. Jorge Medina, por brindarnos sus conocimientos y apoyarnos en cada etapa del proceso experimental.

Le doy gracias a cada uno de mis compañeros de estudios, quienes me brindaron apoyo durante el curso de esta carrera; en especial a mi amiga y compañera, Nicole Novoa, quien siempre ha estado presente apoyándome y motivándome cada día a superarme a misma, tanto en lo profesional como en lo personal.

Gracias a mis amigas Idalia Suero, Cruz Díaz, Francia Contreras, Maritza Luzón, Wanda Pérez por estar presente siempre que las he necesitado. Gracias a mis tíos Robert Arismendi, Alba Javier, Maritza Matos, que desde el inicio de mis estudios han estado presente, impulsándome y apoyándome a cumplir mis metas.

**Laura Yissel García Arismendi**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo, gracias infinitas a Dios por siempre demostrarme su amor cada segundo que pasa, por todos mis logros incluido este, porque me creó para ser una guerrera no importa lo que venga, en el confío y espero que me permita seguir exaltando su nombre en cada paso que dé.

El Señor ha puesto en mi vida un sinnúmero de bendiciones y me ha mandado sus mejores ángeles para que cuiden mis pasos por este mundo terrenal. No puedo creer lo afortunada que soy al tener personas tan maravillosas en mi vida, ya que podría escribir un libro de porque cada una es especial para mí:

Empiezo por mencionar a mi hermosa familia, no me alcanzará la vida para decirles cuánto los amo y lo bendecida que soy por tenerlos, gracias inmensas a:

Mi padre Edgar Novoa: Por todos estos años, él es la mente maestra detrás de mis buenas decisiones y una de ellas fue impulsarme a tomar una carrera que me retara y sacara el potencial que tengo. Gracias por apoyarme, por hacerme reír, por tu amor incondicional, por romper la dieta conmigo siempre no importa la hora, por tratarme como una reina y por ser mi primer gran amor.

Mi madre Margarita Jiménez: Las palabras quedan cortas para agradecerte porque madre como tu ninguna, solo puedo expresar mi admiración porque eres una mujer asombrosa. Gracias mami por no apoyarme en las decisiones que sabes que me perjudican y recordarme siempre lo mucho que me amas, gracias por ser un hermoso ser humano, tu luz es la guía de todo el que te conoce, espero en algún momento ser un cuarto de bondadosa de lo que eres.

Mi hermana Claudia Novoa: Peleamos tanto que son pocos los recuerdos que tenemos en sana paz, pero créeme cuando te digo que si pudiese escoger te elegiría mil veces, eres quien pone de cabeza mi vida y sin ti este viaje hubiese sido aburrido.

Mi abuela Cecilia Daza: Mi reina, no sé ni por dónde empezar, pero lo intentaré, gracias abuelita por todo tu amor, por las veces que viajamos juntas, por tus detalles, por siempre darme lo mejor de ti, por enseñarme que el amor se demuestra por más enojado que uno este, por tus comidas, por tu sonrisa y sobre todo por ser mi abuelita.

Mi perrito Coquito: A pesar de ser un animalito, me expresas tu amor como nadie, gracias por aguantar las malas noches de universidad conmigo, mi pequeño Dios te llene de vida, es un privilegio para mí que seas miembro de mi familia.

Agradecimientos especiales a mis tíos, por hacer de mi la profesional que soy, por enseñarme que el buen vivir esta en comer mucho, en escuchar buena música y vivir como si no hubiese un mañana, los admiro por ser como son, mis guerreros de parte de madre, los Jiménez Pilier: Héctor, Alcides, Raúl, Alberto, Máximo, César, Luis, Alma, Maritza y Sonia. Sin ellos, nada fuese posible. Agradecimientos especiales a Freddy Castro mi tío que me apoya en todo y siempre está pendiente de mí.

Dios es tan maravilloso que me regalo 3 madres increíbles que merecen ser mencionadas en todos los logros que tenga, ya que ellas derriten mi corazón: Zoraida Jiménez “Titi Zory” gracias tía por siempre darme lo mejor de ti, por demostrarme tu amor de todas las maneras posibles, te amo mi payasita arcoíris. Seguimos con Iris Jiménez “Tatica” mi madre, mi debilidad, mi chef, mi hermosa reina, mi joya gracias por cuidarme y acogerme siendo un bebe, no tengo como demostrarte lo mucho que te amo porque no bastan las palabras, me siento honrada de ser tu hija. Y, por último, la reina de reinas Milagros Jiménez “Tía Tía” la definición

de estilo y elegancia eres tú, gracias por darme los mejores consejos en la vida, gracias por amarme y engordarme todos los veranos, por tus comidas deliciosas, por enseñarme que debo arreglarme hasta para estar en mi casa, por decirme que no acepte consejos de personas derrotadas y por esas noches juntas en pijamas.

Con el paso del tiempo, descubrí que tenía muchísima familia, aunque no fuesen de la misma sangre, estas personas tienen mi corazón rebosando de amor, cada una me ha demostrado su amor y su apoyo no importa si les hablo o si no los veo, siempre están ahí para mí de una forma u otra, gracias por estar en mi vida: Lourdes Natera, Silvani Hernández, Gabriela Pérez, Nicole Márquez, Melissa Díaz, Jazmín Cedeño, Hansel Mota, José Batista, Emilio Ramírez, Familia García Rodríguez por todo su amor demostrado y cuidados durante todo este tiempo, la Clínica Abreu “Mi segunda casa” junto con mis doctores y Ana Jiménez.

Dentro de ese grupo cabe destacar a mis súper hermanos, gracias por amarme tanto incondicionalmente, por ser quienes son conmigo, por todo su amor y sobre todo por hacerme parte de su familia, es un honor tenerlos y que sean parte de mí: Shanandra Pellerano, Eliezer Segura “Eli”, Andy Valdez y Carlos Soto.

Agradezco inmensamente a mi compañera de tesis, mi mejor amiga y hermana Laura Yissel García Arismendi, eres uno de los regalos más bonitos que me dio la vida, eres una mujer fuerte y valiosa, te admiro y te adoro con todo el corazón y así como no hay Sancho Panza sin Don Quijote, no hay Nicole sin ti. Gracias por ser la mejor.

Mi formación profesional fue un camino increíble y duro por recorrer, pero valió cada momento, cada estrés, cada lágrima y cada sonrisa porque ha sido la experiencia más hermosa de vida. Y cierro estos agradecimientos con broche de oro mencionando a los titanes de la enseñanza, mis amados profesores, que no solo dedicaron su tiempo para que yo adquiriera los conocimientos que necesitaba, sino que también me retaron y formaron poco a poco parte de la

Nicole que soy hoy en día, mencionando especialmente a: Grace Báez quien hizo que me enamorara de la química, Milagros Patricia López quien me brindo su cariño desde el día 1, Mi asesora estrella Maribel Espinosa quien dedico su tiempo y mucha paciencia a este trabajo, Doris Peña mi madre en este proceso quien me enseñó que el infinito es el límite y que los logros se disfrutan más si se lleva puesto tacones y un buen vestido. Por último, quiero agradecer a mi profesor Ramón Alonso Pérez por creer en mis capacidades incluso hasta cuando dudé, gracias por todo lo que ha hecho por mí, solo me queda expresarle mi aprecio y admiración.

A todos los mencionados y a todo aquel que estuvo en algún momento de mi vida brindándome una muestra de afecto, muchísimas gracias por todo. Soy un ser privilegiado, amado, consentido y todo lo bonito que se puedan imaginar. Y la mejor forma de agradecer es haciéndolos sentir orgullosos hoy, mañana y siempre.

**Nicole E. Novoa Jiménez**

## **DEDICATORIA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por siempre alumbrar mi camino y permitirme haber cursado esta carrera. Por ser mi roca de apoyo y enseñarme a no desfallecer antes las adversidades presentadas.

A mis padres Gricel Arismendi y Carlos García por su apoyo, comprensión, consejos sacrificios y amor incondicional. Por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Por siempre creer en mí y ayudarme cada día a crecer, inspirándome con su sabiduría. Por la formación que me dieron, que me hacen ser la persona que hoy soy con valores, principios y carácter.

A mi abuela Virginia, mi querida "Mamá Vija", por su amor y cariño incondicional, por siempre estar ahí cuando la he necesitado.

A mi esposo Jaadiel Hernández por siempre animarme a superarme a mí misma, a seguir adelante y por demostrarme que puedo contar con él en todo momento. Por motivarme a alcanzar mis sueños, armarme de coraje y enfrentar mis temores.

**Laura Yissel García Arismendi**

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a una mujer a la que amo, admiro y solo le deseo vida eterna si fuese posible, mi amada Teresa Pilier o como yo le digo “Mamá Tete”. No puedo creer como pasa el tiempo, cuando era pequeña recuerdo siempre pasar cerca de tu pared especial, donde tienes a los miembros de la familia que asumieron el reto de estudiar una carrera universitaria. Me encantaba ver a cada uno de ellos, con sus togas y birretes; te escuchaba siempre mencionar la importancia de estudiar y como te brillaban los ojitos al decirlo. Así que, desde entonces soñaba con ser parte de tu pared, sonriendo y quedar para la historia de nuestra familia.

No sabes cuánto temor tenía de que no me vieras graduada a tiempo, pero Dios es un ser de amor y misericordia, el decidió prolongar tu estadía conmigo dándote vida y tengo el orgullo de poderte dedicar este trabajo como siempre quise. Más que una dedicatoria, te quiero agradecer por cada uno de los detalles que has tenido conmigo, desde enseñarme a caminar con una silla plástica, hacerme todos los antojos nocturnos sin importar si era gordita o no, comprar los mejores tomates para la ensalada del medio día porque tú sabes que amo mucho ese vegetal, cuidar a mi perro Clifford y darle esa harina especial que le hacías (Gracias a ti ese chihuahua fue casi inmortal), hacerme creer en los reyes magos, darme dinero para que me comprara lo que quisiera incluso sin tu tener, regalarme mi primera computadora para el colegio, por ponerte en modo salvaje cuando la que te ayudaba en la casa me sacó a pasear sin tu permiso, por darme los verdaderos y sabios consejos como: “Concéntrate en los estudios y no le hagas caso a los pajaritos”, “Siempre cuida y respeta a tus padres”, “Demuestra siempre la mujer que eres, que tú no necesitas de nadie”.

En fin, tengo tantas cosas que decir de ti, que no me imagino un mundo en el que no estés, me has marcado de una manera preciosa y esa marca es de solo amor puro.

Dedico este trabajo a mi familia colombiana, porque no solo cuidaron de mi desde pequeña sino que me enseñaron a amar a mi segunda tierra.

También, quiero dedicar y a la vez hacer un pequeño homenaje a las personas que amo y que por voluntad de Dios hoy no están conmigo, parte de mi corazón está con ellos:

Pablo Chipatecua: Mi abuelito, tu amor fue tan fuerte que lo siento cada día, por ti aprendí a demostrar amor, aunque no siempre se reciba con la misma intensidad. Sé que desde el cielo sonrías y sientes orgullo.

Maritza Antonia Jiménez: Fuiste, eres y serás una tía maravillosa, contigo aprendí que las cosas hechas con amor son las que mejor resultado tiene, los postres no saben iguales desde que te fuiste. Estas en un mejor lugar, llenando el cielo de tus delicias. Donde hay buen flan sé que tu espíritu está presente.

Uvaldina Aldana: Mi bisabuelita, valió la pena cada segundo que pase contigo e incluso robarte las uvas sin que me veas, te extraño y quiero que sepas que estas en mis recuerdos más bonitos.

Miguel Ángel Daza: Eras el favorito de mis tíos por parte de mi abuela, me hiciste sentir una reina en vida con todos tus detalles, espero que te sientas feliz donde estés.

Doctor García Sugrañez: Resumiré tu homenaje en una frase: “Siempre pórtate mal”.

Jairo Guzmán: No pensé que te perdería tan pronto, siempre tuviste hermosos detalles conmigo y mi familia, te recuerdo siempre porque en vida nos brindaste lo mejor de ti sin importar nada, sobretodo agradezco el inmenso cariño que le demostraste a mi papá, no tienes

idea cuanto te extraña, solo pasamos por Guavaberry diciendo adiós por carretera, pero siempre vivirás en nuestros corazones.

Clifford: Más que una mascota fuiste como mi hermano, por ti me enamoré de los animales, nunca superaré tu pérdida, te lloro hasta el sol de hoy, te amo y siempre lo haré.

Y cierro esta dedicatoria con esta frase: “Solo se muere quien se olvida, y yo nunca te olvido”- COCO, Película de Disney

**Nicole E. Novoa Jiménez**

## **ÍNDICE**

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
ALCANCE.....	9
PRIMERA PARTE MARCO TEÓRICO.....	11
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DEL PLÁSTICO.....	12
I.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PLÁSTICO.....	12
I.2 COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS.....	14
I.3 TIPOS DE LOS PLÁSTICOS.....	16
I.4 TEREFTALATO DE POLIETILENO.....	18
CAPÍTULO II CONCRETO.....	20
II.1 TIPOS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	20
II.2 AGREGADOS.....	21
II.2.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	21
II.2.1.1 PESO UNITARIO.....	22
II.2.1.2 PESO ESPECÍFICO.....	22
II.3 AGUA.....	22
II.4 CEMENTO.....	23
II.5 ADITIVOS.....	23
II.6 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.....	25
II.7 RESISTENCIA TÉRMICA DEL CONCRETO.....	26
CAPÍTULO III DISEÑO DE MEZCLA.....	28

III.1 PROCESO DE DISEÑO DE MEZCLA .....	28
SEGUNDA PARTE MARCO METODOLÓGICO .....	36
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA.....	37
IV.1 RECOLECCIÓN DE PET .....	37
IV.1.1 TRATAMIENTO Y TRITURADO .....	37
IV.2 ENSAYOS DE AGREGADOS .....	39
IV.2.1 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO .....	39
IV.2.2 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO.....	41
IV.2.3 PESO UNITARIO Y VACIOS EN AGREGADOS .....	45
IV.2.4 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS.....	47
IV.3 MANEJO Y ANÁLISIS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO .....	49
IV.3.1 MUESTREO DEL CONCRETO.....	49
IV.3.2 ENSAYO PARA ASENTAMIENTO DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO .....	50
IV.3.3 DENSIDAD Y RENDIMIENTO DEL HORMIGÓN.....	52
IV.3.4 PREPARACIÓN Y CURADO DE PROBETAS Y VIGAS DE ENSAYO DE HORMIGÓN .....	54
IV.3.5 TEMPERATURA DEL CONCRETO RECIÉN MEZCLADO .....	57
IV.3.6 RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO .....	57
IV.3.7 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .....	58
IV.3.8 RESISTENCIA AL FUEGO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO.....	60
CAPÍTULO V CÁLCULOS PARA EL DESARROLLO DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	61
V.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLA DISEÑADA .....	66

CAPÍTULO VI RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGREGADOS.....	68
VI.1 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA.....	68
VI.2 RESULTADOS DE PESO UNITARIO DE AGREGADOS .....	69
VI.3 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO.....	70
VI.4 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO .....	71
VI.5 ANÁLISIS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	72
CAPÍTULO VII RESULTADOS DE RESISTENCIAS DEL CONCRETO .....	73
CAPÍTULO VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
VIII.1 COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS .....	76
VIII.1.1 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS .....	76
VIII.1.2 PESO UNITARIO Y DENSIDAD RELATIVA DE AGREGADOS.....	77
VIII.1.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y DE HUMEDAD DE AGREGADOS .....	78
VIII.2 AJUSTE DE DISEÑO DE MEZCLA .....	79
VIII.3 SUPERPLASTIFICANTE EUCON SPJ.....	79
VIII.4 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	80
VIII.4.1 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO .....	80
VIII.4.2 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO .....	81
VIII.4.3 ANÁLISIS CALORIMÉTRICO A CONCRETO FRESCO.....	81
VIII.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y A FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	82
VIII.6 ANÁLISIS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS .....	87
CAPÍTULO IX DIAGRAMA DE PROCESO .....	89
IX.1 COSTES DE PRODUCCIÓN.....	92
CONCLUSIÓN .....	95

RECOMENDACIONES .....	98
REFERENCIAS .....	100
GLOSARIO .....	111
ANEXOS .....	115
APÉNDICE .....	174

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros de alto peso molecular que poseen un conjunto de características como son durabilidad, ligereza, seguridad y una buena relación eficacia/costo. Estas propiedades los han convertido en la opción elegida por diferentes sectores industriales, como son: textiles, fabricación de instrumentos de laboratorio, componentes de automoción, elementos de construcción, entre otros. Sin embargo, entre las exigencias actuales se encuentra la necesidad de buscar un equilibrio entre esas ventajas y la protección del medio ambiente.

El problema radica cuando finaliza la vida útil de los elementos plásticos, puesto que su degradación es muy lenta y puede tardar 500 años o más. Estos desechos al flotar en los cuerpos de agua, además de causar contaminación visual, perjudican la salud del ser humano y provocan la muerte de animales por atrapamiento y ahogamiento. Al mismo tiempo, su proceso de degradación trae como consecuencia la generación de macropartículas que a pesar de ya no ser evidentes, se acumulan en los ecosistemas afectando sus ciclos naturales.

Según el artículo *5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta*, emitido por la entidad informativa BBC News, en el 2015 se registra una cifra de 8.3 millones de toneladas de plástico virgen a nivel mundial, de los cuales aproximadamente 6.3 millones son desechados. Un 9% de estos desechos es reciclado, el 12% es incinerado y el 79% es acumulado en vertederos o en entornos naturales (Mundo, 2017). En el año 2019, en República Dominicana se genera aproximadamente 264 mil toneladas de residuos plásticos y se recicla menos del 8%, afirma Amílcar Nivar en un artículo redactado para Diario Libre. Si se mantiene continua la producción y gestión de residuos de esta forma, se estima que para el 2050, la cifra a escala mundial es de 12 millones de toneladas de basura plástica en vertederos y en los ecosistemas (Nivar, 2019).

En el artículo redactado por BBC News se afirma que las botellas de bebidas, elaboradas con tereftalato de polietileno, mejor conocido por sus siglas PET o PETE, son uno de los tipos más comunes de desechos plásticos. En el año 2016, se registra una cifra de aproximadamente 480.000 millones de botellas de PET en todo el mundo, es decir, un millón de botellas por minuto; de esta cifra menos de un 50% se recolecta para su reciclaje y solo el 7% se convierte en una botella nueva (Mundo, 2017).

Como respuesta a la problemática planteada, el ser humano ha implementado diversas acciones, como son: reutilizar los desechos plásticos, reducir su consumo utilizando alternativas sostenibles y desarrollar programas de recolección y reciclaje. Sin embargo, la suma de estos esfuerzos no logra minimizar de forma significativa el porcentaje de desechos plásticos acumulados. Por dicha razón, los investigadores indagan de manera continua sobre diferentes métodos de degradación ya sea física, química o biológica, desarrollan materiales sustitutos degradables como los bioplásticos, utilizan plástico reciclado para crear elementos sostenibles con grandes mejoras en sus características, como son textiles, complementos para el hogar, elementos de construcción, entre otros. En virtud de esto, es importante dar continuidad a las investigaciones y proponer soluciones innovadoras para mitigar el impacto ambiental producido por los desechos plásticos.

El presente trabajo de grado abarca la formulación de una mezcla de concreto con fibras de PET reciclado, conforme a los requisitos establecidos para la construcción de viviendas económicas. Esta investigación cuenta con una estructura de nueve capítulos que conforman un marco teórico y un marco metodológico donde se describen las características del plástico utilizado, el diseño y desarrollo del concreto, los resultados de las pruebas de laboratorio realizados, y la resistencia mecánica y térmica que el tereftalato de polietileno confiere al hormigón. Se presentan las conclusiones y recomendaciones y en la última parte se encuentran las referencias y anexos.

## **OBJETIVOS**

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Formular una mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una mezcla de concreto con fibras de tereftalato de polietileno reciclado que cumpla con la resistencia a la compresión establecida para elementos de construcción de viviendas económicas.
- Realizar una comparación entre una mezcla de concreto tradicional y la mezcla formulada con fibras de tereftalato de polietileno reciclado.
- Comparar la resistencia a la compresión de hormigones con diferentes proporciones de fibras de tereftalato de polietileno reciclado.
- Evaluar el comportamiento de la mezcla de concreto diseñado con fibras de tereftalato de polietileno reciclado frente a altas temperaturas.

## **JUSTIFICACIÓN**

## **JUSTIFICACIÓN**

Los envases hechos con tereftalato de polietileno constituyen uno de los elementos reciclables más usados en todo el mundo, principalmente en la industria alimentaria. Cada vez son más los productos envasados en este material gracias a sus cualidades de manejabilidad, transparencia, conservación, resistencia, economía, ligereza e impermeabilidad. Sin embargo, hay una problemática alrededor de este material, además de su lenta degradación, tiene una alta demanda y producción en comparación a la velocidad de reciclado, lo que incrementa el impacto ambiental al acumularse en vertederos y los ecosistemas.

Con este estudio, se busca diseñar una mezcla de concreto con fibras de tereftalato de polietileno reciclado para aportar a la implementación del modelo de economía circular, el cual consiste en gestionar los residuos para reducir al mínimo su generación. Es por eso necesario desarrollar un producto que garantice la obtención de las ventajas del concreto tradicional como son: resistencia, seguridad y estabilidad; y, a su vez, ayude a reducir el impacto ambiental producido por la acumulación de los residuos plásticos en los ecosistemas, ayudando a mejorar la contaminación visual, contribuir con la preservación de especies animales en peligro de extinción, y así evitar alteraciones irreversibles a los ecosistemas.

Por otro lado, en el informe Panorama Social de América Latina 2019 de la Comisión Económica para América Latina se establece que la tasa de pobreza extrema de República Dominicana está entre el 5% y el 10%. Esta investigación tiene como objetivo proporcionar un material de construcción económico para la fabricación de viviendas simples de interés social.

La República Dominicana es conocida como uno de los principales destinos turísticos del Caribe. Este sector en comparación a los demás, presenta en el país una ventaja propia e inherente, la cual se basa en generar un impacto económico más avanzado, en comparación

con las demás ramas de la producción económica. Como resultado, esta propuesta busca mejorar notablemente la imagen del país, enriqueciendo el sector turístico.

**ALCANCE**

## ALCANCE

Formulación de una mezcla de concreto con un contenido de 1.8, 2.5 y 3.2 kg de fibras de tereftalato de polietileno reciclado/m<sup>3</sup> de concreto con una resistencia a la compresión requerida de 280 kg/cm<sup>2</sup>, destinada para elaborar elementos de construcción de viviendas económicas utilizando botellas de bebidas recolectadas en el sector Lucerna, de Santo Domingo Este.

**PRIMERA PARTE**  
**MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DEL PLÁSTICO**

Los plásticos son materiales formados principalmente por polímeros, tales como: naturales, aquellos productos de la naturaleza que pueden ser moldeados mediante calor; semi sintéticos, aquéllos que derivan de productos naturales y que han sido modificados o alterados mediante la mezcla con otros materiales; o sintéticos, aquéllos derivados de alterar la estructura molecular de materiales a base de carbono, como petróleo crudo, carbón o gas. Estos polímeros junto a los aditivos apropiados, ofrecen insumos con las características deseadas por los diferentes sectores industriales (Góngora, 2014).

### **I.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PLÁSTICO**

La industria de las materias plásticas ha tenido un gran desarrollo, de manera tal que ha superado a la industria del acero. El plástico se ha ido incorporando a todas las sociedades tanto industrializadas como agrícolas. Desde la antigüedad, los polímeros se han utilizado como complementos en la vida cotidiana de los seres humanos.

Según Sergio García (2009), en su artículo “Referencias históricas y evolución de los plásticos, antes del descubrimiento de los polímeros”, el hombre cuenta con piedras, maderas o metales para la realización de sus herramientas, útiles y objetos de uso cotidiano. Llegado un punto de la historia, las propiedades que ofrecen estos materiales, dejan de satisfacer todas las demandas existentes, así que el hombre comienza a aplicar los polímeros naturales como el ámbar, el asta natural, la goma laca y la gutapercha, para suplir estas carencias.

Después de los polímeros naturales, surgen los primeros pasos hacia el estireno. En el año 1786, se encuentran los primeros indicios del poliestireno y las resinas de poliéster. Durante el siglo XIX, se descubre el caucho, la caseína, la ebonita y el celuloide, materiales considerados como los antecesores de los plásticos modernos. (García, 2009)

En su escrito García S. (2009) redacta que el plástico sintético es el gran invento del siglo XX. El primer polímero completamente sintético es la bakelita, que se fabrica por primera vez en 1909. En 1915, se descubre la formación de polímeros por el encadenamiento molecular de dos o más monómeros de diferente naturaleza, lo que recibe el nombre de polimerización. Durante el año 1928, se descubre la poliamida, cuyo nombre comercial es el Nylon. Para el año 1930, se consigue el desarrollo industrial de los polímeros más importantes de la actualidad como el policloruro de vinilo, el poliestireno, las poliolefinas y el polimetacrilato de metilo. En 1938, nace el politetrafluoretileno cuyo nombre comercial es Teflón.

Durante la Segunda Guerra Mundial, se descubren los elastómeros sintéticos para suplir la falta de caucho natural, de aquí nace el neopreno para fabricar neumáticos de aviones y vehículos militares. Surgen nuevos polímeros como el polipropileno y los poliuretanos, se desarrollan las aplicaciones de las siliconas y las resinas epóxicas que se emplean como adhesivos (García, 2009).

A partir de la segunda mitad del siglo XX, las investigaciones se centran en el descubrimiento de nuevos modos de síntesis de polímeros, en la modificación superficial de los nuevos polímeros para favorecer la biocompatibilidad con el cuerpo humano, aparecen los polímeros conductores y los termocromáticos, nacen nuevas fibras y filamentos a partir de una gran variedad de polímeros, y emergen elastómeros híbridos constituidos por gomas naturales y sintéticas. (García, 2009)

## I.2 COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS

En el informe “Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais” – “Plásticos: características, usos, producción e impacto ambiental”- redactado por Reinaldo Ferreira y Tania Piatti (2005), se establece que el petróleo está formado por una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos. A través del proceso de destilación fraccionada del petróleo crudo se obtienen varios compuestos como se muestra en la figura 1, estos son: gas licuado, nafta, gasolina, queroseno, gasoil, grasas parafinicas, aceites lubricantes y brea. La fracción de la que se obtienen los monómeros es la nafta, que se somete a un proceso de craqueo térmico para dar lugar a varias sustancias, incluyendo etileno, propileno, butadieno, buteno e isobutileno, llamadas petroquímicos básicos.

Los petroquímicos básicos se transforman mediante reacciones de polimerización en petroquímicos finos. La polimerización se basa en la unión de moléculas pequeñas, llamadas monómeros, para formar macromoléculas. Dependiendo de los monómeros y las condiciones de reacción utilizadas, se puede obtener una gran variedad de resinas plásticas con propiedades específicas, tales como: polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo, entre otros. (Ferreira & Piatti, 2005)

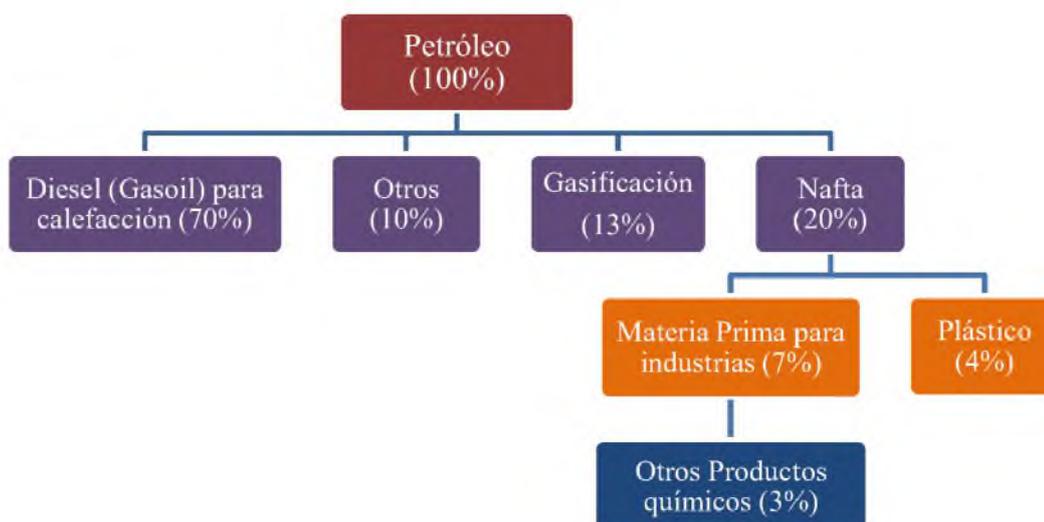


Fig. 1. Productos obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo crudo.

Fuente: Ferreira, R., & Piatti, T. M. (2005). “Plásticos: características, usos, producción e impactos ambientales”.

Las resinas plásticas se modifican químicamente, se transforman y/o se mezclan con otras sustancias que les pueden dar nuevas propiedades, siendo posible cambiar color, olor, elasticidad, resistencia al impacto, resistencia al calor y a la luz, dando lugar a diversos usos y aplicaciones. Beltrán, M. expone que estas sustancias llamadas aditivos son materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar a su estructura molecular. Por tanto, quedan excluidas sustancias tales como catalizadores, reticulantes, entre otros. Los aditivos se clasifican según su función y no en relación con su constitución química según se muestra en la Tabla 1 (Ferreira & Piatti, 2005).

**TABLA 1**

**ADITIVOS DE PLASTICOS Y SUS FUNCIONES**

<b>Función del aditivo</b>	<b>Tipo de aditivo</b>
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costes de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizantes Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

Fuente: Beltrán, M. (2011) "Tipos de plásticos, aditivación y mezclado".

Los plásticos poseen un conjunto de características conferidas por los compuestos químicos incorporados en su elaboración, que los hacen deseables para su implementación en diferentes industrias por su facilidad de uso, economía y practicidad. Estas propiedades se dividen en dos grupos: mecánicas y químicas.

Entre de las propiedades mecánicas del plástico se destacan: baja densidad, alta resistencia al impacto y a la tracción, baja conductividad eléctrica y térmica, buen aislante acústico, alto grado de tenacidad, rigidez, ligereza, flexibilidad y maleabilidad. Estas cualidades están determinadas por las propiedades químicas inherente de cada tipo de plástico. Dentro de estas características se encuentran: alta resistencia al ataque químico de ácidos, bases, oxígeno y otros disolventes químicos que alteran algunos materiales, elevada combustibilidad, alta estabilidad térmica, buena permeabilidad a los gases como O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, adherencia, entre otras (Elias & Jurado, 2012).

### **I.3 TIPOS DE LOS PLÁSTICOS**

Según el artículo “Datos sobre la Producción del Plástico” (2018), el mercado está dominado por cinco tipos de plásticos: polietileno de baja y alta densidad, tereftalato de polietileno, polipropileno y cloruro de polivinilo. Los diferentes tipos de plásticos son identificados por el Código de Identificación de Resinas de Plásticos (GreenPeace).

El Código de Identificación de Resinas de Plásticos es un sistema que ayuda a separar los plásticos según su tipo, para fines de reciclaje. Los plásticos reciclables se identifican utilizando el triángulo de Möbius conteniendo en su interior un número del 1 al 7, acompañado de la abreviatura que representa el material utilizado para la elaboración de dicho producto. En la Tabla 2. Se exponen las principales características y aplicaciones de los plásticos que se reciclan acompañados de su código de identificación universalmente aceptado (Alarcón, 2019).

**TABLA 2**

**CARACTERÍSTICAS, APLICACIONES E IDENTIFICACIÓN DE TIPOS DE PLÁSTICOS**

Código de Reciclado	Propiedades	Aplicaciones
 <p><b>PETE</b></p>	<p>Polietileno tereftalato (PET):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Transparencia.</li> <li>✓ Buena barrera al gas y la humedad.</li> <li>✓ Dureza.</li> <li>✓ Resistencia al calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fibras.</li> <li>○ Poliéster.</li> <li>○ Flejes.</li> <li>○ Láminas para termo formados.</li> <li>○ Madera plástica</li> <li>○ Aditivos para pavimentos.</li> </ul>
 <p><b>HDPE</b></p>	<p>Polietileno de alta densidad (HDPE):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Rigidez.</li> <li>✓ Resistencia al ataque químico y a la humedad.</li> <li>✓ Permeabilidad al gas.</li> <li>✓ Facilidad de procesado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Botellas de detergente o de aceite para motor.</li> <li>○ Puede ser reciclado en macetas.</li> <li>○ Cestos de basura.</li> <li>○ Conos para señales viales.</li> </ul>
 <p><b>V</b></p>	<p>Cloruro de polivinilo (PCV):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Excelente resistencia al ataque químico, a la exposición solar y la intemperie.</li> <li>✓ Gran resistencia mecánica.</li> <li>✓ Transparencia.</li> <li>✓ Facilidad de mezclado con otros componentes.</li> <li>✓ Rígido en función de las aplicaciones a que se destina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Botellas de champú o de aceite para cocina.</li> <li>○ En artículos de servicio para comida rápida, etc.</li> <li>○ Puede ser reciclado en tubos de drenaje e irrigación.</li> </ul>
 <p><b>LDPE</b></p>	<p>Polietileno de baja densidad (LDPE):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Químicamente similar al HDPE pero menos denso y más flexible.</li> <li>✓ Resistencia.</li> <li>✓ Transparencia media.</li> <li>✓ Flexibilidad.</li> <li>✓ Barrera a la humedad.</li> <li>✓ Facilidad de procesado y sellado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bolsas de supermercado.</li> <li>○ Bolsas de pan.</li> <li>○ Plástico para envolver.</li> <li>○ Parte superior de los tubos de margarina, etc.</li> </ul>
 <p><b>PP</b></p>	<p>Polipropileno (PP):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Buena resistencia química.</li> <li>✓ Alto punto de fusión y por tanto resistencia al calor.</li> <li>✓ Dureza y resistencia.</li> <li>✓ Barrera a la humedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Recipientes para yogurt.</li> <li>○ Sorbetes</li> <li>○ Botellas de miel.</li> <li>○ Tapas de botella.</li> <li>○ Puede ser reciclado en viguetas de plástico, baterías para autos.</li> </ul>

	<p>Poliestireno (PS):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Puede ser rígido o expandido (EPS).</li> <li>✓ Gran transparencia.</li> <li>✓ Propiedades aislantes y facilidad de procesado.</li> <li>✓ Versátil, con punto de fusión relativamente bajo y frágil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tazas desechables para bebidas calientes.</li> <li>○ Materiales de empaquetado.</li> <li>○ Bandejas de carne.</li> <li>○ Puede ser reciclado en viguetas de plástico.</li> <li>○ Cajas de cintas para casetes.</li> </ul>
	<p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Materiales complicados para reciclar.</li> <li>✓ Utilizado en mezclas complejas o compuestos en los que los materiales anteriores no son claramente predominantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fabricación de DVD.</li> <li>○ En la industria óptica.</li> </ul>

Fuente: Gaggino, R. (2006). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción.

#### I.4 TEREFTALATO DE POLIETILENO

El PET es un polímero termoplástico producido por la polimerización de ácido tereftálico y etilenglicol. Su uso masivo en diferentes sectores industriales se debe a las facilidades que ofrece para el envasado y el embalaje, por la variedad de formas y colores en que se puede procesar, las ventajas de su bajo peso y sus características físicas, mecánicas, térmicas y la resistencia química mostradas en la tabla 3 (Elias & Jurado, 2012).

**TABLA 3**

**PROPIEDADES DEL PET**

<b>Propiedades físicas</b>	
Absorción de agua - Equilibrio (%)	< 0,7
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,3 - 1,4
índice refractivo	1,58 - 1,64
Inflamabilidad	Auto extingüible
Resistencia a los ultravioletas	Buena
<b>Propiedades mecánicas</b>	
Coefficiente de fricción	0,2 - 0,4
Dureza – Rockwell	M94 - 101
Resistencia a la tracción (MPa)	190 - 160
Resistencia al impacto (J/m)	13 - 35
<b>Propiedades térmicas</b>	
Calor específico (KJ/Kg.K)	1,2 - 1,35
Coefficiente de expansión térmica ( $\times 10^{-6} K^{-1}$ )	20 – 80
Conductividad térmica (W/m.K)	0,15 - 0,4
Temperatura máxima de utilización (°C)	115 - 170
Temperatura mínima de utilización (°C)	-40 a -60
<b>Resistencia química</b>	
Ácidos concentrados	Buena
Álcalis	Mala
Alcoholes	Buena
Grasas y aceites	Buena
Halógenos	Buena
Hidrocarburos aromáticos	Aceptable

Fuente: Hachi, J., & Rodríguez, J. (2010). “Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil”.

## **CAPÍTULO II CONCRETO**

El concreto es la combinación de proporciones de arena, grava, roca triturada u otros agregados, unidos por medio de una pasta de cemento y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, durabilidad, fluidez o tiempo de fraguado. Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y al fuego, lo que lo convierte en el material estructural más seguro para construcciones (McCormac & Brown, 2017).

### **II.1 TIPOS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO**

El proceso de elaboración, colocación y secado, el concreto presenta dos estados fundamentales: el estado fresco en el que admite ser manipulado para su adaptación a ser transportado, colocado y vibrado para su apropiada consolidación y terminar sin segregación alguna, y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación (Martínez, 2015).

El concreto fresco es el producto inmediato del mezclado homogéneo de sus componentes sólidos, líquidos y gaseosos. La pasta aglutinante es producto de la lubricación de las partículas de cemento y de los áridos tras la adsorción de agua, luego esta pasta se vuelve cementante debido a las reacciones electroquímicas del agua y el cemento, que se llevan a cabo al iniciar el fraguado. Las propiedades fundamentales de este estado del concreto son las siguientes: trabajabilidad o docilidad, consistencia, homogeneidad y exudación. (Martínez, 2015)

El carácter de concreto endurecido se adquiere a partir del final del fraguado. Durante este estado, el concreto desarrolla también una serie de propiedades, en gran medida

dependientes de su comportamiento durante la primera fase como concreto fresco. Las propiedades durante esta etapa final son: durabilidad, densidad, compactación, permeabilidad, dureza y retracción. (Martínez, 2015)

De acuerdo a Carrillo et al (2012), en el artículo “Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo”, existen diferentes tipos de concretos según el proyecto en que será utilizado ya que difieren en ciertas características, como el peso. Dentro de estos tipos de concretos están: concreto compactable, de peso ligero, armado, reforzado, Fast-Track, polimerizado, rodillado, pesado, liviano, ciclópeo y simple.

## **II.2 AGREGADOS**

Los agregados son compuestos de materiales geológicos, tales como: la piedra, la grava y la arena, que se emplean en todas las mezclas de concreto para diferentes tipos de construcción; representan aproximadamente  $\frac{3}{4}$  partes del volumen total de la mezcla, ejerciendo una importante influencia en las cualidades del concreto fresco y endurecido. Según su tamaño, se pueden clasificar en agregados finos, usualmente arena, y en agregados gruesos, frecuentemente grava, gravilla o piedra triturada. Los agregados finos son aquellos que pasan la malla No. 4, cuyos alambres están separados a  $\frac{1}{4}$ ” entre sí en ambas direcciones. El material de mayor tamaño es agregado grueso (McCormac & Brown, 2017).

### **II.2.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

Los agregados poseen características físicas que pueden afectar positiva y negativamente a la mezcla de concreto. Estos deben cumplir con ciertas condiciones de humedad para ser analizados y determinar la proporción adecuada en la mezcla.

### **II.2.1.1 PESO UNITARIO**

El peso unitario o peso volumétrico del agregado, ya sea suelto o compactado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, expresado en kilos por metro cúbico del material. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificarse el concreto por volumen (Rodríguez, 2008).

El peso unitario de los agregados varía con el contenido de humedad. En el agregado grueso, incrementos en el contenido de humedad incrementan el peso unitario. En el agregado fino, incrementos más allá de la condición de saturado superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario debido a que la película superficial de agua origina que las partículas estén juntas facilitando la compactación con incremento en el volumen y disminución del peso unitario. (Rodríguez, 2008)

### **II.2.1.2 PESO ESPECÍFICO**

El peso específico de los agregados se define como la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario del material y a la masa del mismo volumen de agua destilada. Rodríguez (2008) establece que “el peso específico es un indicador de calidad” debido a que los valores elevados de esta propiedad corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que los resultados bajos generalmente corresponden a agregados absorbentes y débiles.

## **II.3 AGUA**

De acuerdo a Kosmatka, S et al (2004), en su libro Diseño y control de Mezclas de Concreto, cualquier agua natural que sea potable y no presente sabor, olor, color, partículas en suspensión o materias orgánicas como azúcar, grasas o algas, se puede utilizar para la

preparación del concreto. Como establece Martínez, B. en su tesis, el agua presente en esta mezcla reacciona químicamente con el cemento para lograr la formación de la pasta aglutinante y permitir que adquiera las propiedades que, en estado fresco faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma y, en estado endurecido la conviertan en un producto con propiedades y características deseadas (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

## **II.4 CEMENTO**

Kosmatka, S et al definen como cemento a los materiales pulverizados que con una adición conveniente de agua forman una pasta cementante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire libre y formar compuestos estables. La norma ASTM C 150 designa ocho tipos de cementos portland normal, cuya fabricación está formada por requisitos específicos, estos son: Tipo I de uso general, donde no se requiere propiedades especiales; Tipo II de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación; Tipo III de desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación, especiales para uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicios de las estructuras o para uso en climas fríos; Tipo IV de bajo calor de hidratación, recomendables para concretos masivos; Tipo V recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos.

## **II.5 ADITIVOS**

Según Herrera, P. & Vargas, H. (2018), los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que se adicionan a la mezcla antes o durante el mezclado con el objeto de modificar, acentuar o conferir alguna propiedad en específico, de forma temporal o permanente durante su estado fresco o endurecido. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, la figura 2 muestra algunos de los aditivos más comunes utilizados en la elaboración de concreto, así como también las propiedades que les confieren al concreto.

Las razones principales para el uso de aditivos son: reducir los costos de la elaboración de concreto; obtener de ciertas propiedades más efectivas que otras; mantener la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado y curado en condiciones de clima adverso. La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

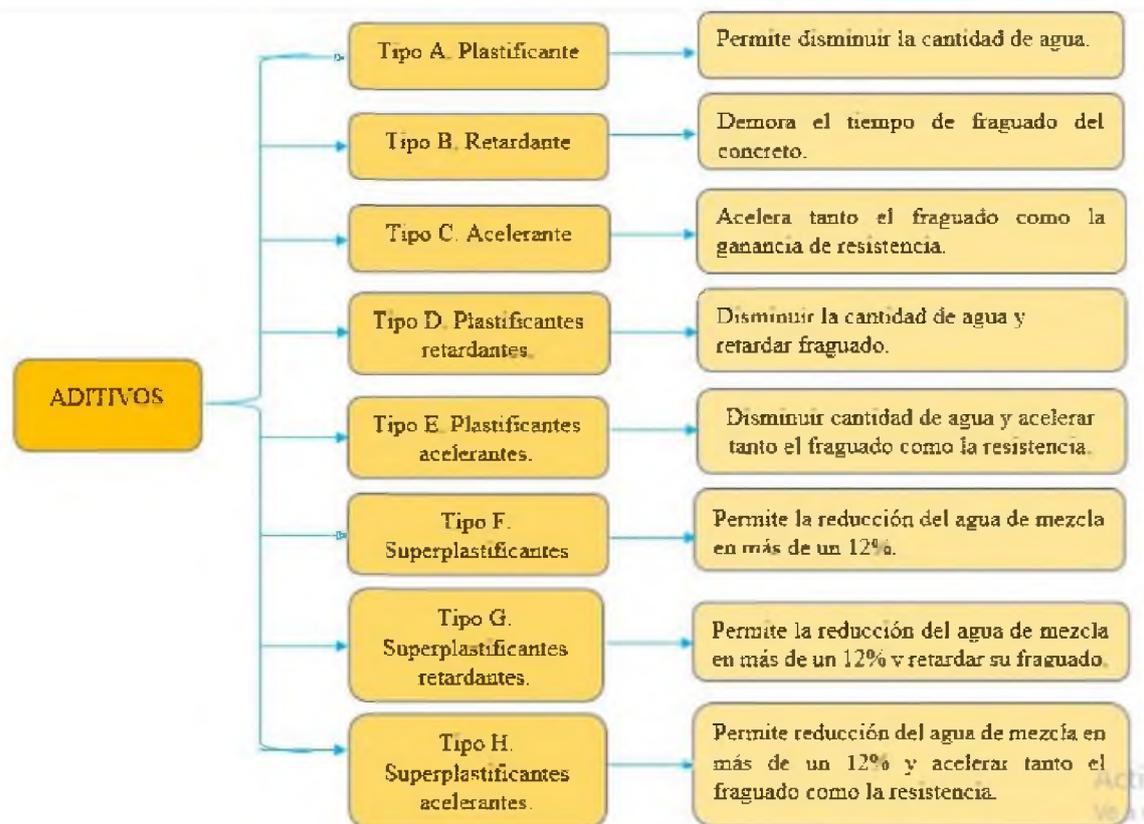


Fig. 2 Tipos de aditivos y sus funciones.

Fuente: Herrera, P., & Vargas, H. (2018) "Optimización de mezclas de concreto mediante la aplicación del método Walker y la introducción de un aditivo experimental".

## II.6 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Las fibras son elementos de determinada longitud y de forma variada, que aportan resistencia a la matriz cementante, aumentan la resistencia a la tensión y brindan una mayor capacidad de elasticidad. Existen dos tipos de fibras: microfibras normalmente son de plástico, sintéticas, nylon, que ayudan a reducir la segregación y fisuración del concreto fresco, tienen una longitud máxima de 50 mm; y las macrofibras, generalmente son metálicas, sintéticas o naturales, las cuales se utilizan como refuerzo incrementando la tenacidad del concreto. (Flores, 2014)

En el informe Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas de Karen Caballero (2017), se establece que las fibras de acero forman un puente entre los agregados gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, después de iniciadas; mejoran la resistencia a tracción, flexión y corte; y proporcionan una capacidad adicional de resistencia.

Las primeras aplicaciones del concreto reforzado con fibras de plástico y de acero son en pisos industriales; sin embargo, por los beneficios que aportan al concreto, su uso se ha extendido hasta en obras subterráneas, como minas u construcciones civiles. La propiedad más importante que las fibras le confieren al concreto endurecido es la absorción de energía después de una fisura o agrietamiento, ya que estas empiezan a trabajar por el incremento de la tenacidad; mientras que en el hormigón fresco controla la contracción plástica. (Aire & Aguilar, 2021)

Mendoza, C. et al (2011), en su investigación Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido, exponen que el alto porcentaje de fibras en el hormigón tiene efectos negativos en la resistencia a la compresión, aunque incrementa la resistencia a la flexión. Es por esto que durante los últimos años se han realizado estudios sobre el porcentaje óptimo de microfibras en el concreto, dando como

resultado porcentaje menores a 2% del peso del cemento, usualmente se utiliza entre un 0.1% y 0.7% en pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, revestimiento de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas, entre otras.

## II.7 RESISTENCIA TÉRMICA DEL CONCRETO

La resistencia al fuego y las propiedades térmicas del concreto dependen de la composición y peso de los agregados utilizados. Como se muestra en la figura 3, los agregados ligeros y calcáreos tienen un mejor comportamiento bajo la exposición al fuego, que los agregados de peso normal y que contienen cuarzo o agregados silíceos, debido a sus propiedades aislantes y su estabilidad en temperaturas elevadas. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

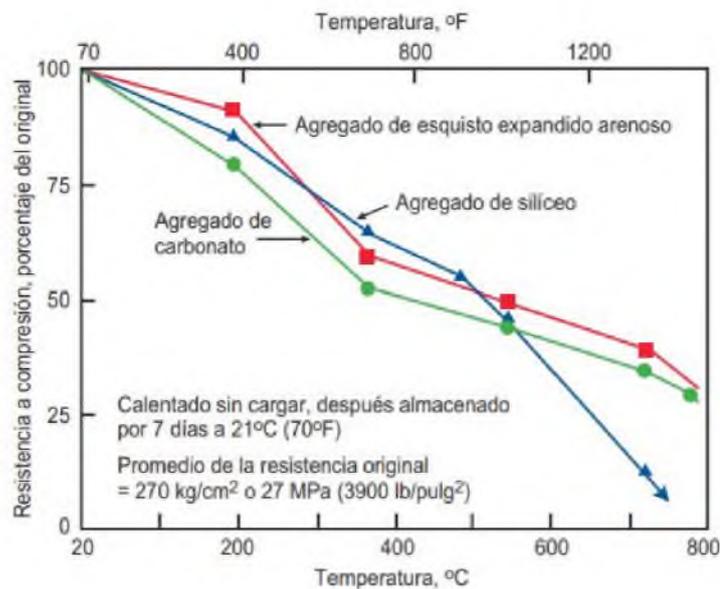


Fig. 3 Efecto de temperaturas elevadas sobre la resistencia a compresión de concretos con varios tipos de agregados.

Fuente: Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: (2004) Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU.

La expansión y la contracción térmica del concreto varían con factores tales como el tipo de agregado, el contenido de cemento, la relación agua-cemento, la variación de la temperatura, la edad del concreto y la humedad relativa. El concreto se expande con el aumento de la temperatura y se contrae a medida que ésta disminuye, aunque se puede expandir levemente cuando el agua libre en el concreto se congela. Los cambios de temperatura se pueden causar por condiciones ambientales o por la hidratación del cemento. Estos cambios resultan en contracciones pueden fisurar los elementos de concreto que son altamente restringidos por otra parte de la estructura o por fricción con el terreno. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

## **CAPÍTULO III DISEÑO DE MEZCLA**

Para determinar las proporciones adecuadas en una mezcla de concreto funcional se debe realizar un diseño de mezcla, tomando en cuenta: el comportamiento y propiedades físicas de los agregados, la relación agua/cemento, contenido de aire, cantidad de aditivo y adiciones.

El Instituto Americano de Concreto establece los pasos a seguir para la obtención de una mezcla acorde a las especificaciones deseadas, para luego ser llevadas a cabo y determinar si se cumplieron correctamente, de lo contrario, el diseño debe ser modificado tomando en cuenta: los costos, resistencia deseada, entre otros.

### **III.1 PROCESO DE DISEÑO DE MEZCLA**

El primer paso para el diseño de una mezcla de hormigón es seleccionar la relación agua-materiales cementantes adecuada para la durabilidad y resistencia compresiva o flexional necesaria. Dentro del rango normal de resistencias utilizadas en el hormigón, la resistencia a la compresión está inversamente relacionada a la relación agua-cemento. La relación de agua-cemento requerida depende de las condiciones de exposición del concreto. La tabla 4 muestra los requisitos de proporción de agua-cemento para diversas condiciones de exposición (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

**TABLA 4**

**RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-MATERIALES CEMENTANTES SEGÚN LAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN DEL CONCRETO**

<b>Condiciones de exposición</b>	<b>Relación máxima agua-cemento</b>	<b>Resistencia mínima diseñada, <math>f'_c</math>, kgf/cm<sup>2</sup></b>
Hormigón protegido de la exposición a la congelación y descongelación, la aplicación de productos químicos anticongelantes o sustancias agresivas.	Seleccione la relación agua-material cementoso en función de la resistencia, la trabajabilidad y las necesidades de acabado.	Seleccione la resistencia según los requisitos estructurales.
Hormigón destinado a tener baja permeabilidad cuando se expone al agua.	0.50	285.5
Concreto expuesto a congelación y descongelar en condiciones húmedas o descongelantes.	0.45	316.1
Para protección contra la corrosión para hormigón reforzado expuesto a cloruros de sales de deshielo, agua salada, agua salobre, agua de mar, o rocío de estas fuentes.	0.40	356.9

Fuente: Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, j. (2004). "Diseño y Control de Mezclas de Concreto".

La resistencia del aglutinante de pasta cementosa en concreto depende de la calidad y cantidad de los componentes de la pasta que reaccionan y en el grado en que la reacción de hidratación ha progresado. La norma ACI 318 requiere que la resistencia a la compresión especificada,  $f'_c$ , sea de mínimo 2500 psi, equivalentes a 175.8 kgf/cm<sup>2</sup>. Ninguna prueba individual puede ser más de 500 psi, o 35.2 kgf/cm<sup>2</sup>, por debajo de la resistencia especificada.

La resistencia media a la compresión,  $f'_{cr}$ , es la fuerza utilizada para el diseño de la mezcla, la cual puede variar como medida de seguridad, para prevenir variaciones producto de diferencias en el método de: mezclado, transporte, colocación de concreto, variación en el

proceso de preparación, curado y prueba de los cilindros de concreto. A los 28 días se espera que sea igual o supere la resistencia a la compresión especificada,  $f'_c$ .

La proporción de materiales cementantes puede resultar de: en primer lugar, cambios en el tamaño de los agregados, la clasificación, la textura de la superficie, la forma, fuerza y rigidez; segundo, diferencias en tipos y fuentes de materiales cementantes; tercero, contenido de aire incorporado; cuarto, la presencia de aditivos; y, quinto, la duración del tiempo de curado. La Tabla 5 se puede utilizar para seleccionar una relación agua-materiales cementosos con respecto a la resistencia promedio requerida,  $f'_c$ , para mezclas de prueba cuando no se dispone de otros datos.

**TABLA 5**  
**RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PROPORCIÓN AGUA-CEMENTO**

Resistencia a la compresión a los 28 días, kgf/cm <sup>2</sup>	Relación agua-material cementoso	
	Hormigón sin aire incorporado	Hormigón con aire incorporado
490	0.33	-
420	0.41	0.32
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, j. (2004). "Diseño y Control de Mezclas de Concreto".

El hormigón siempre debe fabricarse con una trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas para las condiciones de trabajo. La trabajabilidad es una medida de lo fácil o difícil que es colocar, consolidar y terminar el concreto. La consistencia es la habilidad de hormigón

recién mezclado para fluir. La plasticidad determina facilidad de moldeado del hormigón. Se puede considerar que las mezclas líquidas y acuosas tienen plasticidad.

La prueba de asentamiento se utiliza para medir la consistencia del hormigón. Para una determinada proporción de cemento y áridos sin aditivos, cuanto mayor es la depresión, más húmeda es la mezcla. La depresión suele estar indicada como un rango, como 50 a 100 mm o como valor máximo que no debe superarse. Cuando la depresión no es especificada, se puede seleccionar un valor aproximado de la Tabla 6 para hormigón consolidado por vibración mecánica.

**TABLA 6**

**RANGO DE ASENTAMIENTO SEGÚN USO DE CONCRETO**

Construcción de hormigón	Asentamiento, mm	
	Máximo	Mínimo
Fundación reforzada muros y zapatas	75	25
Zapatas lisas, cajones y paredes de la subestructura	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas de construcción	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Hormigón en masa	75	25

Fuente: Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, j. (2004). “Diseño y Control de Mezclas de Concreto”.

El contenido de agua del hormigón está influenciado por una serie de factores: tamaño, forma y textura de agregado, asentamiento, relación agua-materiales cementantes, contenido de aire, tipo y contenido de materiales cementantes, aditivos y condiciones ambientales. El contenido de agua aproximado en la tabla 7 que se utiliza para dosificar, son para agregados

gruesos angulares. Para agregado grueso subángular, las estimaciones de agua en la tabla 7 pueden ser reducidas aproximadamente 10 kg, 20 kg para grava con algunas partículas trituradas y 25 kg para gravas redondeadas para producir los asentamientos mostrados.

**TABLA 7**

**VOLUMEN UNITARIO DE AGUA DE ACUERDO AL ASENTAMIENTO**

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Asentamiento	Agua en l/m <sup>3</sup> para los tamaños Max. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
1"=25mm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1 a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1 a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7"	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente: Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, j. (2004). "Diseño y Control de Mezclas de Concreto".

El contenido de materiales cementantes generalmente se determina a partir de la relación agua-materiales cementantes, A/MC, seleccionada y el contenido de agua, aunque con frecuencia se requiere un contenido mínimo de cemento incluido en las especificaciones además de una proporción máxima de agua y materiales cementantes. Los requisitos mínimos de contenido de cemento sirven para asegurar una durabilidad, trabajabilidad, terminabilidad, resistencia a la abrasión y durabilidad en trabajos de explanación; la cantidad de materiales cementantes a utilizar no debe ser menor que se muestra en la tabla 8.

**TABLA 8****PROPORCIÓN MÍNIMA DE MATERIAL CEMENTANTE DE ACUERDO AL  
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO**

<b>Tamaño máximo nominal de agregado, mm (pulg.)</b>	<b>Material cementante, Kg/m<sup>3</sup></b>
37.5 (1 ½)	280
25 (1)	310
19 (¾)	320
12.5 (½)	350
9.5 (¾)	360

Fuente: Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, j. (2004). "Diseño y Control de Mezclas de Concreto".

Para obtener economía, la dosificación debe minimizar la cantidad de cemento necesaria sin sacrificar la calidad del hormigón. Dado que la calidad depende principalmente de la relación de agua y materiales cementantes, el contenido de agua debe ser mantenido al mínimo para reducir el requisito de cemento. Los pasos para minimizar los requisitos de agua y cemento incluyen uso de: la mezcla práctica más rígida, el tamaño máximo práctico más grande de agregado, y la óptima relación de agregado fino a grueso.

Se agregan aditivos reductores de agua al concreto para reducir la relación agua-materiales cementantes, reducir el contenido de materiales, reducir el contenido de agua, reducir el contenido de pasta o mejorar la trabajabilidad de un hormigón sin cambiar la relación agua-materiales cementantes. El agua contenida en los aditivos debe considerarse parte del agua de mezcla, si el contenido de agua del aditivo es suficiente para afectar la relación agua-materiales cementantes en 0.01 o más. Los reductores suelen reducir el contenido de agua entre un 5% y un 10%. Los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua entre 12% y 30%.

Las características de los áridos tienen una influencia importante en la dosificación de las mezclas de hormigón porque afecta la trabajabilidad y ubicación del hormigón fresco. Estas son: tamaño, distribución de partículas, forma, porosidad y textura superficial. El tamaño máximo de agregado que se puede utilizar depende de factores como el tamaño y forma del elemento de hormigón que se va a moldear, la cantidad y distribución de acero de refuerzo en el miembro, y el espesor de las losas. El volumen total de agregado grueso se puede determinar a partir de la tabla 9 para producir hormigón con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones generales de hormigón armado. Para hormigón menos trabajable pueden ser aumentados alrededor del 10%; para un hormigón más trabajable puede reducirse hasta un 10%.

**TABLA 9**

**VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO EN EL CONCRETO**

<b>Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b)</b>					
<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>		<b>Módulo de finura de la arena</b>			
mm	Pulg	2.4	2.6	2.8	3.0
9.51	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	½	0.59	0.57	0.55	0.53
19	3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 ½	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3	0.82	0.8	0.78	0.75
152	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, j. (2004). "Diseño y Control de Mezclas de Concreto".

En este punto, las cantidades de todos los ingredientes se conocen, excepto el agregado fino. En el método de volumen absoluto, el volumen de agregado fino es determinado restando los volúmenes absolutos de los ingredientes conocidos a 1 metro cúbico de concreto.

Luego se calculan las cantidades por metro cúbico utilizando el método del volumen absoluto, el cual implica el uso de valores de densidad relativa de todos los ingredientes a calcular el volumen absoluto que ocupará cada uno en una unidad volumen de hormigón. Para simplificar los cálculos y eliminar los errores causados por variaciones en el contenido de humedad agregada, los agregados se deben pre-humedecer y luego llevar a una condición Saturado Superficialmente Seco, SSS. Se debe determinar el contenido de humedad de los agregados para corregir el peso de los lotes.

**SEGUNDA PARTE**  
**MARCO METODOLÓGICO**

## **CAPÍTULO IV METODOLOGÍA**

La presente investigación es de tipo experimental, ya que se observa el comportamiento de los materiales en las diferentes etapas del proceso. La evaluación de los materiales, el diseño, elaboración y ensayos del concreto fresco y endurecido se han desarrollado en el laboratorio de suelos ILS INATEC, Industria Nacional de Tecnología SRL, institución certificada por el Instituto Americano del Concreto, ACI y cumpliendo con los estándares establecidos en las normas ASTM del concreto.

### **IV.1 RECOLECCIÓN DE PET**

La materia prima principal para la formulación de la mezcla de concreto es el PET, el mismo se puede encontrar en diferentes presentaciones; pero debido a su facilidad de manejo, peso y disponibilidad como desecho común, la forma más viable son las botellas. No obstante, para el proceso no se descartan otros desechos de este tipo de plástico, como son los envases desechables de alimentos.

Se solicitan 320 unidades de botellas a un centro de acopio, tomando en cuenta que su peso con la tapa es de 16 g aproximadamente. Las condiciones deseadas para el insumo requerido son limitadas, ya que estos no son previamente tratados. Como consecuencia, los desechos recibidos poseen cualquier tipo de materia orgánica presente en su interior o adherido a estos; A su vez, acompañados de complementos, como tapas y etiquetas, que no son involucrados en el proceso experimental.

#### **IV.1.1 TRATAMIENTO Y TRITURADO**

Para el proceso de descontaminación biológica de los residuos de PET, se adaptan las medidas de seguridad pertinentes; esto implica: el uso de guantes de nitrilo, mascarilla N95

marca 3M y lentes de protección. Posteriormente, se procede a eliminar el cuello y la base, y abrir la costura de la botella, haciendo más eficiente el proceso de lavado con agua a una temperatura de 75-90°C por un periodo no mayor a 5 minutos. Mediante una inspección visual, se determina si las botellas se encuentran libres de materia orgánica; de lo contrario se retira cualquier residuo manualmente.

Después, se designa un lugar para el proceso de secado del PET, al aire libre y temperatura ambiente, por un periodo de 24 horas. Una vez seco, se aplasta la botella y se introduce en la trituradora escogida. Como resultado, se obtienen fibras con irregularidades en longitud y grosor, que son ajustadas al tamaño deseado -4.64 cm de longitud y 0.3 cm de ancho aproximadamente- con cortes de tijera, véase figura 4.



Fig. 4. Medición de longitud aproximada de fibras de PET.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

## **IV.2 ENSAYOS DE AGREGADOS**

Antes de dar inicio a un potencial diseño de mezcla, se deben tomar en cuenta las características y el posible comportamiento de los agregados, ya que estos ocupan un porcentaje estimado del 75% en la mixtura.

### **IV.2.1 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO**

Equipos a utilizar:

- Tamices de tamaño 37.5 mm a 2.36 mm
- Canastilla de suspensión formada por una malla de alambre de 3.35 mm
- Balanza con una sensibilidad de 0.05% de la masa de la muestra
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Tanque de agua hermético
- Muestra de ensayo

En el caso del agregado grueso, se realizaron los ensayos de acuerdo a la norma ASTM C127 Densidad, densidad relativa y absorción de agregado grueso, véase anexo V. Primero, para adaptar la mezcla a los distintos elementos de construcción que se puedan utilizar, se escoge el agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 3/8 pulg. Se toma una muestra representativa de 3000 g, los cuales fueron clasificados, rechazando lo que pasa por el tamiz 4.75 mm; lavados para remover el polvo de la superficie; secados hasta masa constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; y luego de enfriados a aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$ , fueron sumergidos en agua a temperatura ambiente durante 24 horas para lograr la saturación de los poros con agua.

Se retira la muestra de ensayo del agua y se remueve con una tela absorbente hasta que la película visible de agua sea eliminada de todas las partículas. Luego, se determina la masa

de la muestra en el aire con su condición SSS, Saturado Superficialmente Seco. Se coloca la muestra en la canastilla y se determina la masa aparente de la muestra en agua a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en su estado SSS, véase figura 5; a su vez agitando las partículas en el área para que se escape todo el aire retenido.



Fig. 5. Sumersión de agregado grueso en condición SSS en agua a temperatura ambiente.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Se seca la muestra a masa constante, a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; se deja enfriar nuevamente a temperatura ambiente hasta que sea comfortable al tacto. Por último, se determina la masa de la muestra en balanza analítica con una precisión de 0.5 g.

Las fórmulas para determinar la densidad, la densidad relativa y el porcentaje de absorción del agregado grueso se muestran a continuación:

$$\text{Densidad relativa o gravedad específica: } OD = \frac{A}{B - C} \quad (1)$$

$$\text{Densidad relativa o gravedad específica, en condición SSS: } OD_{SSS} = \frac{B}{B - C} \quad (2)$$

$$\text{Densidad relativa aparente: } OD = \frac{A}{A - C} \quad (3)$$

$$\text{Densidad (OD): } OD \text{ } \frac{kg}{m^3} = 998 \frac{A}{B - C} \quad (4)$$

$$\text{Densidad, en condición SSS: } OD_{SSS} \text{ } \frac{kg}{m^3} = 998 \frac{B}{B - C} \quad (5)$$

$$\text{Densidad aparente, en condición SSS: } OD_{SSS} \text{ } \frac{kg}{m^3} = 998 \frac{A}{A - C} \quad (6)$$

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{B - A}{A} \right) \times 100 \quad (7)$$

Donde,

A = masa de la muestra de ensayo secada en horno, g.

B = masa de muestra de ensayo seca en superficie saturada, g.

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g.

#### **IV.2.2 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO**

Equipos a utilizar:

- Picnómetro
- Molde metálico que debe ser en forma de cono truncado con  $40 \pm 3$  mm de diámetro interno en la parte superior y  $90 \pm 3$  mm de diámetro interior en el fondo
- Pisón metálico que debe tener una masa de  $340 \pm 15$  gramos
- Cuchara metálica
- Balanza con una sensibilidad de 0.1 gramos o menos

- Muestra de ensayo
- Dispositivo de calor
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para el agregado fino, se efectuaron los ensayos para determinar la densidad y absorción, de acuerdo a la norma ASTM C128 Densidad, densidad relativa y absorción de agregado fino. La muestra representativa del agregado es de 500 g. que luego de ser secada muestra en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se deja enfriar hasta que sea confortable al tacto.

Se esparce la muestra sobre una superficie plana no absorbente y se rocía cierta cantidad de agua con ayuda de un atomizador, mezclando frecuentemente para obtener una humedad homogénea; se continua con esta operación hasta que las partículas de agregado fino presente ligera adherencia entre, no marcadamente, hasta alcanzar estado SSS.

Seguidamente, se realiza prueba de humedad superficial del agregado; que consiste en sujetar el molde en forma cónica firmemente en una superficie lisa no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo; colocar la porción de muestra en el molde por sobre llenado y acumular el material adicional sobre la parte superior del cono; apisonar ligeramente el agregado fino dentro del molde con 25 caídas del apisonador, cada caída debe ser de alrededor 5 mm sobre la parte superior del agregado fino; retirar el molde verticalmente, si el agregado sostiene la forma quiere decir que todavía existe humedad superficial. Cuando el agregado fino se disgregue levemente se obtendrá la condición saturado superficialmente seco, como muestra la figura X.



Fig. 6. Agregado fino en condición SSS.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Para determinar la densidad, densidad relativa y absorción de agregado fino, se utiliza en método gravimétrico; que consiste en agregar parcialmente agua al picnómetro, introducir 500 gramos de agregado en condición SSS. Después, proceder a aforar con agua. Manualmente, rolar, invertir y agitar ligeramente para eliminar las burbujas de aire; determinar la masa total del picnómetro, con la muestra más agua, y remover el agregado fino. Secar hasta masa constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y dejar enfriar a temperatura ambiente, determinar la masa del agregado seco y el peso del picnómetro con agua hasta el total de su capacidad.

Las fórmulas para determinar la densidad, la densidad relativa y el porcentaje de absorción del agregado fino se muestran a continuación:

#### **Densidad relativa para gravedad específica con secado**

$$\text{Densidad relativa OD} = \left( \frac{A}{B + S - C} \right) \quad (8)$$

### **Densidad relativa para gravedad especifica en condición SSS**

$$\text{Densidad relativa SSS} = \left( \frac{S}{B + S - C} \right) \quad (9)$$

### **Densidad relativa para gravedad especifica aparente (ASG)**

$$\text{Densidad aparente relativa ASG} = \left( \frac{A}{B + A - C} \right) \quad (10)$$

### **Densidad en secado al horno**

$$\text{Densidad OD} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 997.5 \frac{A}{B + S - C} \quad (11)$$

### **Densidad SSS**

$$\text{Densidad SSS} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 997.5 \frac{S}{B + S - C} \quad (12)$$

### **Densidad aparente**

$$\text{SSS} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 997.5 \frac{A}{B + A - C} \quad (13)$$

### **Absorción**

$$\% \text{Absorción} = 100 \left[ \frac{S - A}{A} \right] \quad (14)$$

Donde,

A= masa de la muestra secada, g

B=masa del picnómetro lleno de agua hasta el menisco, g.

C=masa del picnómetro lleno de la muestras y agua hasta el menisco, g.

S=masa en condición SSD, g.

#### IV.2.3 PESO UNITARIO Y VACIOS EN AGREGADOS

Equipos a utilizar:

- Varilla de apisonamiento con diámetro de 16 milímetros y longitud de 600 milímetros con extremos redondeados
- Cuchara metálica
- Regla metálica
- Balanza con precisión de 0.1% de la carga de ensayo
- Recipiente cilíndrico metálico hermético y provisto de agarradera
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.

El peso unitario y el porcentaje de vacíos en agregados se determinan siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma ASTM C29. Se obtiene una muestra de 500 g de agregado fino y 3000 g de agregado grueso, se deja secar hasta masa constante en horno a  $110 \pm 5$  °C.

De acuerdo al método de varillado, se llena un tercio del volumen del recipiente y se nivela la superficie con los dedos; se apisona 25 veces la capa con la varilla de apisonamiento, asegurando que los golpes estén distribuidos a lo largo de toda la superficie sin golpear el fondo.

Después, se llena la superficie 2/3 del total y se nivela la superficie; nuevamente se apisona con 25 golpes uniformemente sin penetrar la capa anterior. Finalmente, se llena el recipiente en su totalidad de manera que exista un exceso de material, se apisona la capa

nuevamente con 25 golpes sin penetrar la capa anterior, se nivela la superficie del agregado con los dedos o con una regla de tal manera que se pueda conseguir una superficie uniforme. Se determina la masa del recipiente más el contenido y la masa del recipiente vacío usando una balanza analítica.



Fig. 7. Proceso de apisonamiento de capas de agregado fino y grueso para determinar peso unitario y porcentaje de vacíos.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Las fórmulas para determinar el peso unitario y el porcentaje de vacíos de agregado fino y grueso se muestran a continuación:

**Peso unitario del agregado.**

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad (15)$$

**Peso unitario del agregado SSS.**

$$M_{SSS} = M \left[ 1 + \left( \frac{A}{100} \right) \right] \quad (16)$$

### **Contenido vacío del agregado.**

$$\% \text{voids} = 100[(S * W) - M]/(S * W) \quad (17)$$

Donde,

M= peso unitario del agregado,  $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

G =masa del agregado adicionada a lo medido, lb [kg].

T =masa medida, lb [kg].

V =volumen medido,  $\text{ft}^3$  [ $\text{m}^3$ ].

M<sub>SSS</sub>= peso unitario del agregado en condiciones SSS,  $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

A = porcentaje de absorción, %.

S =gravedad específica a granel.

W =densidad del agua,  $62.3 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$  [ $998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ].

### **IV.2.4 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS**

Equipos a utilizar:

- Balanza
- Tamices de diferentes tamaños
- Agitador mecánico de tamiz
- Horno.

Para análisis granulométrico de agregados, se toma una muestra representativa de 1600 g de agregado grueso y 500 g de agregado fino. Se organizan los tamices de forma

descendente según el tamaño de apertura y se procede a colocar la muestra en el agitador mecánico, como indica la norma ASTM C136 Metodo estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

Se seca la muestra obtenida a una temperatura de 110°C. Se seleccionan los tamices con aberturas adecuadas, para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubren el material a ensayar, y se colocan en orden decreciente de tamaño de la abertura y se coloca la muestra en el tamiz superior.

Se colocan los tamices en el agitador mecánico, como muestra la figura X, y se agitan durante un periodo de 3 minutos aproximadamente. Posteriormente, se pesa el porcentaje de muestra retenido en cada tamiz para obtener el módulo de finura de ambos agregados.



Fig. 8. Serie de tamices colocados en el agitador mecánico.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

### **IV.3 MANEJO Y ANÁLISIS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO**

Los ensayos realizados al concreto en sus diferentes estados son la base para el buen desarrollo y funcionamiento de la construcción; por ello, es necesario conocer las especificaciones establecidas para el proceso de mezclado, encofrado, fraguado y curado de la mezcla de concreto, así como también los requisitos de calidad exigidos por las normas reguladoras.

#### **IV.3.1 MUESTREO DEL CONCRETO**

Equipos de muestreo:

- Carretilla
- Cubeta, de ser necesaria
- Recogedor o pala.

Luego de realizar la mezcla de concreto se deben obtener las muestras para realizar los ensayos al hormigón fresco y el moldeado de los especímenes. El muestreo del concreto se realiza siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma ASTM C172. El tiempo transcurrido no debe excederse de 15 minutos entre la obtención de la primera y la última parte de la muestra compuesta. Se debe remezclar con una pala al tomar cada cantidad mínima necesaria para garantizar la uniformidad de la muestra.

Se realizan las pruebas de asentamiento y temperatura dentro de un plazo de 5 minutos después de obtener la parte final de la muestra compuesta. Luego de completar estas pruebas, se moldean muestras en probetas y en vigas para las pruebas de resistencia. Las muestras deben ser protegidas del sol, el viento y otras fuentes de evaporación rápida y de la contaminación.

#### **IV.3.2 ENSAYO PARA ASENTAMIENTO DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO**

Equipos a utilizar:

- Placa rectangular de dimensiones tales que pueda el hormigón fluir sobre la misma sin desparramarse hacia los lados
- Cono de Abrams de 100 y 200 milímetros de diámetro interno en la parte superior e inferior, respectivamente, y una altura de 300 milímetros, y con estribos para pisarlos y unas partes superiores para levantarlo
- Varilla de acero con punta redondeadas de diámetro de 16 milímetros  $\pm$  2 y longitud desde 400 hasta 600 milímetros
- Pala o cuchara metálica
- Regla que tenga una dimensión mínima de 300 milímetros.

Para realizar las pruebas de asentamiento o revenimientos del concreto se siguen los lineamientos establecidos en la Norma ASTM C143 Métodos de ensayo normalizado para asentamiento de hormigón de cemento hidráulico.

Para iniciar el ensayo es necesario humedecer el interior del cono y de igual manera todas las herramientas que se vayan a utilizar momentáneamente, hay que buscar una superficie plana, rígida y libre de vibraciones para asentar la base y de igual manera asentar sobre ella el cono de Abrams. Antes de iniciar el ensayo es necesario tomar en cuenta que se deben fijar los agarradores del cono para mantenerlo firme durante todo el ensayo y remezclar la masa de hormigón con la pala entre cada toma.

Se llena la primera capa aproximadamente 1/3 de su volumen, se apisona posteriormente 25 veces en todo su espesor, distribuyendo uniformemente los apisonamientos sobre la sección transversal de la capa, en los costados se debe inclinar ligeramente la varilla empezando cerca del perímetro continuando progresivamente en forma de espiral hacia el

centro, para llenar la primera capa se necesita una altura de aproximadamente 70 milímetros; para la segunda capa, se llena el molde aproximadamente 2/3 de su totalidad, se apisona la capa 25 veces en todo su espesor penetrando ligeramente la primera capa al menos 25 milímetros o una pulgada, se distribuye uniformemente los apisonamientos en toda la sección transversal de la misma, la segunda capa se llena en una altura aproximadamente de 160 milímetros; al llenar la tercera capa es necesario sobrellenar con masa de hormigón el molde o cono de Abrams, se apisona la capa 25 veces en todo su espesor penetrando ligeramente la segunda capa al menos 25 milímetros o una pulgada.

Si durante el varillado se puede evidenciar una falta de hormigón o descende el nivel por encima del borde, se debe agregar una nueva porción de hormigón y continuar con el apisonado hasta completar los 25 apisonamientos.

Después de compactar la capa, se debe enrasar la superficie con la varilla de apisonamiento en forma horizontal, limpiar el borde del molde al igual que la base para que el hormigón pueda fluir sin ninguna dificultad; en todo este proceso el molde debe permanecer firme, retirar el seguro de los agarradores y levantar el cono en un tiempo de  $5 \pm 10$  segundos. Si ocurre un claro desplome o partición del hormigón desde un lado o una porción de la masa, se desecha la prueba y se realiza una nueva en otra porción de la muestra, de no ser así medir inmediatamente el asentamiento como la distancia entre la parte superior del cono y el centro original desplazado en la parte superior de la superficie del espécimen.



Fig. 9 Prueba de asentamiento del concreto.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

#### IV.3.3 DENSIDAD Y RENDIMIENTO DEL HORMIGÓN

Equipos a utilizar:

- Contenedor cilíndrico que albergará un volumen de hormigón representativo
- Balanza cuya precisión debe ser 0.3% de la masa de ensayo
- Varilla lisa de diámetro de 16 milímetros, longitud de 400 hasta 600 milímetros y puntas redondeadas semi-esférica
- Placa de enrase que debe ser de un espesor de 6 milímetros si es metálica y 12 milímetros si es acrílica, las dimensiones deben ser 50 milímetros mayor al recipiente de ensayo
- Mazo de goma de peso de 100 gramos en recipientes de volúmenes mayores a 14 litros, en recipientes de 14 litros o volúmenes menores se utilizará un peso de 600 gramos
- Pala o cuchara.

Antes de iniciar el ensayo es necesario humedecer el recipiente y tomar el peso o la masa del mismo; ese dato es necesario registrarlo para luego incluirlo en el cálculo de la densidad. Una vez hecho esto, se humedecen todos los instrumentos que se vayan a utilizar por el momento, es necesario que el mismo se asiente en una superficie plana, rígida, firme, nivelada y libre de vibraciones, el remezclado del hormigón se realiza antes de que el mismo se coloque dentro del recipiente.

Para determinar la densidad y el rendimiento del hormigón se utilizan los lineamientos establecidos en la Norma ASTM C138 que establece que se debe llenar la primera capa aproximadamente  $1/3$  del volumen del recipiente de ensayo, varillar la capa 25 veces en todo su espesor, pero sin golpear en el fondo del recipiente; distribuir el varillado uniformemente en toda la sección transversal del recipiente, seguido golpear ligeramente la parte exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo de goma, para cerrar los huecos dejados por la varilla.

Se llena la segunda capa aproximadamente  $2/3$  de su volumen y se repite el proceso de varillado uniforme en todo su espesor, se puede penetrar la capa anterior una distancia de 25 milímetros o una pulgada, seguido se golpea ligeramente la parte exterior del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo de goma, para cerrar los huecos dejados por la varilla.

Para la tercera capa, se agrega material evitando que este se derrame, no es permitido un llenado excesivo, el exceso óptimo después de la compactación es de 3 milímetros; se repita el varillado uniforme en toda la sección, seguido se golpea ligeramente con el mazo de goma como antes descrito.

Luego, se enrasa la parte superior de la superficie de hormigón con la placa de enrasado o perfilado dejando el recipiente lleno justamente a nivel, se limpia completamente el exterior del recipiente y se determina la masa; esto nos dará el peso del conjunto recipiente más hormigón, el volumen del recipiente se determina mediante el método de colocación de agua o a su vez midiendo las dimensiones y aplicándolos en una ecuación, la diferencia entre

la masa del recipiente tomada al inicio y la masa del conjunto recipiente más hormigón será el peso neto del hormigón, que si se divide para el volumen calculado, se obtiene la densidad.

Las fórmulas para determinar la densidad y el rendimiento del concreto se muestran a continuación:

### **Densidad**

$$D = \frac{(M_c - M_m)}{V_m} \quad (18)$$

### **Rendimiento**

$$Y = \frac{M}{D} \quad (19)$$

Donde,

D = densidad o peso unitario del hormigón, lb/ft<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>

M = masa total de todos los materiales en lotes, lb o kg

M<sub>c</sub> = masa de la medida llena de hormigón, lb o kg

M<sub>m</sub> = masa de la medida, lb o kg

Y = rendimiento, volumen de hormigón producido por lote, yd<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>

V<sub>m</sub> = volumen de la medida, ft<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>

## **IV.3.4 PREPARACIÓN Y CURADO DE PROBETAS Y VIGAS DE ENSAYO DE HORMIGÓN**

Equipos a utilizar:

- Moldes cilíndricos de 100 x 200 mm o 15 x 30 mm
- Moldes de vigas de 150 x 150 mm de sección transversal y 450 mm de longitud
- Varilla de acero con punta redondeada

- Mazo de goma
- Pala o cuchara

El procedimiento para moldeado de las probetas y vigas de acuerdo a la Norma ASTM C31 debe realizarse en una superficie plana y libre de vibraciones. Se llenan los moldes en 2 capas aproximadamente de igual volumen e igual altura, se apisona la primera capa 25 veces distribuyendo el varillado uniformemente sobre la sección transversal del molde, luego se golpea de 10 a 15 veces con el mazo de goma para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación y liberar las grandes burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas.

Para la segunda capa, se repite procedimiento permitiendo que la varilla penetre en la capa de abajo aproximadamente 25 mm. Si ocurre una falta de hormigón, se debe detener el varillado y colocar una porción de hormigón y continuar hasta completar los 25 apisonamientos. Por último, se enrasa con la misma varilla de extremo a extremo, después de retirar exceso volver a enrasar para obtener una superficie bien acabada.



Fig. 10. Proceso de moldeado de especímenes.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Luego de realizar el moldeado de los especímenes de ensayo, se identifican las muestras marcando un lado de los moldes y, se procede a realizar el curado inicial dejando reposar en un lugar plano, nivelado y libre de vibraciones, hasta 48 h en un rango de temperatura de 16 y 27 °C, protegidos del sol, agua y de cualquier fuente de contaminación para evitar la pérdida de humedad de las muestras.



Fig. 11. Especímenes moldeados en reposo.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Al finalizar el curado inicial, se realiza la remoción de los moldes y se transcribe la identificación a los especímenes utilizando un método que no afecte su superficie. Luego se sumergen las muestras en tanques de almacenamiento de agua saturada con hidróxido de calcio manteniendo sus superficies cubiertas en todo momento a temperatura de  $23 \pm 2$  °C.

Los especímenes cilíndricos deben ser retirados del agua aproximadamente 3 horas antes de realizar las pruebas de resistencia para mantener la superficie libre de humedad; mientras que en las vigas deben estar húmedas para realizar los ensayos correspondientes.

### **IV.3.5 TEMPERATURA DEL CONCRETO RECIÉN MEZCLADO**

Equipos a utilizar:

- Contenedor
- Dispositivo de medición de temperatura capaz de medir con precisión la temperatura del recién mezclado.

De acuerdo a la Norma ASTM C1064 Método de prueba estándar para la temperatura del cemento hidráulico recién mezclado, se debe colocar el dispositivo de medición de temperatura, de modo que el extremo de la parte del sensor se sumerja un mínimo de 75 mm en el concreto recién mezclado. Se debe cerrar el vacío dejado por la colocación, presionando suavemente el concreto alrededor del dispositivo de medición de temperatura en la superficie del concreto para evitar que la temperatura del ambiente afecte la lectura.

El dispositivo de medición de temperatura en el hormigón recién mezclado se deja durante un período mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura de temperatura se estabilice, y luego empieza la lectura y registro de temperatura.

### **IV.3.6 RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO**

Equipos a utilizar:

- Bloques de carga y de soporte
- Láminas graduadas
- Espécimen de ensayo
- Flexómetro
- Regla de acero
- Máquina de ensayo.

De acuerdo a la Norma ASTM C78 Determinación del esfuerzo a la flexión del concreto, para realizar el ensayo se debe proteger el espécimen de la pérdida de humedad. Se mide el largo, ancho y profundidad del espécimen. Se traza una línea recta en su espesor a 25 mm de cada extremo de su sección longitudinal, donde se colocan los soportes de la máquina de ensayo, y se divide la longitud total de la viga en tres partes iguales.

Se coloca el espécimen en la máquina de ensayo, con las caras laterales hacia arriba y centrado en los bloques de soporte, luego se centra el sistema de carga con respecto a la fuerza aplicada. Se aplica la carga al espécimen de forma constante hasta que ocurra la ruptura. Por último, registrar datos de profundidad, ancho y forma de ruptura.

La ruptura dada es registrada en el tercio medio de la longitud de la viga, ver anexo III; por lo que el cálculo del módulo de ruptura se realiza con la siguiente fórmula:

$$R = PL/bd^2 \quad (20)$$

Donde,

R =módulo de ruptura, PSI o MPa.

P =carga máxima que se aplicada por la máquina de prueba, lb<sub>f</sub> o N.

L =longitud, in o mm.

b =ancho promedio de la muestra, in o mm en la fractura.

d =profundidad promedio de la muestra, in o mm en la fractura.

#### **IV.3.7 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

Equipos a utilizar:

- Especimen de ensayo
- Flexómetro

- Máquina de ensayo
- Balanza analítica.

De acuerdo a la Norma ASTM C39 Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de concreto cilíndrico, se deben limpiar las almohadillas de soportes de neopreno superior e inferior de la prensa. Se toma la masa del espécimen cilíndrico y luego se coloca en los bloques de soportes alineando sus ejes con el centro de los platos de compresión de la prensa.

Antes de aplicar la carga se debe verificar que el indicador de carga se encuentre en cero. Se aplica la carga continuamente hasta que el espécimen falle. Se registra la carga máxima soportada. Se documenta el tipo de ruptura.

La fórmula para calcular la resistencia a compresión del concreto se muestra a continuación:

$$R = P/A \quad (21)$$

Donde,

R= Esfuerzo a la compresión del espécimen, MPa o  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ .

P= Máxima carga aplicada, kN o  $\text{kg}_f$ .

A= Área de la cara axial del espécimen ( $\text{mm}^2$  o  $\text{cm}^2$ ).

#### **IV.3.8 RESISTENCIA AL FUEGO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO**

Equipos a utilizar:

- Pistola de calor con una capacidad de 700 °C
- Termómetro digital infrarrojo
- Guantes térmicos
- Recipiente de agua
- Máquina de ensayo
- Balanza analítica

Las probetas luego de ser secadas, se someten a una corriente de aire directo utilizando una pistola de calor colada de forma perpendicular a la sección longitudinal de estas. Se exponen a una temperatura directa de 700 °C durante 10 minutos.

Inmediatamente después de la exposición al fuego, se procede a medir la temperatura alcanzada por las probetas utilizando un termómetro infrarrojo. Luego se enfrían las probetas utilizando el sistema de choque térmico, que consiste en sumergirlas durante 20 minutos en un recipiente de agua a temperatura ambiente de  $23 \pm 2$  °C, utilizando guantes térmicos. Luego se saca del recipiente y se deja reposar durante unos 10 minutos, para ser sometidas al ensayo de compresión de acuerdo a la sección V.3.7 Resistencia a compresión de cilindros de concreto de este capítulo.

## CAPÍTULO V CÁLCULOS PARA EL DESARROLLO DE LA MEZCLA DE CONCRETO

El diseño de mezcla de concreto se realiza aplicando los pasos del método para diseño y control de mezcla de concreto, garantizando que los resultados obtenidos sean reproducibles y confiables.

Como todo proceso experimental se realizan varias formulaciones para la mezcla de concreto, hasta conseguir la idónea para ser implementada en la construcción de estructuras tomando en cuenta: las proporciones adecuadas, resistencia a la compresión, características del asentamiento, optimización de recursos, entre otros.

Antes de realizar el diseño de la fórmula, se debe establecer las características deseadas para la mezcla y el análisis de los agregados a utilizar, ya que estos constituyen la mayor parte de la composición. La tabla 10 muestra las especificaciones requeridas de resistencia a la compresión y asentamiento del concreto, así como la densidad del cemento seleccionado para este tipo de mezcla. Luego de realizar los ensayos pertinentes para el análisis de los agregados, se procede a calcular los parámetros detallados en la tabla 11. Estos definen la dosificación adecuada para la mezcla y predice el comportamiento de la misma una vez que se lleva a cabo.

**TABLA 10**

### **DATOS DEL CONCRETO**

<b>Resistencia a la compresión deseada, f'c, kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>: 280</b>
<b>Asentamiento deseado</b>	<b>: 6 o 7</b>
<b>Densidad del cemento, g/cm<sup>3</sup></b>	<b>: 3,15</b>

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**TABLA 11****DATOS DE LOS AGREGADOS**

<b>Parámetros</b>	<b>Grueso</b>	<b>Fino</b>
Tamaño máximo nominal de agregado grueso, in	3/8	-
Peso unitario compactado, kg/m <sup>3</sup>	1682,4299	1737,1429
Densidad OD, kg/m <sup>3</sup>	2639,22	2652,43
Módulo de finura	-	2,79
% Absorción	0,79	1,92
% Humedad	-	5,01
% Humedad efectiva	-	3,09

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

El diseño de mezcla comienza estableciendo una resistencia promedio requerida. La resistencia seleccionada es de 280 tomando en cuenta tipo de construcción, ubicación, exposición a siniestros, entre otros. A su vez, se decide tomar un factor de seguridad de un 15% para asegurar que la mezcla cumpla con lo estipulado aunque se presenten errores en el desarrollo experimental.

$$F'_{cr} = 322 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$$

Luego se calcula el contenido de aire, en este caso se asume una cantidad natural de 2%, sin incorporaciones manuales, este se evidencia luego del periodo de curado ya que se forman pequeñas burbujas en la superficie del espécimen.

Posteriormente se determina el contenido de agua, para el cual se toma como referencia el tamaño máximo nominal para agregado grueso y el asentamiento deseado. La tabla 7 del capítulo IV relaciona el tamaño máximo nominal de 3/8 pulgadas con un asentamiento de 6 a 7 pulgadas; obteniendo una cantidad estimada de 243 litros de agua por metro cubico de concreto

Cantidad de agua= 243 L = 0,243 m<sup>3</sup>

A continuación se determina la relación agua/cemento adecuada para lograr una resistencia promedio requerida de 322 kgf/cm<sup>2</sup>. Mediante interpolación en la tabla 5 del capítulo IV, se obtiene una relación agua/cemento igual a 0.5092.

Al determinar la relación agua/cemento y conociendo la cantidad de agua contenida en la mezcla se puede calcular el contenido de material cementante con la siguiente formula.

$$C = A / (A/MC) \quad (22)$$

$$C = \frac{0.243 \text{ m}^3 * 998 \text{ kg/m}^3}{0.5092} = 476,2647 \text{ kg}$$

Subsiguientemente, con ayuda de la tabla 9 del capitulo IV, conociendo el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, se puede determinar el volumen de agregado grueso. Al multiplicar dicho valor por el peso unitario del agregado grueso en condición SSS se obtiene la masa de dicho agregado

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = M_{SSS}(V) \quad (23)$$

$$V = 0.46$$

$$M_{SSS} = 1682.4299$$

$$\text{Peso seco del agregado grueso, kg} = 773.918$$

La tabla 12 detalla los valores correspondientes a cada ingrediente de la mezcla diseñada, previa a la incorporación de aditivo a utilizar. Es decir, los datos tabulados representan la recopilación de resultados obtenidos de los pasos detallados previamente.

**TABLA 12**  
**VOLÚMENES ABSOLUTOS DE LOS INGREDIENTES DE LA MEACLA DE CONCRETO**

<b>Material</b>	<b>Densidad, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso, kg</b>	<b>Volumen, m<sup>3</sup></b>
<b>Cemento</b>	3,150	476,265	0,151
<b>Agregado grueso</b>	2639,221	773,918	0,293
<b>Agua</b>	998,0000	242,5140	0,243
<b>Aire</b>	-	0,0200	0,020
<b>Agregado fino</b>	2652,431	<b>776,016</b>	<b>0,293</b>
<b>Volumen de concreto</b>		2268,7321	1,000

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

De acuerdo a la ficha técnica del Superplastificante Eucon SPJ, 4 oz de dicho aditivo por cada 100 lb de cemento, reduce alrededor de un 20% agua requerida manteniendo la relación agua/material cementante.

**TABLA 13**

**MEZCLA DE CONCRETO CON ADITIVO EUCON SP**

<b>Proporción de materiales para 1 m<sup>3</sup> de concreto</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Agua, L</b>	194.0112
<b>Cemento Portland, kg</b>	476.2647
<b>Agregado fino, kg</b>	776.0156
<b>Agregado grueso, kg</b>	773.9178
<b>Aire, kg</b>	0.0200
<b>Aditivo Eucon SPJ, ml</b>	1193.3198
<b>Total</b>	2220.2293

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Los agregados sin tratamiento previo contienen cierta cantidad de agua que afecta negativamente la relación agua/cemento. Para evitar alteraciones en el resultado de esta relación es necesario calcular la cantidad de agua existente en el agregado fino, es por esto que se realiza los cálculos de humedad y se ajusta la mezcla en base a este.

$$\text{Peso agregado fino SSS} = \text{Peso agregado fino húmedo} (1 - \% \text{humedad efectiva}) \quad (24)$$

$$\text{Peso agregado fino húmedo} = 800.753$$

$$\text{Contenido de agua extra en agregado fino} = 800.753 - 776.016 = 24.737$$

Finalmente, se obtienen las proporciones de cada ingrediente para obtener una mezcla de concreto con las especificaciones requeridas.

**TABLA 14**

**DISEÑO DE CONCRETO CON AJUSTE DE AGUA POR HUMEDAD DE AGREGADOS**

<b>Diseño de mezcla</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Agua, kg	169.2741
Cemento Portland, kg	476.2647
Agregado fino, kg	776.0156
Agregado grueso, kg	773.9178
Aire, kg	0.0200
Aditivo, ml	1193.3198
Total	3388.8120

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**V.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLA DISEÑADA**

La mezcla de concreto diseñada arroja un resultado de 2 cm de revenimiento y una resistencia a la compresión a los 7 días, de 338 kgf/cm<sup>2</sup> en promedio, como muestra la tabla 15, un 30% mayor a la resistencia esperada de acuerdo al tiempo de curado. A continuación, en la tabla 16, se realiza un ajuste de la proporción de cemento en la mezcla de concreto, estableciendo una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión y la cantidad de material cementante se disminuye un 30% del contenido de cemento en el hormigón.

**TABLA 15**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLA DE PREUBA A LOS 7 DÍAS DE CURADO**

Muestra	Carga máxima (kgf)	Masa de espécimen (kg)	Densidad de espécimen (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de ruptura	Resistencia a la compresión obtenida (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio a la compresión diseñada (kgf/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje obtenido de resistencia a la compresión
Control	24,785	3.93	2501.9157	5	<b>316</b>	322	98%
Control	28,285	3.92	2495.5495	3	<b>360</b>	322	112%

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

**TABLA 16**

**AJUSTE DE PROPORCION DE MATERIALES EN LA MEZCLA**

Material	Densidad, kg/m <sup>3</sup>	Peso (kg)	Volumen, m <sup>3</sup>
Cemento	3150.0000	333.3853	0.1058
Agregado grueso	2639.2214	890.0000	0.3372
Agua	998.0000	169.2741	0.1696
Aire	-	0.0200	0.0200
Agregado fino	2652.4309	974.3158	0.3673
Aditivo Eucon SPJ	-	-	0.00087246

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

## CAPÍTULO VI RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGREGADOS

### VI.1 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

Los resultados de la prueba granulométrica al agregado fino se expresan en la tabla 17, donde se muestran los porcentajes de muestra que pasan y los que quedan retenidos en cada tamiz. Con ello se calcula el módulo de finura que arroja una cifra de 2,79. Por otro lado, el análisis granulométrico al agregado grueso, arroja un módulo de finura de 3.15. Los valores obtenidos durante este ensayo están expresados en la tabla 18.

**TABLA 17**

#### **PORCENTTAJE EN PESO DE AGREGADO FINO RETENIDO Y QUE PASA POR CADA TAMIZ**

Tamiz	Peso retenido	%Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Especificaciones	
					Límite superior	Límite inferior
½	0	0	0	100	100	100
3/8	0	0	0	100	100	100
#4	2,6	0,52	0,52	99,48	100	95
#8	69,1	13,8	14,3	85,7	100	80
#16	98,1	19,6	34,0	66,0	85	50
#30	106,3	21,3	55,2	44,8	60	25
#50	126,6	25,3	80,5	19,5	30	5
#100	68,1	13,6	94,2	5,8	10	0
#200	21,8	4,4	98,5	1,5	0	0
Base	7,4	1,48	100	0	0	0
Total	500	100				

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**TABLA 18****PORCENTAJE EN PESO DE AGREGADO GRUESO RETENIDO Y QUE PASA POR CADA TAMIZ**

Tamiz	Peso retenido	%Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	0,00	0,0	0,0	100,00
1 "	0,00	0,0	0,0	100,00
3/4 "	0,00	0,0	0,0	100,00
1/2 "	29,20	1,8	1,8	98,18
3/8 "	276,20	17,3	19,1	80,91
#4	1207,90	75,5	94,6	5,42
#8	86,40	5,4	100,0	0,02
#16	0,00	0,0	100,0	0,02
Base	0,30	0,0	100,0	0,0
Total	1600,00	100,0		

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**VI.2 RESULTADOS DE PESO UNITARIO DE AGREGADOS**

Para conocer las proporciones adecuadas de agregados en la mezcla de concreto, se determinan los pesos unitarios de estos bajo diferentes condiciones –secos, Saturado Superficialmente Seco, suelto y compactado-.

**TABLA 19**

**PESO UNITARIO AGREGADO FINO SUELTO EN DIFERENTES CONDICIONES**

		<b>Peso unitario agregado fino seco, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso unitario agregado en condición SSS, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Contenido vacío</b>
<b>Agregado fino</b>	<b>Suelto</b>	1628,8095	1660,0178	37,2703
	<b>Compactado</b>	1737,1429	1790,8072	34,5403
<b>Agregado grueso</b>	<b>Suelto</b>	1526,4286	1538,4479	42,1927
	<b>Compactado</b>	1669,2857	1682,4299	36,7825

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**VI.3 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO**

Los análisis de densidad, densidad relativa, densidad relativa aparente, porcentaje de absorción y humedad contenida en el agregado fino arrojan los resultados expresados en las tablas 20 y 21.

**TABLA 20**

**DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y DENSIDAD RELATIVA APARENTE DE  
AGREGADO FINO EN CONDICIÓN SSS Y OD**

	<b>Condición SSD</b>	<b>Condición OD</b>
<b>Densidad Relativa, D<sub>R</sub></b>	2,71	2,66
<b>Densidad relativa aparente, D<sub>Ra</sub></b>	2794.82	2.80
<b>Densidad, D, kg/m<sup>3</sup></b>	2073.25	2652.43

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**TABLA 21****PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y DE HUMEDAD CONTENIDA EN EL AGREGADO FINO**

<b>% Absorción, %Ab</b>	<b>%Humedad</b>	<b>%Humedad efectiva</b>
1,92	5,01	3,09

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

**VI.4 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO**

Los análisis de densidad, densidad relativa y absorción de los agregados gruesos arrojan los siguientes resultados.

**TABLA 22****DENSIDAD DE AGREGADO GRUESO EN CONDICIONES SSD Y OD**

	<b>Condición SSD</b>	<b>Condición OD</b>
<b>Densidad Relativa, gravedad específica <math>D_R</math></b>	2,67	2,65
<b>Densidad relativa aparente, <math>D_{Ra}</math>, kg/m<sup>3</sup></b>	2695,38	2,70
<b>Densidad, D, kg/m<sup>3</sup></b>	2660,00	2639,22
<b>% Absorción, %Ab</b>	0.79	

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

## VI.5 ANÁLISIS DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los resultados obtenidos del análisis de densidad y rendimiento del concreto ajustado están expresados en la tabla 23.

**TABLA 23**

### **DENSIDAD Y RENDIMIENTO DEL CONCRETO DISEÑADO**

<b>Densidad, kg/m<sup>3</sup>:</b> $D=(M_c - M_m)/V_m$	<b>Rendimiento, m<sup>3</sup>:</b> $Y=M/D$
2350	1,007

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

## CAPÍTULO VII RESULTADOS DE RESISTENCIAS DEL CONCRETO

A partir de la mezcla de concreto ajustada se agregan proporciones aleatoria de PET dentro del rango establecido en estudios realizados anteriormente. Estas proporciones son 1.8, 2.5 y 3.2 kg de PET/ m<sup>3</sup> de material cementante. Los revenimientos obtenidos de cada mezcla fueron los siguientes: 8.25, para la mezcla de control, sin PET añadido; 6.5, en la muestra con 1.8 kg de PET/m<sup>3</sup> de concreto; y 8.5, en las mezclas de concreto fresco con 2.5 y 3.2 kg de PET/m<sup>3</sup> de concreto. Las tablas presentadas a continuación muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión realizadas a los 7 y 31 días de curado de las mezclas de concreto diseñadas.

**TABLA 24**

### **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE CURADO DE LA MEZCLA AJUSTADA**

Fecha de toma de muestra: 19/01/2021 Fecha de ruptura: 26/01/2021 Tiempo de curado 7 días

Resistencia a la compresión diseñada (kgf/cm<sup>2</sup>) 322 Diámetro promedio de muestra (cm) 10

Muestra	Carga máxima (kgf)	Masa de espécimen (kg)	Densidad de espécimen (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de ruptura	Resistencia a la compresión obtenida (kgf/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje obtenido de Resistencia a la compresión
Control (1)	<b>15270</b>	3,92	2495,5495	3	<b>194</b>	60%
Control (2)	<b>16835</b>	3,9	2482,8171	3	<b>214</b>	67%
PET 1.8 (1)	<b>21820</b>	3,9	2482,8171	3	<b>278</b>	86%
PET 1.8 (2)	<b>21290</b>	3,94	2508,2819	3	<b>271</b>	84%
PET 2.5 (1)	<b>16145</b>	3,92	2495,5495	4	<b>206</b>	64%
PET 2.5 (2)	<b>16470</b>	3,9	2482,8171	3	<b>210</b>	65%
PET 3.2 (1)	<b>16695</b>	3,9	2482,8171	3	<b>213</b>	66%
PET 3.2 (2)	<b>17505</b>	3,97	2527,3805	3	<b>223</b>	69%

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**TABLA 25**

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 31 DÍAS DE CURADO DE LA  
MEZCLA AJUSTADA**

Fecha de toma de muestra 19/01/2021 Fecha de ruptura 19/02/2021 Tiempo de curado 31 días

Resistencia a la compresión diseñada (kgf/cm<sup>2</sup>) 322 Diámetro promedio de muestra (cm) 10

Muestra	Carga máxima (kgf)	Masa de espécimen (kg)	Densidad de espécimen (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de ruptura	Resistencia a la compresión obtenida (kgf/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje obtenido de Resistencia a la compresión
Control (1)	<b>24010</b>	3,94	2508,2819	5	<b>306</b>	95%
Control (2)	<b>21090</b>	3,9	2482,8171	5	<b>269</b>	83%
PET 1.8 (1)	<b>28185</b>	3,9	2482,8171	5	<b>359</b>	111%
PET 1.8 (2)	<b>30295</b>	3,9	2482,8171	5	<b>386</b>	120%
PET 2.5 (1)	<b>22200</b>	3,96	2521,0143	5	<b>283</b>	88%
PET 2.5 (2)	<b>21370</b>	3,92	2495,5495	5	<b>272</b>	85%
PET 3.2 (1)	<b>24200</b>	3,86	2457,3523	4	<b>308</b>	96%
PET 3.2 (2)	<b>23985</b>	3,86	2457,3523	4	<b>305</b>	95%

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

El ensayo de resistencia a la flexión fue realizado después de los 28 días de curado, en vigas con 18 pulgadas de largo y 6 pulgadas de ancho y profundidad. Las rupturas de flexión de las vigas ensayadas se presentan en el tercio medio, véase anexo III, obteniendo así los resultados mostrados en la tabla 26.

**TABLA 26**

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Muestra	Carga Máxima (kgf)	Carga Máxima (N)	Módulo de ruptura (MPa)
Control	2960	29027,68	3,7494
PET 1.8	3645	35745,24	4,6171
PET 2.5	3505	34372,31	4,4398
PET 3.2	3340	32754,21	4,2308

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

El concreto endurecido fue sometido a temperaturas de hasta 700 °C durante 10 minutos, para determinar los efectos de las altas temperaturas sobre la resistencia a compresión del material diseñado. Los resultados de resistencia a la compresión obtenidos se muestran en la tabla 27.

**TABLA 27**

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN LUEGO DE SER EXPUESTO A UNA TEMPERATURA DE 700 °C.**

Fecha de toma de muestra 19/01/2021 Fecha de ruptura 20/02/2021 Tiempo de curado 32 días  
 Resistencia a la compresión diseñada (kgf/cm<sup>2</sup>) 322 Diámetro promedio de muestra (cm) 10

Muestra	Temp. Inicial (°C)	Temp. final (°C)	Carga máxima (kgf)	Masa de espécimen (kg)	Densidad de espécimen (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de ruptura	Resistencia a la compresión obtenida (kgf/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje obtenido de Resistencia a la compresión
Control (1)	24,3	181,9	<b>20515</b>	3,94	2508,2819	3	<b>261</b>	81%
Control (2)	25,6	174,5	<b>18425</b>	3,9	2482,8171	2	<b>235</b>	73%
PET 1.8 (1)	22,2	169,5	<b>22995</b>	3,9	2482,8171	3	<b>293</b>	91%
PET 1.8 (2)	20,7	170,8	<b>23330</b>	3,9	2482,8171	3	<b>297</b>	92%
PET 2.5 (1)	25,6	203,3	<b>18035</b>	3,96	2521,0142	3	<b>230</b>	71%
PET 2.5 (2)	24,3	201,7	<b>17530</b>	3,92	2495,5495	3	<b>223</b>	69%
PET 3.2 (1)	24,9	206,2	<b>21285</b>	3,86	2457,3523	2	<b>271</b>	84%
PET 3.2 (2)	23,6	205,4	<b>18595</b>	3,86	2457,3523	2	<b>237</b>	74%

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

## **CAPÍTULO VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La culminación del periodo experimental da como resultado una serie de datos que deben ser interpretados, en base a: conceptualización, análisis y comparación con otros estudios similares, deducciones de lo obtenido e inferencias en cuanto a comportamientos presentados. Con esto, se determina si el estudio posee un desarrollo favorable en base a las hipótesis planteadas o en su defecto, si se debe plantear modificaciones pertinentes para encaminar la investigación a lo esperado y a su vez, suministrar las razones por las cuales no se cumplieron los estándares expuestos. Por este motivo, se generan las recomendaciones pertinentes para que el proceso experimental cumpla con sus objetivos, como son: ser reproducible y proporcionar un aporte a la comunidad científica.

A continuación, se plantea un análisis pertinente de los datos obtenidos en el capítulo anterior, este abarca: comportamiento de los agregados, ajuste de diseño de mezcla, comportamiento del concreto en estado fresco y comportamiento del concreto endurecido.

### **VIII.1 COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS**

#### **VIII.1.1 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS**

La figura 12 muestra los resultados obtenidos durante la prueba granulométrica, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM C 136.

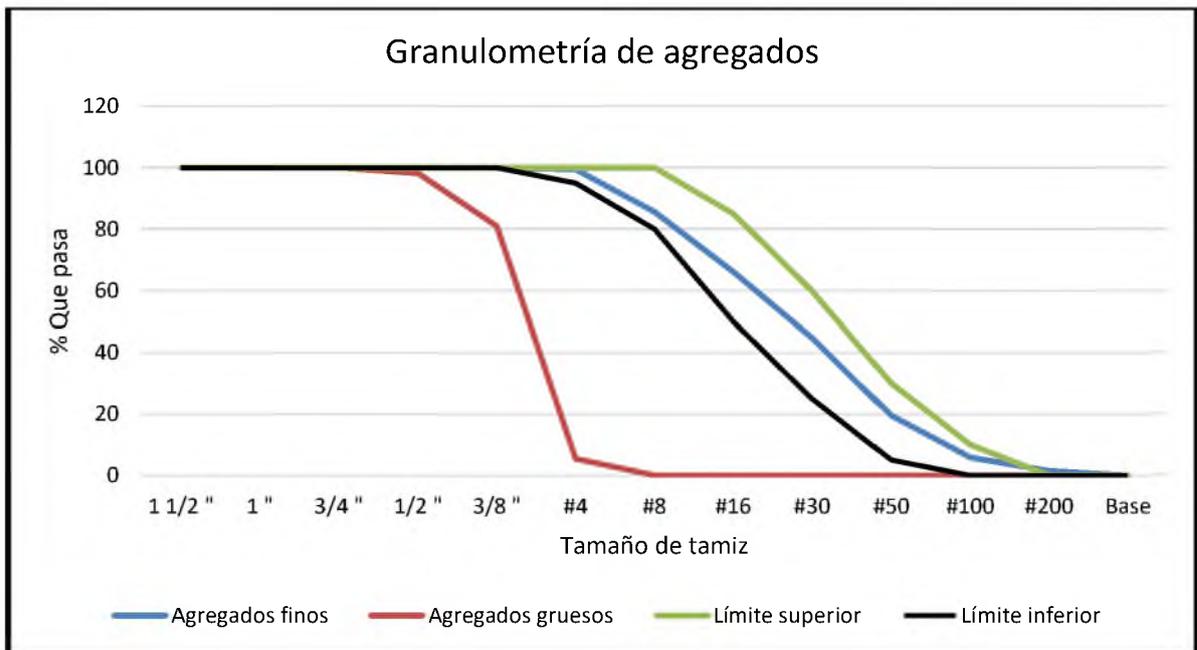


Fig. 12. Curva granulométrica de agregados finos y gruesos

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

La norma ASTM C136 establece como requisito para los resultados del análisis granulométrico lo siguiente: que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas, ver tabla 17; que el módulo de finura del agregado fino no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1; que el agregado grueso, las partículas con diámetros menores deben quedar retenidas en la malla No. 4.

### VIII.1.2 PESO UNITARIO Y DENSIDAD RELATIVA DE AGREGADOS

El peso unitario aproximado del agregado comúnmente usado en el concreto varía de 1300 a 3000 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente. (Abril & Ramos, 2017) El peso unitario obtenido de los agregados usados, compactados y sueltos, secados al horno y en condición SSS, véase tabla 19, se encuentran en el rango establecido para elaborar concretos normales para elementos estructurales y no estructurales.

Las densidades relativas para la mayoría de los agregados se encuentran entre 2.4 y 2.9. Aunque la densidad relativa no es un indicador crítico de calidad, los agregados con valores bajos, presentan cierta porosidad que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo. (Pérez & Digson, 2014) De acuerdo a los resultados de densidad relativa mostrados en las tablas 20 y 22, los agregados utilizados tienen un grado de porosidad adecuado para ser empleados en la elaboración de concreto.

Kosmatka et al (2004), establecen que la cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y cerca del 40% a 50% para el agregado fino. El contenido de vacío obtenido fue de un 42% para agregado grueso y 37% para agregado fino; este último difiere un 7.5% del límite inferior estimado. Esta ligera diferencia en porcentaje puede ser causada por las características propias del agregado utilizado, las cuales varían según su origen, composición, tamaño y tratamiento. La disminución de vacíos trae consigo un menor requerimiento de material cementante. Sin embargo, este parámetro no es crítico para determinar la calidad del agregado, a diferencia del módulo de finura que puede causar variación significativa en la cantidad de pasta cementante requerida.

### **VIII.1.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y DE HUMEDAD DE AGREGADOS**

Pérez, O & Digson, G. (2014), establecen que los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. El agregado fino analizado tiene un porcentaje de absorción de 1.92%; mientras que el agregado grueso tiene 0.79%. Determinar la absorción de los agregados, la cual depende de la porosidad, es de suma importancia para realizar correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto. Además esta influye en la adherencia del agregado con el cemento, la estabilidad química, la resistencia a la abrasión y la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo.

Los contenidos de agua libre para el agregado fino generalmente varían del 2% al 6%, el resultado obtenido fue de 3.09%. Es importante determinar el contenido de agua en los

agregados para mantener la relación agua cemento constante y así evitar afectar la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y otras propiedades del concreto diseñado. (Pérez & Digson, 2014)

## **VIII.2 AJUSTE DE DISEÑO DE MEZCLA**

El promedio obtenido de las resistencias a la compresión de la mezcla base diseñada a los 7 días es de  $338 \text{ kgf/cm}^2$ , como muestra la tabla 15, lo cual representa el 105% de la resistencia promedio a la compresión diseñada. La resistencia a la compresión a los 7 días de curado es un 75% de la resistencia a la compresión diseñada. (Valcuende, Marco, Jardón, & Gil) El resultado obtenido es aproximadamente un 30% superior a lo establecido. Por lo tanto se realiza un ajuste en el diseño de mezcla para disminuir la cantidad de cemento a utilizar desde 476.26 kg a 333.39 kg, un 30% menos de lo diseñado inicialmente.

## **VIII.3 SUPERPLASTIFICANTE EUCON SPJ**

El aditivo EUCON SPJ utilizado es tipo F, según los requisitos establecidos en la norma ASTM C494. Estos se agregan a concretos debajo revenimiento y baja relación agua/cementantes para producir concretos fluidos de alto revenimiento que puedan colocarse con poca o ninguna compactación, reducen la permeabilidad del concreto y mitigan los sangrados y exudaciones perjudiciales en el concreto. La dosificación adecuada para la implementación de los aditivos superplastificantes en una mezcla de concreto debe ser suministrada por el fabricante y no asumir de manera general una proporción teórica. La empresa EUCLID establece una dosificación para el EUCON SPJ que va desde 260 a 455 ml por/ 100 kg de cemento. Para el diseño de mezcla se aplicaron 262 ml de aditivo superplastificante/100 kg de cemento, manteniendo la dosificación cerca del rango recomendado.

Reina, J. et al (2010), describen que la incorporación de aditivos superplastificantes en la mezcla de concreto asegura temporalmente la fluidez. Los aditivos superplastificantes se pueden comportar de manera diferente con distintos tipos de cemento y con ciertas combinaciones, pueden ocurrir efectos indeseables que varían desde un efecto retardante excesivo, hasta un endurecimiento prematuro.

Los superplastificantes son absorbidos por las partículas de cemento y originan en la superficie de éstas una carga eléctrica del mismo signo. Una vez que las partículas se encuentran cargadas electrostáticamente, se repelen unas a otras, produciéndose así la defloculación, lo que lleva a que se hidraten más granos de cemento. Además se produce una reducción de los esfuerzos internos en la mezcla, permitiendo obtener hormigones más trabajables. (Reina, Sánchez, & Solano, 2010)

#### **VIII.4 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

##### **VIII.4.1 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO**

El asentamiento obtenido fue de 8.25 cm, 6.5 cm, 8.5 cm y 8.5 cm para las mezclas de concreto base, concreto con 1.8 kg de PET/m<sup>3</sup>, 2.5 kg de PET/m<sup>3</sup> y 3.2 kg de PET/m<sup>3</sup>, respectivamente. De acuerdo a Pérez, O & Digson, G (2014)., el revenimiento de mezclas de concreto diseñadas para vigas, muros armados y columnas de edificios va desde 2.54 cm a 10.16 cm. La valoración cualitativa de las mezclas resultante es plástica cuyo rango de asentamiento es de 5.00 cm a 9.00 cm. El asentamiento resultante se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM C143, lo cual indica una aceptabilidad inicial del concreto; esto es debido a muchos factores, como son: correcto análisis de los agregados, cantidad de agua prudente a la mezcla, dosis adecuada del aditivo empleado, módulo de finura dentro de los parámetros y buena corrección por humedad de la arena; avalando así que el proceso de diseño de la mezcla cumple con los parámetros esperados.

#### **VIII.4.2 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO**

El rango de rendimiento aceptable para concreto con aditivos superplastificantes con la capacidad de reducir hasta un 30% del agua de la mezcla es de 0.8 o más. (León, Torres, & Rodríguez, 2020) El rendimiento obtenido con las mezclas diseñadas fue de 1.007 m<sup>3</sup>, lo que implica que la dosificación de cemento fue eficiente y que el aditivo utilizado no afecta dicho comportamiento.

#### **VIII.4.3 ANÁLISIS CALORIMÉTRICO A CONCRETO FRESCO**

La temperatura de la mezcla de hormigón es la suma de la temperatura que se genera en el proceso de hidratación del cemento y la condicionada por el ambiente. Esta propiedad depende de muchos factores, unos vinculados con las características propias de la mezcla, como cantidad y tipo de cemento, tiempo desde el contacto del cemento con el agua, y otros condicionados por las condiciones ambientales y tipo de elemento, como la temperatura, forma y dimensiones de los áridos, cemento y otras materias primas, temperatura ambiente, entre otros. (Martínez, 2015)

El cemento al ser mezclado con agua genera reacciones de hidrólisis e hidratación formando una pasta. Este endurecimiento se presenta por la formación de silicatos de calcio hidratados y de aluminatos hidratados En el proceso de hidratación del cemento se generan en varias fases descritas a continuación. (Fonseca & Díaz, 2020)

En primer lugar, la fase Alita que tiene un alto contenido de Silicato tricálcico, el cual reacciona muy rápido con el agua logrando así un alto porcentaje de hidratación, afectando el tiempo de fraguado y la resistencia inicial. De acuerdo a Fonseca & Díaz, el silicato cálcico hidratado tiene un calor de formación negativo, lo que evidencia que el proceso es completamente exotérmico. Es por esto que en esta fase la temperatura incrementa significativamente hasta llega a un valor máximo como se muestra en la figura 13.

La segunda etapa es la fase Belita, su componente principal es Silicato dicálcico, este reacciona lentamente con el agua, produce bajo calor de hidratación y contribuye en el desarrollo de la resistencia después de 7 días de fraguado. Esta fase se muestra en la figura 13, indicada en la sección en la cual la temperatura empieza decrecer debido a la pérdida de intensidad de la reacción de hidratación. El contenido de estos dos compuestos suma el 75% del cemento aproximadamente. (Fonseca & Díaz, 2020)

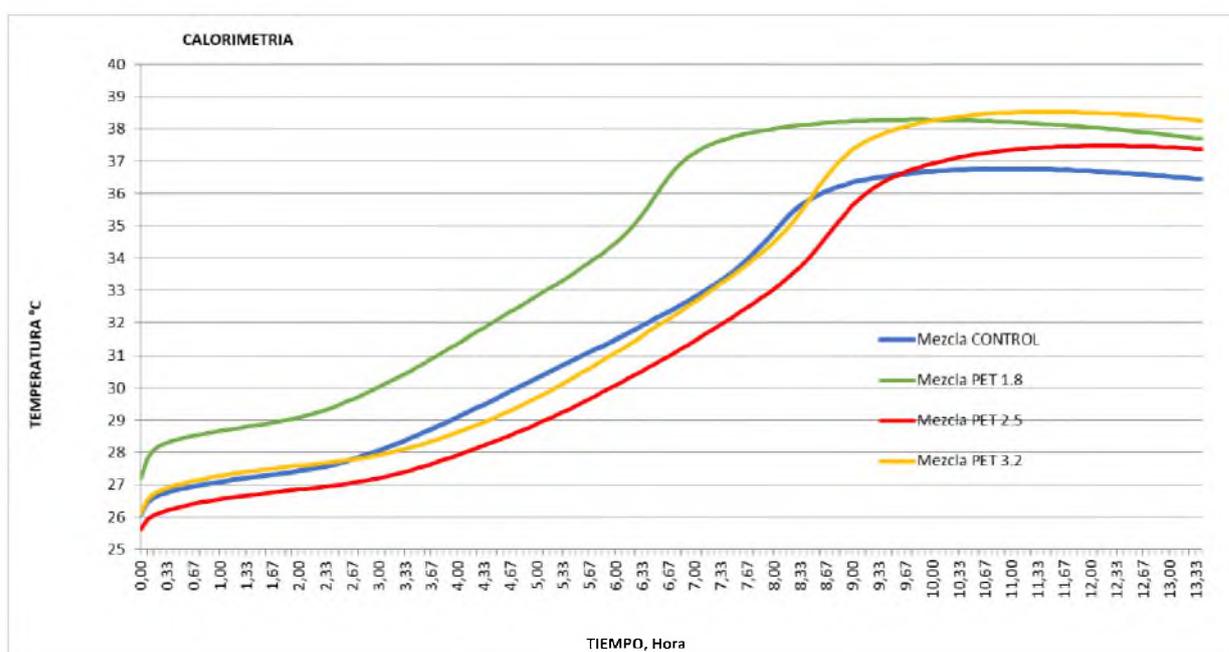


Fig. 13. Curvas calorimétricas de mezclas de concreto diseñadas.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

### VIII.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y A FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Cuando cada partícula de cemento entra en contacto con el agua, en su superficie se forma una capa fibrosa que gradualmente se propaga hasta encontrarse con la capa fibrosa de otra partícula de Clinker. El crecimiento de las fibras resulta en el endurecimiento y desarrollo progresivo de la resistencia. La hidratación se mantiene siempre que existan las condiciones

favorables de temperatura, humedad y espacio. Gran parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia ocurre a lo largo del primer mes, pero se ha reportado aumento de resistencia hasta en un lapso de 30 años. (Fonseca & Díaz, 2020)

Se llevó a cabo el análisis de resistencia a compresión al concreto endurecido, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C39, dando como resultado la figura 14, la cual muestra la variación de las resistencias a la compresión desarrolladas por las diferentes mezclas con respecto al tiempo de curado. Cabe destacar que, en la representación gráfica se toma como parámetro de resistencia ideal  $280 \text{ kgf/cm}^2$  y el análisis de la resistencia se efectúa a partir de este, junto con el factor de seguridad que es de  $322 \text{ kgf/cm}^2$ .

La mezcla control de concreto sin adición de fibras, representada por la curva roja, arroja un resultado de  $213 \text{ kgf/cm}^2$  a los 7 días de curado un 66% de la resistencia promedio diseñada. Durante la tercera etapa se obtuvo  $306 \text{ kgf/cm}^2$ , lo que representa un 95% de la resistencia promedio diseñada.

La mezcla TUPET 1.8 kg es representada por la curva naranja. En la segunda etapa del curado se puede observar como casi logra superponerse con la línea verde  $-F_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ , indicando una resistencia a compresión de  $278 \text{ kgf/cm}^2$ , lo que representa un 86% de la resistencia diseñada. Durante la tercera etapa, la resistencia resultante es de  $386 \text{ kgf/cm}^2$ , un valor de un 20% por encima del factor de seguridad; este incremento ofrece la oportunidad de aumentar la adición de fibras en la mezcla.

En base a lo anterior, se aumentó la proporción de fibras de forma moderada. Para la segunda mezcla se adicionó una cantidad de  $2.5 \text{ kg}$  de PET/ $\text{m}^3$  –TUPET 2.5 kg-, el comportamiento de la misma se denota en la curva morada; donde se aprecia que a los 7 días, se obtiene una resistencia de  $210 \text{ kgf/cm}^2$ , un 65% de la resistencia diseñada. La resistencia máxima en esta mezcla alcanzada a los 31 días de curado es de  $283 \text{ kgf/cm}^2$ .

Con el objetivo de desarrollar una mezcla de concreto reforzado con la mayor cantidad de fibras PET recicladas como sea posible, se diseñó una mezcla con 3.2 kg de PET/m<sup>3</sup> de concreto –TUPET 3.2 kg-. La curva azul muestra el comportamiento de dicha mezcla. A los 7 días de curado se obtiene una resistencia de 223 kgf/cm<sup>2</sup>, lo cual representa un 69% de la resistencia diseñada. Mientras que a los 31, la resistencia obtenida fue de 308 kgf/cm<sup>2</sup>, lo cual representa un 96% de la resistencia promedio diseñada.

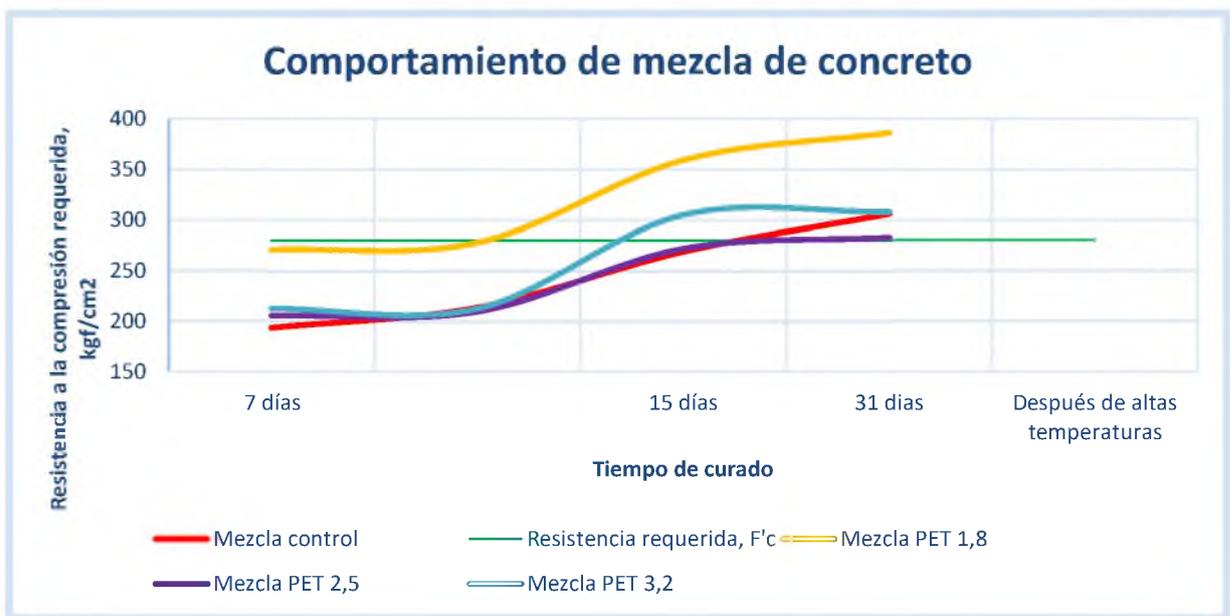


Fig. 14. Curva de resistencia de las mezclas de concreto diseñadas.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Asimismo, se realizó el análisis de resistencia a flexión al concreto endurecido, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C78, dando como resultado la figura 15, la cual muestra la variación de las resistencias desarrolladas por las mezclas con diferentes proporciones de fibras PET.

De acuerdo a Kosmatka et al, el módulo de ruptura es de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en MPa. En la figura 15, se observa que el módulo de ruptura de la mezcla control es un 0.80% mayor de lo esperado, mientras que para las mezclas

de concreto con 1.8 kg, 2.5 kg y 3.2 kg de fibras de PET por m<sup>3</sup> de concreto, se obtiene un módulo de ruptura con un incremento de 0.65%, 0.47% y 0.24%, respectivamente.

La resistencia a flexión de las mezclas diseñadas cumple en un 102% aproximadamente de lo esperado. La resistencia a flexión obtenida muestra que la adhesión entre la pasta de cemento y los agregados, la relación agua-cemento, el grado de humedad de la viga de ensayo y el tamaño máximo nominal de los agregados seleccionados son los adecuados, ya que estos son factores que afectan directamente la resistencia a flexión. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Respecto a la mezcla control, sin adición de fibras de PET, la resistencia a flexión aumenta un 23% al añadir 1.8 kg de PET/m<sup>3</sup>, un 18% con la adición de 2.5 kg de PET/m<sup>3</sup> y un 12% con 3.2 kg de PET/m<sup>3</sup> de concreto. La adición de fibras proporciona un efecto de enganche en el concreto, lo que permite un incremento en la resistencia a flexión. (Carrillo & Silva-Páramo, 2016)

Los estudios realizados con fibras de plástico en el concreto concluyen que esta aumenta la resistencia a la flexión y disminuye la resistencia a compresión. (Mendoza, Aire, & Dávila, 2011). Sin embargo en la figura 15, se puede observar que al incrementar la cantidad de fibras de PET en el concreto, la resistencia a la flexión disminuye. Esto puede ser causado por errores en los ensayos, por un secado prematuro que causa diferencias en la humedad dentro de la viga o por daños sufridos durante la manipulación y traslado. (National Ready Mixed Concrete Association, 2017)

La Asociación Nacional de Concreto Premezclado -National Ready Mixed Concrete Association- recomienda que el ensayo de resistencia a flexión no sea utilizado como parametro de calidad del concreto en campo; sugieren que sea una herramienta utilizada a escala de laboratorio para investigar y evaluar los ingredientes del concreto.

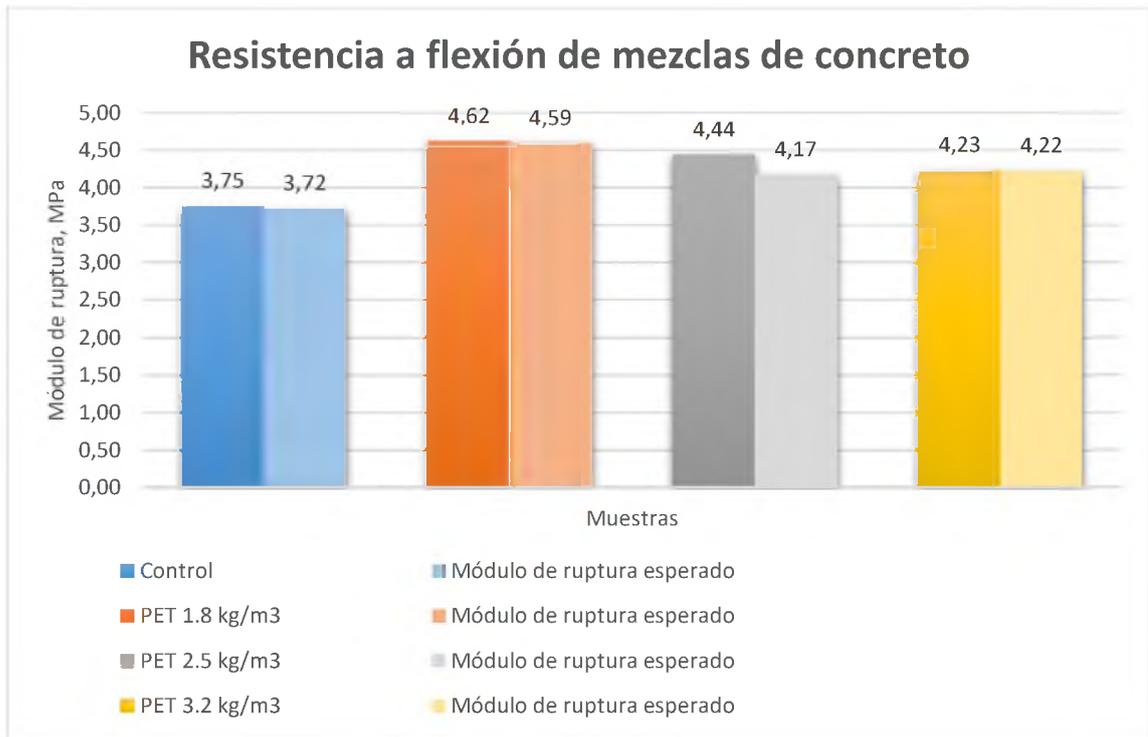


Fig. 15. Resistencia a flexión de las mezclas de concreto diseñadas

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

Las resistencias a compresión y a flexión del concreto se ve afectada por diversos factores, como son: la relación a/c de la pasta de cemento hidratada, el tamaño máximo nominal de los agregados, la morfología de los agregados y la cantidad, dimensiones y forma de las fibras contenidas. (Sepúlveda, 2013)

Una menor relación a/c genera resistencias mayores, debido a que las partículas de cemento se acercan entre sí, produciéndose menos porosidad capilar, cuando estas partículas están cercanas y se enlazan con rapidez, el movimiento del agua se dificulta lo que favorece la formación de compuestos de hidratación más compactos que se desarrollan entre las partículas de cemento. (Sepúlveda, 2013) Además, con relaciones a/c bajas es importante mantener el concreto provisto de agua por medio del curado ya que la autodesecación hace que el agua de mezclado resulte insuficiente para mantener los capilares llenos de agua. Sin embargo, en estos casos, la baja porosidad de la pasta, también, es un factor que hace

impermeable al concreto y no facilita la penetración del agua de curado al interior del concreto, así como tampoco su evaporación. (Reyes & Camargo, 2016)

El ACI 211 señala que los agregados de tamaño máximo nominal más pequeño proporcionan mayor resistencia potencial en el concreto, ya que se ve aumentada la superficie de contacto entre la zona de transición interfacial de la pasta y los agregados. Esta superficie de contacto, por unidad de volumen del concreto, es tanto mayor mientras menor es el tamaño máximo de los agregados.

Los agregados muy porosos y absorbentes, con un porcentaje de absorción por encima de 5% y 4% para agregados gruesos y finos, respectivamente, afectan la resistencia del concreto, ya que se requiere mayor cantidad de agua en el mezclado y la compactación de los agregados y la pasta cementante no es tan efectiva. (Sepúlveda, 2013)

### VIII.6 ANÁLISIS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS

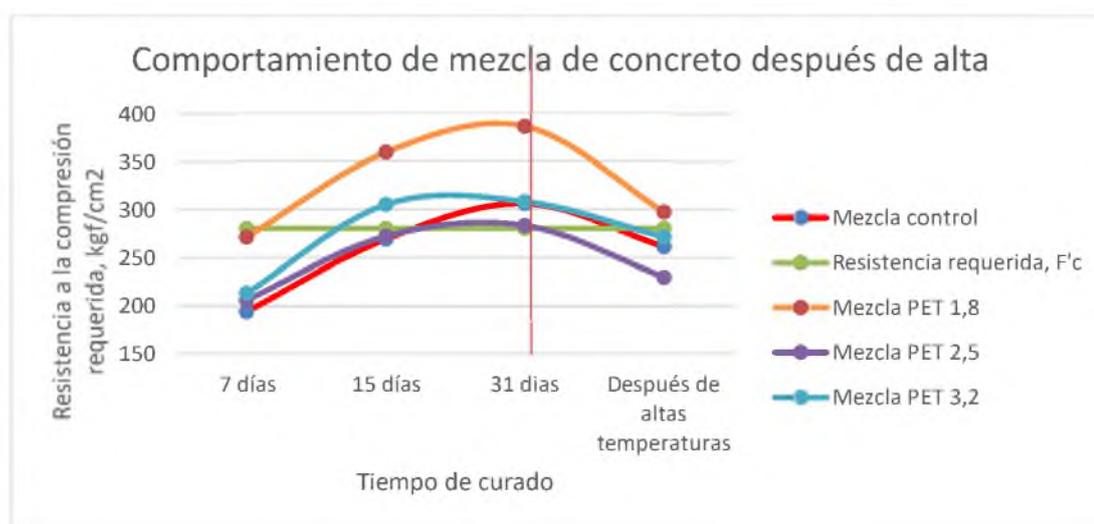


Fig. 16. Curva de resistencia de las mezclas de concreto luego de la exposición a altas temperatura.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

Las cualidades del concreto sometido a altas temperaturas dependen de varios factores entre los cuales están: el contenido de humedad, tipo y estabilidad del agregado, tiempo de exposición, tasa de aumento de la temperatura, edad del concreto y esfuerzo existente. Cuando el concreto es sometido a la acción del fuego sufre diversas alteraciones en su estructura, disminuyendo la resistencia a compresión original. Entre estas alteraciones se encuentran: aumento de porosidad por la evaporación del agua contenida, cambios de color y/o agrietamientos por expansión del volumen. (Hernández, 2010)

Como se muestra en la figura 16, los cilindros sometidos a una temperatura de 700 °C a los 32 días de curado con resistencia de diseño de 322 kgf/cm<sup>2</sup>, disminuyen su resistencia 56,5 kgf/cm<sup>2</sup> en promedio, es decir un 17,5% menos con respecto a los cilindros en condiciones normales.

El concreto diseñado resiste temperaturas de hasta 700 °C sin reaccionar ni perder significativamente su resistencia a la compresión, debido al tipo de agregado grueso utilizado, esquisto expandido. Este es un material que proporciona gran estabilidad de volumen al concreto en ambientes de temperaturas altas. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

## CAPÍTULO IX DIAGRAMA DE PROCESO

En este capítulo se muestra el sistema de gestión de proceso para la fabricación de concreto con adiciones de PET reciclado que cumpla con las especificaciones establecidas por el cliente. La evaluación de los procesos que intervienen en el sistema de gestión es realizada siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ISO 9001:2015. La representación gráfica del proceso está descrita en la figura 17. Sistema de gestión de proceso para fabricación de concreto, la cual tiene como entrada los requisitos del cliente, diferentes tipos de procesos relacionados entre sí, que transforman los insumos necesarios para brindar productos o servicios que satisfagan al cliente. El mapa de proceso sugerido se divide en tres tipos de procesos: estratégicos, claves y de apoyo.

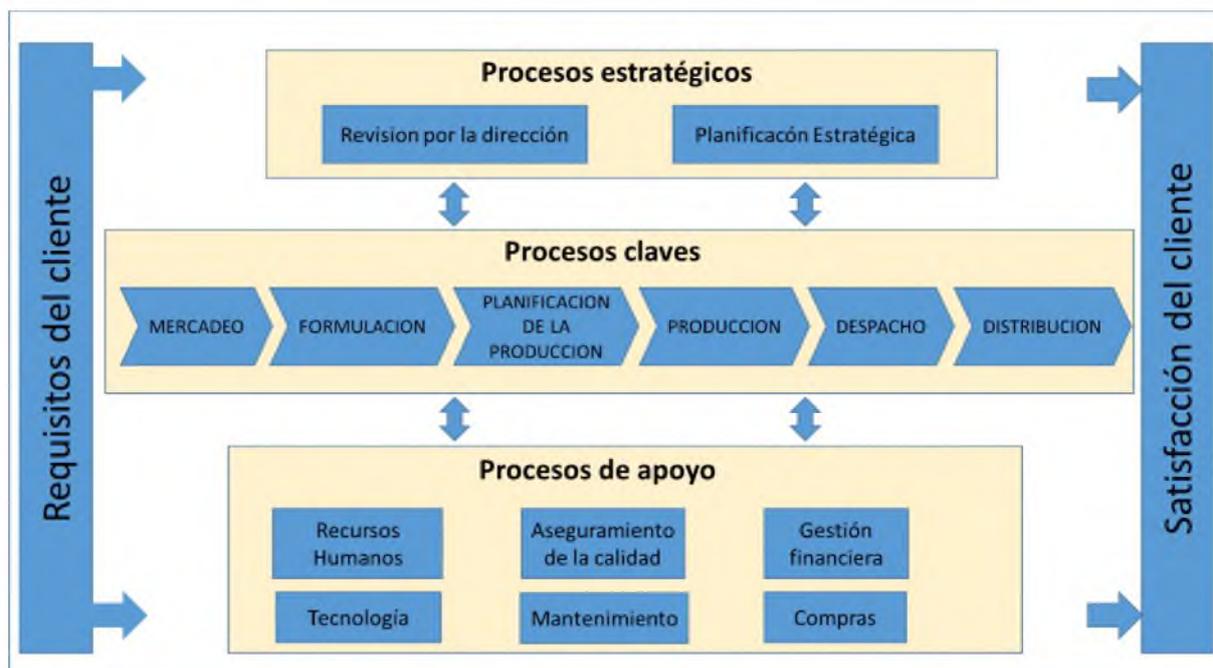


Fig. 17. Sistema de gestión de proceso para fabricación de concreto.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

Los procesos estratégicos establecen los lineamientos a seguir y aseguran los procesos que generan valor a la empresa. (Muñoz & Pérez, 2018) Se establecen como procesos estratégicos la Revisión por la Dirección y la Planificación estratégica, los cuales aseguran la conveniencia, la adecuación y la eficiencia de los procesos tomando en cuenta las condiciones internas y externas que afectan la organización.

Por otro lado los procesos de apoyo brindan el soporte necesario a todos los procesos claves u operacionales para que puedan ser llevados a cabo. Los procesos de apoyo identificados son: recursos humanos, gestión financiera, mantenimiento, gestión tecnológica compras y aseguramiento de la calidad.

Los procesos claves u operacionales son los que intervienen directamente con el cliente y la transformación del producto brindado. Y siguen una secuencia lógica de proceso, en la cual las salidas o resultados de una operación son las entradas o requerimientos de la siguiente. Los procesos claves inician con el establecimiento de la relación con el cliente mediante la comercialización. A solicitud del cliente se realiza formulación del producto y se establece el plan de producción.

La fabricación del concreto se realiza siguiendo los pasos establecidos en la figura 18. Diagrama de flujo de fabricación de concreto, la cual muestra el proceso de elaboración de concreto reforzado con fibras de PET, el cual comprende varias etapas, que van desde la obtención y recepción de la materia prima hasta la entrega del producto terminado, con el objetivo de proporcionar un material resistente a la compresión, trabajable, estable y económico.

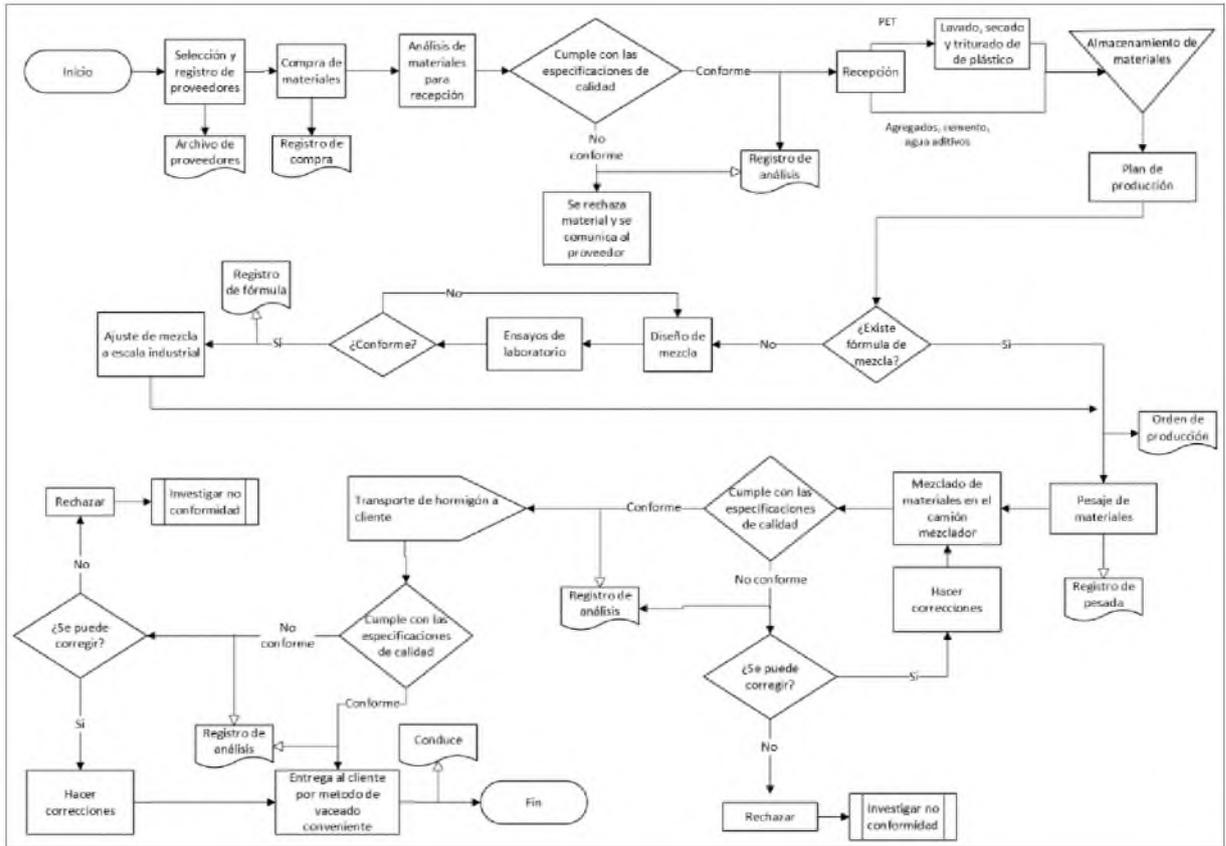


Fig. 18. Diagrama de flujo de fabricación de concreto.

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

Las dosificaciones a emplear en el proceso, son suministradas por el departamento de Control de Calidad. Estas pueden ser para mezclas previamente diseñadas que se encuentren en la base de datos o en su defecto se realiza un nuevo diseño de mezcla con las características deseadas por el cliente.

Una vez obtenido el diseño de mezcla, se emite una orden de producción para iniciar el proceso de pesaje, tomando en cuenta que esto va acompañado de los documentos que validan el uso de la fórmula. Los agregados requeridos en esta orden son previamente recolectados en el patio de acopio usando una pala mecánica y se llevan a las tolvas de dosificación conectada al mezclador. Las mismas están provistas de vibradores y pistones

neumáticos que garantizan un flujo adecuado de los agregados y celdas de pesaje para medir la proporción requerida.

El PET reciclado utilizado para la fabricación del hormigón contiene residuos orgánicos e inorgánicos, por lo que es necesario una etapa de lavado. Cada elemento de plástico es lavado utilizando agua a presión a una temperatura de  $65 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , y secado para no aportar exceso de agua al concreto. Luego del secado, los residuos plásticos se introducen en cuchillas rebanadoras, que los convierten en fibras finas. Estas fibras son almacenadas en tolvas de almacenamiento conectadas a una banda de carga y descarga cerrada o semiabierta, que dirige las fibras de PET hasta la tolva de dosificación.

El cemento almacenado en silos es transportado a través de una banda de carga, provista de un tornillo sin fin, hasta el tanque dosificador de cemento; el cual, contiene celdas de pesaje que permiten determinar la cantidad exacta a dosificar. Para el caso de los componentes líquidos, la dosificación se lleva a cabo mediante el uso de bombas neumáticas que van desde los diferentes tanques de almacenamiento de aditivos o agua hasta el mezclador. Su dosificación es contralada mediante el uso de controladores de flujo y presión.

Cuando se mezclan los materiales pesados y se forma la pasta de concreto, el departamento de Control de Calidad realiza las pruebas pertinentes al concreto fresco de acuerdo a las normas ASTM C1064, ASTM C231, ASTM C143 y ASTM C138. Si estas cumplen, se carga el camión mezclador y se despacha. Al llegar al cliente se toman muestras de hormigón como establece ASTM C172 y se entrega formalmente al cliente.

## **IX.1 COSTES DE PRODUCCIÓN**

Fundamentado en los precios de los materiales de construcción publicados por el Listín Diario (2021), en el artículo “Precios de madera, varillas, zinc y agregados suben más

de 50%”, y tomando en cuenta el precio por galón del Eucon SPJ, véase anexo II, se calcula el costo de producción de las mezclas de concreto diseñadas.

Para el pesaje, dosificado y mezclado de materiales de 1 m<sup>3</sup> de concreto, dos operadores tomarían aproximadamente 40 minutos, dando una productividad de 0.75 m<sup>3</sup> de concreto/hora. Por otro lado, la elaboración de la mezcla de concreto con 3.2 kg de PET reciclado, requiere de 3 horas aproximadamente, debido al proceso manual de preparación de fibras; esto disminuye la productividad a 0.17 m<sup>3</sup> de concreto/hora

El metro cúbico de concreto tradicional diseñado sin ajustes cuesta RD\$ 6,838.6; por otro lado, la mezcla de concreto ajustada y con 3.2 kg de PET tiene un costo de RD\$ 5,952.23, lo que da una diferencia de RD\$ 886.37 aproximadamente.

**TABLA 28**

**COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1 M<sup>3</sup> DE MEZCLA DE CONCRETO SIN AJUSTES**

<b>Ingredientes</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo (RD\$)</b>
<b>Costos de insumos</b>		
Agua, kg	194.01	1,358.07
Cemento Portland, kg	476.26	4,495.06
Agregado fino, kg	776.02	335.11
Agregado grueso, kg	773.92	332.96
EUCON SPJ, ml	1242.06	182.1
<b>Subtotal:</b>		<b>6,703.3</b>
<b>Costo horas hombre</b>		
Operador 1		67.65
Operador 2		67.65
<b>Subtotal:</b>		<b>135.30</b>
<b>TOTAL:</b>		<b>6,838.6</b>

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

**TABLA 29****COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1 M<sup>3</sup> DE MEZCLA DE CONCRETO CON FIBRAS DE PET**

<b>Ingredientes</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo (RD\$)</b>
<b>Costos de insumos</b>		
Agua, kg	169.27	1,184.89
Cemento Portland, kg	333.39	3,161.81
Agregado fino, kg	974.32	418.89
Agregado grueso, kg	890.00	382.37
EUCON SPJ, ml	872.46	127.91
PET, kg	3.2	70.5
<b>Subtotal</b>		<b>5,346.37</b>
<b>Costo horas hombre</b>		
Operador 1		302.93
Operador 2		302.93
<b>Subtotal:</b>		<b>605.86</b>
<b>TOTAL:</b>		<b>5,952.23</b>

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

## **CONCLUSIÓN**

## CONCLUSIÓN

Los diseños de mezcla se realizan para obtener elementos de construcción con una resistencia deseada. Las construcciones con el paso del tiempo han ido evolucionando lo que implica que se deben realizar investigaciones que optimicen y mejoren las características de las mezclas de concreto. Para lograr estas mejoras, la presente investigación plantea el uso de fibras de tereftalato de polietileno reciclado; el cual fue seleccionado por su buena manejabilidad, alta disponibilidad, bajo costo de adquisición, además por su alto consumo y lenta degradación se considera un contaminante significativo para el medio ambiente.

Durante la investigación realizada, se diseñan tres mezclas con diferentes proporciones de fibras de PET reciclado por metro cúbico de concreto, las cuales aportaron definidas características de resistencia mecánica en base al porcentaje presente en el concreto. La mezcla control, sin fibras de PET, arroja una resistencia a compresión de  $306 \text{ kgf/cm}^2$  y un módulo de ruptura de 3.75 MPa; el concreto reforzado con 1.8 kg de PET da como resultado una resistencia a compresión de  $386 \text{ kgf/cm}^2$  y un módulo de ruptura de 4.62 MPa; para el concreto con 2.5 kg de fibras añadidas se obtiene una resistencia a compresión de  $283 \text{ kgf/cm}^2$  y un módulo de ruptura de 4.44 MPa; por último, la resistencia a compresión obtenida con el concreto con 3.2 kg fibras de PET fue de  $308 \text{ kgf/cm}^2$  y el módulo de ruptura de 4.23 MPa.

A partir de los resultados obtenidos, el concreto reforzado con 3.2 kg de fibras de PET reciclado por metro cúbico es considerado óptimo, ya que este proporciona un aumento de resistencia a compresión y flexión de un 0.65% y un 12% respecto a la mezcla control, respectivamente. Las dosificaciones adecuadas de fibras plásticas en el concreto normalmente se encuentran entre un 0.1% y 0.7% del peso del cemento (Mendoza, Aire, & Dávila, 2011). La mezcla diseñada contiene un 0.96% p/p, superando ligeramente el porcentaje establecido anteriormente, y brindado un comportamiento satisfactorio en su resistencia a compresión y flexión, ya que se encuentran dentro del parámetro deseado.

El concreto diseñado reforzado con fibras de PET reciclado, no muestra reactividad frente a altas temperatura; sin embargo, su resistencia a compresión disminuye un 17%, por lo que su capacidad de carga es afectada. La formulación elegida muestra un mejor comportamiento frente a estas condiciones, y mantiene su capacidad de resistencia. Sin embargo, aunque esta mantenga su capacidad de resistencia a compresión dentro de los parámetros adecuados luego de ocurrir una exposición a elevadas temperaturas en una determinada edificación, se procede con la evaluación y el reforzamiento dirigido por un ingeniero estructural.

En cuanto al aspecto medio ambiental, el diseño de mezcla obtenido provee los siguientes beneficios: uso de gran cantidad de fibras de plástico reciclado sin perder propiedades mecánicas de manera significativa como se expone en el párrafo anterior; al agregar el tipo de aditivo escogido se presenta una reducción de cemento en un 30% con respecto a una mezcla convencional para la mezcla con la resistencia deseada diseñada, tomando en cuenta que el cemento es un contaminante directo tanto en su proceso de fabricación como en su implementación en la mezcla; se implementa un aditivo que no implica complicaciones a nivel de almacenamiento con características tales como no ser perjudicial durante su manipulación, comportamiento de reactividad nulo, no presenta riesgos de inflamabilidad, además no implica un riesgo para los ecosistemas acuáticos en caso de derrame. Por la naturaleza del aditivo, este reduce la porosidad del concreto, lo que le proporciona mayor impermeabilidad.

En el aspecto socioeconómico, la mezcla diseñada presenta un ahorro de un 12.96% de costos de producción, por la reducción de material cementante que brinda el uso del aditivo EUCON SPJ. La mezcla diseñada no se limita a elementos de construcción de viviendas simples de un solo nivel, sino que puede ser utilizada edificaciones multinivel, losas y pavimentos; asimismo brinda viviendas dignas, duraderas y resistentes al deterioro.

## **RECOMENDACIONES**

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer un proceso automatizado de preparación de fibras plásticas, a partir de botellas plásticas recicladas. Con esto, se asegura que las fibras tengan un tamaño adecuado.
- Para el moldeado de especímenes se recomienda recipientes de materiales no absorbentes, ya que esto interfiere con la cantidad de agua disponible para reaccionar con el material cementante, afectando de manera negativa la resistencia mecánica.
- Para obtener una mejor adherencia y mayor efecto enganche de las fibras de PET, se recomienda que tengan cortes de forma dentada.
- Se recomienda realizar pruebas a bajas temperaturas para determinar el comportamiento del concreto por congelamiento y deshielo.
- Se recomienda implementar las fibras de PET para la fabricación de mortero y determinar su resistencia con dicha adición

## **REFERENCIAS**

## REFERENCIAS

### BIBLIOGRAFIA

Abril, M., & Ramos, A. (2017). Identificación De La Variación En La Resistencia Del Concreto Debido Al Origen Del Agregado Grueso. Bogotá: Universidad Católica De Colombia. Obtenido De <https://Repository.Ucatolica.Edu.Co/Bitstream/10983/15280/1/Identificacion%20de%20la%20variacion%20en%20la%20resistencia%20del%20concreto%20debido%20al%20origen%20del%20agregado%20grues.Pdf>

Aire, C., & Aguilar, L. (2021). Ensayos De Control Del Concreto Lanzado Con Fibras En El Tunel De La Línea 12 Del Metro De Ka CDMX. ALCONPAT, 73-87. Doi:<https://doi.org/10.21041/Ra.V11i1.493>

Alarcón, C. N. (14 De Marzo De 2019). Estudio De Prefactibilidad Para Un Sistema De Limpieza De Plásticos Contaminados Con Grasa. Quito, Ecuador: Universidad Central Del Ecuador. Recuperado El 13 de octubre de 2020, De Estudio De Prefactibilidad Para Un Sistema De Limpieza De Plásticos Contaminados Con Grasa: [Http://Www.Dspace.Uce.Edu.Ec/Bitstream/25000/18053/1/T-UCCE-0012-FIG-085.Pdf](http://www.Dspace.Uce.Edu.Ec/Bitstream/25000/18053/1/T-UCCE-0012-FIG-085.Pdf)

American Society For Testing And Materials. (2001). Standard Test Method For Density (Unit Weight), Yield, And Air Content (Gravimetric) Of Concrete (ASTM C138). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2002). Standard Test Method For Flexural Strengthh Of Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading) (ASTM C78). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2003). Standard Practice For Making And Curing Concrete Test Specimens In The Field (ASTM C31). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2003). Standard Specification For Concree Aggregates (ASTM C33) (Vol. 04.02). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2003). Standard Test Method For Bulk Density “Unit Weight” And Voids In Aggregate. (ASTM C 29). Estados Unidos: ASTM International.

American Society For Testing And Materials. (2003). Standard Test Method For Slump Of Hydraulic-Cement Concrete (ASTM C143) (Vol. 04.02). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2004). Standard Practice For Sampling Freshly Mixed Concrete (ASTM C172). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2004). Standard Test Method For Density, Relative Density (Specific Gravity), And Absorption If Fine Aggregate (ASTM C128). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2004). Standard Test Method For Sieve Analysis Of Fine And Coarse Aggregates (ASTM C136). ASTM Committee.

American Society For Testing And Materials. (2004). Standard Test Method For Temperature Of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete (ASTM C1064) (Vol. 04.02). ASTM Committee.

Beltran, M. (1 De Abril De 2011). RUA. Recuperado El 13 De Octubre De 2020, De Universidad De Alicante. Departamento De Ingeniería Química:  
[https://Rua.Ua.Es/Dspace/Bitstream/10045/16893/1/Tema\\_2\\_Tipos\\_De\\_Plasticos\\_Aditivacion\\_Y\\_Mezclado.Pdf](https://Rua.Ua.Es/Dspace/Bitstream/10045/16893/1/Tema_2_Tipos_De_Plasticos_Aditivacion_Y_Mezclado.Pdf)

Caballero, K. (2017). Propiedades Mecánicas Del Concreto Reforzado Con Fibras Metálicas. Universidad Tecnológica De Panamá, Panamá. Obtenido De  
<https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/234019838.Pdf>

Campos, K., Fiorella, G., Montero, M., Pantoja, F., & Pasco, J. (Noviembre De 2019). Pirhua. Obtenido De Universidad De Piura:  
[https://Pirhua.Udep.Edu.Pe/Bitstream/Handle/11042/4292/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_La\\_drillos\\_PET.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://Pirhua.Udep.Edu.Pe/Bitstream/Handle/11042/4292/PYT_Informe_Final_Proyecto_La_drillos_PET.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)

Cañas", U. C. (S.F.). UCA. Recuperado El 4 de octubre de 2020, De Determinación Del Tiempo De Fraguado Inicial Y Final Del Cemento: <http://Www.Uca.Edu.Sv/Mecanica-Estructural/Materias/Materialescostruccion/Guiaslab/Ensayocemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.Pdf>

Collazos, J. C., & Ortiz, L. E. (1996). UAO. Recuperado El 23 de octubre de 2020, De <http://Red.Uao.Edu.Co/Bitstream/10614/3488/1/T0001378.Pdf>

Elias, X., & Jurado, L. (2012). Los Plásticos Residuales Y Sus Posibilidades De Valoración. Madrid: Díaz De Santos. Recuperado El 28 de abril de 2021.

Ferreira, R., & Piatti, T. M. (2005). Usinaciencia. (Edufal, Ed.) Recuperado El 12 de octubre de 2020, De Plásticos: Características, Usos, Produção E Impactos Ambientais: [Http://Www.Usinaciencia.Ufal.Br/Multimedia/Livros-Digitais-Cadernos Tematicos/Plasticos\\_Caracteristicas\\_Usos\\_Producao\\_E\\_Impactos\\_Ambientais.Pdf](http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf)

Flores, J. (2014). Efecto En Las Propiedades En Tensión De Un Material Compuesto Base Cemento Reforzado Con Fibras De Pet Reciclado. México: Centro De Investigación En Materiales Avanzados S.C. Obtenido De [Https://Cimav.Repositorioinstitucional.Mx/Jspui/Bitstream/1004/2136/1/Tesis%20jesus%20flores.Pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2136/1/Tesis%20jesus%20flores.pdf)

Fonseca, J., & Díaz, S. (2020). Aspectos Químicos Y Termodinámicos Del Cemento Y El Concreto. Universidad Santo Tomas. Obtenido De [Https://Repository.Usta.Edu.Co/Bitstream/Handle/11634/32512/Aspectos%20Qu%C3%Admicos%20y%20Termodin%C3%A1micos%20del%20cemento%20y%20el%20concreto.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32512/Aspectos%20Qu%C3%ADMICOS%20Y%20TERMODIN%C3%A1MICOS%20DEL%20CEMENTO%20Y%20EL%20CONCRETO.PDF?sequence=1&isAllowed=Y)

Hachi, J., & Rodríguez, J. (2010). Estudio De Factibilidad Para Reciclar Envases Plásticos De Polietileno Tereftalato (PET), En La Ciudad De Guayaquil. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana De Ecuador. Recuperado El 28 de abril de 2021, De [Https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/2450/2/UPS-GT000106.Pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2450/2/UPS-GT000106.pdf)

Herrera, P., & Vargas, H. (2018). Optimización De Mezclas De Concreto Mediante La Aplicación Del Método Walker Y La Introducción De Un Aditivo Experimental. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás. Obtenido De

<https://Repository.Usta.Edu.Co/Bitstream/Handle/11634/11931/2018paulherrera.Pdf?Sequence=1>

Instituto Ecuatoriano De Normalización. (2011). Hormigón De Cemento Hidráulico. Elaboración Y Curado En Obra De Especímenes Para Ensayos (1ra Edición Ed.). Quito, Ecuador.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). Diseño Y Control De Mezclas De Concreto. Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association. Obtenido De [https://D1wqtxts1xzle7.Cloudfront.Net/54593011/Diseno\\_Y\\_Control\\_De\\_Mezclas\\_De\\_Concreto\\_-\\_PCA-With-Cover-PageV2.Pdf?Expires=1627793446&Signature=E2mttv6sfj4oe7coq2uzukpcp6x7yugzcvqnlwj~PVZ9FVmuLAXuTtLMadYDRNiYK5NsGrUIp7q3n3rQtMKcpOtxnbB5hffrg7AZuTpu00x1~F](https://D1wqtxts1xzle7.Cloudfront.Net/54593011/Diseno_Y_Control_De_Mezclas_De_Concreto_-_PCA-With-Cover-PageV2.Pdf?Expires=1627793446&Signature=E2mttv6sfj4oe7coq2uzukpcp6x7yugzcvqnlwj~PVZ9FVmuLAXuTtLMadYDRNiYK5NsGrUIp7q3n3rQtMKcpOtxnbB5hffrg7AZuTpu00x1~F)

Martínez, B. (2015). Fisuración Originada Por Cambio De Volumen En Estructura De Hormigón Hidráulico. Matanzas, Cuba: Universidad De Matanzas. Obtenido De <http://Monografias.Umcc.Cu/Monos/2015/FCT/Mo15259.Pdf>

Mccormac, J., & Brown, R. (2017). Diseño De Concreto Reforzado (Decima Ed.). México: Alfaomega .

Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (2011). Influencia De Las Fibras De Polipropileno En Las Propiedades Del Concreto En Estados Plástico Y Endurecido. México: Universidad Nacional Autónoma De México.

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2007). Especificaciones Generales Para La Construcción De Edificaciones. Santo Domingo, República Dominicana.

Muñoz, F., & Pérez, E. (2018). Desarrollo De Un Sistema De Gestión Por Procesos Para Empresas De Servicios De Ingeniería Y Construcción Orientadas A La Industria. Caso: Empresa CDM S.A. Quito, Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar.

National Ready Mixed Concrete Association. (2017). Resistencia A La Flexión Del Concreto. Federación Iberoamericana Del Hormigón Premezclado.

Ortega, L., & Ariza, A. (2018). Evaluación De La Resistencia De Un Concreto Reforzado Con Fibras Al Impacto De Una Detonación. Bogotá: Universidad Católica De Colombia. Obtenido De <https://Repository.Ucatolica.Edu.Co/Bitstream/10983/22840/1/Evaluaci%C3%93n%20de%20la%20resistencia%20de%20un%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20al%20impacto%20de%20una%20detonacion%20%281%29.Pdf>

PCA America's Cement Manufactures. (S.F.). Design And Control Of Concrete Mixtures. Portland Cement Association.

Pérez, O., & Digson, G. (2014). Evaluación De Las Propiedades Físicas Y Mecánicas De Los Agregados Para El Diseño De Concreto  $f'_c=210$  Kg/Cm<sup>2</sup> De La Cantera Santa Rosajaén. Perú: Universidad Nacional De Cajamarca. Obtenido De <https://Repositorio.Unc.Edu.Pe/Bitstream/Handle/UNC/518/T%20620.191%20P438%202014.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y>

Reina, J. C., Sánchez, M., & Solano, E. (2010). Influencia De La Tasa De Aditivo Superplastificante, En Las Propiedades Del Concreto De Alta Resistencia En Estado Fresco Y Endurecido. El Salvador: Universidad De El Salvador. Obtenido De <https://Docplayer.Es/26815303-Influencia-De-La-Tasa-De-Aditivo-Superplastificante-En-Las-Propiedades-Del-Concreto-De-Alta-Resistencia-En-Estado-Fresco-Y-Endurecido.Html>

Reyes, M., & Camargo, J. (2016). Placas De Concreto De Ultra Alto Desempeño (UHPC) Como Solución Para Pisos En Estaciones De Transmilenio. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido De [Https://Repository.Javeriana.Edu.Co/Bitstream/Handle/10554/19618/Reyessuarezmargaritamaría2016.Pdf?Sequence=3](https://Repository.Javeriana.Edu.Co/Bitstream/Handle/10554/19618/Reyessuarezmargaritamaría2016.Pdf?Sequence=3)

Rodríguez, A. M. (2008). Uso Del Aditivo Superplastificante RHEOBUILD 1000 Y La Fibra De Polipropileno Fibermech En Edificios Con Muros De Ductilidad Limitada Aplicada Al Conjunto Habitacional Lomas Caminos Del Inca. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma. Obtenido De [Https://Repositorio.Urp.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Urp/96/Tello\\_Am.Pdf?Sequence=1&Isallosed=Y](https://Repositorio.Urp.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Urp/96/Tello_Am.Pdf?Sequence=1&Isallosed=Y)

Sepúlveda, A. (2013). Factores Determinantes De La Resistencia A Compresión De Concreto. Universidad Nacional De Colombia. Obtenido De [Https://Www.Researchgate.Net/Publication/309398676\\_Factores\\_Determinantes\\_De\\_La\\_Resistencia\\_A\\_Compresion\\_Del\\_Concreto](https://Www.Researchgate.Net/Publication/309398676_Factores_Determinantes_De_La_Resistencia_A_Compresion_Del_Concreto)

Valcuende, M., Marco, E., Jardón, R., & Gil, A. (S.F.). Evolución De La Resistencia Del Hormigón Con La Edad Y La Temperatura. Valencia: Universidad De Valencia. Obtenido De [Https://Riunet.Upv.Es/Bitstream/Handle/10251/12793/Evoluci%C3%B3n%20resistencia%20hormig%C3%B3n.Pdf](https://Riunet.Upv.Es/Bitstream/Handle/10251/12793/Evoluci%C3%B3n%20resistencia%20hormig%C3%B3n.Pdf)

## ARTICULOS Y REVISTAS

Carrillo, J., & Silva-Páramo, D. (Julio Septiembre De 2016). Ensayos A Flexión De Losas De Concreto Sobre Terreno Reforzadas Con Fibras De Acero. Ingeniería Investigación Y Tecnología, XVII (3), 317-330. Obtenido De [Http://Www.Scielo.Org.Mx/Pdf/Iit/V17n3/1405-7743-Iit-17-03-00317.Pdf](http://Www.Scielo.Org.Mx/Pdf/Iit/V17n3/1405-7743-Iit-17-03-00317.Pdf)

Nivar, A. (01 de agosto de 2019). Diario Libre. Recuperado El 4 De Octubre De 2020, De [Https://Www.Diariolibre.Com/Actualidad/Medioambiente/La-Republica-Dominicana-Produce-264-Mil-Toneladas-De-Residuos-De-Plastico-FF13612986](https://Www.Diariolibre.Com/Actualidad/Medioambiente/La-Republica-Dominicana-Produce-264-Mil-Toneladas-De-Residuos-De-Plastico-FF13612986)

Reyes, P. (07 de junio de 2021). Precios De Madera, Varillas, Zinc Y Agregados Suben Más De 50%. Obtenido De [Https://Listindiario.Com/La-Republica/2021/06/07/673801/Precios-De-Madera-Varillas-Zinc-Y-Agregados-Suben-Mas-De-50-](https://Listindiario.Com/La-Republica/2021/06/07/673801/Precios-De-Madera-Varillas-Zinc-Y-Agregados-Suben-Mas-De-50-)

Carrillo, J., Alcocer, S. M., & Aperador, W. (2012). Propiedades Mecánicas Del Concreto Para Viviendas De Bajo Costo. XIV(2). Obtenido De [Http://Www.Scielo.Org.Mx/Pdf/Iit/V14n2/V14n2a12.Pdf](http://Www.Scielo.Org.Mx/Pdf/Iit/V14n2/V14n2a12.Pdf)

Gaggino, R. (6 de junio de 2006). Ladrillos Y Placas Prefabricadas Con Plásticos Reciclados Aptos Para La Autoconstrucción. Invi, 23(63), 142-143. Obtenido De [Https://Revistaderechoeconomico.Uchile.Cl/Index.Php/INVI/Article/View/62288/65927](https://Revistaderechoeconomico.Uchile.Cl/Index.Php/INVI/Article/View/62288/65927)

García, S. (2009). Referencias Históricas Y Evolución De Los Plásticos. Revista Iberoamericana De Polímeros, 71-80.

Góngora, J. (2014). La Industria Del Plástico En México Y El Mundo. Comercio Exterior, 6-9. Recuperado El 13 de octubre de 2020, De [Http://Revistas.Bancomext.Gob.Mx/Rce/Magazines/761/3/La\\_Industria\\_Del\\_Plastico.Pdf](http://Revistas.Bancomext.Gob.Mx/Rce/Magazines/761/3/La_Industria_Del_Plastico.Pdf)

Hernández, N. (2010). Efecto Del Fuego Sobre La Resistencia A La Compresión De Un Elemento De Concreto De Resistencia De Diseño De 210 Kg/Cm<sup>2</sup>. Ingeniería UC, 38-43.

León, L., Torres, L., & Rodríguez, C. (2020). Disminución Del Contenido De Cemento A Partir De Un Diseño De Mezcla En La Unidad De Servicios Básicos Hormigón. Revista De Arquitectura E Ingeniería, 14(2), 1-20. Obtenido De [Https://Www.Redalyc.Org/Journal/1939/193963490005/Html/](https://Www.Redalyc.Org/Journal/1939/193963490005/Html/)

Solis, R., & Moreno, E. (2005). Influencia Del Curado Húmedo En La Resistencia A Compresión Del Concreto En Clima Cálido Subhúmedo. Redalyc, 9(3), 5-17. Obtenido De [Https://Www.Redalyc.Org/Pdf/467/46790301.Pdf](https://Www.Redalyc.Org/Pdf/467/46790301.Pdf)

## **WEBGRAFIAS**

GreenPeace. (s.f.). greenpeace. Recuperado el 13 de octubre de 2020, de Datos sobre la producción de plásticos: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

Mundo, B. (11 de diciembre de 2017). BBC . Recuperado el 4 de octubre de 2020, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias42304901#:~:text=Las%20botellas%20de%20bebidas%20son,mill%C3%B3n%20de%20botellas%20por%20minuto.>

Mendaña, R. (2014). uccor. Recuperado el 15 de septiembre de 2020, de [http://pa.bibdigital.uccor.edu.ar/129/1/TF\\_Menda%C3%Bl a.pdf](http://pa.bibdigital.uccor.edu.ar/129/1/TF_Menda%C3%Bl a.pdf)

## **GLOSARIO**

## GLOSARIO

Para comprender los términos utilizados en este documento se presentan las siguientes definiciones obtenidas de reglamentos, normas y entidades reguladoras correspondientes.

**Agregado:** Conjunto de partículas inertes, tales como arena, gravilla, grava, etc., que mezclados con agua y material cementante producen el hormigón o concreto.

**Carga muerta:** Peso de todos los materiales constructivos y acabados que ocupan una posición permanente en la edificación y cuyo peso no cambia significativamente con el tiempo.

**Hormigón, hormigonado o concreto:** Material que contiene una mezcla homogénea de material cementante, agregados inertes y agua, con o sin aditivos.

**Mampostería:** Muro hecho a base de bloques prefabricados unidos mediante mortero de pega.

**Resistencia a la compresión ( $f'_c$ ):** Resistencia nominal, a los 28 días, de los elementos de hormigón.

**Resistencia nominal:** Resistencia de un elemento.

**Aglomerante:** Material capaz de unir fragmentos de una sustancia y dar cohesión a sus moléculas.

**Aglutinamiento:** Es un agregado de células o bacterias debido a una formación entrelazada.

**Aglutinante:** Es una sustancia que se utiliza para diluir los pigmentos de una pintura o de un barniz.

**Apisonar:** Apretar o comprimir el suelo, la grava o la tierra, especialmente con una apisonadora.

**Cementante:** Materia utilizada para endurecer superficialmente por carburación piezas de acero.

**Formaletas:** Así se les llama a los elementos que funcionan como moldes, temporales o permanentes, en los que se vierte el concreto, y los cuales pueden ser de diversos materiales.

**Fraguado:** Endurecimiento de algunas mezclas que se usan en construcción.

**Resistencia al ataque químico:** indica la resistencia química de un material. Se trata de la capacidad de un material para resistir los procesos de deterioro causados por la reacción entre su entorno y su superficie.

**Retracción:** Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento y el agua capilar.

**Contracción plástica:** Son aquellas que se forman en la superficie del concreto fresco inmediatamente después de su vaciado y mientras permanece en estado plástico.

**Deflocular:** es la conversión de un material sin fluidez, como una masa pastosa de alta densidad, en un fluido de menor viscosidad sin agregar líquidos adicionales.

## **ANEXOS**

# ANEXO I. FICHA TECNICA DE EUCON SPJ

## EUCON SPJ

### HIGH RANGE WATER REDUCER - SUPERPLASTICIZER

#### DESCRIPTION

EUCON SPJ is a high solids, polycarboxylate based, high range water-reducing admixture which enables concrete to be produced with very low water to cement ratios. EUCON SPJ produces flowable and self-consolidating concrete at low doses and can obtain up to 45% water reduction. EUCON SPJ does not contain added chlorides and will not promote corrosion in steel. EUCON SPJ is compatible with air-entraining agents, microsilica, accelerators and many other admixtures; however, each material should be added to the concrete separately.

#### PRIMARY APPLICATIONS

- High performance concrete
- Negative slump concrete
- Heavily reinforced concrete
- Flatwork and mass concrete
- High early strength concrete
- Precast/prestressed concrete
- High slump, flowable concrete

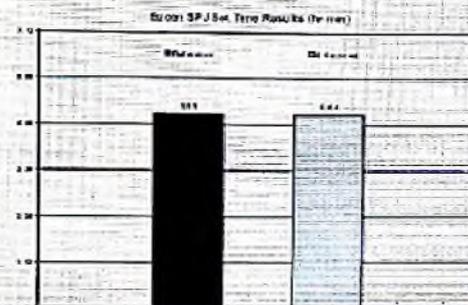
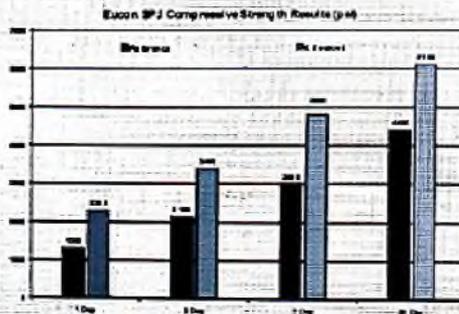
#### FEATURES/BENEFITS

- Produces low water content and low water/cement ratio concrete allowing higher strengths
- Produces flowing concrete with quicker stripping strengths
- Aids in concrete placement and reduces labor cost
- When used in precast work with Type I and Type III cements, EUCON SPJ will produce very high early strengths

#### TECHNICAL INFORMATION

##### Performance Data:

The following test results were achieved using typical ASTM C 494 mix design requirements, 517 lb/cyd (307 kg/m<sup>3</sup>) cement content and similar (± 0.5%) air content. These results were obtained under laboratory conditions with materials and mix designs meeting the specifications of ASTM C 494. Changes in materials and mix designs can affect the dosage response of EUCON SPJ.



The Euclid Chemical Company

18218 Redwood Rd. - Cleveland, OH 44110  
 Phone: [216] 581-9222 • Toll free: [800] 321-7628 • Fax: [216] 581-9595  
[www.euclidchemical.com](http://www.euclidchemical.com)

An RPM Company



EUCON SPJ  
MasterFormat  
03 3000 03 4000 03 7000

## PACKAGING

EUCON SPJ is packaged in bulk, 275 gal (1041 L) totes, 65 gal (208 L) drums and 5 gal (18.9 L) pails.

## SHELF LIFE

6 months in original, unopened container.

## SPECIFICATIONS/COMPLIANCES

- Fully complies with the requirements of ASTM C 494, Types A & F admixtures.
- Complies with the requirements of AASHTO M 194.

## DIRECTIONS FOR USE

EUCON SPJ can be added to the initial batch water or directly on the freshly batched concrete and mixed for approximately 5 minutes or 70 revolutions. However, better results have been observed batching directly on the freshly batched concrete. It should not come into contact with dry cement or other admixtures until mixed thoroughly with the concrete batch.

EUCON SPJ is typically used at dosages of 3 to 8 oz per 100 lbs (200 to 520 mL per 100 kg) of cementitious material. High-performance concrete applications may require dosages from 8 to 16 oz per 100 lbs (520 to 1175 mL per 100 kg) of cementitious material. Higher dosage rates are acceptable with prior testing and confirmation of the desired performance with specific materials being used.

For any concrete application including Self-Consolidating Concrete (SCC), the dosage of EUCON SPJ will vary depending on the mix design, local materials, and individual needs of the concrete producer. Trial mixes should be run to verify plastic and hardened performance with local materials. If the material gradations are not optimum for SCC, a viscosity modifier may be used to improve the quality of the mix. Please consult a local Euclid Chemical Sales Professional for trial mixtures and dosage recommendations.

EUCON SPJ is compatible with most admixtures including air-entraining agents, accelerators, most water-reducers, retarders, shrinkage reducers, corrosion inhibitors, viscosity modifiers, and macrofibers; however, each material should be added to the concrete separately.

## PRECAUTIONS / LIMITATIONS

- Care should be taken to maintain EUCON SPJ above freezing; however, freezing and subsequent thawing will not harm the material if thoroughly agitated. Never agitate with air or an air lance.
- Keep concrete from freezing until a minimum strength of 1000 psi (7 MPa) is reached.
- In all cases, consult the Material Safety Data Sheet before use.

Rev. 1.13

**WARRANTY** The Euclid Chemical Company ("Euclid") solely and expressly warrants that its products shall be free from defects in material and workmanship for one (1) year from the date of purchase. This warranty is in writing by an officer of Euclid, no other representations or statements made by Euclid or its representatives, in writing or orally, shall affect this warranty. EUCLID MAKES NO WARRANTY, IN WRITING OR ORALLY, AS TO THE MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ORDINARY OR PARTICULAR PURPOSES OF ITS PRODUCTS AND EXCLUDES THE SAME. If any Euclid product fails to conform with this warranty, Euclid shall repair the product at no cost to Buyer. Replacement of any product shall be the sole and exclusive remedy available and Buyer shall have no claim for lost profits or consequential damages. Any remedy shall be limited within one (1) year from the date of the claimed breach. Euclid does not authorize anyone on its behalf to make any written or oral statements which in any way alter Euclid's position on warranty or remedies, as indicated herein or on its packaging labels. Any installation of Euclid products which fails to conform with such installation information or instructions shall void the warranty. Product data sheets, if any, and other technical literature are for informational purposes only and do not constitute a warranty or warranty alteration of any kind. Buyer shall be solely responsible for determining the suitability of Euclid's products for the Buyer's intended purposes.

Fuente: The Euclid Chemical Company. (s.f.). *EUCON SPJ*. Recuperado el 28 de diciembre de 2020, de euclid chemical: [www.euclidchemical.com](http://www.euclidchemical.com)

## ANEXO II. COTIZACION DE EUCON SPJ

**COTIZACION**  
Activo  
S/D



Calle Francisco A. Caamaño Deñó No. 1, Casi esquina México, Ensanche Iván Guzmán Kláng, Engombe  
S.D.O. Rep. Dom. RNC 1-30-50781-3

809-530-1309 888-257-0679

**Laura Yissel Garcia**

Tel.:  
Fax:  
E-Mail:

Fecha: 2020-12-03

# COTIZACION	Representante	Planta / Proyecto
2050		Santo Domingo

Cantidad	Unidad	Precio	Descripción	Total
1	GALONE S	\$555.00	EUCON SPJ-N	\$555.00
1	FUNDAS	\$1,097.00	EUCON MSA	\$1,097.00
1	N/A	\$297.36	ITBIS 18%	\$297.36
Aprobado por: Jose peguero				
Firma del Cliente				
				<b>Total</b>
				<b>\$1,949.36</b>

**¡GRACIAS POR SU PATROCINIO!**

Fuente: INATEC. (03 de diciembre de 2020). Cotización Aditivo EUCON SPJ. Santo Domingo.

### ANEXO III. RUPTURA DE VIGAS EN ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN



Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) “Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción”.

**ANEXO IV RUPTURA DE CILINDROS EN ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN**



**CONTROL**

**PET 1.8 kg**

**PET 2.5 kg**

**PET 3.2 kg**

Fuente: García, L.; Novoa, N. (2021) "Formulación de mezcla de concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de elementos de construcción".

**ANEXO V NORMA ASTM C127 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA  
DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN  
DE AGREGADO GRUESO**



## Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 127; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscripted epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the average density of a quantity of coarse aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the relative density (specific gravity), and the absorption of the coarse aggregate. Depending on the procedure used, the density ( $\text{kg/m}^3/\text{lb/ft}^3$ ) is expressed as oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or its apparent density. Likewise, relative density (specific gravity), a dimensionless quantity, is expressed as OD, SSD, or its apparent relative density (apparent specific gravity). The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregate. The SSD density, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration.

1.2 This test method is used to determine the density of the essentially solid portion of a large number of aggregate particles and provides an average value representing the sample. Distinction is made between the density of aggregate particles as determined by this test method, and the bulk density of aggregates as determined by Test Method C 29/C 29M, which includes the volume of voids between the particles of aggregates.

1.3 This test method is not intended to be used with lightweight aggregates.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard for conducting the tests. The test results for density shall be reported in either SI units or inch-pound units, as appropriate for the use to be made of the results.

1.5 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory material. Those notes and footnotes (including those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this test method.

1.6 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards<sup>2</sup>

- C 29/C 29M Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Void in Aggregate
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- C 546 Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size
- D 75 Practice for Sampling Aggregates
- D 448 Classification for States of Aggregate for Road and Bridge Construction
- E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes

#### 2.2 AASHTO Standard<sup>3</sup>

- AASHTO No. T 85 Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate<sup>4</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 *absorption, n*—the increase in mass of aggregate due to water penetration into the pores of the particles during a prescribed period of time, but not including water adhering to the outside surface of the particles, expressed as a percentage of the dry mass.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.30 on Sieve Weight Aggregates.

Current edition approved Aug. 1, 2004. Published August 2004. Originally approved in 1936. Last previous edition approved in 2001 as C 127–01.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 404 North Capitol St., N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

<sup>4</sup> A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.1.2 *oven-dry (OD),  $m_f$* —related to aggregate particles, the condition in which the aggregates have been dried by heating in an oven at  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  for sufficient time to reach a constant mass.

3.1.3 *saturated-surface-dry (SSD),  $m_s$* —related to aggregate particles, the condition in which the permeable pores of aggregate particles are filled with water to the extent achieved by submerging in water for the prescribed period of time, but without free water on the surface of the particles.

3.1.4 *density,  $\rho$* —the mass per unit volume of a material, expressed as kilograms per cubic metre (pounds per cubic foot).

3.1.4.1 *density (OD),  $\rho$* —the mass of oven-dry aggregate per unit volume of aggregate particles, including the volume of permeable and impermeable pores within the particles, but not including the voids between the particles.

3.1.4.2 *density (SSD),  $\rho$* —the mass of saturated-surface-dry aggregate per unit volume of the aggregate particles, including the volume of impermeable pores and water-filled voids within the particles, but not including the pores between the particles.

3.1.4.3 *apparent density,  $\rho$* —the mass per unit volume of the impermeable portion of the aggregate particles.

3.1.5 *relative density (specific gravity),  $G$* —the ratio of the density of a material to the density of distilled water at a stated temperature; the values are dimensionless.

3.1.5.1 *relative density (specific gravity) (OD),  $G_m$* —the ratio of the density (OD) of the aggregate to the density of distilled water at a stated temperature.

3.1.5.2 *relative density (specific gravity) (SSD),  $G_m$* —the ratio of the density (SSD) of the aggregate to the density of distilled water at a stated temperature.

3.1.5.3 *apparent relative density (apparent specific gravity),  $G_m$* —the ratio of the apparent density of aggregate to the density of distilled water at a stated temperature.

3.1.6 For definitions of other terms related to aggregates, see Terminology C 125.

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A sample of aggregate is immersed in water for  $24 \pm 4$  h to essentially fill the pores. It is then removed from the water, the water dried from the surface of the particles, and the mass determined. Subsequently, the volume of the sample is determined by the displacement of water method. Finally, the sample is oven-dried and the mass determined. Using the mass values thus obtained and formulas in this test method, it is possible to calculate density, relative density (specific gravity), and absorption.

#### 5. Significance and Use

5.1 Relative density (specific gravity) is the characteristic generally used for calculation of the volume occupied by the aggregate in various mixtures containing aggregate, including portland cement concrete, bituminous concrete, and other mixtures that are proportional or analyzed on an absolute volume basis. Relative density (specific gravity) is also used in the computation of voids in aggregate in Test Method C 29/C 29M. Relative density (specific gravity) (SSD) is used if the aggregate is wet, that is, if its absorption has been satisfied.

Conversely, the relative density (specific gravity) (OD) is used for computations when the aggregate is dry or assumed to be dry.

5.2 Apparent density and apparent relative density (apparent specific gravity) pertain to the solid material making up the constituent particles not including the pore space within the particles which is accessible to water.

5.3 Absorption values are used to calculate the change in the mass of an aggregate due to water absorbed in the pore spaces within the constituent particles, computed in the dry condition, when it is deemed that the aggregate has been in contact with water long enough to satisfy most of the absorption potential. The laboratory standard for absorption is that obtained after submerging dry aggregate for a prescribed period of time. Aggregates mined from below the water table commonly have a moisture content greater than the absorption determined by this test method, if used without opportunity to dry prior to use. Conversely, some aggregates which have not been continuously maintained in a moist condition until used are likely to contain an amount of absorbed moisture less than the 24-h soaked condition. For an aggregate that has been in contact with water and that has free moisture on the particle surfaces, the percentage of free moisture is determined by deducting the absorption from the total moisture content determined by Test Method C 566.

5.4 The general procedures described in this test method are suitable for determining the absorption of aggregates that have had conditioning other than the 24-h soak, such as boiling water or vacuum saturation. The values obtained for absorption by other test methods will be different than the values obtained by the prescribed soaking, as will the relative density (specific gravity) (SSD).

5.5 The pores in lightweight aggregates are not necessarily filled with water after immersion for 24 h. In fact, the absorption potential for many such aggregates is not satisfied after several days' immersion in water. Therefore, this test method is not intended for use with lightweight aggregate.

#### 6. Apparatus

6.1 *Balance*—A device for determining mass that is sensitive, readable, and accurate to 0.05 % of the sample mass at any point within the range used for this test, or 0.5 g, whichever is greater. The balance shall be equipped with suitable apparatus for suspending the sample container in water from the center of the platform or pan of the balance.

6.2 *Sample Container*—A wire basket of 3.35 mm (No. 6) or finer mesh, or a bucket of approximately equal breadth and height, with a capacity of 4 to 7 L, for 37.5-mm (1½-in.) nominal maximum size aggregate or smaller, and a larger container as needed for testing larger maximum size aggregate. The container shall be constructed so as to prevent trapping air when the container is submerged.

6.3 *Water Tank*—A watertight tank into which the sample container is placed while suspended below the balance.

6.4 *Sieves*—A 4.75-mm (No. 4) sieve or other sieve as needed (see 7.2-7.4), conforming to Specification E 11.

6.5 *Oven*—An oven of sufficient size, capable of maintaining a uniform temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

## 7. Sampling

7.1 Sample the aggregate in accordance with Practice C 75.

7.2 Thoroughly mix the sample of aggregate and reduce it to the approximate quantity needed using the applicable procedures in Practice C 702. Reject all material passing a 4.75-mm (No. 4) sieve by dry sieving and thoroughly washing to remove dust or other coatings from the surface. If the coarse aggregate contains a substantial quantity of material finer than the 4.75-mm sieve (such as for Size No. 8 and 9 aggregates in Classification D 448), use the 2.36-mm (No. 8) sieve in place of the 4.75-mm sieve. Alternatively, separate the material finer than the 4.75-mm sieve and test the finer material according to Test Method C 128.

Note 1—If aggregates smaller than 4.75 mm (No. 4) are used in the sample, check to ensure that the size of the openings in the sample container is smaller than the minimum size aggregate.

7.3 The minimum mass of test sample to be used is given as follows. Testing the coarse aggregate in several size fractions is permitted. If the sample contains more than 15% retained on the 37.5-mm (1½-in.) sieve, test the material larger than 37.5 mm in one or more size fractions separately from the smaller size fractions. When an aggregate is tested in separate size fractions, the minimum mass of test sample in each fraction shall be the difference between the masses prescribed for the maximum and minimum sizes of the fraction.

Minimum Maximum Size, mm (in.)	Minimum Mass of Test Sample, kg (lb)
12.5 (½)	2 (4.4)
19.0 (¾)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1½)	7 (15)
50 (2)	8 (18)
75 (3)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3½)	25 (55)
150 (6)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

7.4 If the sample is tested in two or more size fractions, determine the grading of the sample in accordance with Test Method C 136, including the sieves used for separating the size fractions for the determinations in this method. In calculating the percentage of material in each size fraction, ignore the quantity of material finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve (or 2.36-mm (No. 8) sieve when that sieve is used in accordance with 7.2).

Note 2—When testing coarse aggregate of large nominal maximum size requiring large test samples, it may be more convenient to perform the test on two or three subsamples, and the values obtained multiplied for the computations described in Section 9.

## 8. Procedure

8.1 Dry the test sample in the oven to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , cool in air at room temperature for 1 to 3 h for test samples of 37.5-mm (1½-in.) nominal maximum size, or longer for larger sizes until the aggregate has cooled to a temperature that is comfortable to handle (approximately  $50^\circ\text{C}$ ). Subsequently immerse the aggregate in water at room temperature for a period of  $24 \pm 4$  h.

8.2 When the absorption and relative density (specific gravity) values are to be used in proportioning concrete

mixtures in which the aggregates will be in their naturally moist condition, the requirement in 8.1 for initial drying is optional, and, if the surfaces of the particles in the sample have been kept continuously wet until tested, the requirement in 8.1 for  $24 \pm 4$  h soaking is also optional.

Note 3—Values for absorption and relative density (specific gravity) (SSD) may be significantly higher for aggregate not oven dried before soaking than for the same aggregate tested in accordance with 8.1. This is especially true of particles larger than 75 mm since the water may not be able to penetrate the pores to the center of the particle in the prescribed soaking period.

8.3 Remove the test sample from the water and roll it in a large absorbent cloth until all visible films of water are removed. Wipe the larger particles individually. A moving stream of air is permitted to assist in the drying operation. Take care to avoid evaporation of water from aggregate pores during the surface-drying operation. Determine the mass of the test sample in the saturated surface-dry condition. Record this and all subsequent masses to the nearest 0.5 g or 0.05% of the sample mass, whichever is greater.

8.4 After determining the mass in air, immediately place the saturated-surface-dry test sample in the sample container and determine its apparent mass in water at  $23 \pm 2.0^\circ\text{C}$ . Take care to remove all entrapped air before determining its mass by slaking the container while immersed.

Note 4—The difference between the mass in air and the mass when the sample is submerged in water equals the mass of water displaced by the sample.

Note 5—The container should be immersed to a depth sufficient to cover it and the test sample while determining the apparent mass in water. Wry suspending the container should be of the smallest practical size to minimize any possible effects of a variable immersed length.

8.5 Dry the test sample in the oven to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , cool in air at room temperature 1 to 3 h, or until the aggregate has cooled to a temperature that is comfortable to handle (approximately  $50^\circ\text{C}$ ), and determine the mass.

## 9. Calculations

### 9.1 Relative Density (Specific Gravity)

9.1.1 *Relative Density (Specific Gravity) (RD)*—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of oven-dry aggregate as follows:

$$\text{Relative density (specific gravity) (RD)} = A/B - C \quad (1)$$

where:

$A$  = mass of oven-dry test sample in air, g,  
 $B$  = mass of saturated-surface-dry test sample in air, g, and  
 $C$  = apparent mass of saturated test sample in water, g.

9.1.2 *Relative Density (Specific Gravity) (SSD)*—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of saturated-surface-dry aggregate as follows:

$$\text{Relative density (specific gravity) (SSD)} = B/(\beta - C) \quad (2)$$

9.1.3 *Apparent Relative Density (Apparent Specific Gravity)*—Calculate the apparent relative density (apparent specific gravity) as follows:

$$\text{Apparent relative density (apparent specific gravity)} = A/(\alpha - C) \quad (3)$$

**9.2 Density:**

**9.2.1 Density (C/D)**—Calculate the density on the basis of oven-dry aggregate as follows:

$$\text{Density (C/D), kg/m}^3 = 997.5 A/(B - C) \quad (4)$$

$$\text{Density (C/D), lb/ft}^3 = 62.27 A/(B - C) \quad (5)$$

*Note 6*—The constant values used in the calculations in 9.2.1-9.2.3 (997.5 kg/m<sup>3</sup> and 62.27 lb/ft<sup>3</sup>) are the density of water at 23 °C.

**9.2.2 Density (SSD)**—Calculate the density on the basis of saturated-surface-dry aggregate as follows:

$$\text{Density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 B/(B - C) \quad (6)$$

$$\text{Density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 B/(B - C) \quad (7)$$

**9.2.3 Apparent Density**—Calculate the apparent density as follows:

$$\text{Apparent density, kg/m}^3 = 997.5 A/(A - C) \quad (8)$$

$$\text{Apparent density, lb/ft}^3 = 62.27 A/(A - C) \quad (9)$$

**9.3 Average Density and Relative Density (Specific Gravity) Values**—When the sample is tested in separate size fractions, compute the average values for density or relative density (specific gravity) of the size fraction computed in accordance with 9.1 or 9.2 using the following equation:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}} \quad \text{(see Appendix X1)} \quad (10)$$

where:

$G$  = average density or relative density (specific gravity). All forms of expression of density or relative density (specific gravity) can be averaged in this manner.

$G_1, G_2, \dots, G_n$  = appropriate average density or relative density (specific gravity) values for each size fraction depending on the type of density or relative density (specific gravity) being averaged, and

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = mass percentages of each size fraction present in the original sample (not including finer material—see 7.4).

**9.4 Absorption**—Calculate the percentage of absorption, as follows:

$$\text{Absorption, \%} = [(D - A)/A] \times 100 \quad (11)$$

*Note 7*—Some authorities recommend using the density of water at 4 °C (1000 kg/m<sup>3</sup> or 1.000 Mg/m<sup>3</sup> or 62.43 lb/ft<sup>3</sup>) as being infinitely accurate.

**9.5 Average Absorption Value**—When the sample is tested in separate size fractions, the average absorption value is the average of the values as computed in 9.4, weighted in proportion to the mass percentages of each size fraction present in the original sample (not including finer material—see 7.4) as follows:

$$A = (P_1 A_1/100) + (P_2 A_2/100) + \dots + (P_n A_n/100) \quad (12)$$

where:

$A$  = average absorption, %.

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = absorption percentages for each size fraction, and

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = mass percentages of each size fraction present in the original sample.

**10. Report**

**10.1** Report density results to the nearest 10 kg/m<sup>3</sup>, or 0.5 lb/ft<sup>3</sup>, relative density (specific gravity) results to the nearest 0.01, and indicate the basis for density or relative density (specific gravity), as either (C/D), (SSD), or apparent.

**10.2** Report the absorption result to the nearest 0.1 %.

**10.3** If the density, relative density (specific gravity) and absorption values were determined without first drying the aggregate, as permitted in 8.2, note that fact in the report.

**11. Precision and Bias**

**11.1** The estimates of precision of this test method listed in Table 1 are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by this test method and AASHTO Method T 85. The significant difference between the methods is that Test Method C 127 requires a saturation period of 24 ± 4 h, while Method T 85 requires a saturation period of 15 h minimum. This difference has been found to have an insignificant effect on the precision indices. The data are based on the analyses of more than 100 paired test results from 40 to 100 laboratories. The precision estimates for density were calculated from values determined for relative density (specific gravity), using the density of water at 23 °C for the conversion.

**11.2 Bias**—Since there is no accepted reference material for determining the bias for the procedure in this test method, no statement on bias is being made.

**TABLE 1 Precision**

	Standard Deviation (1σ) <sup>a</sup>	Acceptable Range of Test Results (2σ) <sup>a</sup>
<b>Single-Oven Test Program</b>		
Density (C/D), kg/m <sup>3</sup>	9	25
Density (SSD), kg/m <sup>3</sup>	7	20
Apparent density, kg/m <sup>3</sup>	7	20
Relative density (specific gravity) (C/D)	0.008	0.025
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.007	0.020
Apparent relative density (apparent specific gravity)	0.007	0.020
<b>Multi-Oven Test Program</b>		
Density (C/D), kg/m <sup>3</sup>	13	36
Density (SSD), kg/m <sup>3</sup>	11	32
Apparent density, kg/m <sup>3</sup>	11	32
Relative density (specific gravity) (C/D)	0.013	0.036
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.011	0.032
Apparent relative density (apparent specific gravity)	0.011	0.032

<sup>a</sup> These numbers represent, respectively, the (1σ and (2σ) terms as described in Practice D 670. The precision estimates were obtained from the analyses of coarse and AASHTO Materials Reference Laboratory proficiency sample data from laboratories using 15-h minimum saturation times and other procedures using 24 ± 4 h saturation times. Testing was performed on normal-weight aggregates, and water was aggregated in the density condition.

**12. Keywords**

12.1 absorption; aggregate; apparent density; apparent relative density; coarse aggregate density; relative density; specific gravity

**APPENDICES**

(Nonmandatory Information)

**X1. DEVELOPMENT OF EQUATIONS**

X1.1 The derivation of the equation is from the following simplified cases using two solids. Solid 1 has a mass  $M_1$  in grams and a volume  $V_1$  in milliliters; its relative density (specific gravity) ( $G_1$ ) is therefore  $M_1/V_1$ . Solid 2 has a mass  $M_2$  and volume  $V_2$ , and  $G_2 = M_2/V_2$ . If the two solids are considered together, the relative density (specific gravity) of the combination is the total mass in grams divided by the total volume in milliliters:

$$G = (M_1 + M_2) / (V_1 + V_2) \tag{X1.1}$$

Manipulation of this equation yields the following:

$$G = \frac{1}{\frac{V_1 + V_2}{M_1 + M_2}} = \frac{1}{\frac{V_1}{M_1 + M_2} + \frac{V_2}{M_1 + M_2}} \tag{X1.2}$$

$$G = \frac{1}{\frac{M_2}{M_1 + M_2} \left( \frac{V_1}{M_1} \right) + \frac{M_1}{M_1 + M_2} \left( \frac{V_2}{M_2} \right)} \tag{X1.3}$$

However, the mass functions of the two solids are:

$$M_1/(M_1 + M_2) = P_1/100 \text{ and } M_2/(M_1 + M_2) = P_2/100 \tag{X1.4}$$

and,

$$1/G_1 = V_1/M_1 \text{ and } 1/G_2 = V_2/M_2 \tag{X1.5}$$

Therefore,

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100 G_1} + \frac{P_2}{100 G_2}} \tag{X1.6}$$

An example of the computation is given in Table X1.1.

**TABLE X1.1 Example of Calculation of Weighted Values of Relative Density (Specific Gravity) and Absorption for a Coarse Aggregate Tested in Separate Bins**

Size Fraction, mm (in.)	% Ft. Original Sample	Sample Mass Used in Test, g	Relative Density (Specific Gravity) (SSD)	Absorption, %
4.75 to 12.5 (No. 4 to 16)	44	2213.0	2.72	0.4
12.5 to 37.5 (No. 16 to 48)	35	5452.0	2.56	2.5
37.5 to 63 (48 to 240)	21	12593.0	2.34	3.0

Average Relative Density (Specific Gravity) (SSD)

$$G_{\text{mix}} = \frac{1}{\frac{0.44}{2.72} + \frac{0.35}{2.56} + \frac{0.21}{2.34}} = 2.62$$

Average Absorption

$$A = (0.44)(0.4) + (0.35)(2.5) + (0.21)(3.0) = 1.7\%$$

**X2. INTERRELATIONSHIPS BETWEEN RELATIVE DENSITIES (SPECIFIC GRAVITIES) AND ABSORPTION AS DEFINED IN TEST METHODS C 127 AND C 128**

X2.1 Where:

- $S_g$  = relative density (specific gravity) (GHI),
- $S'_g$  = relative density (specific gravity) (SSD),
- $S_a$  = apparent relative density (apparent specific gravity), and
- A = absorption in %.

X2.2 Calculate the values of each as follows:

$$S_g = (1 + A/100)S'_g \tag{X2.1}$$

$$S_g = \frac{1}{\frac{1}{S'_g} - \frac{A}{100}} = \frac{S'_g}{1 - \frac{AS'_g}{100}} \tag{X2.2}$$

$$S'_g = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_g} - \frac{A}{100}} = \frac{S_g}{1 - \left[ \frac{A}{100}(S_g - 1) \right]} \tag{X2.3}$$

$$A = \left( \frac{S_g}{S'_g} - 1 \right) 100 \tag{X2.4}$$

$$A = \left( \frac{S_g - S'_g}{S'_g(S_g - 1)} \right) 100 \tag{X2.5}$$



C 127 - 04

## SUMMARY OF CHANGES

Committee C19 has identified the location of selected changes in this test method since the last issue, C 127 - 01, that may impact the use of this test method. (Approved August 1, 2004)

(1) Added new section 6.3.

(2) Modified sections 8.1 and 8.5.

*ASTM International takes no position regarding the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are specially advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and may be revised every five years and if not revised, either to originate for a new edition, Your comments are invited either for revision of the standard or for additional technical corrections should be added based on ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not been adequately addressed you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM in accordance with 100 Bar Harbor Drive, PO Box C701, West Conshohocken, PA 19380-2000, United States. Individual reports (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9888 (phone), 610-832-9551 (fax), or [astm@astm.org](mailto:astm@astm.org) (e-mail), or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

**ANEXO VI NORMA ASTM C128 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA  
DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN  
DE AGREGADO FINO**



## Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 128; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol (°) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use as a specification of the Department of Defense.

### 1. Scope<sup>2</sup>

1.1 This test method covers the determination of the average density of a quantity of fine aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the relative density (specific gravity), and the absorption of the fine aggregate. Depending on the procedure used, the density, in kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>) is expressed as oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or as apparent density. Likewise, relative density (specific gravity), a dimensionless quality, is expressed as OD, SSD, or as apparent relative density (apparent specific gravity). The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregate. The SSD density, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration.

1.2 This test method is used to determine the density of the essentially solid portion of a large number of aggregate particles and provides an average value representing the sample. Distinction is made between the density of aggregate particles as determined by this test method, and the bulk density of aggregates as determined by Test Method C 29/ C 29M, which includes the volume of voids between the particles of aggregates.

1.3 This test method is not intended to be used for lightweight aggregates.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard for conducting the tests. The test results for density shall be reported in either SI units or inch-pound units, as appropriate for the use to be made of the results.

1.5 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this test method.

1.6 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>3</sup>

- C 29/ C 29M Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate
  - C 70 Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate
  - C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
  - C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate
  - C 188 Test Method for Density of Hydraulic Cement
  - C 566 Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying
  - C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
  - C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size
  - D 75 Practice for Sampling Aggregates
- #### 2.2 AASHTO Standard:
- AASHTO No. T 84 Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates<sup>4</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 *absorption, n*—the increase in mass of aggregate due to water penetrating into the pores of the particles, during a prescribed period of time but not including water adhering to the outside surface of the particles, expressed as percentage of the dry mass.

3.1.2 *oven-dry (OD), adj*—related to aggregate particles, the condition in which the aggregates have been dried by heating in an oven at 110 ± 5 °C for sufficient time to reach a constant mass.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D08 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee D08.20 on Natural Weight Aggregates.

Current edition approved Aug. 1, 2014. Published August 2014. Originally approved in 1936. Last previous edition approved in 2010 as C 128-01<sup>1</sup>.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, visit the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 404 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

<sup>4</sup> A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.1.3 *saturated-surface-dry (SSD), sat*—related to aggregate particles, the condition in which the permeable pores of aggregate particles are filled with water to the extent achieved by submerging in water for the prescribed period of time, but without free water on the surface of the particles.

3.1.4 *density,  $\rho$* —the mass per unit volume of a material, expressed as kilograms per cubic metre (pounds per cubic foot).

3.1.4.1 *density (OD),  $\rho$* —the mass of oven-dry aggregate particles per unit volume of aggregate particles, including the volume of permeable and impermeable pores within particles, but not including the voids between the particles.

3.1.4.2 *density (SSD),  $\rho$* —the mass of saturated-surface-dry aggregate per unit volume of the aggregate particles, including the volume of impermeable voids and water-filled pores within the particles, but not including the pores between the particles.

3.1.4.3 *apparent density,  $\rho$* —the mass per unit volume of the impermeable portion of the aggregate particles.

3.1.5 *relative density (specific gravity),  $\rho_r$* —the ratio of the density of a material to the density of water at a stated temperature; the values are dimensionless.

3.1.5.1 *relative density (specific gravity), (OD),  $\rho_r$* —the ratio of the density (OD) of the aggregate to the density of water at a stated temperature.

3.1.5.2 *relative density (specific gravity), (SSD),  $\rho_r$* —The ratio of the density (SSD) of the aggregate to the density of water at a stated temperature.

3.1.5.3 *apparent relative density (apparent specific gravity),  $\rho_r$* —the ratio of the apparent density of aggregate to the density of water at a stated temperature.

3.1.6 For definitions of other terms related to aggregates see Terminology C 125.

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A sample of aggregate is immersed in water for 24 ± 4 h to essentially fill the pores. It is then removed from the water, the water is dried from the surface of the particles, and the mass determined. Subsequently, the sample (or a portion of it) is placed in a graduated container and the volume of the sample is determined by the gravimetric or volumetric method. Finally, the sample is oven-dried and the mass determined again. Using the mass values thus obtained and formulas in this test method, it is possible to calculate density, relative density (specific gravity), and absorption.

#### 5. Significance and Use

5.1 Relative density (specific gravity) is the characteristic generally used for calculation of the volume occupied by the aggregate in various mixtures containing aggregate including portland cement concrete, mass concrete, and other mixtures that are prepared or analyzed as an absolute volume basis. Relative density (specific gravity) is also used in the computation of voids in aggregates in Test Method C 29/ C 29M. Relative density (specific gravity) (SSD) is used in the determination of surface moisture on fine aggregate by displacement of water in Test Method C 70. Relative density (specific gravity) (SSD) is used if the aggregate is wet, that is, if its absorption has been satisfied. Conversely, the density or

relative density (specific gravity) (OD) is used for computations when the aggregate is dry or assumed to be dry.

5.2 Apparent density and apparent relative density (apparent specific gravity) pertain to the solid material making up the constituent particles (not including the pore space within the particles that is accessible to water. This value is not widely used in construction aggregate technology.

5.3 Absorption values are used to calculate the change in the mass of an aggregate material due to water absorbed in the pore spaces within the constituent particles, compared to the dry condition, when it is deemed that the aggregate has been in contact with water long enough to satisfy most of the absorption potential. The laboratory standard for absorption is that obtained after submerging dry aggregate for a prescribed period of time. Aggregates mined from below the water table commonly have a moisture content greater than the absorption determined by this test method, if used without opportunity to dry prior to use. Conversely, some aggregates which have not been continuously maintained in a moist condition until used are likely to contain an amount of absorbed moisture less than the 24-h soaked condition. For an aggregate that has been in contact with water and that has free moisture on the particle surfaces, the percentage of free moisture is determined by deducting the absorption from the total moisture content determined by Test Method C 566 by drying.

5.4 The general procedures described in this test method are suitable for determining the absorption of aggregates that have had conditioning other than the 24-h soak, such as boiling water or vacuum saturation. The values obtained for absorption by other test methods will be different than the values obtained by the prescribed 24-h soak, as will the density (SSD) or relative density (specific gravity) (SSD).

5.5 The pores in lightweight aggregates are not necessarily filled with water after immersion for 24 h. In fact, the absorption potential for many such aggregates is not satisfied after several days immersion in water. Therefore, this test method is not intended for use with lightweight aggregate.

#### 6. Apparatus

6.1 *Balance*—A balance or scale having a capacity of 1 kg or more, sensitive to 0.1 g or less, and accurate within 0.1 % of the test load at any point within the range of use for this test method. Within any 100-g range of test load, a difference between readings shall be accurate within 0.1 g.

6.2 *Pycnometer (for Use with Gravimetric Procedure)*—A flask or other suitable container from which the fine aggregate test sample can be readily introduced and in which the volume content can be reproduced within ± 0.1 cm<sup>3</sup>. The volume of the container filled to mark shall be at least 50 % greater than the space required to accommodate the test sample. A volumetric flask of 500-cm<sup>3</sup> capacity or a fruit jar fitted with a pycnometer top is satisfactory for a 500-g test sample of most fine aggregates.

6.3 *Flask (for Use with Volumetric Procedure)*—A Le Chatelier flask as described in Test Method C 108 is satisfactory for an approximately 55-g test sample.

6.4 *Mold and Tamping for Surface Moisture Test*—The metal mold shall be in the form of a frustum of a cone with dimensions as follows: 40 ± 3-mm inside diameter at the top,

90 ± 3 mm inside diameter at the bottom, and 75 ± 3 mm in height, with the metal having a minimum thickness of 0.8 mm. The metal tamping shall have a mass of 340 ± 15 g and a dot circular tapering face 25 ± 3 mm in diameter.

6.5 *Oven*—An oven of sufficient size, capable of maintaining a uniform temperature of 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

## 7. Sampling

7.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75. Thoroughly mix the sample and reduce it to obtain a test specimen of approximately 1 kg using the applicable procedures described in Practice C 702.

## 8. Preparation of Test Specimen

8.1 Place the test specimen in a suitable pan or vessel and dry in the oven to constant mass at a temperature of 110 ± 5 °C. Allow it to cool to comfortable handling temperature, cover with water, either by immersion or by the addition of at least 6% moisture to the fine aggregate, and permit to stand for 24 ± 4 h.

8.1.1 Where the absorption and relative density (specific gravity) values are to be used in proportioning concrete mixtures in which the aggregates will be in their naturally moist condition, the requirements in 8.1 for initial drying is optional, and, if the surfaces of the particles in the sample have been kept continuously wet until tested, the requirement in 8.1 for 24 ± 4 h soaking is also optional.

*Note 1*—Values for absorption and for relative density (specific gravity) (SSD) may be significantly higher for aggregate not oven dried before soaking than for the same aggregate tested in accordance with 8.1.

8.2 Decant excess water with care to avoid loss of fines, spread the sample on a flat nonabsorbent surface exposed to a gently moving current of warm air, and stir frequently to secure homogeneous drying. Employ mechanical aids such as tumbling or stirring to assist in achieving the saturated surface-dry condition, if desired. Continue this operation until the test specimen approaches a free-flowing condition. Follow the procedure in 8.3 to determine if surface moisture is still present on the constituent fine aggregate particles. Make the first trial for surface moisture when there is still some surface water in the test specimen. Continue drying with constant stirring and test at frequent intervals until the test indicates that the specimen has reached a surface-dry condition. If the first trial of the surface moisture test indicates that moisture is not present on the surface, it has been dried past the saturated surface-dry condition. In this case, thoroughly mix a few milliliters of water with the fine aggregate and permit the specimen to stand in a covered container for 30 min. Then resume the process of drying and testing at frequent intervals for the onset of the surface-dry condition.

8.3 *Test for Surface Moisture*—Hold the mold firmly on a smooth nonabsorbent surface with the large diameter down. Place a portion of the partially dried fine aggregate loosely in the mold by filling it to overflowing and heaping additional material above the top of the mold by holding it with the cupped fingers of the hand holding the mold. Lightly tamp the fine aggregate into the mold with 25 light drops of the tamping. Start each drop approximately 5 mm above the top surface of

the fine aggregate. Permit the tamping to fall freely under gravitational attraction on each drop. Adjust the starting height to the new surface elevation after each drop and thereafter the drops over the surface. Remove loose sand from the base and lift the mold vertically. If surface moisture is still present, the fine aggregate will retain the mounded shape. Slight slumping of the mounded fine aggregate indicates that it has reached a surface-dry condition.

8.3.1 Some fine aggregate with predominantly angular-shaped particles or with a high proportion of fines does not slump in the cone test upon reaching the surface-dry condition. Test by dropping a handful of the fine aggregate from the cone test onto a surface from a height of 100 to 150 mm, and observe for fines becoming airborne; presence of airborne fines indicates this problem. For these materials, consider the saturated surface-dry condition as the point that sand side of the fine aggregate slumps slightly upon removing the mold.

*Note 2*—The following criteria have also been used on materials that do not readily slump:

(1) *Proximate Cone Test*—Fill the cone mold as described in 8.3 except only use 10 drops of the tamping. Add more fine aggregate and use 10 drops of the tamping again. Then add material two more times using 3 and 2 drops of the tamping, respectively. Level off the material even with the top of the mold, remove loose material from the base, and lift the mold vertically.

(2) *Proximate Surface Test*—If airborne fines are noted when the fine aggregate is such that it will not slump when it is at a moisture condition, add more moisture to the sand, and at the onset of the surface-dry condition, with the hand lightly put approximately 100 g of the material on a flat, dry, clean, dull or dull nonabsorbent surface such as a sheet of rubber, a worn oxidized, galvanized, or steel surface, or a black-painted metal surface. After 1 to 3 s, remove the fine aggregate. If noticeable moisture shows on the test surface for more than 1 to 2 s then surface moisture is considered to be present on the fine aggregate.

(3) Chromimetric procedures described by Kundhal and Lee, Highway Research Record No. 307, p. 44.

(4) For reaching the saturated surface-dry condition on a single size material that slumps when test, hand-finish paper towels can be used to surface dry the material until the point is just reached where the paper towel does not appear to be picking up moisture from the surfaces of the fine aggregate particles.

## 9. Procedure

9.1 Test by either the gravimetric procedure in 9.2 or the volumetric procedure in 9.3. Make all determinations of mass to 0.1 g.

### 9.2 Gravimetric (Pycnometer) Procedure:

9.2.1 Partially fill the pycnometer with water. Introduce into the pycnometer 500 ± 10 g of saturated surface-dry fine aggregate prepared as described in Section 8, and fill with additional water to approximately 90% of capacity. Agitate the pycnometer as described in 9.2.1.1 (manually) or 9.2.1.2 (mechanically).

9.2.1.1 Manually roll, invert, and agitate the pycnometer to eliminate all air bubbles.

Note 3—About 15 to 20 min are normally required to eliminate the air bubbles by manual methods. Dipping the tip of a paper funnel into the pycnometer has been found to be useful in dispersing the foam that sometimes builds up when eliminating the air bubbles. Occasionally, a small amount of isopropyl alcohol may be used to disperse the foam.

9.2.1.2 Mechanically agitate the pycnometer by external vibration in a manner that will not degrade the sample. A level of agitation adjusted to just set individual particles in motion is sufficient to produce de-airing without degradation. A mechanical agitator shall be considered acceptable for use if comparison tests for each six-month period of use show variations less than the acceptable range of two results (d2s) indicated in Table 1 from the results of manual agitation on the same material.

9.2.2 After eliminating all air bubbles, adjust the temperature of the pycnometer and its contents to  $23.0 \pm 2.0$  °C if necessary by partial immersion in circulating water, and bring the water level in the pycnometer to its calibrated capacity. Determine the total mass of the pycnometer, specimen, and water.

9.2.3 Remove the fine aggregate from the pycnometer, dry in the oven to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5$  °C, cool in air at room temperature for  $1 \pm 1/2$  h, and determine the mass.

9.2.4 Determine the mass of the pycnometer filled to its calibrated capacity with water at  $23.0 \pm 2.0$  °C.

9.3 Volumetric (Le Châtelier Flask) Procedure:

9.3.1 Fill the flask initially with water to a point on the stem between the 0 and the 1-ml mark. Record this initial reading

with flask and contents within the temperature range of  $23.0 \pm 2.0$  °C. Add  $55 \pm 5$  g of fine aggregate to the saturated surface-dry condition (or other measured quantity as necessary). After all fine aggregate has been introduced, place the stopper in the flask and roll the flask in an inclined position, or gently whirl it in a horizontal circle so as to dislodge all entrapped air, continuing until no further bubbles rise to the surface (Note 4). Take a final reading with the flask and contents within 1 °C of the original temperature.

Note 4—A small measured amount (not to exceed 1 mL) of isopropyl alcohol may be used to eliminate foam appearing on the water surface. The volume of alcohol used must be subtracted from the final reading (R<sub>2</sub>).

9.3.2 For determination of the absorption, use a separate  $500 \pm 10$ -g portion of the saturated surface-dry fine aggregate, dry to constant mass, and determine the dry mass.

10. Calculations

10.1 Symbols:

A = mass of oven-dry specimen, g  
 B = mass of pycnometer filled with water to calibration mark, g  
 C = mass of pycnometer filled with specimen and water to calibration mark, g

R<sub>1</sub> = initial reading of water level in Le Châtelier flask, mL  
 R<sub>2</sub> = final reading of water in Le Châtelier flask, mL

S = mass of saturated surface-dry specimen used in the gravimetric procedure for density and relative density (specific gravity), or for absorption with both procedures, g  
 S<sub>1</sub> = mass of saturated surface-dry specimen used in the volumetric procedure for density and relative density (specific gravity), g

10.2 Relative Density (Specific Gravity):

10.2.1 Relative Density (Specific Gravity) (Oven-dry)—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of oven-dry aggregate as follows:

10.2.1.1 Gravimetric Procedure:  
 Relative density (specific gravity) (RD) =  $A/(B - C)$  (1)

10.2.1.2 Volumetric Procedure:  
 Relative density (specific gravity) (RD) =  $[A(S_1/1000)]/(B - A_1)$  (2)

10.2.2 Relative Density (Specific Gravity) Saturated Surface-dry—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of saturated surface-dry aggregate as follows:

10.2.2.1 Gravimetric Procedure:  
 Relative density (specific gravity) (SSD) =  $S/(B - C)$  (3)

10.2.2.2 Volumetric Procedure:  
 Relative density (specific gravity) (SSD) =  $S_1/(B - A_1)$  (4)

10.2.3 Apparent Relative Density (Apparent Specific Gravity)—Calculate the apparent relative density (apparent specific gravity) as follows:

10.2.3.1 Gravimetric Procedure:  
 Apparent relative density (apparent specific gravity) =  $A/(B + A - C)$  (5)

10.2.3.2 Volumetric Procedure:

TABLE 1 Precision

	Standard Deviation (1s) <sup>a</sup>	Acceptable Range of Two Results (d2s) <sup>a</sup>
<b>Single-Operator Precision:</b>		
Density (OD), kg/m <sup>3</sup>	11	13
Density (SSD), kg/m <sup>3</sup>	9.9	12
Apparent density, kg/m <sup>3</sup>	9.5	12
Relative density (specific gravity) (OD)	0.011	0.013
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.0095	0.012
Apparent relative density (apparent specific gravity)	0.0095	0.012
Absorption <sup>b</sup> , %	0.11	0.14
<b>Multiple-Operator Precision:</b>		
Density (OD), kg/m <sup>3</sup>	23	28
Density (SSD), kg/m <sup>3</sup>	20	25
Apparent density, kg/m <sup>3</sup>	20	25
Relative density (specific gravity) (OD)	0.027	0.034
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.020	0.026
Apparent relative density (apparent specific gravity)	0.020	0.026
Absorption <sup>b</sup> , %	0.23	0.29

<sup>a</sup> These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) errors as described in Practice C 870. The precision estimates were obtained from the analysis of composite AASHTO Method Reference Laboratory proficiency tests data from laboratories using 15 to 18-g saturated (oven and other structures using 24 to 44-g saturated) tests. Testing was performed on normal weight aggregates, and related with aggregates in the oven-dry condition.

<sup>b</sup> Revised editorially to correct a typographical error in August 2003.  
<sup>c</sup> Precision estimates are based on aggregates with absorptions of less than 1% and may differ for manufactured fine aggregates and for aggregates having absorption values greater than 1%.

$$\text{Apparent relative density (apparent specific gravity)} \\ = \frac{S_2(A_2/S)}{0.9975(W_2 - R_2) + (15,345 - A_2)} \quad (10)$$

**10.3 Density:**

**10.3.1 Density (Oven-dry)—**Calculate the density on the basis of oven-dry aggregates as follows:

**10.3.1.1 Gravimetric Procedure:**

$$\text{Density (OD), kg/m}^3 = 997.5 A/(B + S - C) \quad (7)$$

$$\text{Density (OD), lb/ft}^3 = 62.27 A/(B + S - C) \quad (8)$$

**10.3.1.2 Volumetric Procedure:**

$$\text{Density (OD), kg/m}^3 = 997.5 S_1 / (0.9975 (W_1 - R_1)) \quad (9)$$

$$\text{Density (OD), lb/ft}^3 = 62.27 S_1 / (0.9975 (W_1 - R_1)) \quad (10)$$

*Note 3—*The constant values used in the calculations in 10.3.1-10.3.3 (997.5 kg/m<sup>3</sup> and 62.27 lb/ft<sup>3</sup>) are the density of water at 23 °C. Some authorities recommend using the density of water at 4 °C (1000 kg/m<sup>3</sup> or 1000 lb/m<sup>3</sup> or 62.43 lb/ft<sup>3</sup>) as being sufficiently accurate.

**10.3.2 Density (Saturated surface-dry)—**Calculate the density on the basis of saturated surface-dry aggregate as follows:

**10.3.2.1 Gravimetric Procedure:**

$$\text{Density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 B/(B + S - C) \quad (11)$$

$$\text{Density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 B/(B + S - C) \quad (12)$$

**10.3.2.2 Volumetric Procedure:**

$$\text{Density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 S_2 / (0.9975 (W_2 - R_2)) \quad (13)$$

$$\text{Density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 S_2 / (0.9975 (W_2 - R_2)) \quad (14)$$

**10.3.3 Apparent Density—**Calculate the apparent density as follows:

**10.3.3.1 Gravimetric Procedure:**

$$\text{Apparent density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 A/(B + A - C) \quad (15)$$

$$\text{Apparent density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 A/(B + A - C) \quad (16)$$

**10.3.3.2 Volumetric Procedure:**

$$\text{Apparent density (SSD), kg/m}^3 \quad (17)$$

$$\text{Apparent density (SSD), lb/ft}^3 \quad (18)$$

$$\text{Apparent density (SSD), lb/ft}^3 \quad (19)$$

**10.4 Absorption—**Calculate the percentage of absorption as follows:

$$\text{Absorption, \%} = 100 [(S - A)/A] \quad (19)$$

**11. Report**

11.1 Report density results to the nearest 10 kg/m<sup>3</sup>, or 0.5 lb/ft<sup>3</sup>, relative density (specific gravity) results to the nearest 0.01, and indicate the basis for density or relative density (specific gravity), as either oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or apparent.

11.2 Report the absorption result to the nearest 0.1 %.

11.3 If the density and relative density (specific gravity) values were determined without first drying the aggregate, as permitted in 8.2, note that fact in the report.

**12. Precision and Bias**

12.1 *Precision*—The estimates of precision of this test method (listed in Table 1) are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by this test method and AASHTO Method T 84. The significant difference between the methods is that Test Method C 128 requires a saturation period of 24 ± 4 h, and AASHTO Test Method T 84 requires a saturation period of 15 to 19 h. This difference has been found to have an insignificant effect on the precision indices. The data are based on the analyses of more than 100 (pairs) test results from 40 to 100 laboratories. The precision estimates for density were calculated from values determined for relative density (specific gravity), using the density of water at 23 °C for the conversion.

12.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for this test method, no statement on bias is being made.

**13. Keywords**

13.1 absorption; aggregate; apparent density; apparent relative density; density; fine aggregate; relative density; specific gravity

# ASTM C 128 - 04

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1. INTERRELATIONSHIPS BETWEEN RELATIVE DENSITIES (SPECIFIC GRAVITIES) AND ABSORPTION AS DEFINED IN TEST METHODS C 127 AND C 128

X1.1 This appendix gives mathematical interrelationships among the three types of relative densities (specific gravities) and absorption. These may be useful in checking the consistency of reported data or calculating a value that was not reported by using other reported data.

$$S_r = \frac{1}{\frac{1}{S_a} - \frac{A}{100}} = \frac{S_a}{1 - \frac{AS_a}{100}} \quad (X1.2)$$

$$\begin{aligned} \text{or } S_a &= \frac{1}{\frac{1}{S_r} - \frac{A}{100}} \\ &= \frac{S_r}{1 - \frac{A}{100}(S_r - 1)} \end{aligned} \quad (X1.3)$$

X1.2 Where:

- $S_r$  = relative density (specific gravity) (RD),
- $S_a$  = relative density (specific gravity) (SSD),
- $S_a'$  = apparent relative density (apparent specific gravity), and
- $A$  = absorption, in %.

$$A = \left( \frac{S_r}{S_a} - 1 \right) 100 \quad (X1.4)$$

Calculate the values of each as follows:

$$S_a = (1 + A/100)S_r \quad (X1.1)$$

$$A = \left( \frac{S_r - S_a}{S_a(S_a - 1)} \right) 100 \quad (X1.5)$$

### SUMMARY OF CHANGES

Committee C19 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C 128 - 01<sup>1</sup>, that may impact the use of this test method. (Approved August 1, 2004)

(1) Added new paragraph 6.5.

(2) Revised paragraphs 8.1 and 9.2.3.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and may be revised every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reports (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at (610) 832-9100 (phone), (610) 832-9898 (fax), or [astm@astm.org](mailto:astm@astm.org) (e-mail) or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

**ANEXO VII NORMA ASTM C29 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA  
DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO) Y VACIOS EN EL AGREGADO**



# Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate<sup>1</sup>

This standard is found under the test designation C 29/C 29M. Its number in ascending order by the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol indicates editorial changes since the last designation approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

## 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of bulk density ("unit weight") of aggregate in a compacted or loose condition, and calculated voids between particles in fine, coarse, or mixed aggregates based on the same determination. This test method is applicable to aggregates not exceeding 5 in. (125 mm) in nominal maximum size.

Note 1—Unit weight is the traditional terminology used to describe the property determined by this test method, which is weight per unit volume. More correctly, mass per unit volume or density.

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard, as appropriate for a specification with which this test method is used. An exception is with regard to sieve sizes and nominal size of aggregate, in which the SI values are the standard as stated in Specification E 11. Within the text, SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other, without combining values in any way.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

## 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*<sup>2</sup>
  - C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>3</sup>
  - C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate<sup>4</sup>
  - C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate<sup>5</sup>
  - C 130C, 130M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete<sup>6</sup>
  - C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements

for Test Methods for Construction Materials<sup>7</sup>

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>8</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>9</sup>

D 123 Terminology Relating to Testes<sup>10</sup>

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>11</sup>

2.2 *ASTM Standard*

T19/T19M Method of Test for Unit Weight and Voids in Aggregate<sup>12</sup>

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions are in accordance with Terminology C 125 unless otherwise indicated.

3.1.1 *bulk density, n—of aggregate*, the mass of a unit volume of bulk aggregate material, in which the volume includes the volume of the individual particles and the volume of the voids between the particles. Expressed in  $\text{lb}/\text{ft}^3$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

3.1.2 *unit weight, n—weight (mass) per unit volume*, (Depreciated term used—preferred term *bulk density*.)

3.1.2.1 *Discussion*—Weight is equal to the mass of the body multiplied by the acceleration due to gravity. Weight may be expressed in absolute units (newtons, pounds) or in gravitational units (kgf, lbf), for example, on the surface of the earth, a body with a mass of 1 kg has a weight of 1 kgf (approximately 9.81 N), or a body with a mass of 1 lb has a weight of 1 lbf (approximately 4.45 N or 32.2 pounds). Since weight is equal to mass times the acceleration due to gravity, the weight of a body will vary with the location where the weight is determined, while the mass of the body remains constant. On the surface of the earth, the force of gravity imparts to a body that is free to fall an acceleration of approximately  $9.81 \text{ m/s}^2$  (32.2  $\text{ft/s}^2$ ). **D 123**

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*

3.2.1 *voids, n—in unit volume of aggregate*, the space between particles in an aggregate mass not occupied by solid mineral matter.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.31 on Natural Weight Aggregates.

Current edition approved July 10, 1997. Published September 1997. Originally approved in 1929. Last previous edition approved in 1991 as C 29/C 29M – 91a.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>6</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 400 N. Capitol St., NW, Suite 275, Washington, DC 20001.

3.2.1.1 *Discussion*—Voids within particles, either permeable or impermeable, are not included in voids as determined by this test method.

**4. Significance and Use**

4.1 This test method is often used to determine bulk density values that are necessary for use for many methods of selecting proportions for concrete mixtures.

4.2 The bulk density also may be used for determining mass/volume relationships for conversion in purchase agreements. However, the relationship between degree of compaction of aggregates in a hauling unit or stockpile and that achieved in this test method is unknown. Further, aggregates in hauling units and stockpiles usually contain absorbed and surface moisture (the latter affecting bulkings), while this test method determines the bulk density on a dry basis.

4.3 A procedure is included for computing the percentage of voids between the aggregate particles based on the bulk density determined by this test method.

**5. Apparatus**

5.1 *Balance*—A balance or scale accurate within 0.1 % of the test load at any point within the range of use, graduated to at least 0.1 lb (0.05 kg). The range of use shall be considered to extend from the mass of the measure empty to the mass of the measure plus its contents at 120 lb/ft<sup>3</sup> [1920 kg/m<sup>3</sup>].

5.2 *Tamping Rod*—A round, straight steel rod, 3/8 in. [16 mm] in diameter and approximately 24 in. [600 mm] in length, having the tamping end, or both ends, rounded to a hemispherical tip, the diameter of which is 3/8 in. [16 mm].

5.3 *Measure*—A cylindrical metal measure, preferably provided with handles. It shall be watertight, with the top and bottom true and even, and sufficiently rigid to retain its form under rough usage. The measure shall have a height approximately equal to the diameter, but in no case shall the height be less than 80 % nor more than 150 % of the diameter. The capacity of the measure shall conform to the limits in Table 1.

**TABLE 1 Capacity of Measures**

Nominal Measure Size of Aggregate		Capacity of Measure <sup>a</sup>	
in.	mm	ft <sup>3</sup>	L (m <sup>3</sup> )
3/4	19.0	1/16	2.0 (0.057)
1	25.0	1/8	3.3 (0.093)
1 1/2	37.5	1/4	6.6 (0.184)
2	50.0	1/2	13.2 (0.368)
3	75.0	3/4	19.8 (0.552)
4	100.0	1 1/4	29.7 (0.837)
6	150.0	2 1/4	59.4 (1.674)

<sup>a</sup> The nominal size of measure shall be used to test aggregates of a nominal maximum size equal to or smaller than that listed. The actual volume of the measure shall be at least 95 % of the nominal volume listed.

for the aggregate size to be tested. The thickness of metal in the measure shall be as described in Table 2. The top rim shall be smooth and plane within 0.01 in. [0.25 mm] and shall be parallel to the bottom within 0.5° (Note 2). The interior wall of the measure shall be a smooth and continuous surface.

Note 2—The top rim is satisfactorily plane if a 0.01-in. [0.25-mm] feeler gage cannot be inserted between the rim and a piece of 1/8-in. [3-mm] or thicker plate glass laid over the measure. The top and bottom

**TABLE 2 Requirements for Measures**

Capacity of Measure	Thickness of Metal, in.		
	Bottom	Upper 1/8 in. or 25 mm of wall <sup>a</sup>	Remainder of wall
Less than 0.4 ft <sup>3</sup>	0.20 in.	0.10 in.	0.10 in.
0.4 ft <sup>3</sup> to 0.8 ft <sup>3</sup> , incl.	0.20 in.	0.20 in.	0.12 in.
Over 0.8 to 2.0 ft <sup>3</sup> , incl.	0.40 in.	0.25 in.	0.18 in.
Over 2.0 to 4.0 ft <sup>3</sup> , incl.	0.50 in.	0.30 in.	0.20 in.
Less than 0.1 L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 to 42 L, incl.	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
Over 42 to 80 L, incl.	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
Over 80 to 120 L, incl.	15.0 mm	7.6 mm	5.0 mm

<sup>a</sup> The actual thickness in the upper portion of the wall may be obtained by passing a feeler gage over the rim of the measure.

are satisfactorily parallel if the slope between pieces of plate glass in contact with the top and bottom rims are raised 0.37 % in any direction.

5.3.1 If the measure is to also be used for testing for bulk density of freshly-mixed concrete according to Test Method C 138, the measure shall be made of steel or other suitable metal not readily subject to attack by cement paste. Reactive materials, such as aluminum alloys are permitted, where as a consequence of an initial reaction, a surface film is formed which protects the metal against further oxidation.

5.3.2 Measures larger than nominal 1 ft<sup>3</sup> (28 L) capacity shall be made of steel for rigidity, or the minimum thicknesses of metal listed in Table 2 shall be suitably increased.

5.4 *Shovel or Scoop*—A shovel or scoop of convenient size for filling the measure with aggregate.

5.5 *Calibration Equipment*—A piece of plate glass, preferably at least 1/8 in. [3 mm] thick and at least 1 in. [25 mm] larger than the diameter of the measure to be calibrated. A supply of water-pump or chassis grease that can be placed on the rim of the container to prevent leakage.

**6. Sampling**

6.1 Obtain the sample in accordance with Practice D 75, and reduce to test sample size in accordance with Practice C 702.

**7. Test Sample**

7.1 The size of the sample shall be approximately 125 to 200 % of the quantity required to fill the measure, and shall be heaped in a manner to avoid segregation. Dry the aggregate sample to essentially constant mass, preferably in an oven at 270 ± 9°F [130 ± 5°C].

**8. Calibration of Measure**

8.1 Fill the measure with water at room temperature and cover with a piece of plate glass in such a way as to eliminate bubbles and excess water.

8.2 Determine the mass of the water in the measure using the balance described in 5.1.

8.3 Measure the temperature of the water and determine its density from Table 3, interpolating if necessary.

8.4 Calculate the volume, *V*, of the measure by dividing the mass of the water required to fill the measure by its density. Alternatively, calculate the factor for the measure (*1/V*) by dividing the density of the water by the mass required to fill the measure.

**TABLE 3 Density of Water**

Temperature		lb <sup>ft</sup> <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
°F	°C		
60	15.6	62.386	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	998.07
75.4	23.0	62.274	997.54
78	25.6	62.261	997.32
80	26.7	62.254	997.20
85	29.4	62.166	996.81

**Note 3**—For the calculation of bulk density, the volume of the measure in SI units should be expressed in cubic meters, or the factor  $\text{m}^3/\text{ft}^3$ . However, for convenience the size of the measure may be expressed in liters.

8.5 Measures shall be recalibrated at least once a year or whenever there is reason to question the accuracy of the calibration.

## 9. Selection of Procedure

9.1 The riddling procedure for loose bulk density shall be used only when specifically stipulated. Otherwise, the compact bulk density shall be determined by the riddling procedure for aggregates having a nominal maximum size of 1½ in. [37.5 mm] or less, or by the jigging procedure for aggregates having a nominal maximum size greater than 1½ in. [37.5 mm] and not exceeding 5 in. [125 mm].

## 10. Riddling Procedure

10.1 Fill the measure one-third full and level the surface with the fingers. Riddle the layer of aggregate with 25 strokes of the tamping rod evenly distributed over the surface. Fill the measure two-thirds full and again level and riddle as above. Finally, fill the measure to overflowing and riddle again in the manner previously mentioned. Level the surface of the aggregate with the fingers or a straightedge in such a way that any slight projections of the larger pieces of the coarse aggregate approximately balance the larger voids in the surface below the top of the measure.

10.2 In riddling the first layer, do not allow the rod to strike the bottom of the measure directly. In riddling the second and third layers, use vigorous effort, but not more force than to cause the tamping rod to penetrate to the previous layer of aggregate.

**Note 4**—In riddling the larger sizes of coarse aggregate, it may not be possible to penetrate the layer being riddled, especially with angular aggregates. The intent of the procedure will be accomplished if vigorous effort is used.

10.3 Determine the mass of the measure plus its contents, and the mass of the measure alone, and record the values to the nearest 0.1 lb (0.05 kg).

## 11. Jigging Procedure

11.1 Fill the measure in three approximately equal layers as described in 10.1, compacting each layer by placing the measure on a firm base, such as a cement-concrete floor, raising the opposite sides alternately about 2 in. [50 mm], and allowing the measure to drop in such a manner as to hit with a sharp, slapping blow. The aggregate particles, by this proce-

dure, will arrange themselves in a densely compacted condition. Compact each layer by dropping the measure 50 times in the manner described, 25 times on each side. Level the surface of the aggregate with the fingers or a straightedge in such a way that any slight projections of the larger pieces of the coarse aggregate approximately balance the larger voids in the surface below the top of the measure.

11.2 Determine the mass of the measure plus its contents, and the mass of the measure alone, and record the values to the nearest 0.1 lb (0.05 kg).

## 12. Shoveling Procedure

12.1 Fill the measure to overflowing by means of a shovel or scoop, discharging the aggregate from a height not to exceed 2 in. [50 mm] above the top of the measure. Exercise care to prevent, so far as possible, segregation of the particle sizes of which the sample is composed. Level the surface of the aggregate with the fingers or a straightedge in such a way that any slight projections of the larger pieces of the coarse aggregate approximately balance the larger voids in the surface below the top of the measure.

12.2 Determine the mass of the measure plus its contents, and the mass of the measure alone, and record the values to the nearest 0.1 lb (0.05 kg).

## 13. Calculation

13.1 **Bulk Density**—Calculate the bulk density for the riddling, jigging, or shoveling procedure as follows:

$$M = (G - T) \div V \quad (1)$$

or

$$M = (G - F) \div F \quad (2)$$

where:

- $M$  = bulk density of the aggregate, lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>],
- $G$  = mass of the aggregate plus the measure, lb [kg],
- $T$  = mass of the measure, lb [kg],
- $V$  = volume of the measure, ft<sup>3</sup> [m<sup>3</sup>], and
- $F$  = factor for measure, ft<sup>3</sup> [m<sup>3</sup>].

13.1.1 The bulk density determined by this test method is for aggregate in an oven-dry condition. If the bulk density in terms of saturated-surface-dry (SSD) condition is desired, use the exact procedure in this test method, and then calculate the SSD bulk density using the following formula:

$$M_{SSD} = M(1 + A/100) \quad (3)$$

where:

- $M_{SSD}$  = bulk density in SSD condition, lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>], and
- $A$  = % absorption, determined in accordance with Test Method C 127 or Test Method C 128.

13.2 **Void Content**—Calculate the void content in the aggregate using the bulk density determined by either the riddling, jigging, or shoveling procedure, as follows:

$$\% \text{ voids} = 100[(S \times W) - M](S \times W) \quad (4)$$

where:

- $M$  = bulk density of the aggregate, lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>],

- $S$  = bulk specific gravity (dry basis) as determined in accordance with Test Method C 127 or Test Method C 128, and
- $W$  = density of water, 62.3 lb/ft<sup>3</sup> [998 kg/m<sup>3</sup>].

**14. Report**

- 14.1 Report the results for the bulk density to the nearest 1 lb/ft<sup>3</sup> [10 kg/m<sup>3</sup>] as follows:
  - 14.1.1 Bulk density by rodding, or
  - 14.1.2 Bulk density by jigging, or
  - 14.1.3 Loose bulk density.
- 14.2 Report the results for the void content to the nearest 1 % as follows:
  - 14.2.1 Voids in aggregate compacted by rodding, %, or
  - 14.2.2 Voids in aggregate compacted by jigging, %, or
  - 14.2.3 Voids in loose aggregate, %.

**15. Precision and Bias**

15.1 The following estimates of precision for this test method are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory (MRL) Proficiency Sample Program, with testing conducted using this test method and AASHTO Method T 19/T19M. There are no significant differences between the two test methods. The data are based on the analyses of more than 600 paired test results from 46 to 100 laboratories.

**15.2 Coarse Aggregate (bulk density):**

15.2.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation has been found to be 0.88 lb/ft<sup>3</sup> [14 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on similar material should not differ by more than 2.5 lb/ft<sup>3</sup> [40 kg/m<sup>3</sup>] (2s).

15.2.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has been found to be 1.87 lb/ft<sup>3</sup> [30 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on similar material should not differ by more than 5.3 lb/ft<sup>3</sup> [85 kg/m<sup>3</sup>] (2s).

15.2.3 These numbers represent, respectively, the (1s) and (2s) limits as described in Practice C 670. The precision estimates were obtained from the analysis of MRL proficiency sample data for bulk density by rodding of normal weight aggregates having a nominal maximum aggregate size of 1 in. [25.0 mm], and using a 1/2-ft<sup>3</sup> [14-L] measure.

**15.3 Fine Aggregate (bulk density):**

15.3.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation has been found to be 0.88 lb/ft<sup>3</sup> [14 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on similar material should not differ by more than 2.5 lb/ft<sup>3</sup> [40 kg/m<sup>3</sup>] (2s).

15.3.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has been found to be 2.76 lb/ft<sup>3</sup> [44 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on similar material should not differ by more than 7.8 lb/ft<sup>3</sup> [125 kg/m<sup>3</sup>] (2s).

15.3.3 These numbers represent, respectively, the (1s) and (2s) limits as described in Practice C 670. The precision estimates were obtained from the analysis of MRL proficiency sample data for loose bulk density from laboratories using a 1/2-ft<sup>3</sup> [2.8-L] measure.

15.4 No precision data on void content are available. However, as the void content in aggregate is calculated from bulk density and bulk specific gravity, the precision of the void content reflects the precision of these measured parameters given in 15.2 and 15.3 of this test method and in Test Methods C 127 and C 128.

15.5 *Bias*—The procedure in this test method for measuring bulk density and void content has no bias because the values for bulk density and void content can be defined only in terms of a test method.

**16. Keywords**

16.1 aggregates; bulk density; coarse aggregate; density; fine aggregate; unit weight; voids in aggregate

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments will not receive a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address above.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 814-832-9500 (phone), 814-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

**ANEXO VIII NORMA ASTM C136 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA ANALISIS**  
**POR TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**



## Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 136; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol (1) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope<sup>2</sup>

1.1 This test method covers the determination of the particle size distribution of fine and coarse aggregates by sieving.

1.2 Some specifications for aggregates which reference this method contain grading requirements including both coarse and fine fractions. Instructions are included for sieve analysis of such aggregates.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information purposes only. Specification E 11 designates the size of sieve frames with inch units as standard, but in this test method the frame size is designated in SI units exactly equivalent to the inch units.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards<sup>3</sup>

- C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Constructive Materials
- C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size
- D 75 Practice for Sampling Aggregates
- E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes

#### 2.2 AASHTO Standard

AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>4</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology C 125.

### 4. Summary of Test Method

4.1 A sample of dry aggregate of known mass is separated through a series of sieves of progressively smaller openings for determination of particle size distribution.

### 5. Significance and Use

5.1 This test method is used primarily to determine the grading of materials proposed for use as aggregates or being used as aggregates. The results are used to determine compliance of the particle size distribution with applicable specification requirements and to provide necessary data for control of the production of various aggregate products and mixtures containing aggregates. The data may also be useful in developing relationships concerning porosity and packing.

5.2 Accurate determinations of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve cannot be achieved by use of this method alone. Test Method C 117 for material finer than 75- $\mu\text{m}$  sieve by washing should be employed.

### 6. Apparatus

6.1 *Balances*—Balances or scales used in testing fine and coarse aggregate shall have readability and accuracy as follows:

6.1.1 For fine aggregate, readable to 0.1 g and accurate to 0.1 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.1.2 For coarse aggregate, or mixtures of fine and coarse aggregate, readable and accurate to 0.5 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.2 *Sieves*—The sieve cloth shall be mounted on substantial frames constructed in a manner that will prevent loss of material during sieving. The sieve cloth and standard sieve

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.21 on Kernel Weight Aggregates.

Current edition approved Aug. 1, 2004. Published August 2004. Originally approved in 1949. Last previous edition approved in 2001 as C 136–01.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>4</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

<sup>3</sup>A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

frames shall conform to the requirements of Specification E 11. Nonstandard sieve frames shall conform to the requirements of Specification E 11 as applicable.

**Note 1**—It is recommended that frames provided in frames larger than standard 303 Series (4 in.) diameter be used for testing coarse aggregate to reduce the possibility of overloading the sieves. See 8.3.

**8.3 Mechanical Sieve Shaker**—A mechanical sieving device, if used, shall create motion of the sieves to cause the particles to bounce, tumble, or otherwise turn so as to present different orientations to the sieving surface. The sieving action shall be such that the criterion for adequacy of sieving described in 8.4 is met in a reasonable time period.

**Note 2**—Use of a mechanical sieve shaker is recommended when the size of the sample is 20 kg or greater, and may be used for smaller samples, including fine aggregate. Excessive time spent (approximately 10 min) to achieve adequate sieving may result in degradation of the sample. The same mechanical sieve shaker may not be suitable for all sizes of samples, since the high driving acts needed for practical sieving of a large material size coarse aggregate very slowly could result in loss of a portion of the sample if used for a small sample of coarse aggregate or fine aggregate.

**8.4 Oven**—An oven of appropriate size capable of maintaining a uniform temperature of  $110 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

**7. Sampling**

**7.1** Sample the aggregate in accordance with Practice D 75. The size of the field sample shall be the quantity shown in Practice D 75 or four times the quantity required in 7.4 and 7.5 (except as modified in 7.6), whichever is greater.

**7.2** Thoroughly mix the sample and reduce it to an amount suitable for testing using the applicable procedures described in Practice C 702. The sample for test shall be approximately the quantity desired when dry and shall be the end result of the reduction. Reduction to an exact predetermined quantity shall not be permitted.

**Note 3**—When wet analysis, including determination of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  sieve, is the only testing proposed, the size of the sample may be reduced by the field or avoid shipping excessive quantities of extra material to the laboratory.

**7.3 Fine Aggregate**—The size of the test sample, after drying, shall be 300 g minimum.

**7.4 Coarse Aggregate**—The size of the test sample of coarse aggregate shall conform with the following:

Nominal Maximum Size, Source Openings, mm (in.)	Test Sample Size, min., kg (lb)
4.75 (No. 4)	1 (2)
12.5 (No. 12)	2 (5)
19.0 (No. 10)	4 (9)
25.0 (No. 6)	10 (22)
37.5 (No. 4)	15 (33)
50 (No. 30)	20 (44)
63 (No. 24)	25 (55)
75 (No. 20)	30 (66)
90 (No. 18)	100 (220)
106 (No. 15)	100 (220)
125 (No. 12)	300 (660)

**7.5 Coarse and Fine Aggregate Mixtures**—The size of the test sample of coarse and fine aggregate mixtures shall be the same as for coarse aggregate in 7.4.

**7.6 Samples of Large Size Coarse Aggregate**—The size of sample required for aggregate with 50- $\mu\text{m}$  nominal maximum

size or larger is such as to preclude conventional sample reduction and testing as a unit except with large mechanical splitters and sieve shakers. As an option when such equipment is not available, instead of combining and mixing sample increments and then reducing the field sample to testing size, conduct the sieve analysis on a number of approximately equal sample increments such that the total mass tested conforms to the requirement of 7.4.

**7.7** In the event that the amount of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve is to be determined by Test Method C 117, proceed as follows:

**7.7.1** For aggregates with a nominal maximum size of 12.5 mm (1/2 in.) or less, use the same test sample for testing by Test Method C 117 and this method. First test the sample in accordance with Test Method C 117 through the final drying operation, then dry sieve the sample as stipulated in 8.2-8.7 of this method.

**7.7.2** For aggregates with a nominal maximum size greater than 12.5 mm (1/2 in.), a single test sample may be used as described in 7.7.1, or separate test samples may be used for Test Method C 117 and this method.

**7.7.3** Where the specifications require determination of the total amount of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  sieve by washing and dry sieving, use the procedure described in 7.7.1.

**8. Procedure**

**8.1** Dry the sample to constant mass at a temperature of  $110 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

**Note 4**—For certain purposes, particularly where liquid results are desired, it is generally not necessary to dry coarse aggregate for the sieve analysis test. The results are little affected by the moisture content when: (1) the nominal maximum size is smaller than about 12.5 mm (1/2 in.); (2) the coarse aggregate contains appreciable material finer than 4.75 mm (No. 4); or (3) the coarse aggregate is highly absorptive to lightweight aggregate, for example. Also, samples may be dried at six higher temperatures associated with the use of hot plates without affecting results, provided steam escapes without generating pressures sufficient to fracture the particles, and temperatures are not so great as to cause chemical breakdown of the aggregate.

**8.2** Select sieves with suitable openings to furnish the information required by the specifications covering the material to be tested. Use additional sieves as desired or necessary to provide other information, such as fineness modulus, or to regulate the amount of material on a sieve. Nest the sieves in order of decreasing size of opening from top to bottom and place the sample on the top sieve. Agitate the sieves by hand or by mechanical agitators for a sufficient period, established by trial or checked by measurement on the actual test sample, to meet the criteria for adequacy of sieving described in 8.4.

**8.3** List the quantity of material on a given sieve so that all particles have opportunity to reach sieve openings a number of times during the sieving operation. For sieves with openings smaller than 4.75- $\mu\text{m}$  (No. 4), the quantity retained on any sieve at the completion of the sieving operation shall not exceed  $7 \text{ kg/m}^2$  of sieving surface area (Note 5). For sieves with openings 4.75  $\mu\text{m}$  (No. 4) and larger, the quantity retained in kg shall not exceed the product of  $2.5 \times$  (sieve opening, mm)  $\times$  (effective sieving area,  $\text{m}^2$ ). This quantity is shown in Table 1 for five sieve-frame dimensions in common

**TABLE 1 Maximum Allowable Quantity of Material Retained on a Sieve, kg**

Sieve Opening Size, mm	Nominal Dimensions of Sieve <sup>a</sup>				
	203.2-mm No. 1	254-mm dia <sup>b</sup>	314.9-mm (12.4)	350 by 350 by 640	375 by 640
	Sieving Area, m <sup>2</sup>				
	0.0288	0.0467	0.0670	0.1326	0.2158
125	C	C	C	C	67.4
100	C	C	C	30.8	63.8
80	C	C	25.1	27.8	48.1
75	C	8.8	12.8	23.0	40.5
63	C	7.2	13.8	18.3	34.0
50	3.0	5.7	8.4	13.2	27.0
37.5	3.7	4.1	6.3	11.5	20.3
25.0	1.4	2.8	4.3	7.7	13.3
19.0	1.4	2.2	3.3	5.8	10.2
12.5	0.83	1.4	2.1	3.8	6.7
8.0	0.87	1.1	1.8	2.9	5.1
4.75	0.31	0.54	0.85	1.5	2.6

<sup>a</sup> Sieve frame dimensions in each case: 80-in. diameter; 10.0-in. diameter; 12.0-in. diameter; 13.8 by 13.8 in. (34 by 34 in. nominal); 14.0 by 22.0 in. (35 by 24 in. nominal).

<sup>b</sup> The steel wire mesh sieve frames is based on an effective diameter 52.7 mm (2.1 in.) less than the nominal frame diameter, because Specification E 11 permits the spacer between the sieve cloth and the frame to exceed 6.35 mm (0.25 in.) over the sieve cloth. Thus the effective sieving diameter for a 203.2-mm (8.0 in.) diameter sieve frame is 196.8 mm (7.8 in.). Sieves produced by some manufacturers do not adhere to the sieve cloth by the full 6.35 mm (0.25 in.).

<sup>c</sup> Sieves indicated have less than five full openings so it should not be used for sieve testing except as provided in 8.3.

use. In no case shall the quantity retained be so great as to cause permanent deformation of the sieve cloth.

8.3.1 Prevent an overload of material on an individual sieve by one of the following methods:

8.3.1.1 Insert an additional sieve with opening size intermediate between the sieve that may be overloaded and the sieve immediately above that sieve in the original set of sieves.

8.3.1.2 Split the sample into two or more portions, sieving each portion individually. Combine the masses of the several portions retained on a specific sieve before calculating the percentage of the sample on the sieve.

8.3.1.3 Use sieves having a larger frame size and providing greater sieving area.

Note 3.—The 1 kg/m<sup>2</sup> maximum is 200 g for the round 203.2-mm (8-in.) diameter sieve (with effective sieving surface diameter of 196.8 mm (7.8 in.)).

8.4 Continue sieving for a sufficient period and in such manner that, after completion, not more than 1% by mass of the material retained on any individual sieve will pass that sieve during 1 min of continuous hand sieving performed as follows: Hold the individual sieve, provided with a mag-casting pan and cover, in a slightly inclined position in one hand. Strike the side of the sieve sharply and with an upward motion against the heel of the other hand at the rate of about 150 times per minute, turn the sieve about one sixth of a revolution at intervals of about 25 strokes. In determining sufficiency of sieving for sizes larger than the 4.75-mm (No. 4) sieve, limit the material on the sieve to a single layer of particles. If the size of the material testing sieves makes the described sieving ineffectual, use 203-mm (8 in.) diameter sieves to verify the sufficiency of sieving.

8.5 In the case of coarse and fine aggregate mixtures, the portion of the sample finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be distributed among two or more sets of sieves to prevent overloading of individual sieves.

8.5.1 Alternatively, the portion finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be reduced in size using a mechanical splitter according to Practice C 702. If this procedure is followed, compute the mass of each size increment of the original sample as follows:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (1)$$

where:

- A = mass of size increment on total sample basis,
- W<sub>1</sub> = mass of fraction finer than 4.75-mm (No. 4) sieve in total sample,
- W<sub>2</sub> = mass of reduced portion of material finer than 4.75-mm (No. 4) sieve actually sieved, and
- B = mass of size increment in reduced portion sieved.

8.6 Unless a mechanical sieve shaker is used, hand sieve particles larger than 75 mm (3 in.) by determining the smallest sieve opening through which each particle will pass. Start the test on the smallest sieve to be used. Rotate the particles, if necessary, in order to determine whether they will pass through a particular opening; however, do not force particles to pass through an opening.

8.7 Determine the mass of each size increment on a scale or balance conforming to the requirements specified in 5.1 to the nearest 0.1% of the total original dry sample mass. The total mass of the material after sieving should check closely with original mass of sample placed on the sieves. If the amounts differ by more than 0.3%, based on the original dry sample mass, the results should not be used for acceptance purposes.

8.8 If the sample has previously been tested by Test Method C 117, add the mass finer than the 75-µm (No. 200) sieve determined by that method to the mass passing the 75-µm (No. 200) sieve by dry sieving of the same sample in this method.

## 9. Calculation

9.1 Calculate percentages passing, and percentages retained, or percentages in various size fractions to the nearest 0.1% on the basis of the total mass of the initial dry sample. If the same test sample was first tested by Test Method C 117, include the mass of material finer than the 75-µm (No. 200) size by washing in the sieve analysis calculation; and use the total dry sample mass prior to washing in Test Method C 117 as the basis for calculating all the percentages.

9.1.1 When sample increments are tested as provided in 7.6, total the masses of the portion of the increments retained on each sieve, and use these masses to calculate the percentages as in 9.1.

9.2 Calculate the fineness modulus, when required, by adding the total percentages of material in the sample that is coarser than each of the following sieves (cumulative percentages retained), and dividing the sum by 100: 150-µm (No. 100), 300-µm (No. 50), 600-µm (No. 25), 1.18-mm (No. 16), 2.36-mm (No. 8), 4.75-mm (No. 4), 9.5-mm (No. 2), 19.0-mm (No. 1), 37.5-mm (No. 0.5), and larger, increasing in the ratio of 2 to 1.

### 10. Report

10.1 Depending upon the form of the specifications for use of the material under test, the report shall include the following:

- 10.1.1 Total percentage of material passing each sieve, or
  - 10.1.2 Total percentage of material retained on each sieve, or
  - 10.1.3 Percentage of material retained between consecutive sieves.
- 10.2 Report percentages to the nearest whole number, except if the percentage passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve is less than 10 %, it shall be reported to the nearest 0.1 %.
- 10.3 Report the fineness modulus, when required, to the nearest 0.01.

### 11. Precision and Bias

11.1 **Precision**—The estimates of precision for this test method are listed in Table 2. The estimates are based on the results from the ASTM Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by Test Method C 136 (in) ASTM Test Method T 27. The data are based on the analyses of the test results from 85 to 233 laboratories that tested 18 pairs of coarse aggregate proficiency test samples and test results from 74 to 223 laboratories that tested 17 pairs of fine aggregate proficiency test samples (Samples No. 31 through 90). The values in the table are given for different ranges of total percentage of aggregate passing a sieve.

11.1.1 The precision values for fine aggregate in Table 2 are based on nominal 500-g test samples. Revision of this test method in 1994 permits the fine aggregate test sample size to be 300-g minimum. A analysis of results of testing of 300-g and 500-g test samples from Aggregate Proficiency Test Samples 99 and 100 (Samples 99 and 100 were essentially identical) produced the precision values in Table 3, which indicate only minor differences due to test sample size.

**Note 8**—The values for fine aggregate in Table 2 will be revised to reflect the 300-g test sample size when a sufficient number of Aggregate Proficiency Tests have been conducted using that sample size to provide reliable data.

TABLE 2 Precision

	Total Percentage of Material Passing		Standard Deviation (1 $\sigma$ ), % <sup>a</sup>	Acceptable Range of Test Results (2 $\sigma$ ), % <sup>b</sup>
<b>Coarse Aggregate<sup>c</sup></b>				
<b>Single operator precision</b>				
>100	>85		0.33	0.6
>85	>80		0.81	1.6
>80	>60		1.34	2.6
>60	>40		2.35	4.6
>40	>20		3.33	6.6
>20	>15		6.98	13.9
>15	>10		1.08	2.1
>10	>5		0.75	1.5
>5	>0		0.53	1.0
>2	>0		0.27	0.5
<b>Multioperator precision</b>				
>100	>85		0.33	0.6
>85	>80		1.37	2.7
>80	>60		1.93	3.8
>60	>40		3.63	7.2
>40	>20		5.17	10.3
>20	>10		7.60	15.1
>15	>10		1.48	2.9
>10	>5		1.22	2.4
>5	>0		1.04	2.0
>2	>0		0.45	0.9
<b>Fine Aggregate</b>				
<b>Single operator precision</b>				
>100	>75		0.38	0.7
>75	>60		0.55	1.0
>60	>40		0.83	1.6
>40	>20		0.94	1.8
>20	>10		0.98	1.9
>10	>5		0.57	1.1
>5	>0		0.54	1.0
<b>Multioperator precision</b>				
>100	>75		0.23	0.4
>60	>40		0.77	1.5
>40	>20		1.41	2.8
>20	>10		1.50	3.0
>10	>5		0.77	1.5
>5	>0		0.68	1.3
>2	>0		0.21	0.4

<sup>a</sup> These values are rounded, respectively, to (1 $\sigma$ ) and (2 $\sigma$ ) levels described in Practice D 593.

<sup>b</sup> The precision estimates are based on aggregates with nominal maximum size of 100 mm (4 in.).

11.2 **Bias**—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias of this test method, no statement on bias is made.

### 12. Keywords

12.1 aggregate; coarse aggregate; fine aggregate; gradation; grading; sieve analysis; size analysis

**TABLE 3 Precision Data for 300-g and 500-g Test Samples**

Test Result	Five Aggregate Proficiency Samples			Within Laboratory		Between Laboratory	
	Sample Size	Number Labs	Average	1s	2s	1s	2s
<b>ASTM COMBINATION TEST</b>							
Total Material (200µ) the No. 4 sieve (%)	100 g	285	69.663	0.027	0.056	0.027	0.104
	300 g	275	69.600	0.024	0.050	0.042	0.167
Total material passing the No. 8 sieve (%)	500 g	281	84.10	0.43	1.21	0.63	1.74
	300 g	274	84.32	0.28	1.09	0.69	1.82
Total material passing the No. 16 sieve (%)	500 g	288	79.19	0.63	1.49	0.76	2.10
	300 g	272	79.00	0.62	1.24	0.76	2.12
Total material passing the No. 30 sieve (%)	500 g	287	48.64	0.73	2.10	1.23	3.73
	300 g	275	48.44	0.67	2.44	1.34	3.79
Total material passing the No. 60 sieve (%)	500 g	286	13.62	1.47	1.17	0.98	2.73
	300 g	275	13.81	0.48	1.25	0.64	2.76
Total material passing the No. 100 sieve (%)	500 g	287	2.55	0.13	0.42	0.37	1.03
	300 g	279	2.52	0.13	0.52	0.39	0.80
Total Material passing the No. 200 sieve (%)	500 g	278	1.32	0.11	0.22	0.31	0.85
	300 g	284	1.30	0.14	0.30	0.31	0.85

### SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C 136 – 01, that may impact the use of this test method. (Approved August 1, 2004)

(1) Revised the last sentence of Footnote B in Table 1.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with this standard mentioned in this standard. Users of the standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and may be revised, withdrawn, or replaced at any time without notice. Your comments on this standard should be directed to the responsible technical committee. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2900. Direct quotes (individual reports) (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-4388 (phone), 610-832-4322 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail) or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

**ANEXO IX NORMA ASTM C172 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA TOMA DE  
MUESTRA DE HORMIGÓN RECIÉN MEZCLADO**



Designation: C 172 – 04

## Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 172; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript (n) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope<sup>2</sup>

1.1 This practice covers procedures for obtaining representative samples of fresh concrete as delivered to the project site on which tests are to be performed to determine compliance with quality requirements of the specifications under which the concrete is furnished (Note 1). The practice includes sampling from stationary, paving and truck mixers, and from agitating and nonagitating equipment used to transport central-mixed concrete.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values shown in parentheses are provided for information only.

Note 1—Composite samples are required by this practice, unless specifically exempted by procedures governing the tests to be performed such as tests to determine air density of concrete and mixer efficiency. Procedures used to select the specific test batches are not described in this practice, but it is recommended that random sampling be used to determine overall specification compliance.

1.3 This practice also covers the procedures to be used for preparing a sample of concrete for further testing where it is desirable or necessary to remove the aggregate larger than a designated size. This removal of larger aggregate particles is preferably accomplished by wet-sieving.

1.4 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material and shall not be considered as requirements of the practice.

1.5 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.<sup>3</sup>)

This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee C39 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C39.04 on Testing Fresh Concrete.

Current edition approved June 1, 2004. Published June 2004. Originally approved in 1962. Last previous edition approved in 1999 as C 172 – 99.

<sup>1</sup> Section on Safety Practices, Manual of Aggregate and Concrete Testing, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards<sup>3</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes

### 3. Significance and Use

3.1 This practice is intended to provide standard requirements and procedures for sampling freshly mixed concrete from different containers used in the production or transportation of concrete. The detailed requirements as to materials, mixtures, air content, temperature, number of specimens, slump, interpretation of results, and precision and bias are in specific test methods.

### 4. Sampling

4.1 The elapsed time shall not exceed 15 min. between obtaining the first and final portions of the composite sample.

4.1.1 Transport the individual samples to the place where fresh concrete tests are to be performed or where test specimens are to be molded. They shall be combined and remixed with a shovel the minimum amount necessary to ensure uniformity and compliance with the maximum time limits specified in 4.1.2.

4.1.2 Start tests for slump, temperature, and air content within 5 min after obtaining the final portion of the composite sample. Complete these tests expeditiously. Start molding specimens for strength tests within 15 min after fabricating the composite sample. Expeditiously obtain and use the sample and protect the sample from the sun, wind, and other sources of rapid evaporation, and from contamination.

<sup>3</sup>The referenced ASTM standards, and the ASTM catalog, were intended to be used as a reference service at [www.astm.org](http://www.astm.org). The Annual Book of ASTM Standards is being discontinued, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>2</sup>A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

**5. Procedure**

**5.1 Size of Sample**—Make the samples to be used for strength tests a minimum of 20 l. (1 ft<sup>3</sup>). Smaller samples are not prohibited for routine air content, temperature, and slump tests. The size of the samples shall be dictated by the maximum aggregate size.

5.2 The procedures used in sampling shall include the use of every precaution that will assist in obtaining samples that are truly representative of the nature and condition of concrete sampled as follows:

**Note 1**—Sampling should normally be performed as the concrete is delivered from the mixer to the conveying vehicle used to transport the concrete to the forms, however, special cases may require other points of sampling, such as the discharge of a concrete pump.

**5.2.1 Sampling from Stationary Mixers, Except Paving Mixers**—Sample the concrete by collecting two or more portions taken at regularly spaced intervals during discharge of the middle portion of the batch. Obtain these portions within the time limit specified in Section 4. Composite the portions into one sample for testing purposes. Do not obtain portions of the composite sample from the very first or last part of the batch discharge (Note 3). Perform sampling by passing a receptacle completely through the discharge stream, or by completely diverting the discharge into a sample container. If discharge of the concrete is too rapid to divert the complete discharge stream, discharge the concrete into a container or transportation unit sufficiently large to accommodate the entire batch and then accomplish the sampling in the same manner as given above. Take care not to restrict the flow of concrete from the mixer, container, or transportation unit so as to cause segregation. These requirements apply to both tilting and rotating mixers.

**Note 3**—No samples should be taken before 10% or after 90% of the batch has been discharged. Due to the difficulty of determining the actual quantity of concrete discharged, the intent is to provide samples that are representative of widely separated portions, but not the beginning and the end of the load.

**5.2.2 Sampling from Paving Mixers**—Sample the concrete after the contents of the paving mixer have been discharged. Obtain samples from at least five different portions of the pile and then composite into one sample for test purposes. Avoid contamination with subgrade material or prolonged contact with and absorption by subgrade. To preclude contamination or absorption by the subgrade, sample the concrete by placing three shallow containers on the subgrade and discharging the concrete across the containers. Composite the samples so obtained into one sample for test purposes. The containers shall be of a size sufficient to provide a composite sample size that is in agreement with the maximum aggregate size.

**Note 5**—In some instances, the containers may have to be supported above the subgrade to prevent displacement during discharge.

**5.2.3 Sampling from Revolving Drum Truck Mixers or Agitators**—Sample the concrete by collecting two or more portions taken at regularly spaced intervals during discharge of the middle portion of the batch. Take the samples so obtained within the time limit specified in Section 4 and composite them into one sample for test purposes. In any case do not obtain

samples until after all of the water has been added to the mixer, also do not obtain samples from the very first or last portions of the batch discharge (Note 3). Sample by repeatedly passing a receptacle through the entire discharge stream or by completely diverting the discharge into a sample container. Regulate the rate of discharge of the batch by the rate of revolution of the drum and not by the size of the gate opening.

**5.2.4 Sampling from Open-Top Truck Mixers, Agitators, Nonagitating Equipments, or Other Types of Open-Top Containers**—Take samples by whichever of the procedures described in 5.2.1, 5.2.2, or 5.2.3 is most applicable under the given conditions.

**6. Additional Procedure for Large Maximum Size Aggregate Concrete**

**6.1** When the concrete contains aggregate larger than that appropriate for the size of the trucks or equipment to be used, wet-sieve the sample as described below except perform density (unit weight) tests for use in yield computation on the full mix.

**Note 5**—The effect of wet-sieving on the test results should be considered. For example, wet-sieving concrete causes the loss of a small amount of air due to additional handling. The air content of the wet-sieved fraction of concrete is greater than that of the total concrete because the larger size aggregate which is removed does not contain air. The apparent strength of wet-sieved concrete in smaller specimens is usually greater than that of the total concrete in larger appropriate size specimens. The effect of these differences may need to be considered or determined by supplementary testing for quality control or test result evaluation purposes.

**6.2 Definition**

**6.2.1 Wet-sieving concrete**—the process of removing aggregate larger than a designated size from the fresh concrete by sieving it on a sieve of the designated size.

**6.3 Apparatus**

**6.3.1 Sieves**, as designated conforming to Specification E 11.

**6.3.2 Wet Sieving Equipment**—Equipment for wet-sieving concrete shall be a sieve as noted in 6.3.1 of suitable size and conveniently arranged and supported so that one can shake it rapidly by either hand or mechanical means. Generally, a horizontal back and forth motion is preferred. The equipment shall be capable of rapidly and effectively removing the designated size of aggregate.

**6.3.3 Hand Tools**—Shovels, hand scoops, plastering trowels, and rubber gloves as required.

**6.4 Procedure**

**6.4.1 Wet-Sieving**—After sampling the concrete, pass the concrete over the designated sieve and remove and discard the aggregate retained. This shall be done before remixing. Shake or vibrate the sieve by hand or mechanical means until no undrained material remains on the sieve. Mortar adhering to the aggregate retained on the sieve shall not be wiped from it before it is discarded. Place only enough concrete on the sieve at any one time so that after sieving, the thickness of the layer of retained aggregate is not more than one particle thick. The concrete which passes the sieve shall fall into a batch pan of suitable size which has been dampened before use or onto a

clean, moist, nonabsorbent surface. Scrape any mortar adhering to the sides of the wet-sieving equipment into the batch. After removing the larger aggregate particles by wet-sieving, remix the batch with a shovel the minimum amount necessary to ensure uniformity and proceed testing immediately.

#### 7. Keywords

7.1 air content; batch; composite sample; concrete; slump; temperature; wet-sieving

### SUMMARY OF CHANGES

Committee C172 has identified the location of selected changes to this practice since the last issue, C 172 – 99, that may impact the use of this practice. (Approved June 1, 2004)

(1) Made an addition to 1.5 safety caveat.

(2) Replaced "unit weight" with "density" in 6.1.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 810-800-8441 (phone), 810-800-9442 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail), or through the ASTM website [www.astm.org](http://www.astm.org).*

**ANEXO X NORMA ASTM C143 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA  
ASENTAMIENTO DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO**



## Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 143/C 143M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscripted epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers determination of slump of hydraulic-cement concrete, both in the laboratory and in the field.

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (including those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete<sup>2</sup>
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>3</sup>

### 3. Summary of Test Method

3.1 A sample of freshly mixed concrete is placed and compacted by rodding in a mold shaped as the frustum of a cone. The mold is raised, and the concrete allowed to subside. The vertical distance between the original and displaced position of the center of the top surface of the concrete is measured and reported as the slump of the concrete.

### 4. Significance and Use

4.1 This test method is intended to provide the user with a procedure to determine slump of plastic hydraulic-cement concretes.

Note 1—This test method was originally developed to provide a technique to monitor the consistency of substandard concrete. Under laboratory conditions, with strict control of all concrete materials, the slump is generally found to increase proportionally with the water content of a given concrete mixture, and thus to be inversely related to concrete strength. Under field conditions, however, such a strength relationship is not clearly and consistently shown. Care should therefore be taken in relating slump results obtained under field conditions to strength.

4.2 This test method is considered applicable to plastic concrete having coarse aggregate up to 1½ in. [37.5 mm] in size. If the coarse aggregate is larger than 1½ in. [37.5 mm] in size, the test method is applicable when it is performed on the fraction of concrete passing a 1½-in. [37.5-mm] sieve, with the larger aggregate being removed in accordance with the section titled "Additional Procedure for Large Maximum Size Aggregate Concrete" in Practice C 172.

4.3 This test method is not considered applicable to non-plastic and non-cohesive concrete.

Note 2—Concrete having slumps less than 5 in. [125 mm] may not be adequately plastic and concretes having slumps greater than about 8 in. [200 mm] may not be adequately cohesive for this test to have significance. Caution should be exercised in interpreting such results.

### 5. Apparatus

5.1 *Mold*—The test specimen shall be formed in a mold made of metal not readily attacked by the cement paste. The metal shall not be thinner than 0.060 in. [1.5 mm] and if formed by the spinning process, there shall be no point on the mold at which the thickness is less than 0.045 in. [1.15 mm]. The mold shall be in the form of the lateral surface of the frustum of a cone with the base 8 in. [200 mm] in diameter, the top 4 in. [100 mm] in diameter, and the height 12 in. [300 mm]. Individual diameters and heights shall be within  $\pm 1/8$  in. [3 mm] of the prescribed dimensions. The base and the top shall be open and parallel to each other and at right angles to the axis of the cone. The mold shall be provided with foot pieces and

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.08 on Fresh Concrete Testing.

Current edition approved July 16, 2003. Published September 2003. Originally approved in 1972. Last previous edition approved in 2000 as C 143/C 143M - 01.  
<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

molds similar to those shown in Fig. 1. The mold shall be constructed without a seam. The interior of the mold shall be relatively smooth and free from projections. The mold shall be free from dents, deformation, or adhered matter. A mold which clamps to a nonabsorbent base plate is acceptable instead of the one illustrated, provided the clamping arrangement is such that it can be fully released without movement of the mold and the base is large enough to contain all of the slumped concrete in an acceptable test.

5.1.1 Mold with alternative materials.

5.1.1.1 Molds other than metal are allowed if the following requirements are met: The mold shall meet the slope, height, and internal dimensional requirements of 5.1. The mold shall be sufficiently rigid to maintain the specified dimensions and tolerances during use, resistant to impact forces, and shall be nonabsorbent. The mold shall be demonstrated to provide test results comparable to those obtained when using a metal mold meeting the requirements of 5.1. Comparability shall be demonstrated on behalf of the manufacturer by an independent testing laboratory. Test for comparability shall consist of not less than 30 pairs of comparisons performed at each of 3 different slumps ranging from 2 to 6 in. [50 to 150 mm]. No individual test results shall vary by more than 0.50 in. [12.5 mm] from that obtained using the metal mold. The average test results of each slump range obtained using the mold constructed of alternative material shall not vary by more than 0.30 in. [7.5 mm] from the average of test results obtained using the metal mold. Manufacturer comparability test data shall be available to users and laboratory inspection authorities (see

Note 3). If any changes in material or method of manufacture are made, tests for comparability shall be repeated.

Note 3—Because the slump of concrete decreases with time and higher temperatures, it will be advantageous for the comparability tests to be performed by alternating the use of metal cones and alternative material cones, to make several individual tests, and to minimize the time between test procedures.

5.1.1.2 If the condition of any individual mold is suspected of being out of tolerance from the as manufactured condition, a single comparative test shall be performed. If the test results differ by more than 0.50 in. [12.5 mm] from that obtained using the metal mold, the mold shall be removed from service.

5.2 Tamping Rod—A round, straight steel rod 3/8 in. [9.5 mm] in diameter and approximately 24 in. [600 mm] in length, having the tamping end or both ends rounded to a hemispherical tip, the diameter of which is 3/8 in. [9.5 mm].

6. Sample

6.1 The sample of concrete from which test specimens are made shall be representative of the entire batch. It shall be obtained in accordance with Practice C 172.

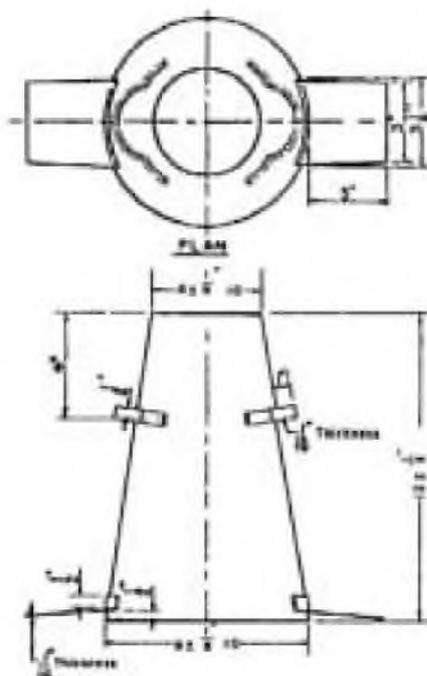
7. Procedure

7.1 Dump the mold and place it on a flat, smooth, nonabsorbent (rigid) surface. It shall be held firmly in place during filling by the operator standing on the two feet pieces. From the sample of concrete obtained in accordance with Section 6, immediately fill the mold in three layers, each approximately one third the volume of the mold.

Note 4—One third of the volume of the slump mold fills it to a depth of 2 1/8 in. [50 mm]; two thirds of the volume fills it to a depth of 4 1/8 in. [100 mm].

7.2 Rod each layer with 25 strokes of the tamping rod. Uniformly distribute the strokes over the cross section of each layer. For the bottom layer, this will necessitate inclining the rod slightly and making approximately half of the strokes near the perimeter, and then progressing with vertical strokes spirally toward the center. Rod the bottom layer throughout its depth. Rod the second layer and the top layer each throughout its depth, so that the strokes just penetrate into the underlying layer.

7.3 In filling and rodding the top layer, heap the concrete above the mold before rodding is started. If the rodding operation results in subsidence of the concrete below the top edge of the mold, add additional concrete to keep an excess of concrete above the top of the mold at all times. After the top layer has been rodded, strike off the surface of the concrete by means of a screeding and rolling motion of the tamping rod. Continue to hold the mold down firmly and remove concrete from the area surrounding the base of the mold to preclude interference with the movement of slumping concrete. Release the mold immediately from the concrete by raising it carefully in a vertical direction. Raise the mold a distance of 12 in. [300 mm] in 5 ± 2 s by a steady upward lift with no lateral or torsional motion. Complete the entire test from the start of the filling through removal of the mold without interruption and complete in within an elapsed time of 2 1/2 min.



Dimensional Units									
1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3
mm	[2]	[3]	[12.5]	[19]	[25]	[31.5]	[38]	[50]	[75]

FIG. 1 Mold for Slump Test

7.4 Immediately measure the slump by determining the vertical difference between the top of the mold and the displaced original center of the top surface of the specimen. If a decided falling away or shearing off of concrete from one side or portion of the mass occurs (Note 5), disregard the test and make a new test on another portion of the sample.

Note 5—If two consecutive tests on a sample of concrete show a falling away or shearing off of a portion of the concrete from the mass of the specimen, the concrete probably lacks necessary plasticity and cohesiveness for the slump test to be applicable.

**8. Report**

8.1 Report the slump in terms of inches [millimeters] to the nearest 1/8 in. [3 mm] of subsidence of the specimen during the test.

**9. Precision and Bias<sup>1</sup>**

9.1 *Precision*—The estimates of precision for this test method are based upon results from tests conducted in Fayetteville, Arkansas by 15 technicians from 14 laboratories representing 3 states. All tests at 3 different slump ranges, from 1.0 in. [25 mm] to 6.5 in. [166 mm], were performed using one batch of truck-mixed concrete. The concrete was delivered and tested at a low slump, with water then being added and mixed into the remaining concrete to independently produce moderate and finally high-slump concrete. The concrete mixture that used a No. 67 crushed limestone aggregate and a washed river sand, contained 500 lb of cementitious materials per cubic yard [297 kg of cementitious material per cubic metre]. The 500 lb [227 kg] were equally divided between a C150, Type III cement and a Class C fly ash. A double dosage of a chemical retarder was used in an attempt to minimize slump losses and maintain workability of the concrete. Concrete temperatures ranged from 86 to 93°F [30 to 34°C]. Slump losses averaged 0.68 in. [17 mm] during the 20 min required to perform a series of 6 tests at 1 slump range. Testing was performed alternately using metal and plastic molds, which were determined to produce comparable results. Precision data thus applies to both metal and plastic molds. A total of 270 slump tests were performed.

9.1.1 *Inch-Pound (SI)*—The data used to develop the precision statement were obtained using metric units (millimeters). The precision values shown in inch-pound units are

conversions from the millimeter measurements, which were rounded to the nearest 1 mm.

9.1.2 *Measure of Variability*—The standard deviation was determined to be the most consistent measure of variability and was found to vary with the slump value.

9.1.3 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation represented by (s) is shown in Table 1 by average slump values. The reported results for the replicate readings apply to tests conducted by the same operator performing successive tests, one immediately following the other. Acceptable results of two properly conducted tests by the same operator on the same material (Note 6) will not differ from each other by more than the (s)(2) value of the last column of Table 1 for the appropriate slump value and single-operator precision.

9.1.4 *Multi-laboratory Precision*—The multi-laboratory standard deviation represented by (S) is shown in Table 1 by average slump values. The reported results for the replicate readings apply to tests conducted by different operators from different laboratories performing tests less than 4 min apart. Therefore, acceptable results of two properly conducted slump tests on the same material (Note 6) by two different laboratories will not differ from each other by more than the (S)(2) value of the last column of Table 1 for the appropriate slump value and multi-laboratory precision.

Note 6—“Same material,” is used to mean freshly mixed concrete from one batch.

9.2 *Bias*—This test method has no bias since slump is defined only in terms of this test method.

**10. Keywords**

10.1 concrete; cone; consistency; plasticity; slump; workability

TABLE 1 Precision

Slump and Type Index	Standard Deviation (s) <sup>a</sup>		Acceptable Range of Test Results (S) <sup>a</sup>	
	in.	[mm]	in.	[mm]
<b>Single-Operator Precision:</b>				
Slump 1.3 in. (33 mm)	0.25	[6]	0.63	[16]
Slump 3.4 in. (86 mm)	0.38	[9]	1.07	[28]
Slump 6.5 in. (166 mm)	0.40	[10]	1.13	[29]
<b>Multi-laboratory Precision:</b>				
Slump 1.3 in. (33 mm)	0.28	[7]	0.82	[20]
Slump 3.4 in. (86 mm)	0.39	[10]	1.10	[28]
Slump 6.5 in. (166 mm)	0.52	[13]	1.60	[41]

<sup>a</sup> These numbers represent, respectively, the (s) and (S) limits as described in Practice C 670.

<sup>1</sup>The test data used to develop the precision statement were based on tests performed at Fayetteville, AR. A report of test results is on file at ASTM International Headquarters, Report RR-579-1022.

 **C 143/C 143M – 03**  
**SUMMARY OF CHANGES**

Committee C09 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (C 143/C 143M – 00) that may impact the use of this standard. (Approved July 10, 2003.)

- (1) Revised T.3 to clarify instructions for performing slump test. (2) Changed “slump cone” to “mold” in sections 7.3 and 9.1.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of the standard are expressly advised that the determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This document is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, provided that the fee of \$10.00 per copy is paid directly to ASTM International. For those organizations that have been granted a photocopy licence by CCC, a separate system of payment has been arranged. The fee code for users of the Transactional Reporting Service is 0898-6610/03/0000-0000\$10.00.*

**ANEXO XI NORMA ASTM C138 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA  
DENSIDAD (PESO UNITARIO), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE  
(GRAVIMÉTRICO) DE HORMIGÓN**



## Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the standard designation C 138/C 138M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol (n) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope \*

1.1 This test method covers determination of the density (see Note 1) of freshly mixed concrete and gives formulas for calculating the yield, cement content, and air content of the concrete. Yield is defined as the volume of concrete produced from a mixture of known quantities of the component materials.

1.2 The values stated in either inch-pound or SI units shall be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated might not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other.

Note 1—Unit weight was the previous terminology used to describe the property determined by this test method, which is mass per unit volume.

1.3 The text of this test method references notes and footnotes that provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables) shall not be considered as requirements of this test method.

### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*<sup>2</sup>
- C 29/C 29M Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate<sup>3</sup>
- C 150 Specification for Portland Cement<sup>4</sup>
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete<sup>5</sup>
- C 189 Test Method for Density of Hydraulic Cement<sup>6</sup>
- C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method<sup>7</sup>
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>8</sup>

### 3. Terminology

- 3.1 *Synthetic*:

<sup>1</sup> This test method is viable for production of ASTM Committee U79 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.60 on Fresh Concrete Testing.

Current edition approved May 10, 2001. Published May 2001. Originally published as C 138 - 31 C. Last previous edition C 138 - 01.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.10.

- A = air content (percentage of voids) in the concrete
- C = actual cement content, lb/yd<sup>3</sup> or kg/m<sup>3</sup>
- C<sub>b</sub> = mass of cement in the batch, lb or kg
- D = density (unit weight) of concrete, lb/ft<sup>3</sup> or kg/m<sup>3</sup>
- M = total mass of all materials batched, lb or kg (see Note 3)
- M<sub>c</sub> = mass of the measure filled with concrete, lb or kg
- M<sub>m</sub> = mass of the measure, lb or kg
- R<sub>r</sub> = relative yield
- F = theoretical density of the concrete computed on an air-free basis, lb/ft<sup>3</sup> or kg/m<sup>3</sup> (see Note 2)
- V = yield, volume of concrete produced per batch, yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>
- V<sub>d</sub> = volume of concrete which the batch was designed to produce, yd<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>
- V<sub>c</sub> = volume of concrete produced per batch, ft<sup>3</sup>
- V = total absolute volume of the component ingredients in the batch, ft<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>
- V<sub>m</sub> = volume of the measure, ft<sup>3</sup> or m<sup>3</sup>

Note 2—The theoretical density is, essentially, a laboratory determination, the value for which is assumed to remain constant for all batches made using identical component ingredients and proportions. It is calculated from the following equation:

$$F = M/V \quad (1)$$

The absolute volume of each ingredient in cubic feet is equal to the quotient of the mass of that ingredient divided by the product of its specific gravity times 62.4. The absolute volume of each ingredient in cubic meters is equal to the mass of the ingredient in kilograms divided by 1000 times its specific gravity. For the aggregate components, the bulk specific gravity and mass should be based on the measured, surface-dry condition. For cement, the actual specific gravity should be determined by Test Method C 188. A value of 1.15 may be used for cements manufactured to meet the requirements of Specification C 150.

Note 3—The total mass of all materials batched is the sum of the masses of the cement, the fine aggregate in the condition used, the coarse aggregate in the condition used, the mixing water added in the batch, and any other solid or liquid materials used.

### 4. Apparatus

4.1 *Balance*—A balance or scale accurate to 0.1 lb (45 g) or its within 0.3 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use. The range of use shall be

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

considered to extend from the mass of the measure empty to the mass of the measure plus its contents at 160 lb/ft<sup>3</sup> [2400 kg/m<sup>3</sup>].

**4.2 Tamping Rod**—A round, straight steel rod, 3/8 in. [16 mm] in diameter and approximately 24 in. [600 mm] in length, having the tamping end rounded to a hemispherical tip the diameter of which is 3/8 in.

**4.3 Internal Vibrator**—Internal vibrators may have rigid or flexible shafts, preferably powered by electric motors. The frequency of vibration shall be 7000 vibrations per minute or greater while in use. The outside diameter or the side dimension of the vibrating element shall be at least 0.75 in. [19 mm] and not greater than 1.50 in. [38 mm]. The length of the shaft shall be at least 24 in. [600 mm].

**4.4 Measure**—A cylindrical container made of steel or other suitable metal (see Note 4). The minimum capacity of the measure shall conform to the requirements of Table 1 based on the nominal size of aggregate in the concrete to be tested. All measures, except for measuring bowls of air meters which are also used for Test Method C 138 tests, shall conform to the requirements of Test Method C 29C 29M. When measuring bowls of air meters are used, they shall conform to the requirements of Test Method C 231, and shall be calibrated for volume as described in Test Method C 29C 29M. The top rim of the air meter bowls shall be smooth and plane within 0.01 in. [0.3 mm] (see Note 5).

**Note 4**—The metal should not be readily subject to attack by cement paste. However, reactive materials such as aluminum alloys may be used in instances where as a consequence of an initial reaction, a surface film is rapidly formed which protects the metal against further corrosion.

**Note 5**—The top rim is satisfactorily plane if a 0.01-in. [0.3-mm] feeler gage cannot be inserted between the rim and a piece of 3/16-in. [9-mm] or thicker plate glass laid over the top of the measure.

**4.5 Strike-Off Plate**—A flat rectangular metal plate at least 3/8 in. [6 mm] thick or a glass or acrylic plate at least 1/8 in. [12 mm] thick with a length and width at least 2 in. [50 mm] greater than the diameter of the measure with which it is to be used. The edges of the plate shall be straight and smooth within a tolerance of 1/16 in. [2 mm].

**4.6 Mallet**—A mallet with a rubber or polyurethane head having a mass of 1.25 ± 0.50 lb [600 ± 200 g] for use with measures of 0.5 ft<sup>3</sup> [14 L] or smaller, and a mallet having a mass of 2.25 ± 0.50 lb [1000 ± 200 g] for use with measures larger than 0.5 ft<sup>3</sup>.

**5. Sample**

**5.1** Obtain the sample of freshly mixed concrete in accor-

dance with Practice C 173.

**6. Procedure**

**6.1** Have the selection of the method of consolidation on the slump, unless the method is stated in the specifications under which the work is being performed. The methods of consolidation are rodding and (optional) vibration. Rod concretes with a slump greater than 3 in. [75 mm]. Rod or vibrate concrete with a slump of 1 to 3 in. [25 to 75 mm]. Consolidate concretes with a slump less than 1 in. by vibration.

**Note 6**—Nonplastic concrete, such as is commonly used in the manufacture of pipe and soil quarry, is not covered by this test method.

**6.2 Rodding**—Place the concrete in the measure in three layers of approximately equal volume. Rod each layer with 25 strokes of the tamping rod when nominal 0.5-ft<sup>3</sup> [14-L] or smaller measures are used, 50 strokes when nominal 1-ft<sup>3</sup> [28-L] measures are used, and one stroke per 3 in.<sup>2</sup> [20 cm<sup>2</sup>] of surface for larger measures. Rod the bottom layer throughout its depth but the rod shall not forcibly strike the bottom of the measure. Distribute the strokes uniformly over the cross section of the measure and for the top two layers, penetrate about 1 in. [25 mm] into the underlying layer. After each layer is rodded, tap the sides of the measure 10 to 15 times with the appropriate mallet (see 4.6) using such force as is to close any voids left by the tamping rod and to release any large bubbles of air that may have been trapped. Add the final layer so as to avoid overfilling.

**6.3 Internal Vibration**—Fill and vibrate the measure in two approximately equal layers. Place all of the concrete for each layer in the measure before starting vibration of that layer. Insert the vibrator at three different points for each layer. In compacting the bottom layer, do not allow the vibrator to rest on or touch the bottom or sides of the measure. In compacting the final layer, the vibrator shall penetrate into the underlying layer approximately 1 in. [25 mm]. Take care that the vibrator is withdrawn in such a manner that no air pockets are left in the specimen. The duration of vibration required will depend upon the workability of the concrete and the effectiveness of the vibrator (see Note 7). Continue vibration only long enough to achieve proper consolidation of the concrete (see Note 8). Observe a constant duration of vibration for the particular kind of concrete, vibrator, and measure involved.

**Note 7**—Usually, sufficient vibration has been applied as soon as the surface of the concrete becomes relatively smooth.

**Note 8**—Over-vibration may cause segregation and loss of appreciable quantities of intentionally entrained air.

**6.4** On completion of consolidation the measure must not contain a substantial excess or deficiency of concrete. An excess of concrete protruding approximately 1/8 in. [3 mm] above the top of the mold is optimum. A small quantity of concrete may be added to correct a deficiency. If the measure contains a great excess of concrete at completion of consolidation, remove a representative portion of the excess concrete with a trowel or scoop immediately following completion of consolidation and before the measure is struck-off.

**6.5 Strike-Off**—After consolidation, strike-off the top surface of the concrete and finish it smoothly with the flat strike-off plate using great care to leave the measure just level

**TABLE 1 Capacity of Measures**

Nominal Maximum Size of Coarse Aggregate		Capacity of Measure*	
in.	mm	ft <sup>3</sup>	L
1	25.0	0.2	6
3/4	37.5	0.4	11
2	50	0.5	14
3	75	1.0	28
4 1/2	112	2.5	71
6	150	3.5	100

\* The indicated size of measure shall be used in test concrete containing aggregates of a nominal maximum size equal to or smaller than that listed. The actual volume of the measures shall be at least 95 % of the nominal volume listed.

full. The strike-off is best accomplished by pressing the strike-off plate on the top surface of the measure to cover about two-thirds of the surface and withdrawing the plate with a sawing motion to finish only the area originally covered. Then place the plate on the top of the measure to cover the original two-thirds of the surface and advance it with a vertical pressure and a sawing motion to cover the whole surface of the measure and continue to advance it until it slides completely off the measure. Several final strikes with the inclined edge of the plate will produce a smoothly finished surface.

**6.6 Cleaning and Weighing.**—After strike-off, clean all excess concrete from the exterior of the measure and determine the mass of the concrete and measure to an accuracy consistent with the requirements of 4.1.

**7. Calculation**

**7.1 Density (Unit Weight).**—Calculate the net mass of the concrete in pounds or kilograms by subtracting the mass of the measure,  $M_m$ , from the mass of the measure filled with concrete,  $M_c$ . Calculate the density,  $D$ , in  $\text{lb/ft}^3$  or  $\text{kg/m}^3$ , by dividing the net mass of concrete by the volume of the measure,  $V_m$ , as follows:

$$D = (M_c - M_m) / V_m \tag{1}$$

**7.2 Yield.**—Calculate the yield as follows:

$$Y(\text{yd}^3) = 1600 \times Y \tag{2}$$

or

$$Y(\text{m}^3) = 1600 \tag{3}$$

**7.3 Relative Yield.**—Relative yield is the ratio of the actual volume of concrete obtained to the volume as designed for the batch (see Note 9) calculated as follows:

$$R_y = 100 \tag{4}$$

Note 9—A value for  $R_y$  greater than 100 indicates an excess of concrete being produced whereas a value less than 100 indicates the batch is “short” of its designed volume. In practice, a ratio of yield in cubic feet per cubic yard of design concrete mixture is frequently used, for example, 31.3  $\text{ft}^3/\text{yd}^3$ .

**7.4 Cement Content.**—Calculate the actual cement content as follows:

$$C = C_p / Y \tag{5}$$

**7.5 Air Content.**—Calculate the air content as follows:

$$A = (C' - D) / Y \times 100 \tag{6}$$

or

$$A = (C' - V) / Y \times 100 \text{ (each-pound mass)} \tag{7}$$

or

$$A = (C' - V) / Y \times 100 \text{ (SI units)} \tag{8}$$

**8. Precision and Bias**

**8.1** The following estimates of precision for this test method are based on a collection of data from various locations by the National Ready Mixed Concrete Association.<sup>4</sup> The data represent concrete mixtures with slump ranging from 3 to 6 in. [75 to 150 mm] and density ranging from 113 to 135  $\text{lb/ft}^3$  [1842 to 2483  $\text{kg/m}^3$ ] and included air-entrained and non air-entrained concrete. The study was conducted using 0.25  $\text{ft}^3$  [7-L] and 0.5  $\text{ft}^3$  [14-L] measures.

**8.1.1 Single-Operator Precision.**—The single operator standard deviation of density of freshly mixed concrete has been found to be 0.65  $\text{lb/ft}^3$  [10.4  $\text{kg/m}^3$ ] (1a). Therefore, results of two properly conducted by the same operator on the same sample of concrete should not differ by more than 1.85  $\text{lb/ft}^3$  [29.6  $\text{kg/m}^3$ ] (22a).

**8.1.2 Multi-Operator Precision.**—The multi-operator standard deviation of density of freshly mixed concrete has been found to be 0.82  $\text{lb/ft}^3$  [13.1  $\text{kg/m}^3$ ] (1b). Therefore, results of two properly conducted tests by the two operators on the same sample of concrete should not differ by more than 2.31  $\text{lb/ft}^3$  [37.0  $\text{kg/m}^3$ ] (22b).

**8.2 Bias.**—This test method has no bias since the density is defined only in terms of this test method.

**9. Keywords**

9.1 air content; cement content; concrete; relative yield; unit weight; yield

<sup>4</sup> Mullapati, G. M. NRMCA/NSA Joint Research Lab Study “Form D 134 Accuracy of Concrete Density Test,” Feb. 17, 2000.

**SUMMARY OF CHANGES**

This section identifies the location of changes to this test method that have been incorporated since the last issue.

- (1) Designation was revised.
- (2) Title was revised.
- (3) Paragraphs 1.1 and 1.2 were revised.
- (3) Note 1 and paragraph 1.3 were added. Subsequent notes were renumbered.
- (4) Section 2 was updated.

- (5) Section 3 was renamed “Terminology” and revised.
- (6) Paragraphs 4.1–4.6 were revised.
- (7) Paragraphs 6.1–6.6 were revised.
- (8) Equations in Section 7 were revised.
- (9) Paragraphs 7.1–7.5 were revised.
- (10) Paragraph 8.1 was revised.

 **C 138/C 138M**

The American Society for Testing and Materials takes no position regarding the validity of any patents rights associated with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of the standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should state your views directly to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900. Contact ASTM individual rights groups at various locations of the standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at (610)832-9899 (phone), (610)832-9666 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (internet), or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).

**ANEXO XII NORMA ASTM C31 PRÁCTICA ESTANDAR PARA FABRICACIÓN Y  
CURADO DE PROBETAS DE HORMIGÓN EN EL CAMPO**



## Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 31/C 31M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This practice covers procedures for making and curing cylinder and beam specimens from representative samples of fresh concrete for a construction project.

1.2 The concrete used to make the molded specimens shall be sampled after all on-site adjustments have been made to the mixture proportions, including the addition of mix water and admixtures. This practice is not satisfactory for making specimens from concrete not having measurable slump or requiring other sizes or shapes of specimens.

1.3 The values stated in either inch-pound units or SI units shall be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated may not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other. Combining values from the two units may result in nonconformance.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.5 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete<sup>2</sup>
- C 143/C 143M Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete<sup>2</sup>
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete<sup>2</sup>
- C 173/C 173M Test Method for Air Content of Freshly

#### Mixed Concrete by the Volumetric Method<sup>2</sup>

- C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory<sup>2</sup>
- C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method<sup>2</sup>
- C 330 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete<sup>2</sup>
- C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance<sup>2</sup>
- C 470/C 470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically<sup>2</sup>
- C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes<sup>3</sup>
- C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens<sup>2</sup>
- C 1064/C 1064M Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete<sup>2</sup>
- 2.2 American Concrete Institute Publication:<sup>4</sup>
  - CP-1 Concrete Field Testing Technician, Grade I
  - 309R Guide for Consolidation of Concrete

### 3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology C 125.

### 4. Significance and Use

4.1 This practice provides standardized requirements for making, curing, protecting, and transporting concrete test specimens under field conditions.

4.2 If the specimens are made and standard cured, as stipulated herein, the resulting strength test data when the specimens are tested are able to be used for the following purposes:

- 4.2.1 Acceptance testing for specified strength.
- 4.2.2 Checking adequacy of mixture proportions for strength, and

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C19.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Feb. 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1920. Last previous edition approved in 2001 as C 31/C 31M-01.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

<sup>4</sup> Available from American Concrete Institute, P.O. Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.

4.2.3 Quality control.

4.3 If the specimens are made and field cured, as stipulated herein, the resulting strength test data when the specimens are tested are able to be used for the following purposes:

- 4.3.1 Determination of whether a structure is capable of being put in service,
- 4.3.2 Comparison with test results of standard cured specimens or with test results from various in-place test methods,
- 4.3.3 Adequacy of curing and protection of concrete in the structure, or
- 4.3.4 Form or shoring removal time requirements.

**5. Apparatus**

5.1 *Molds, General*—Molds for specimens or fastenings thereto in contact with the concrete shall be made of steel, cast iron, or other nonabsorbent material, nonreactive with concrete containing portland or other hydraulic cements. Molds shall hold their dimensions and shape under all conditions of use. Molds shall be watertight during use as judged by their ability to hold water poured into them. Provisions for tests of water leakage are given in the Test Methods for Elongation, Absorption, and Water Leakage section of Specification C 470/C 470M. A suitable sealant, such as heavy grease, modeling clay, or microcrystalline wax shall be used where necessary to prevent leakage through the joints. Positive means shall be provided to hold base plates firmly to the molds. Reusable molds shall be lightly coated with mineral oil or a suitable nonreactive form release material before use.

5.2 *Cylinder Molds*—Molds for casting concrete test specimens shall conform to the requirements of Specification C 470/C 470M.

5.3 *Beam Molds*—Beam molds shall be of the shape and dimensions required to produce the specimens stipulated in 6.2. The inside surfaces of the molds shall be smooth. The sides, bottom, and ends shall be at right angles to each other and shall be straight and true and free of warpage. Maximum variation from the nominal cross section shall not exceed 1/16 in. [3 mm] for molds with depth or breadth of 6 in. [150 mm] or more. Molds shall produce specimens at least as long but not more than 1/8 in. [2 mm] shorter than the required length in 6.2.

5.4 *Tamping Rod*—A round, straight steel rod with the dimensions conforming to those in Table 1, having the tamping end or both ends rounded to a hemispherical tip of the same diameter as the rod.

5.5 *Vibrators*—Internal vibrators shall be used. The vibrator frequency shall be at least 7000 vibrations per minute [150 Hz] while the vibrator is operating in the concrete. The diameter of a round vibrator shall be no more than one-fourth the diameter of the cylinder mold or one-fourth the width of the beam mold. Other shaped vibrators shall have a perimeter equivalent to the

circumference of an appropriate round vibrator. The combined length of the vibrator shaft and vibrating element shall exceed the depth of the section being vibrated by at least 3 in. [75 mm]. The vibrator frequency shall be checked periodically.

Note 1—For information on size and frequency of various vibrators and a method to periodically check vibrator frequency see ACI 309.

5.6 *Mallet*—A mallet with a rubber or rawhide head weighing 1.25 ± 0.50 lb [0.6 ± 0.2 kg] shall be used.

5.7 *Small Tools*—Shovels, hand-held floats, scoops, and a vibrating-rod tachometer shall be provided.

5.8 *Slump Apparatus*—The apparatus for measurement of slump shall conform to the requirements of Test Method C 143/C 143M.

5.9 *Sampling Receptacle*—The receptacle shall be a suitable heavy gage metal pan, wheelbarrow, or flat, clean nonabsorbent board of sufficient capacity to allow easy remixing of the entire sample with a shovel or trowel.

5.10 *Air Content Apparatus*—The apparatus for measuring air content shall conform to the requirements of Test Methods C 173/C 173M or C 231.

5.11 *Temperature Measuring Devices*—The temperature measuring devices shall conform to the applicable requirements of Test Method C 1064/C 1064M.

**6. Testing Requirements**

6.1 *Cylindrical Specimens*—Compressive or splitting tensile strength specimens shall be cylinders cast and allowed to set in an upright position. The length shall be twice the diameter. The cylinder diameter shall be at least 3 times the nominal maximum size of the coarse aggregate. When the nominal maximum size of the coarse aggregate exceeds 2 in. [50 mm], the concrete sample shall be treated by wet sieving through a 2-in. [50-mm] sieve as described in Practice C 172. For acceptance testing for specified compressive strength, cylinders shall be 6 by 12 in. [150 by 300 mm] or when specified 4 × 8 in. [100 × 200 mm] (Note 2).

Note 2—When molds in SI units are required and not available, equivalent inch-pound unit size mold should be permitted.

6.2 *Beam Specimens*—Flexural strength specimens shall be beams of concrete cast and hardened in the horizontal position. The length shall be at least 2 in. [50 mm] greater than three times the depth as tested. The ratio of width to depth as molded shall not exceed 1.5. The standard beam shall be 6 by 6 in. [150 by 150 mm] in cross section, and shall be used for concrete with nominal maximum size coarse aggregate up to 2 in. [50 mm]. When the nominal maximum size of the coarse aggregate exceeds 2 in. [50 mm], the smaller cross sectional dimension of the beam shall be at least three times the nominal maximum size of the coarse aggregate. Unless required by project specifications, beams made in the field shall not have a width or depth of less than 6 in. [150 mm].

6.3 *Field Technicians*—The field technicians making and curing specimens for acceptance testing shall be certified ACI Field Testing Technicians, Grade 1 or equivalent. Equivalent personnel certification programs shall include both written and performance examinations, as outlined in ACI CP-1.

**TABLE 1 Tamping Rod Requirements**

Diameter of Cylinder or Width of Beam, in. [mm]	Rod Dimensions <sup>a</sup>	
	Diameter, in. [mm]	Length of Rod, in. [mm]
4 [100]	3/8 [10]	12 [300]
6 [150]	5/8 [16]	20 [500]
9 [225]	5/8 [16]	28 [650]

<sup>a</sup> Rod tolerances length ± 4 in. [100 mm] and diameter ± 1/16 in. [2 mm].

**7. Sampling Concrete**

7.1 The samples used to fabricate test specimens under this standard shall be obtained in accordance with Practice C 172 unless an alternative procedure has been approved.

7.2 Record the identification of the sample with respect to the location of the concrete represented and the time of casting.

**8. Slump, Air Content, and Temperature**

8.1 *Slump*—Measure and record the slump of each batch of concrete from which specimens are made immediately after remixing in the receptacle, as required in Test Method C 143/C 143M.

8.2 *Air Content*—Determine and record the air content in accordance with either Test Method C 173/C 173M or Test Method C 231. The concrete used in performing the air content test shall not be used in fabricating test specimens.

8.3 *Temperature*—Determine and record the temperature in accordance with Test Method C 1064/C 1064M.

*Note 3*—Some specifications may require the measurement of the unit weight of concrete. The volume of concrete produced per batch may be desired on some projects. Also, additional information on the air content measurements may be desired. Test Method C 139/C 139M is used to measure the unit weight, yield, and gravimetric air content of freshly mixed concrete.

**9. Molding Specimens**

9.1 *Place of Molding*—Mold specimens promptly on a level, rigid surface, free of vibration and other disturbances, at a place as near as practicable to the location where they are to be stored.

9.2 *Casting Cylinders*—Select the proper tamping rod from 5.4 and Table 1 or the proper vibrator from 5.5. Determine the method of consolidation from Table 2, unless another method is specified. If the method of consolidation is rodding, determine molding requirements from Table 3. If the method of consolidation is vibration, determine molding requirements from Table 4. Select a small tool of a size and shape large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle will be representative and small enough so concrete is not lost when being placed in the mold. While placing the concrete in the mold, move the small tool around the perimeter of the mold opening to ensure an even distribution of the concrete and minimize segregation. Each layer of concrete shall be consolidated as required. In placing the final layer, add an amount of concrete that will fill the mold after consolidation.

9.3 *Casting Beams*—Select the proper tamping rod from 5.4 and Table 1 or proper vibrator from 5.5. Determine the method of consolidation from Table 2, unless another method is specified. If the method of consolidation is rodding, determine the molding requirements from Table 3. If the method of consolidation is vibration, determine the molding requirements from Table 4. Determine the number of rodgings per layer, one

**TABLE 3 Molding Requirements by Rodding**

Specimen Type and Size	Number of Layers of Approximately Equal Depth	Number of Roddings per Layer
<b>Cylinders:</b>		
Diameter, in. (mm)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25
8 (225)	4	50
<b>Beams:</b>		
Width, in. (mm)		
6 (150) to 8 (200)	2	see 9.3
>8 (200)	3 or more equal depths, each not to exceed 6 in. (150 mm)	see 9.3

**TABLE 4 Molding Requirements by Vibration**

Specimen Type and Size	Number of Layers	Number of Vibrator Insertions per Layer	Approximate Depth of Layer, in. (mm)
<b>Cylinders:</b>			
Diameter, in. (mm)			
4 (100)	2	1	one-half depth of specimen
6 (150)	2	2	one-half depth of specimen
8 (225)	2	4	one-half depth of specimen
<b>Beams:</b>			
Width, in. (mm)			
6 (150) to 8 (200)	1	see 9.4.2	depth of specimen
over 8 (200)	2 or more	see 9.4.2	8 (200) as near as practicable

for each 2 in.<sup>2</sup> [14 cm<sup>2</sup>] of the top surface area of the beam. Select a small tool, of the size and shape large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle is representative and small enough so concrete is not lost when placed in the mold. Each layer shall be consolidated as required. In placing the final layer, add an amount of concrete that will fill the mold after consolidation. Place the concrete so that it is uniformly distributed within each layer with a minimum of segregation.

9.4 *Consolidation*—The methods of consolidation for this practice are rodding or internal vibration.

9.4.1 *Rodding*—Place the concrete in the mold, in the required number of layers of approximately equal volume. Rod each layer with the rounded end of the rod using the required number of rodgings. Rod the bottom layer throughout its depth. Distribute the rodgings uniformly over the cross section of the mold. For each upper layer, allow the rod to penetrate through the layer being rodded and into the layer below approximately 1 in. [25 mm]. After each layer is rodded, tap the outsides of the mold lightly 10 to 15 times with the mallet, to close any holes left by rodding and to release any large air bubbles that may have been trapped. Use an open hand to tap light-gage single-use cylinder molds which are susceptible to damage if tapped with a mallet. After tapping, spade each layer of the concrete along the sides and ends of beam molds with a trowel or other suitable tool. Underfilled molds shall be adjusted with representative concrete during consolidation of the top layer. Overfilled molds shall have excess concrete removed.

**TABLE 2 Method of Consolidation Requirements**

Slump in. (mm)	Method of Consolidation
≥ 1 [25]	rodding or vibration
< 1 [25]	vibration



**9.4.2 Vibration**—Maintain a uniform duration of vibration for the particular kind of concrete, vibrator, and specimen mold involved. The duration of vibration required will depend upon the workability of the concrete and the effectiveness of the vibrator. Usually sufficient vibration has been applied as soon as the surface of the concrete has become relatively smooth and large air bubbles cease to break through the top surface. Continue vibration only long enough to achieve proper consolidation of the concrete (see Note 4). Fill the molds and vibrate in the required number of approximately equal layers. Place all the concrete for each layer in the mold before starting vibration of that layer. In compacting the specimen, insert the vibrator slowly and do not allow it to rest on the bottom or sides of the mold. Slowly withdraw the vibrator so that no large air pockets are left in the specimen. When placing the final layer, avoid overfilling by more than  $\frac{1}{8}$  in. [6 mm].

**Note 4**—Generally, no more than 5 s of vibration should be required for each insertion to adequately consolidate concrete with a slump greater than 3 in. [75 mm]. Longer times may be required for lower slump concrete, but the vibration time should rarely have to exceed 10 s per insertion.

**9.4.2.1 Cylinders**—The number of insertions of the vibrator per layer is given in Table 4. When more than one insertion per layer is required distribute the insertion uniformly within each layer. Allow the vibrator to penetrate through the layer being vibrated, and into the layer below, approximately 1 in. [25 mm]. After each layer is vibrated, tap the outsides of the mold at least 10 times with the mallet, to close holes that remain and to release entrapped air voids. Use an open hand to tap cardboard and single-use metal molds that are susceptible to damage if tapped with a mallet.

**9.4.2.2 Beams**—Insert the vibrator at intervals not exceeding 6 in. [150 mm] along the center line of the long dimension of the specimen. For specimens wider than 6 in., use alternating insertions along two lines. Allow the shaft of the vibrator to penetrate into the bottom layer approximately 1 in. [25 mm]. After each layer is vibrated, tap the outsides of the mold sharply at least 10 times with the mallet to close holes left by vibrating and to release entrapped air voids.

**9.5 Finishing**—After consolidation, strike off excess concrete from the surface and float or trowel as required. Perform all finishing with the minimum manipulation necessary to produce a flat even surface that is level with the rim or edge of the mold and that has no depressions or projections larger than  $\frac{1}{8}$  in. [3.3 mm].

**9.5.1 Cylinders**—After consolidation, finish the top surfaces by striking them off with the tamping rod where the consistency of the concrete permits or with a wood float or trowel. If desired, cup the top surface of freshly made cylinders with a thin layer of stiff portland cement paste which is permitted to harden and cure with the specimen. See section on Capping Materials of Practice C 617.

**9.5.2 Beams**—After consolidation of the concrete, use a hand-held float to strike off the top surface to the required tolerance to produce a flat, even surface.

**9.6 Identification**—Mark the specimens to positively identify them and the concrete they represent. Use a method that will not alter the top surface of the concrete. Do not mark the

removable caps. Upon removal of the molds, mark the test specimens to retain their identities.

## 10. Curing

**10.1 Standard Curing**—Standard curing is the curing method used when the specimens are made and cured for the purposes stated in 4.2.

**10.1.1 Storage**—If specimens cannot be molded at the place where they will receive initial curing, immediately after finishing move the specimens to an initial curing place for storage. The supporting surface on which specimens are stored shall be level to within  $\frac{1}{8}$  in. per ft [20 mm per m]. If cylinders in the single use molds are moved, lift and support the cylinders from the bottom of the molds with a large trowel or similar device. If the top surface is marred during movement to place of initial storage, immediately refinish.

**10.1.2 Initial Curing**—Immediately after molding and finishing, the specimens shall be stored for a period up to 48 h in a temperature range from 60 and 80°F [16 and 27°C] and in an environment preventing moisture loss from the specimens. For concrete mixtures with a specified strength of 6000 psi [40 MPa] or greater, the initial curing temperature shall be between 68 and 78°F [20 and 26°C]. Various procedures are capable of being used during the initial curing period to maintain the specified moisture and temperature conditions. An appropriate procedure or combination of procedures shall be used (Note 5). Shield all specimens from the direct sunlight and, if used, radiant heating devices. The storage temperature shall be controlled by use of heating and cooling devices, as necessary. Record the temperature using a maximum-minimum thermometer. If cardboard molds are used, protect the outside surface of the molds from contact with wet burlap or other sources of water.

**Note 5**—A satisfactory moisture environment can be created during the initial curing of the specimens by one or more of the following procedures: (1) immediately immerse molded specimens with plastic lids in water saturated with calcium hydroxide, (2) store in properly constructed wooden boxes or structures, (3) place in damp sand pits, (4) cover with removable plastic lids, (5) place inside plastic bags, or (6) cover with plastic sheets or nonabsorbent plates if provisions are made to avoid drying and damp burlap is used inside the enclosure, but the burlap is prevented from contacting the concrete surfaces. A satisfactory temperature environment can be controlled during the initial curing of the specimens by one or more of the following procedures: (1) use of ventilation, (2) use of ice, (3) use of thermostatically controlled heating or cooling devices, or (4) use of heating methods such as stoves or light bulbs. Other suitable methods may be used provided the requirements limiting specimen storage temperature and moisture loss are met. For concrete mixtures with a specified strength of 6000 psi [40 MPa] or greater, heat generated during the early ages may raise the temperature above the required storage temperature. Immersion in water saturated with calcium hydroxide may be the easiest method to maintain the required storage temperature. When specimens are to be immersed in water saturated with calcium hydroxide, specimens in cardboard molds or other molds that expand when immersed in water should not be used. Early-age strength test results may be lower when stored at 60°F [16°C] and higher when stored at 80°F [27°C]. On the other hand, at later ages, test results may be lower for higher initial storage temperatures.

**10.1.3 Final Curing**

**10.1.3.1 Cylinders**—Upon completion of initial curing and within 30 min after removing the molds, cure specimens with

free water maintained on their surfaces at all times at a temperature of  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  [ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ] using water storage tanks or moist rooms complying with the requirements of Specification C 511, except when capping with sulfur mortar capping compound and immediately prior to testing. When capping with sulfur mortar capping compound, the ends of the cylinder shall be dry enough to preclude the formation of steam or foam pockets under or in cap larger than  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm) as described in Practice C 617. For a period not to exceed 3 h immediately prior to test, standard curing temperature is not required provided free moisture is maintained on the cylinders and ambient temperature is between  $68$  and  $86^\circ\text{F}$  [ $20$  and  $30^\circ\text{C}$ ].

**10.1.3.2 Beams**—Beams are to be cured the same as cylinders (see 10.1.3.1) except that they shall be stored in water saturated with calcium hydroxide at  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  [ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ] at least 20 h prior to testing. Drying of the surfaces of the beam shall be prevented between removal from water storage and completion of testing.

*Note 6*—Relatively small amounts of surface drying of flexural specimens can induce tensile stresses in the extreme fibers that will markedly reduce the indicated flexural strength.

**10.2 Field Curing**—Field curing is the curing method used for the specimens made and cured as stated in 4.3.

**10.2.1 Cylinders**—Store cylinders in or on the structure as near to the point of deposit of the concrete represented as possible. Protect all surfaces of the cylinders from the elements in as near as possible the same way as the formed work. Provide the cylinders with the same temperature and moisture environment as the structural work. Test the specimens in the moisture condition resulting from the specified curing treatment. To meet these conditions, specimens made for the purpose of determining when a structure is capable of being put in service shall be removed from the molds at the time of removal of form work.

**10.2.2 Beams**—As nearly as practicable, cure beams in the same manner as the concrete in the structure. At the end of  $48 \pm 4$  h after molding, take the molded specimens to the storage location and remove from the molds. Store specimens representing pavements of slabs on grade by placing them on the ground as molded, with their top surfaces up. Bank the sides and ends of the specimens with earth or sand that shall be kept damp, leaving the top surfaces exposed to the specified curing treatment. Store specimens representing structure concrete as near the point in the structure they represent as possible, and afford them the same temperature protection and

moisture environment as the structure. At the end of the curing period leave the specimens in place exposed to the weather in the same manner as the structure. Remove all beam specimens from field storage and store in water saturated with calcium hydroxide at  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  [ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ] for  $24 \pm 4$  h immediately before time of testing to ensure uniform moisture condition from specimen to specimen. Observe the precautions given in 10.1.3.2 to guard against drying between time of removal from curing to testing.

**10.3 Structural Lightweight Concrete Curing**—Cure structural lightweight concrete cylinders in accordance with Specification C 330.

## 11. Transportation of Specimens to Laboratory

**11.1** Prior to transporting, cure and protect specimens as required in Section 10. Specimens shall not be transported until at least 8 h after final set. (See Note 7). During transporting, protect the specimens with suitable cushioning material to prevent damage from jarring. During cold weather, protect the specimens from freezing with suitable insulation material. Prevent moisture loss during transportation by wrapping the specimens in plastic, wet burlap, by surrounding them with wet sand, or tight fitting plastic caps on plastic molds. Transportation time shall not exceed 4 h.

*Note 7*—Setting time may be measured by Test Method C 403.

## 12. Report

**12.1** Report the following information to the laboratory that will test the specimens:

**12.1.1** Identification number.

**12.1.2** Location of concrete represented by the samples.

**12.1.3** Date, time and name of individual molding specimens.

**12.1.4** Slump, air content, and concrete temperature, test results and results of any other tests on the fresh concrete and any deviations from referenced standard test methods, and

**12.1.5** Curing method. For standard curing method, report the initial curing method with maximum and minimum temperatures and final curing method. For field curing method, report the location where stored, manner of protection from the elements, temperature and moisture environment, and time of removal from molds.

## 13. Keywords

**13.1** beams; casting samples; concrete; curing; cylinders; testing

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).*

**ANEXO XIII NORMA ASTM C1064 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA  
TEMPERATURA DEL HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO RECIÉN  
MEZCLADO**



## Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 1064/C 1064M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript capital (n) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope<sup>2</sup>

1.1 This test method covers the determination of temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete.

1.2 The values stated in inch-pound or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes that provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this standard.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.<sup>3</sup>)

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards<sup>4</sup>

C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete

### 3. Significance and Use

3.1 This test method provides a means for measuring the temperature of freshly mixed concrete. It may be used to verify conformance to a specified requirement for temperature of concrete.

3.2 Concrete containing aggregate of a nominal maximum size greater than 3 in. [75 mm] may require up to 20 min for the transfer of heat from aggregate to mortar. (See ACI Committee 207.1R Report.<sup>5</sup>)

### 4. Apparatus

4.1 *Container*, shall be large enough to provide at least 3 in. [75 mm] of concrete in all directions around the sensor of the temperature measuring device; concrete cover must also be at least three times the nominal maximum size of the coarse aggregate.

4.2 *Temperature Measuring Device*, shall be capable of accurately measuring the temperature of the freshly mixed concrete to  $\pm 1^\circ\text{F}$  ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ) throughout a range of 30° to 120°F [0° to 50°C]. The design of the temperature measuring device shall be such that it allows 3 in. [75 mm] or more immersion during operation.

4.3 Partial immersion liquid-in-glass thermometers (and possibly other types) shall have a permanent mark to which the device must be immersed without applying a correction factor.

4.4 *Reference Temperature Measuring Device*, shall be readable and accurate to  $\pm 0.5^\circ\text{F}$  [0.2°C] at the verification points in 5.1. A certificate or report that verifies the accuracy shall be available in the laboratory for review. Accuracy of liquid-in-glass reference temperature measuring devices shall be verified once. Verification of direct-reading resistance reference temperature measuring devices shall be performed every twelve months. The certificate or report shall provide documentation that the reference standard used in the verification is traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST).

### 5. Calibration of Temperature Measuring Device

5.1 Each temperature measuring device used for determining temperature of freshly mixed concrete shall be calibrated annually, or whenever there is a question of accuracy. This

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.40 on Testing Fresh Concrete.

Current edition approved June 1, 2004. Published July 2004. Originally approved in 1986. Last previous edition approved in 2001 as C 1064–01.

<sup>2</sup> Section on Safety/Precautions, Manual of Appropriate and Concrete Testing, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>4</sup> Available from American Concrete Institute, Box 9004, Farmington Hills, MI 48333.

<sup>5</sup> A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

calibration shall be performed by comparing the readings of the temperature measuring device at two temperatures at least 30°F (15°C) apart.

5.2 Calibration of the temperature measuring devices may be made in oil or other suitable baths having uniform density if provision is made to:

5.2.1 Maintain the bath temperature constant within 0.5°F (0.2°C) during the period of the test.

5.2.2 Have both the temperature and reference temperature measuring devices maintained in the bath for a minimum of 5 min before reading temperatures.

5.2.3 Continuously circulate the bath liquid to provide a uniform temperature.

5.2.4 Slightly tap thermometers containing liquid to avoid adhesion of the liquid to the glass if the temperature exposure is being reduced.

## 6. Sampling Concrete

6.1 It is acceptable to measure the temperature of freshly mixed concrete in either the transporting equipment or the forms after discharge provided the sensor of the temperature measuring device has at least 3 in. (75 mm) of concrete cover in all directions.

6.2 If the transporting equipment or placement forms are not used as the container, a sample shall be prepared as follows:

6.2.1 Immediately, prior to sampling the freshly mixed concrete, dampen (with water) the sample container.

6.2.2 Sample the freshly mixed concrete in accordance with Practice C 172, except that composite samples are not required if the only purpose for obtaining the sample is to determine temperature.

6.2.3 Place the freshly mixed concrete into the container.

## 7. Procedure

7.1 Position the temperature measuring device so that the end of the temperature sensing portion is submerged a minimum of 3 in. (75 mm) into the freshly mixed concrete. Close the void left by the placement by gently pressing the concrete around the temperature measuring device at the surface of the concrete to prevent ambient air temperature from affecting the reading.

7.2 Leave the temperature measuring device in the freshly mixed concrete for a minimum period of 2 min or until the temperature reading stabilizes, then read and record the temperature.

7.3 Complete the temperature measurement of the freshly mixed concrete within 5 min after obtaining the sample, except for concrete that contains a nominal maximum size aggregate greater than 3 in. (75 mm). With aggregate greater than 3 in. (75 mm), make sure that the temperature has stabilized before recording the reading (See Note 1).

*Note 1*—It may require as much as 20 min before the temperature is stabilized after mixing.

## 8. Report

8.1 Record the measured temperature of the freshly mixed concrete to the nearest 1°F (0.5°C).

## 9. Precision and Bias

9.1 The precision and bias of this test method have not been determined. A precision and bias statement will be included when sufficient test data have been obtained and analyzed.

## SUMMARY OF CHANGES

Committee C109 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C 1064/C 1064M - 01, that may impact the use of this specification (Approved October 2003).

- (1) Changed the title of the standard.
- (2) Revised 1.1.
- (3) Added new 1.3 and renumbered subsequent sections.
- (4) Added to 1.4 safety caveat.
- (5) Revised 4.1.

- (6) Combined 6.1 and 6.2 into a new and revised 6.1.
- (7) Deleted 6.3.4.
- (8) Revised 7.3.
- (9) Added Note 1.

 C 1064/C 1064M – 04

Committee C09 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C 1064/C 1064M – 01, that may impact the use of this specification (Approved October 2003).

- (1) Revised 4.2 to require a temperature-measuring device to accommodate a 3 in. minimum immersion in the concrete.      (2) Revised 7.1 for clarity.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-632-9585 (phone), 610-632-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail), or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

**ANEXO XIV NORMA ASTM C78 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA  
RESISTENCIA DE FLEXIÓN DEL HORMIGÓN (USANDO UNA VIGA SIMPLE  
CON CARGA DE TERCER PUNTO)**



Designation: C 78 – 02

## Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 78; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards<sup>2</sup>:

C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field<sup>2</sup>

C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete<sup>2</sup>

C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory<sup>2</sup>

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens<sup>2</sup>

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation<sup>2</sup>

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>1</sup>

### 3. Significance and Use

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the

beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

### 4. Apparatus

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within  $\pm 0.05$  in. ( $\pm 1.3$  mm).

4.2.2 The ratio of the horizontal distance between the point of application of the load and the point of application of the nearest reaction to the depth of the beam shall be  $1.0 \pm 0.03$ .

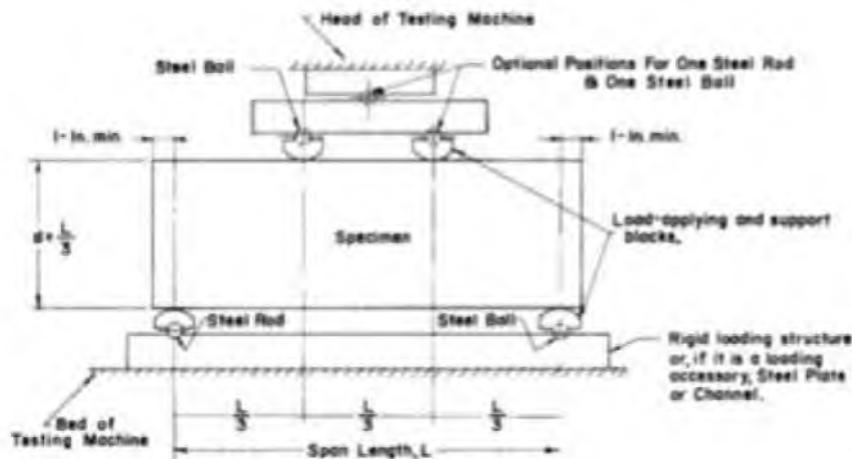
4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used, the load-applying and support blocks should not be more than  $2\frac{1}{8}$  in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least  $45^\circ$  (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C39 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C39.01 on Testing for Strength.

Current edition approved Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published in C 78 – 397. Last previous edition C 78 – 00.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 05.01.



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.

NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

contact with the rod or ball by means of spring-loaded screws that hold them in contact with the pivot rod or ball. The uppermost bearing plate and center point ball in Fig. 1 may be omitted when a spherically seated bearing block is used, provided one rod and one ball are used as pivots for the upper load-applying blocks.

## 5. Testing

5.1 The test specimen shall conform to all requirements of Test Method C 42 or Practices C 31 or C 192 applicable to beam and prism specimens and shall have a test span within 2% of being three times its depth as tested. The sides of the specimen shall be at right angles with the top and bottom. All surfaces shall be smooth and free of scars, indentations, holes, or inscribed identification marks.

5.2 The technician performing the flexural strength test should be certified as an ACI Technician—Grade II, or by an equivalent written and performance test program.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method may be evaluated in accordance with Practice C 1077.

## 6. Procedure

6.1 Flexural tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practical after removal from moist storage. Surface drying of the specimen results in a reduction in the measured flexural strength.

6.2 When using molded specimens, turn the test specimen on its side with respect to its position as molded and center it on the support blocks. When using sawed specimens, position the specimen so that the tension face corresponds to the top or bottom of the specimen as cut from the parent material. Center the loading system in relation to the applied force. Bring the load-applying blocks in contact with the surface of the specimen at the third points and apply a load of between 3 and 6% of the estimated ultimate load. Using 0.004 in. (0.10 mm) and 0.015 in. (0.38 mm) leaf-type feeler gages, determine whether

any gap between the specimen and the load-applying or support blocks is greater or less than each of the gages over a length of 1 in. (25 mm) or more. Grind, cap, or use leather shims on the specimen contact surface to eliminate any gap in excess of 0.004 in. (0.10 mm) in width. Leather shims shall be of uniform 1/16 in. (1.6 mm) thickness, 1 to 2 in. (25 to 50 mm) width, and shall extend across the full width of the specimen. Gaps in excess of 0.015 in. (0.38 mm) shall be eliminated only by capping or grinding. Grinding of lateral surfaces should be minimized inasmuch as grinding may change the physical characteristics of the specimens. Capping shall be in accordance with the applicable sections of Practice C 617.

6.3 Load the specimen continuously and without shock. The load shall be applied at a constant rate to the breaking point. Apply the load at a rate that constantly increases the extreme fiber stress between 125 and 175 psi/min (0.86 and 1.21 MPa/min) until rupture occurs. The loading rate is calculated using the following equation:

$$r = Sd^2/L \quad (1)$$

where:

$r$  = loading rate, lb/min (MN/min),

$S$  = rate of increase in extreme fiber stress, psi/min (MPa/min),

$h$  = average width of the specimen, in. (mm),

$d$  = average depth of the specimen, in. (mm), and

$L$  = span length, in. (mm).

## 7. Measurement of Specimens After Test

7.1 To determine the dimensions of the specimen cross section for use in calculating modulus of rupture, take measurements across one of the fractured faces after testing. For each dimension, take one measurement at each edge and one at the center of the cross section. Use the three measurements for each direction to determine the average width and the average depth. Take all measurements to the nearest 0.05 in. (1 mm). If

the fracture occurs at a capped section, include the cap thickness in the measurement.

**8. Calculation**

8.1 If the fracture initiates in the tension surface within the middle third of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = PL/bd^2 \tag{2}$$

where:

- R* = modulus of rupture, psi, or MPa.
- P* = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf, or N,
- l* = span length, in., or mm,
- b* = average width of specimen, in., or mm, at the fracture, and
- d* = average depth of specimen, in., or mm, at the fracture.

*Note 2*—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.2 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by not more than 5 % of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = 3Pa/bd^2 \tag{3}$$

where:

- a* = average distance between line of fracture and the nearest support measured on the tension surface of the beam, in., (or mm)

*Note 3*—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.3 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by more than 5 % of the span length, discard the results of the test.

**9. Report**

9.1 Report the following information:

9.1.1 Identification number.

- 9.1.2 Average width to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.3 Average depth to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.4 Span length in inches (or millimeters),
- 9.1.5 Maximum applied load in pound-force (or newtons),
- 9.1.6 Modulus of rupture calculated to the nearest 5 psi (0.05 MPa),
- 9.1.7 Curing history and apparent moisture condition of the specimens at the time of test,
- 9.1.8 If specimens were capped, ground, or if leather shims were used,
- 9.1.9 Whether sawed or molded and defects in specimens, and
- 9.1.10 Age of specimens.

**10. Precision and Bias**

10.1 *Precision*—The coefficient of variation of test results has been observed to be dependent on the strength level of the beams.<sup>4</sup> The single operator coefficient of variation has been found to be 5.7%. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 16%. The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.0%. Therefore, results of two different laboratories on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 19%.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted standard for determining bias in this test method, no statement on bias is made.

**11. Keywords**

11.1 beams, concrete, flexural strength testing, modulus of rupture

<sup>4</sup>See "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" by P. M. Carrasquillo and R. L. Carrasquillo, Research Report 114-18, Project 1-9-87-1119, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, November 1987, for possible guidance as to the relationship of strength and variability.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9551 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

## **APÉNDICE**





ENCLID CHEMICAL

CUSTOMER

SAMPLE SOURCE

TESTED BY

RESEARCH AND TESTING LABORATORY  
Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate / ASTM C-128

H. FERNANDEZ

ALBA SANCHEZ

YEILIN DIAZ

SAMPLE ID

DATE

REPORT #

ARENA

January 6, 2021

HF210106-A1



Bulk Specific Gravity (Saturated-Surface-Dry basis). Gravimetric Procedure

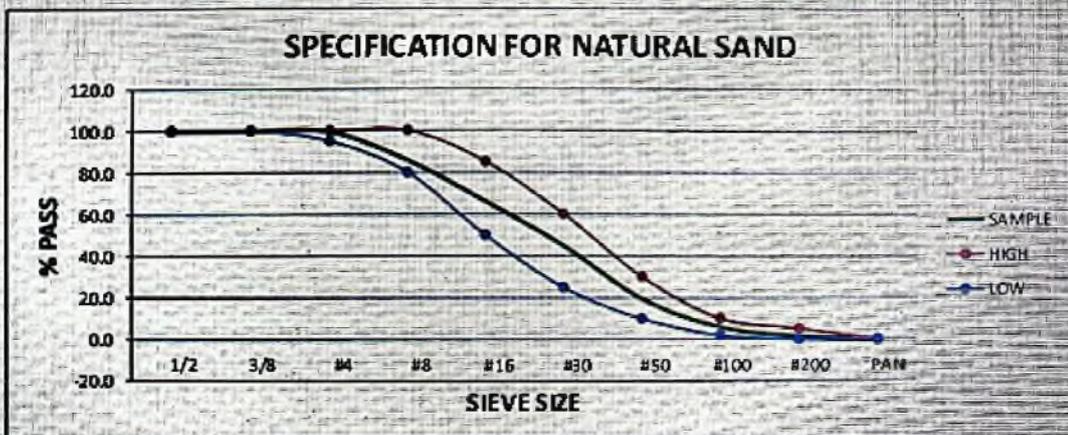
S = mass of saturated surface-dry specimen, gr.	500
A = mass of oven-dry specimen in air, g.	491
B = mass of pycnometer filled with water, to calibration mark, g	631.3
C = mass of pycnometer filled with specimen and water to calibration mark, g	946.8
Apparent Specific Gravity = $A/(B+A-C)$	2.65
Bulk sp. gr. (saturated surface-dry basis) = $S/(B+S-C)$	2.70
Absorption % = $((B-A)/A)*100$	1.92

Sieve Analysis for Fine Aggregate / ASTM C-33

SIEVE	WT RET.	% RET	% RECUM	% PASS	SPECIFICATION	
					HIGH	LOW
1/2	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
#4	2.6	0.5	0.5	99.5	100	95
#8	69.1	13.8	14.3	85.7	100	80
#16	98.1	19.6	34.0	66.0	85	50
#30	106.3	21.3	55.2	44.8	60	25
#50	126.6	25.3	80.5	19.5	30	10
#100	68.1	13.6	94.1	5.9	10	2
#200	21.9	4.4	98.5	1.5	5	0
PAN	7.4	1.5	100.0	0.0	0	0

TOTAL = 500.1 GRS.

FINE MODULUS = 2.73



REMARKS

Tested by:

Yeilin B. Diaz

Yeilin Diaz

ACI Concrete Field Testing Technician Grade

Approved by:

Ing. Jorge Medina  
I & D Manager

Fuente: INATEC. (06 de enero de 2021). RESEARCH AND TESTING LABORATORY. Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate ASTM C-128. Santo Domingo.

## SUSTENTANTES

---

**Laura Yissel García Arismendi**

---

**Nicole Estefanía Novoa Jiménez**

## ASESOR

---

**Ing. Maribel Espinosa Sención**

## JURADOS

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Calificación:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

---

**Ing. Maribel Espinosa Sención**

**Directora Escuela de Química**