



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Análisis Comparativo De Las Propiedades Mecánicas Del Concreto Celular Para Optimizar El Diseño Utilizando Aditivo Espumante y Polvo De Aluminio”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**AUTORES:**

CORDOVA FLORES, MARVIN AGUSTIN ([0000-0003-3690-0599](mailto:0000-0003-3690-0599))

FLORES ROQUE, JADICK DAVID ([0000-0001-8667-8506](mailto:0000-0001-8667-8506))

**ASESOR:**

Ms. Ing. Aybar Arriola, Adolfo Gustavo ([0000-0001-8625-3989](mailto:0000-0001-8625-3989))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

LIMA – PERÚ

2021

## AGRADECIMIENTO

Al por darme la oportunidad  
De tener una vida plena con los seres que  
Mas quiero, a personas que fueron parte  
Importante en mi desarrollo profesional.

A nuestros familiares por darnos buenos  
Valores, apoyándonos en todo momento  
Así como la perseverancia profesional.

A todas las personas involucradas  
En mi vida universitaria con los que  
Tuve la oportunidad de compartir en  
Mi crecimiento profesional

## DEDICATORIA

Ante todo, agradezco al dios padre por  
Haber iluminado mi camino, a la vez a  
A mi familia y amigos que sin su ayuda  
Y consejos realizados no estaría aquí.  
Y quero darle la felicidad a cada uno de  
Que logre gracias al esfuerzo.

A nuestros padres quienes con sus  
Esfuerzos lograron para que sigamos  
Adelante a la vez inculcándonos, valor  
A pesar de las dificultades, dándonos  
Alientos de seguir adelante. Gracias

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGIA	24
3.1 Tipo y Diseño de Investigación	24
3.2 Variables y Operacionalización	25
3.3 Población y Muestra.	28
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	30
3.5 Procedimientos	30
3.6 Método de Análisis de Datos	31
3.7. Aspectos Éticos	31
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	31
4.1. Recursos y Presupuesto	31
4.2. Financiamiento	32
4.3. Cronograma de Ejecución	32
IV. RESULTADOS	33
V. Discusión	51
VI. Conclusión.	52
VII. Recomendación.	53
REFERENCIAS	54
ANEXOS	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del Concreto Connacional	4
Tabla 2: Relación. Resistencia a la compresión y densidad.	5
Tabla 3: Clases de Concreto ligeros	6
Tabla 4: Composición Química de Aluminio	12
Tabla 5: Característica física y mecánica de Aluminio	13
Tabla 6: Densidad del Concreto	14
Tabla 7: Clasificación de Concreto Según Densidad	15
Tabla 8: Ventajas y desventajas del concreto celular	17
Tabla 9: Cantidad de Muestras de Ensayos de Compresión	26
Tabla 10: Cantidad de Muestras de Ensayos para Determinar la Densidad	26
Tabla 11: Presupuesto Del Proyecto de tesis	29
Tabla 12: Cuadro resumen de Propiedades del Cemento Inka Tipo I	30
Tabla 13: Cuadro De Propiedades Físicas del Agente Flamín C	31
Tabla 14: Cuadro De Resumen de Propiedades Físicas del Polvo De aluminio	31
Tabla 15: Diseño De Mezcla Patrón	32
Tabla 16: Diseño de Mezcla Espumante 2%	32
Tabla 17: Diseño De Mezcla Polvo De Aluminio 3%	32
Tabla 18: Cuadro De Resumen Peso Específico del Agregado Fino	34
Tabla 19: Cuadro De Resumen Peso Unitario Agregado Fino	35
Tabla 20: Cuadro De Resumen De Granulometría del Agregado Fino	36
Tabla 21: Análisis Estadístico de 7 Días	38
Tabla 22: Intervalo de Confianza al 95% de 7 días	38
Tabla 24: Procesamiento de Casos 7 días	39
Tabla 25: Cuadro de Fiabilidad de Afla de Cronbach	49
Tabla 26: Análisis Estadístico de 14 Días	49

Tabla 27: Intervalo de Confianza al 95% de 14 días	50
Tabla 29: Procesamiento de Casos 14 días	51
Tabla 30: Cuadro de Fiabilidad de Afla de Cronbach 14 días	51
Tabla 31: Tabla 26: Análisis Estadístico de 28 días	52
Tabla 32: Intervalo de Confianza al 95% de 14 días	52
Tabla 33: Medias Cuadrada de Compresión 28 días	53
Tabla 34: Procesamiento de Casos 28 días	53
Tabla 35: Cuadro de Fiabilidad de Afla de Cronbach 28 días	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Concretos sin finos	5
Figura 2: Concreto Celular	7
Figura 3: Rango de Densidad y Clasificación de Concreto	9
Figura 4: Diagramas de flujos de proceso reciclable en escoria de aluminio	11
Figura 5: Polvo de aluminio para hormigón celular	12
Figura 6: Reacción Química Cemento-Aluminio	14
Figura 7: Cronograma de Ejecución	30
Figura 8: Curva Granulométrica	37
Figura 9: Representación Gráfica de los Resultados Obtenidos de Resistencia a los 7;14 y 28 días	38
Figura 10: Materiales Utilizados para Elaborar Concreto Celular	60
Figura 11: Polvo De Aluminio	60
Figura 12: Pesaje Del Cemento	61
Figura 13: Adición Del Espumante	61
Figura 14: Adición De Aditivo Desmoldando a los Moldes	62
Figura 15: Mezcla con Aditivo Espumante	62
Figura 16: Adición De Polvo De Aluminio	63
Figura 17: Testigos De Concreto Celular	63
Figura 18: Curado de Testigos de Concreto Celular	64
Figura 19: Probetas De Concreto Celular Curado 7 días	64
Figura 20: Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Celular 7 días	65
Figura 21: Probeta con Polvo De Aluminio	65
Figura 22: Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Celular 28 días	66
Figura 23: Probetas Patrón	66
Figura 24: Corte Horizontal de Probetas	67

Figura 25: Pesaje de Muestra	67
Figura 26: Curado de Muestras 24H	68
Figura 27: Secado de Muestras En el Horno	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz De Consistencia .....	61
Anexo 2. Matriz de Operacionalización.....	62
Anexo 3. Diseño de Mezcla Patrón.....	63
Anexo 4. Diseño de Mezcla con Adición de Espumante 2% .....	63
Anexo 5. Diseño de Mezcla con Adición de Aluminio 3% .....	63
Anexo 6. Detalle Fotográfico de la Preparación De Concreto Celular .....	64
Anexo 7: Ensayo De Resistencia a la Compresión 28 días .....	70
Anexo 8: Ensayo de Densidad.....	71
Anexo 10: Resultado Peso Unitario Agregado Fino .....	74
Anexo 11: Resultado Peso Específico y Absorción Agregado Fino .....	75
Anexo 12: Resultado De Resistencia a la Compresión Patrón 7 días .....	76
Anexo 13: Resultado De Resistencia a la Compresión Patrón 14 días .....	77
Anexo 14: Resultado De Resistencia a la Compresión Patrón 28 días .....	78
Anexo 15: Resultado De Resistencia a la Compresión de Espumante 7 días .....	79
.....	79
Anexo 16: Resultado De Resistencia a la Compresión de Espumante 14 días .....	80
.....	80
Anexo 17: Resultado De Resistencia a la Compresión de Espumante 28 días .....	81
.....	81
Anexo 18: Resultado De Resistencia a la Compresión de Polvo de Aluminio 7 días .....	82
.....	82
Anexo 19: Resultado De Resistencia a la Compresión de Polvo de Aluminio 14 días .....	83
.....	83
Anexo 20: Resultado De Resistencia a la Compresión de Polvo de Aluminio 28 días .....	84
.....	84
Anexo 21: Resultados de Densidad, Absorción y Vacíos.....	85
Anexo 22: Certificado de calibración de Prensa .....	86
Anexo 23: Cotización de Laboratorio .....	89
Anexo 24: Certificado de Acreditación de Laboratorio Inacal .....	89
Anexo 25: Norma ASTM C642 .....	90
Anexo 26: Norma ACI 525.3r-14” Guide for Cellular Concrete Above 50lb/ft(800kg/m3).....	91
Anexo 27: Norma 523 “Guide for Cast-in-place Low-Density Concrete Cellular” .....	92
.....	92

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo general Analizar comparativamente las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar diseños utilizando agentes espumantes o polvo de aluminio. A la vez teniendo como objetivos específicos Analizar las propiedades mecánicas del concreto celular con aditivo espumante también como segundo objetivo específico Analizar las propiedades mecánicas del concreto celular con polvo de aluminio. la investigación es de tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo y de nivel aplicativo. El total de muestras que se utilizo fue de 42 probetas de concreto celular 33 probetas están para los ensayos de resistencia, con tres diseños de mezclas, con sus respectivos ensayos de laboratorio a la resistencia a compresión en 3 edades (7 días, 14 días y 28 días) y de densidad que son 9 probetas 3 de cada uno a los 28 días.

La finalidad del proyecto de investigación o tesis es la búsqueda del material que será utilizado para la optimización del concreto celular el cual estará sujeto con materiales sostenibles de bajo peso que trabajen con mayor eficiencia para la tabiquería, es por ello que se estudia al polvo de aluminio que es un material reciclable, como porcentaje del peso de cemento inka tipo I. a la vez el aditivo espumante proteico o sintético para la realización del concreto celular con estos reducimos la contaminación en la construcción producido por el cemento.

Los resultados que obtuvimos del proyecto mediante ensayos confirmamos que cuando reemplazamos un porcentaje del cemento por el polvo de aluminio con un porcentaje de 3,4 o 5 % con respecto al cemento y el aditivo de un 2% con respecto al agua por cada 100 litros incremento favorablemente con respecto al diseño patrón.

Palabras claves: concreto celular, aditivo espumante proteico, sintético, polvo de aluminio, resistencia de compresión.

## **ABSTRACT**

The present research project has the general objective of comparatively analyzing the mechanical properties of cellular concrete to optimize designs using foaming agents or aluminum powder. At the same time having as specific objectives Analyze the mechanical properties of cellular concrete with foaming additive also as a second specific objective Analyze the mechanical properties of cellular concrete with aluminum powder. The research is of an applied type, with a quantitative and applicative-level approach. The total of samples used was 42 cellular concrete specimens, 33 specimens are for resistance tests, with three mixture designs, with their respective laboratory tests of compressive strength in 3 ages (7 days, 14 days and 28 days). days) and a density of 9 specimens, 3 of each at 28 days.

The purpose of the research project or thesis is to search for the material that will be used for the optimization of cellular concrete, which will be subject to sustainable low-weight materials that work more efficiently for partitioning, that is why the dust of Aluminum, which is a recyclable material, as a percentage of the weight of Inka type I cement. At the same time, the protein or synthetic foaming additive for making cellular concrete with these we reduce the pollution in the construction produced by the cement.

The results we obtained from the project through tests confirm that when we replace a percentage of the cement with aluminum powder with a percentage of 3.4 or 5% with respect to cement and the additive of 2% with respect to water per 100 liters increase favorably with respect to the standard design.

Keywords: cellular concrete, synthetic protein foaming additive, aluminum powder, compressive strength.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde años atrás el hombre ha ido modificando su entorno y con la necesidad de tener un hogar digno que los llevo a experimentar diversos métodos. El uso de nuevos materiales no solo puede mejorar la calidad, aspectos técnicos, aspectos sociales, entre otros. Hoy en día el concreto es uno de los materiales más usados a nivel mundial, pero su densidad varía entre los 2200 y 2400 kg/m<sup>3</sup>, este valor se considera elevado ya que la carga muerta es un factor importante en las estructuras y o que se busca es reducir esos valores. En diferentes lugares del globo terráqueo diversas modelos de mejora cierta técnica constructiva, es por ello que en 1914 al término de la guerra se empezó el uso de forma masiva el concreto celular, luego se expandió a los países como rusia, Asia, Japón y estados unidos. Japón, Rusia, sudeste asiático y Estados Unidos actualmente se produce aproximadamente 200 plantas en 35 países y se estima que se produce un promedio de 500.000 casas cada año con el concreto celular. (Josman, 2019)

En el Perú aún no se han realizado construcciones con concreto celular debido quizás a la falta de conocimiento o la falta de investigaciones. Uno de los materiales encontrados para este propósito es el estudio del concreto celular, que es un material con ciertas características que se utilizan específicamente para mejorar calidad del material de Construcción. El concreto celular es un material que por el momento no está aprobado por el ministerio de vivienda, pero en la actualidad hay una empresa que se encuentra elaborando su expediente técnico para poder presentarlo y recibir su aprobación. (Blotek Perú SAC, 2019).

Esto conlleva a desarrollar esta investigación que se adiciona un aditivo espumante o el polvo de aluminio para tener un principal objetivo que es de poder tener una producción de concreto celular este material será implementado en el rubro constructivo como material novedoso, el cual tiene como veneficio ciertas propiedades se requiere comparar que material es mejor y se relaciona con su entorno para una buena construcción con baja densidad además de térmico.

## **Problema**

### **Problema general**

¿Como podemos analizar comparativamente la optimización del concreto celular mediante el aditivo espumante y polvo de aluminio?

### **Problemas específicos**

¿Cuáles son las propiedades que se conseguirá mediante la optimización del concreto celular utilizando aditivo espumante?

¿Cuáles son las propiedades que se conseguirá mediante la optimización del concreto celular utilizando polvo de aluminio?

### **Justificación de Estudio**

Desde el punto de vista teórico es conocer y dar nuevos modelos tecnológicos técnicos constructivos reemplazando o disminuyendo un poco los materiales, que se usa en producciones de hormigón de bajas densidades. Controlando adecuadamente en cuanto la calidad y que estén sujetas a las normas vigentes de durabilidad y resistencia.

En un punto practico metodológico nos guiará para determinar el concreto celular óptimo, de una manera convencional al agregar aditivo espumante y polvo de aluminio el cual proporcionará propiedades para el concreto celular.

Desde el punto de vista social el concreto celular optimo podrá llegar a la población entera así podrán construir las viviendas en donde habitar. En ello podrán tener lugar acogedor, cómodo y contribuyendo al medio ambiente reduciendo la contaminación en cuanto a materiales. Este método es novedoso y favorable que se encuentra en desarrollo, planificándolo en los desarrollos de urbanizaciones y así tener un lugar que cumpla con todos los estándares de calidad incluidas al medio ambiente, esto es lo que nos da el concreto celular.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis general**

El polvo de aluminio mejora comparativamente el uso de agente espumante para el concreto celular.

### **Hipótesis específicas**

El Aditivo espumante mejora las propiedades mecánicas del concreto celular

El polvo de aluminio mejora las propiedades mecánicas del concreto celular

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar comparativamente las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar diseños utilizando agentes espumantes o polvo de aluminio.

### **Objetivos específicos**

Analizar las propiedades mecánicas del concreto celular con aditivo espumante

Analizar las propiedades mecánicas del concreto celular con polvo de aluminio

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **Antecedentes**

En Guatemala en el año 2018 en la tesis para optar Título de ingeniero civil “Fabricación y evaluación de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada” menciona que. La cantidad de aditivo espumoso concentrado es importante para una buena densidad ya que el aditivo espumante es perjudicado por la rapidez de la mezcla, ello depende como esto está siendo mezclado que se usa tales como; el porcentaje de los materiales que se utiliza en el mezclado, el tiempo de mezclado además de la marca de aditivo espumante el espumante se clasifica por su expansión de volumen que es baja que es considerada densa y de cohesión moderada. (Yoc, Jimmy))

En Ecuador el 2018 la revista ingenio muestra una tesis “Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación” que debido a demandas de vivienda en el país ecuatoriano además que cuentan con la ayuda del gobierno mediante créditos que dan como ventaja la utilización del concreto celular lo que permite su aprovechamiento de su característica térmica en el cual se evalúa su posible uso como material prefabricado que se puede adquirir de forma rápida por módulos, el costo es menor además de se minimiza los recursos de energía.(Cabrera)

En Ecuador en la universidad de Cuenca el año 2016 la tesis “Concreto celular para uso estructural “concluye que el hormigón celular con el aditivo espumoso es una opción que se puede utilizar en módulos no estructurales tales como panel divisor entre otros que no soportan las cargas, así como materiales que son solo de relleno, esto es una alternativa en construcción en una menor escala en viviendas de dos pisos, vivienda social (Arbitó,)

En la revista servier 2019 el artículo” características físicas y funcionales del hormigón celular: una revisión” se menciona que la estabilidad del aditivo espumante es un punto significativamente que afecta de una manera notable a la resistencia del concreto celular. En cuanto a su producción del concreto celular existen varios factores que influyen estos pueden ser su método de preparación, el tipo de aditivo que se usa, el diseño de mezcla, etc. [...] aumenta su consistencia del concreto con el agua aumenta y disminuye con el aditivo. (Mini, Sathyan y Dhanya)

En Lima el 2017 en la tesis “Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones” en la universidad de ciencias aplicadas, nos dice que el resultado que se obtiene del ensayo realizado se aprueba un mejor peso, buena conducción térmica, absorbe y succiona con respecto al material alternativo, en ello está incluido un fuerte aislamiento térmico. (Izquierdo y Ortega)

En la ciudad de Arequipa en el 2017 la tesis “diseños de concretos celulares en varias densidades, analizando su propiedad y aplicación” se concluye que el peso unitario disminuye y esto no depende solamente de la dosificación del espumante sino también del tiempo que se realice su mezcla del concreto celular, ello es inversamente proporcional a un tiempo prologado de mezcla el volumen es menor , si esto es prolongado el peso disminuye y si esto sigue las burbujas de aire desaparecen y aumenta su peso (Lazo)

En la ciudad de Trujillo el año 2017 la tesis “Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo” concluye que el concreto con un porcentaje de aluminio de 1.5 es más plastificante esto es usado en concreto ligero que se aplica a viviendas unifamiliares, almacén, industria, hostel, alojamiento. En cambio, el concreto al 1,5 % del Al (aluminio) que se usa en la losa aligerada, para soccer, etc. (Velarde)

En el departamento de Cajamarca el 2015 la tesis “Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural “El aire incorporado con el aditivo es de porcentajes como 33.30, 43.79 y 48.79 de densidades como (1000, 1200 y 1400) Kg/m<sup>3</sup> correlativamente. (Zamora)

En la ciudad de Cajamarca en el año 2015 en la tesis “Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural” concluye que los sistemas de mamposterías de bloques de concreto celular en un porcentaje de 30% el peso disminuye en comparación al ladrillo convencional cocida y en un 20% en cuanto a los bloques de concreto usado habitualmente ello contribuye ya que las cargas, la rapidez, costo, transporte y acarreo es accesible y adecuado para nosotros. (Zamora)

En México la revista construcción y tecnología 2017 publica un artículo “Concretos Ligeros” llega a la conclusión que el rango del concreto ligero en cuanto a su

densidad oscila de 300 a 1850 Kg/m<sup>3</sup>. esto corresponde a su resistencia que esta de 0.3 a 40 Mpa encima puede ser mayor, su resistencia más alta se puede obtener con cemento más elevados 500 Kg/m<sup>3</sup>. Esto requiere de hasta 70% mayor a los agregados que comúnmente se usa (Diaz)

En la ciudad de lima en el 2017 su tesis “uso de concretos celulares en unidad de no estructurales de albañilería” dice que realiza una investigación con el objeto que determina la dosificación del polvo de aluminio utilizado en el concreto celular no estructural en tabiquería (muros) en ello concluye que la dosificación del aluminio tiene un porcentaje de 3 con relación al volumen del concreto no estructural de albañilería si hablamos en medida granulométrica debe utilizarse un tamizado que pasara por un tamiz n° 30 por ello se comprobó en cuanto a sus propiedades es buen aislante térmico y mejora su resistencia de compresión a un 60% de aumento de 28 días, para su desarrollo se usa concreto inka, polvo de aluminio, cal arena fina (Nina Quispe)

En singapur (2017), el artículo científico titulado “Hormigón celular autoclavado que incorpora polvo de aluminio residual como agente espumante” se realizó la investigación con el objeto de encontrar las proporciones y equivalencias del polvo de aluminio residual con el convencional para el concreto aireado en autoclave (AAC), en ello se concluye que la muestra de 15.6g de aluminio residual tiene una cantidad de gas de 1g de aluminio destinado al concreto aireado con una tasa comparable de gas el polvo de aluminio da un endurecimiento rápido, pero ello poseen hoyos pequeños a causa de su límite elástico mayor. (Yiquan y Ting)

En Riga capital de letonia (2016) en el artículo científico titulado “ propiedades de la durabilidad del concreto espumado de alto rendimiento” se realizó una investigación con el fin de determinar la propiedad del concreto celular con autoclave (resistencia, densidad, absorción, carbonización y las resistencias a bajas temperaturas ) con la cual se llegó a la conclusión de que uso del espumante da un concreto celular más resistente, con una baja densidad aireados y usados comercialmente ello tiene una

menor durabilidad, si el concreto es producido por un trompo tendrá una resistencia a heladas de 100 ciclos (Namnose)

En el país de la india saveetha (2019) en el artículo “un estudio sobre el comportamiento a la compresión de AAC agregados con residuos residuales” nos dice que como objetivo determina las resistencias que los bloques de concreto celular AAC tiene un volumen de la octava parte del ladrillo usado habitualmente, ello da como resultado un peso muerto menos esto se traduce al uso mínimo del cemento a acero que disminuye el costo y aumenta el ahorro. (Kalpana y Mohith)

En Budapest Hungría (2017). El artículo científico “aumento de la resistencia de congelación y descongelación del hormigón mediante la adición del hormigón celular en polvos y ladrillos de arcilla” nos dice en su trabajo de investigación que realizo con el objeto para determinar qué efecto tiene en diferentes materiales residuales en el rubro de la construcción como es su resistencia y también la durabilidad del concreto convencional. Estos materiales residuales se usaron como material de complemento. De un 10% de uso en cuanto a masa (ello está relacionado con la cantidad que se usa de cemento el polvo del ladrillo y del hormigón son mezclados, y se compran con una regencia de mezcla que contiene agentes de aire y esto mejora la resistencia de congelamiento del concreto como se requería, a la vez disminuyo su resistencia significativamente al 30% en cuanto al material y su costo es alta a comparación con otras, el polvo de ladrillo convencional no tiene efectos importantes a la del hormigón ni a la duración. Este polvo celular aumenta su resistencia en cuanto a la compresión de un 37% con un efecto positivo en rendimiento de durabilidad, según pruebas realizadas de congelamiento el concreto con polvo y la de celular tubo como pérdida de un mínimo de 5% de su resistencia a la compresión terminado los 150 ciclos de congelación. (Zoltan y Gyurko)

El instituto indio de tecnología de maderas (2015) el artículo científico “ efecto de la finura y dosificación del polvo de aluminio sobre las propiedades del hormigón

celular curado en húmedo”, tuvo como objeto estudiar la finura del polvo de aluminio después de una evaluar la variación y su trabajabilidad de la mezcla, la aireación y densidad en cuanto a su tasa, la densidad seca su resistencia y absorción de agua en la mezcla de tiene una relación de agua cemento, en cuanto a la prueba del cono MARSH es la adecuada para su trabajabilidad del concreto en transcurso del tiempo causa la aireación para tener una finura de polvo de aluminio, la porción adecuada estará sujeta a una relación de cemento agua que se necesita ello deberán ser identificados con la base de densidad y su resistencia que se desea o estar relacionadas densidad/resistencia. (Muthu)

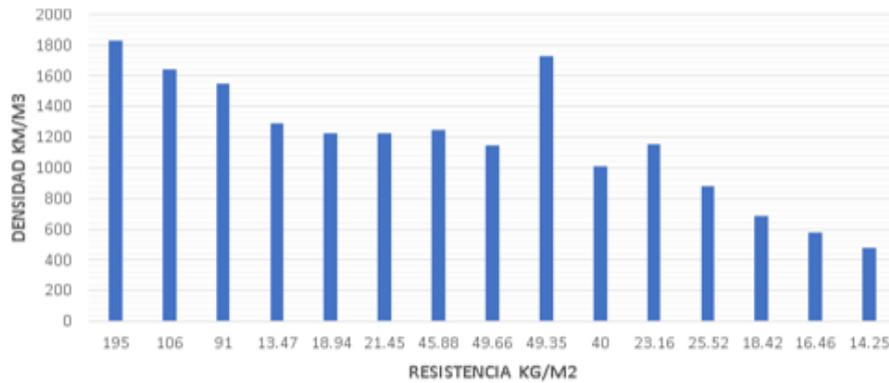
En la universidad estatal de los Urales del sur rusia (2017) el artículo científico “hormigón celular refractario a base de aglutinante de fosfato de residuos de producción y reciclaje de aluminio” se concluye que el concreto que se elabora con residuos de aluminio tiene una densidad promedio de 650Kg/m<sup>3</sup>. Esto se lleva acabo con una temperatura de 1450 – 1600°C, su resistencia de residuos de los materiales estará a nivel de concreto celular similar de una base del aglutinante de alumifosfato puro. Con una temperatura considerada que cambiara de manera significativa. (Abysov)

En la revista servier consultado el año (2020) el artículo científico titulado “propiedades del hormigón celular y el efecto de los agentes espumantes sintéticos y proteicos” de la universidad de Toronto, que tiene como objeto de determinar la influencia del tipo de agente espumante (proteico “a” y sintético “b,c”) en su propiedad del hormigón celular que termina a los 28 días de curado de las resistencias de compresión y su modulo elástico disminuye significativamente, y si es de compresión está influenciada por tipo de aditivo espumante usado que da como resistencia a la compresión 9, 10 y 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia a la compresión cuando se usa el aditivo espumante a y bc (Panesar)

En roukela ubicado en el pais de la india (2019) en su artículo científico titulado como “Propiedades Mecánicas y Físicas de la Mampostería de bloques de hormigón celular ligero” el trabajo tiene como objetivo de realizar evaluaciones de las propiedades mecano físicas de bloques concreto celular ligero, con ello concluye que los bloques de concreto cuentan con una densidad de 50% menos que los ladrillos convencionales de la misma manera se obtuvo una resistencia de

compresión entre 80 y 60% que son bajos que los tradicionales es por ello que los de concreto celular no son diseñadas para muros de carga. (Bhosale y Zade)

Figura 1: Relación Densidad y Resistencia



Fuente: Elaboración Propia

### Concreto ligero

s elaborado a base de agregados o sin ellos que dan una densidad mínima al convencional de 2200Kg/m<sup>3</sup> a 2400 Kg/m<sup>3</sup>, su densidad mínima se obtuvo al aire que está incorporado esto produce huecos en el concreto, así su uso de sus agregados tiene baja densidad.

Estos se clasifican por su densidad, generalmente su densidad y resistencia están relacionados, el concreto ligero están divididos el tres; sin finos, aireado(celular) y agregados ligeros (NTP E.060)

Tabla 01. Características del Concreto Connacional

Características	Concreto convencional
Resistencia a la compresión	210 kg/cm <sup>2</sup>
Estado de verificación f'c	28 días
Tamaño max del Agregado	1", 3/4", 1/2"
Asentamiento	3 pulgadas
Tiempo de Fraguado inicial	2.5 horas
Peso Unitario	2220- 2400 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	3%

Fuente: UNICON

SIN FINOS: En ello no se considerará la dosificación de agregado fino, por tanto, el número de vacíos está presente en ello, en cambio en los agregados gruesos posee su densidad normal

Figura 2: Concreto sin finos



Concreto con agregados ligeros:

El uso del agregado liviano poroso de una densidad baja en reemplazo de su agregado de pesos convencionales se podría emplear los llamados escorias de hilla, Arcillas expansivas, piedra pomez, pizarra expandida etc. (Elizondo, 2006)

La espuma del concreto celular en estado gaseoso se obtiene pequeñas burbujas con aire del hormigón que de esta manera cuando se fragua y tendrá como resultado interno. Se cuenta con dos diseños para realizar el hormigón aireado químico y espumoso (Elizondo, 2008)

Tabla 2: Relación de la Resistencia a la compresión y densidad en concretos ligeros

Concreto ligero	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad
Sin finos	50-90	1800-2000
Aireados o celulares	15-60	400-1600
Agregados ligeros	70-500	500-2100

Fuente: Valdez, 2010

El concreto ligero posee muchas ventajas entre ellas la más sobresalientes en uno de sus artículos titulado “hormigón ligero” encontramos:

El volumen de una estructura disminuye significativamente, también en la carga de las cimentaciones, es un buen aislante acústico, resistente al fuego; buenas aislaciones térmicas que los concretos habituales, también cuenta con una

desventaja con el concreto habitual que es indicada por autores, que es el agregado ligeros utilizados para el concreto podrían ser de más caros que el agregado común que se utiliza, pero esta diferencia puede disminuirse o igualarse con un costo mínimo de traslado de material esta puede influenciar en el tipo de cimentación establecida. Esto se da por que el módulo de elasticidad es bajo y se puede gracias a ello se puede producir deformaciones mayores al estándar, no se podrá establecer el nivel de incidencias relacionadas entre agua y cemento a la gran absorción que posee debido a eso se presenta problemas en los aceros como la corrosión, pero eso disminuye al aumentar el recubrimiento del acero. (Valdez, Suárez, 2010)

Tabla 3: Clases de Concreto ligeros

Clases de concreto ligero		
Concreto sin finos	Concreto con agregado ligero	Concreto aireado
Grava	Clinker	Polvo de aluminio
Piedra triturada	Agregados orgánicos	Polvo de zinc
Clinker	Perlita expandida	Peróxido de hidrogeno y cloruro de cal
Cenizas sintetizadas	Pizarras expandidas	
Escoria espumara	Vermiculita expandida	Agente espumante
Piedra pómez	Escoria espumosa	Espuma preformada

Fuente: Elaboración Propia

## Concreto celular

Fue creado por Eriksson J.A en el año 94, arquitecto sueco que estaba en la búsqueda de materiales similares con características por eso se tiene un concreto celular estructural. físicas similares a la madera (sólido, trabajable, aislado) en otra perspectiva con una desventaja que tenía (frágil, escaso mantenimiento, combustible) por ello, con materiales ligeros porosos tiene un tono habitual de gris blanco, se conoce también como concreto aireado o expansivo que se da obteniendo burbujas de gas

Su densidad varía de 320 – 1920 Kg/m<sup>3</sup> su resistencia varía, también es definido como un producto liviano, sus células de aire se obtienen al encontrar vacío resultante de reacciones químicas (ACI 523. 3R – 14)

Figura 3: Concreto Celular



### Constituyentes Del Concreto Celular

**Puro:** Se usa espuma gas o espuma tiene agregado sólido, mayormente se encuentra con rangos de bajas densidades siendo mínimas a 800 Kg/m<sup>3</sup>. Se prepara con agua y cemento principalmente seguido se unta el aditivo espumante o agentes químicos la mezcla debe ser uniforme con ello lograremos una consistencia óptima del concreto.

**Arenado:** Contiene cemento, con una finura a 4mm y fino de 0.2 mm así se obtendrá unas resistencias elevadas, aditivos y aguas así se desarrollará estructuras celulares del concreto, en ello veremos densidades de 850 – 1900 Kg/m<sup>3</sup>

Se usa la piedra pómez en la mezcla u otro tipo de los agregados livianos de los cuales se reemplazan las partes del agregado fino si los agregados son de una calidad buena esta tiene una buena resistencia que aumenta las resistencias a la compresión el cual logra mezclas de 1600 Kg/m<sup>3</sup>

Con Agregados Expansivos: Se le añade perlitas y las vermiculitas a las mezclas realizadas, cuando se utilizan su agregado expansivo es elevada su temperatura y el material pre fabricado es utilizado como escudo de estructuras contra el fuego

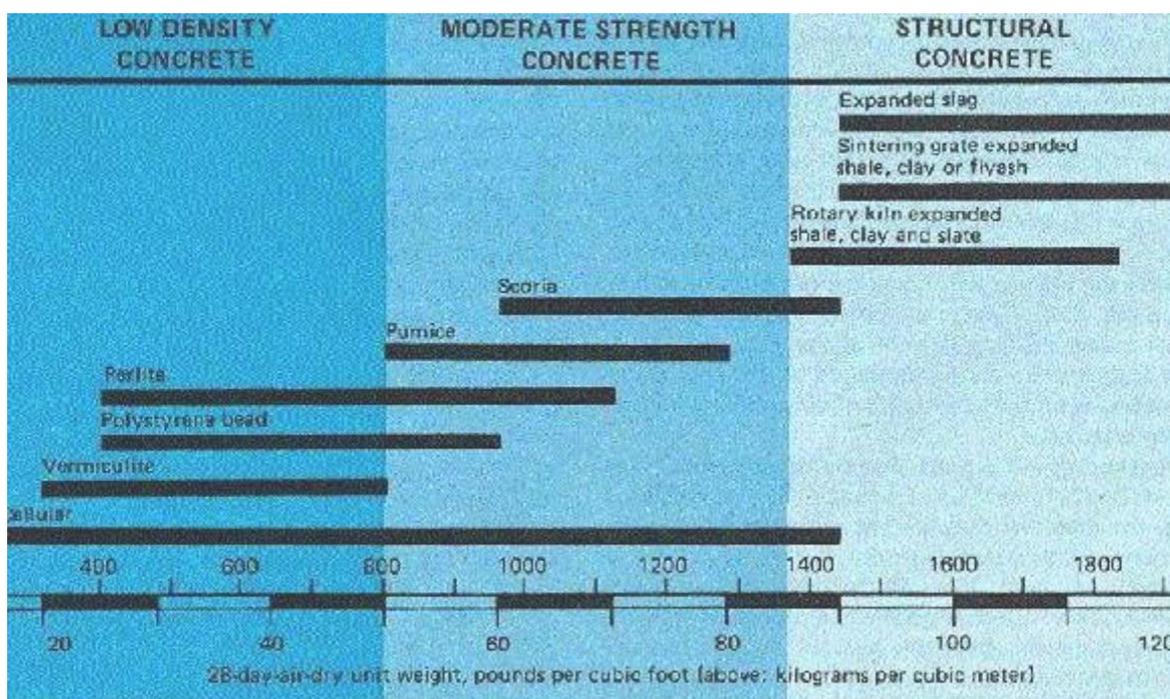
Modificado: Es definido a los tipos que ya se menciona anteriormente, que al utilizarlo el agente expansivo en el hormigón celular aumenta su resistencia mínimamente en tal sentido cuando esta se expande el nivel de retracción y de contracción son iguales ne3l mismo modo su efecto de compresión y curado mayormente en lo expansivo es controlado por los aceros reforzados por ello se colocan lo más próximo al eje de la sección "neutro" para minimizar su deformación del elemento.

con escoria y ceniza volante: Los agregados finos suelen reemplazarse totalmente por la escoria o ceniza, esto se usan como rellenos a la vez como reactivos químicos; la ceniza el polvo de cuarzo serán adicionados para reemplazarlo posteriormente al cemento, si hablamos del tiempo de mezclado disminuirá y por ello el segregado. Es por ello que aumentara su resistencia en las compresiones

con otros aditivos: Ase puede usar en el agente (retardante, humectante, densificadores o estabilizadores) a la vez puede usarse en sosa cáustica (álcali soluble) además de otros que componen con el silicio este agregado es molido hasta tener una finura que se compara con el cemento

Figura 4: Rango de Densidad y Clasificación de Concreto

Fuente: ACI 213 "Guía Para Concreto Celulares "



#### Técnicas de Obtención de Concreto Celular

Existen 4 desarrollos principales o procedimientos constructivos de concretos celulares:

Método espumoso.

Hay dos maneras para introducir aire o burbujas de gas a la mezcla una es utilizando un aditivo espumante tensioactivo y la otra es incorporando espuma preformada mediante una máquina fabricadora de mezclas de espuma, en estos tipos se tendrá que desarrollar unos controles de calidad óptimos.

El aditivo espumoso se adiciona a la mezcla de acuerdo a la dosificación establecida por el fabricante o de acuerdo a las pruebas realizadas, que al contacto con el agua y después de un tiempo de mezclado se logra visualizar la reacción del agente espumante mezclándose, su proporción mezclándose sus densidades del concreto es inversamente proporcional ( a > tiempo de Mezcla < densidad) y ( a > tiempo de mezcla < densidad) ello también depende de la proporción de la espuma que se emplea y su periodo de mezclado. se obtendrá densidades más bajas) dicha

densidad también depende de la cantidad del aditivo espumante que se emplea y el tiempo de mezclado.

El Agente espumante (tensioactivo) son moléculas hidrofóbicas e hidrofílicas que al entrar en contacto con un líquido tienen la capacidad de generar espuma, la elección del tensioactivo determinará la estabilidad y una buena calidad de la espuma, Pueden ser proteicas y sintéticas, las proteicas son productos que provienen de animales, en cambio las sintéticas son elaboradas a base de condensación de naftaleno formaldehído y óxido de amina y aminas, de los cuales los aditivos espumantes de origen animal son mejores al introducir microburbujas cerradas en la mezcla en mayor cantidad, fáciles de controlar y los sintéticos que tiene una mayor expansión y densidad

La espuma preformada se genera mediante una máquina o equipo generadora agregamos las mezclas el cemento debe mantenerse en sus consistencias, has que se mezclen todos sus componentes, al término de esto el material tienen como objetivo incluir burbujas de gas de tamaño homogéneas, teniendo en cuenta un beneficioso control de las cantidades que incorpora en las mezclas esto podría presentar alteraciones muy importantes en la densidad final, asimismo a mayor tiempo de mezclado la espuma pierde estabilidad y se convierte en líquido

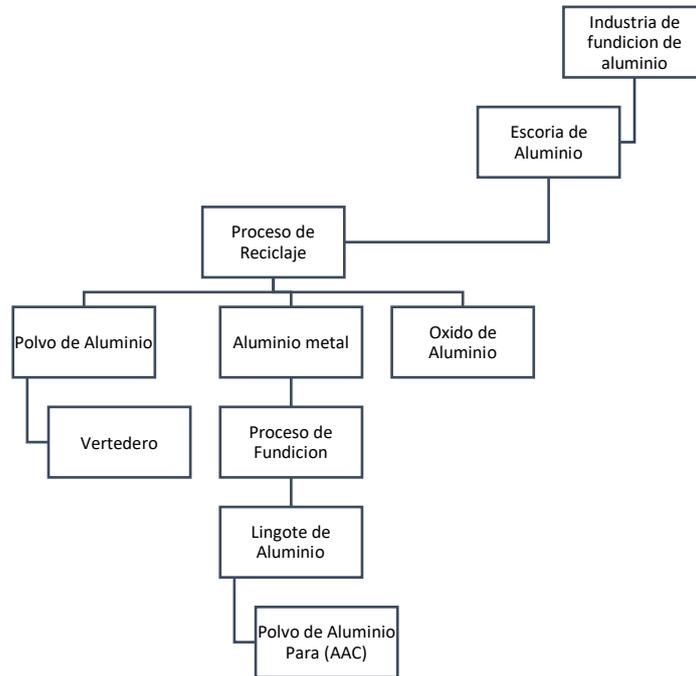
#### Métodos Químicos

Los cloruros de cal y peróxidos de hidrógenos se van a aplicar agua Oxigenada y lo ya mencionado como es el cloruro produciendo unas reacciones químicas creando burbujas en la mezcla, eso dependerá del tipo y calidad del producto empleado ya que este proceso produce concretos celulares de alta contracciones para secarlo y de una resistencia baja.

El polvo de Aluminio: se da cuando unas reacciones químicas se pueden lograr para generar el hidrogeno; en ello se crea bolas de aire y el hidróxido también se puede lograr cuando se presenta el aluminio en polvo y agua. Estas son elevadas contrayéndose en el secado la resistencia es baja el aluminio en polvo se puede emplear en cantidad con un porcentaje de 0.2 con relación al volumen del cemento (Neville, 1992)

Según (Aircrete Europe 2016) cuando se combina con todo el cemento yeso, cal, arena principalmente el aluminio hace que su expansión sea importante de inicio a fin en ello su reacción química serán los sgts:

Figura 5: Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de escoria de aluminio

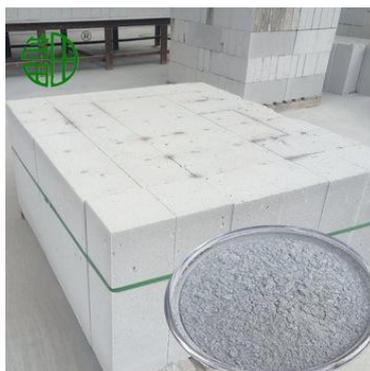


Fuente: Elaboración propia

## POLVO DE ALUMINIO

una forma es cómo se distribuye el aluminio. Es un polvo que carece de olor, es liviano, su color suele ser plateado sutilmente blanco a gris, este material abunda en toda la superficie de la tierra y se encuentra en los minerales que tienen silicio, flúor y oxígeno.

Figura 6: Polvo de aluminio para hormigón celular



Según la CCSSO “el material es altamente reactiva, cuando el material este húmedo esta se puede encender al contacto con el medio ambiente; También este al relacionarse con el agua, etc. Suelta gases altamente inflamables.” Este material reacciona de manera explosiva ó violenta de diversos químicos inorgánicos y orgánicos. Del aluminio básicamente está libre de ser toxico con una muestra a corto plazo.

Tabla 4: Composición Química de Aluminio

Composición Química de Aluminio
Silicio (5-12%)
Magnesio (0.3%)
Cobre (1%)
Aluminio (87.5- 93.7%)

Fuente: Elaboración Propia

Existen principalmente dos clases en polvo de aluminio:

Partícula: cual elaboramos añadiendo metales frios. Aquí se puede encontrar el puro polvo ya que están compuestas de partículas muy pequeñas las cuales son menor

al de un micrómetro de diámetro ( $1\mu\text{m} = 0.001\text{ mm}$ ) y Granulado que se elabora del aluminio fundido.

Sus propiedades físicas se modifican respecto a su pureza y aleación.

El polvo de aluminio tiene diferentes usos como en pinturas, tintas de impresión, materiales cerámicos, catalizadores, explosivos, pirotecnia, combustible de cohete, en la industria automotriz, entre otros. En la pulvimetalurgia se utiliza un promedio de 2 000 t/año, lo que simboliza casi cerca del 1% del total del polvo. La mayor proporción se deriva a la industria química por las propiedades anticorrosivas y exotérmicas, otra parte va hacia el campo constructivo ya usado en la producción ;concretos ligeros, donde se utiliza como un aditivo que durante su mezclado genera el desprendimiento de hidrogeno. , así obteniendo las siguientes características: Dúctil; fácil mecanizado por la durabilidad baja y maleabilidad el cual permitirá que se produce la lámina delgada; posee propiedades térmicas; con los materiales estructurales que requiere combinarlo con distintos materiales de metal de esta forma se mejora su propiedad mecánica y usarlo como un proceso térmico y Límite en resistencia en tracción en estado puro es de aprox. 1632 a 2040 kg/cm<sup>2</sup> y en estado aleado de 1428 a 1200 kg/cm<sup>2</sup>.

Características físico - mecánica	
Rigidez cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	280,000
Resistencia a tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	1632 040
Módulo de elasticidad	700,000
Dureza (HB)	15
Módulo de poisson	0.33
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2700
Dureza (escala de Mohs)	2 - 3
Alargamiento (%)	11

Tabla 5: Características físico-mecánica del aluminio

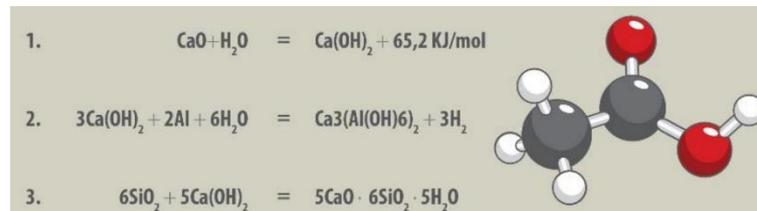
Fuente: Elaboración Propia

Reacción cemento y polvo de aluminio

Según la empresa aircrete europe: combinado con el cemento cal yeso arena y el polvo de aluminio da que al untar las mezclas se amplíen considerando. De inicio a término con una reacción química simplificándose con el sgte (2016):

Figura 7: Reacción Química Cemento-Aluminio

Fuente: Empresa Aircrete Europe



### Propiedades Del Concreto Celular

Densidad: Las propiedades mecánicas más sobresalientes son las que dependerán de sus densidades. de la densidad como la conductividad y resistencia esta también tiene una densidad que es baja su propiedad es importante en el material, ya que variando las densidades y la elaboración se puede obtener varias densidades de concreto, por ende podremos obtener la densidad en su estado fresco , posteriormente será necesario la preparación de probetas con concreto para determinar la densidad seca en estado endurecido; este valor están en el rango de 0.1 a 0.15 g/cm<sup>3</sup> menores que sus densidades en sus estados frescos (Barnes, 2009)

Densidad concreto liviano	1850 kg/m <sup>3</sup>
Densidad concreto convencional	2200-2400 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 6: Densidad de Concreto

Fuente: Elaboración Propia

**USOS SEGÚN SU DENSIDAD:** El concreto celular tiene distintos usos dependiendo de su densidad, los cuales están descritos de la siguiente forma:

Densidad de 250 – 550 kg/m<sup>3</sup> (o 300 – 600): Se utiliza como aislante térmico, acústico, protección contra el fuego (no es un material estructural y mediante que esto crece térmicamente baja su resistencia y peso con densidades de 600 – 800 kg/m<sup>3</sup> (o 600 – 900): Se utiliza para la fabricación de bloques y paneles para paredes divisorias, para poder rellenar cualquier cobertura ambiental para así poder prevenir cualquier derrumbe, también las cubiertas, los impermeables reacondicionando o mejorando los sistemas de alcantarillado.

Densidad de 800 – 900 kg/m<sup>3</sup> (o 900 – 1200): Se utiliza en bloques, paneles u otros elementos no portantes para capas externas, así como paredes divisorias, etc.

Densidad de 1100 – 1400 kg/m<sup>3</sup> (1200 – 1600): se usan en los paneles fabricados o prefabricados en distintas dimensiones comercial o industrial.

Densidad de 1600 – 1800 kg/m<sup>3</sup> (o 1600 – 1800): son utilizados para la construcción de losas u otros lugares que tienen carga portante en ello debe haber favorables resistencias.

Tabla 7: Clasificación de Concreto Según Densidad

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la Compresión (Mpa)	Aplicación
<b>300 - 1120</b>	0.7 a 7	Aislante
<b>1120 - 1680</b>	7 a 17	Relleno
<b>1680 - 1920</b>	> 17	Estructura I

Fuente: ACI 213R-03

Absorción y Porosidad: El nivel de porosidad de los agregados convencionales está en un rango de 0 a 50% considerando sus agregados de la 3 ¼ del peso y de buena calidad de piedra los agregados poseen el que contribuye en su porosidad, ello por lo general influye en la durabilidad. (Neville,1999). Sin embargo, Existen varias maneras de determinar la porosidad, una de ellas es estimar de manera indirecta |mediante la determinación de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que el valor real. (Mayta 2014)

En la revista de ingeniería de la universidad de Medellín (2009) el concreto poroso fundamentalmente es correspondiente a su porosidad interconectada es su contenido máximo este material está a un 20 % ó 30 % ello está relacionados de su absorción

Durabilidad: El concreto celular trabaja de igual manera que un concreto convencional, por consecuencia de ser un concreto con poros y es sensible físicamente, si se utiliza antes del cimiento esta deberá tener algún agente importante usado en prevenir el daño por contacto con agua, el ataque químico que se produce cuando el concreto está en el ambiente esto es mínimo comparándolo de los que son producidos en lugares infecciosos Principalmente una vez que el concreto celular se ha instalado se debe proteger con estucos para evitar las fallas

por contracción de temperatura. Las fallas mecánicas más comunes de concretos ligeros pueden resultar de la abrasión o impactos, sin embargo, también proviene de sobrecargas a flexión. Estos se contrarrestan con el uso de fibras de polipropileno especiales para concreto celular. Unos de los aspectos más importantes es el uso de varillas de acero corrugado con alto grado de corrosión, para así evitar el descascaramiento del concreto ligero.

**Resistencia:** El comportamiento mecánico de los materiales celulares se define como cuneta con un límite de deformación y esto concluye que su propiedad del material dependerá principalmente de sus densidades y sus resistencias serán influenciadas tales: en formaciones estructurales celulares que tendrán un poco humedad su espuma también cuenta con un volumen y esto también están relacionados (Gibson, Ashby, 1997)

**Aislamiento térmico:** Este agente espumoso crea en masa los llamados alveolos esto tendrá miles y miles de pequeñas micro células que son de Aire, esto no se comunican entre ellos, por ello resulta una fragua que se produce importantemente con los materiales aislantes térmicos que es más potente al cemento convencional térmicamente hablando y cuenta una reserva de energía y aire calefactora acondicionado. (Zamora, 2015, pag.28).

Las densidades con la que se fabrica el material son proporcionales con la porosidad y la conductividad térmica, para mejorarlo se necesita aumentar la porosidad por lo tanto disminuye su densidad.

**Protección contra el fuego:** Al ser un material no inflamable no permite la propagación del fuego, la el concreto celular es resistente al fuego más del concreto habitual esto soluciona reduciendo las densidades lo malo es que disminuye sus resistencias mecánicas; su progresiva baja es producto de los 90° C individualmente su densidad de concreto portal motivo el agua es evaporada del elemento permeable (Sánchez, 2017, pág. 49).

Se han elaborado pruebas donde el concreto celular puede estar en contacto directo con el fuego durante una hora en las losas y durante cuatro horas en los muros sin perder su condición estructural.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PRODUCCION	TRABAJABILIDAD	MAS CARO POR QUE SE NECESITA EQUIPOS PARA SU ELABORACION
	LIGEREZA DEL MANEJO DEL MATERIAL	
	PRÉFABRICADO	
	PRECISION DE LOS ELEMENTOS	MAYOR CONTROL DE CALIDAD
CONSTRUCCION	REDUCCION DE MANO DE OBRA	FALTA DE ADHERENCIA
	DISMINUYE LA CARGA MUERTA	NUMERO DE PISOS LIMITADOS
	RAPIDEZ DE CONSTRUCCION	MATERIAL MUY FRAGIL

Tabla 8: Ventajas y desventajas del concreto celular

Fuente: Elaboración propia

### III. METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo y Diseño de Investigación

##### 3.1.1 Diseño de Investigación

“el método practico se realiza mediante faces, se basa en hacer pruebas a personas o grupo, momentos únicos, estimulación o tratamientos para ver sus consecuencias negativas o positivas, que se dan (Arias. 2018, p.34)

El diseño de este proyecto de investigación es Experimental ya que se busca obtener la mayor confiabilidad al manipular la variable independiente (Polvo de aluminio- Agente Espumante) y observar la relación causa y efecto sobre la variable Dependiente (Propiedades Mecánica del concreto Celular), Es de Tipo Pre-Experimental ya que se determinará mediante ensayos de laboratorio los fenómenos al Adicionarles Agente Espumante Y polvo de Aluminio en las propiedades del concreto celular

Pre – Experimental

##### 3.1.2 Tipo de Investigación

“el proyecto es aplicativo se da en estudiar las dificultades destinadas en las recolecciones de actos. Se indagación aplicada se puede dar con recientes actos si se planean adecuadamente se definirá vuestra exploración aplicada, con tal fin de

lograr que los resultados obtenidos, esta información próxima será de gran utilidad y apreciable para nuestras hipótesis. (Buena, 2016, p. 11)

Dentro de nuestro problema, tenemos nuestra variable Propiedades del concreto celular la cual para ser calculada y dar un informe es necesario de nuestros ensayos normalizados por la norma técnica peruana

## APLICADA

### 3.1.3 Enfoque de investigación

“desde un punto la investigación será cuantitativa, ya que lo que veremos son causas consecuentes y metódicos que llevan un proceso, esto planifica una exploración científica que estar sujeta en programación los encargos con unas distribuciones de raciocinio dimensional, lo cual seguirá tácticas de orientación la resolución de dificultad encontrada, al ser una fase consecuente y metodológico, no tendrá una proyección terminada de valores internacionales, siendo usado en cualquier tipo de exploraciones (Monje, 2016, p. 19)

En la presente tesis se sigue todo un proceso que va desde identificar la problemática, sugerir problemas específicos, idear hipótesis, generar nuestros objetivos y una serie de estrategias que nos guiarán a obtener resultados conforme a lo esperado.

## CUANTITATIVO

### 3.1.4 Nivel de investigación

“se basa en la demostración del acto posible según las correlaciones, causas y efectos, por ende, la investigación explicativa se basa en determinar las posibles causas, así como los efectos, según se halla mencionadas según la hipótesis el valor terminación y resolución. Compone a profundidad las competencias obtenidas. (Arias, 2017, p. 26)

En el actual trabajo científico de investigación se pretende dar a conocer las propiedades del concreto celular con Aditivo Espumante o Polvo de Aluminio sometidos a ensayos y así poner a prueba nuestras hipótesis.

## EXPLICATIVA

### 3.2 Variables y Operacionalización

El proyecto presentado se concentrará en de examinar los atributos que involucren a la variable independiente (comparación de las propiedades mecánicas aditivo espumante y polvo de aluminio y Estado de daños) de misma forma el estudio de la variable dependiente (Optimizar diseño) también de medir la Resistencia a la Compresión, Tracción y Densidad siguiendo la norma técnica peruana (Gómez, 2016)

#### **Variable Independiente.**

##### **comparación de las propiedades mecánicas del concreto celular.**

la característica más sobresaliente del concreto celular es su densidad, Sin embargo, sus propiedades térmicas, acústicas, su trabajabilidad, etcétera, generan 2 grandes ventajas (Lazo 2017).

Se medirá mediante ensayos de compresión y densidad siguiendo las normas vigentes (NTP.339.304 y NTP.339.187) Respectivamente. las probetas de concreto, para ellos tendrán 28 días de curado, tamaño de 15x30cm se medirá en kg/cm<sup>2</sup>

#### **Variable Dependiente.**

##### **optimizar el diseño utilizando Agente Espumante y polvo De Aluminio**

Para la optimización del diseño mediante el aditivo espumante o polvo de aluminio se realiza los respectivos ensayos comparativos en la cual determinamos como incrementa (solidworks 2017).

Para obtener Un buen Diseño de mezcla nos basaremos y seguiremos el Reglamento Del ACI 523.3r-14 "Guía para Concreto Celulares" y así obtener un diseño Optimo y compararlos

## **Operacionalización de variables**

se realizará procedimientos establecidos en las normas mencionadas tales como de los ensayos de compresión y densidad siguiendo las normas vigentes para la variable independiente “comparación de las propiedades mecánicas del concreto celular” (NTP.339.304 y NTP.339.187) y para la variable dependiente “optimizar diseño utilizando agente espumante o polvo de aluminio” nos basaremos al Reglamento Del ACI 523.3r-14 "Guía para Concreto Celulares" y así obtener un diseño Optimo y compararlos que respectivamente nos ayudaran al perfecto desarrollo del proyecto.(Hernández, 2014).

### **3.3 Población y Muestra.**

#### **Población**

Según Hernández y Mendoza (2019, p.198), nos dice que: “la población es un conjunto de sucesos que dan en una determinada serie de descripciones”

Para presentar este trabajo de investigación la población será indeterminada en el cual se analizará y comparara los fenómenos que se presentan en el concreto celular al adicionar un porcentaje de 3 de aluminio en polvo respecto a la carga del material y el aditivo espumante Blotek Foaming C con una dosificación 2% por cada 100 lts de Agua

#### **MUESTRA**

Según Hernández y Mendoza (2019) nos dice que: “cuando un proyecto de investigación es cuantitativo, las muestras son subespecies de las poblaciones que nos importa, es decir recogerá todos que sean oportunos, y deberá ser representativa de la población a investigar (p. 196) “

Las muestras serán tomadas en probetas con sus respectivas dimensiones para el concreto. Ello será dado por la Norma Técnica Peruana “NTP 339.034) nos indica para ello se requiere como mínimo 30 ensayos para el diseño de mezcla. La muestra del trabajo de investigación será las probetas de concreto celular elaboradas con Aditivo espumante y polvo de aluminio, de dimensiones 15cm de diámetro x 30cm de longitud, pruebas de resistencias a compresión se realizará

después de los 7 días, 14 días y después de los 28 días de haber realizado los curados. después de curado.

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2}$$

Donde:

n= Muestra

Z= Nivel de Confianza (80%, según valores de confianza=1.28)

p= Proporción de Aciertos (50%)

q= Proporción de Errores (50%)

d= Margen de error (5%)

$$n = \frac{1.28^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2}$$

$$n = 163.84$$

Por ende, la cantidad de muestras que se realizará la dejaremos al criterio del investigador ya que no se podrá realizar la cantidad de muestras establecidas con la fórmula por motivos económicos.

Se elabora 14 probetas de patrón, 14 probetas con aditivo espumante Foaming (2%) y finalmente 14 probetas con polvo de aluminio (3%), teniendo un total de 42 probetas

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				TOTAL
EDAD (DIAS)	PATRON	Agente Espumante (0.2%)	Polvo De Aluminio (3%)	
07 días	3	3	3	9
14 días	4	4	4	12
28 días	4	4	4	12
TOTAL				33

Tabla 09: Cantidad de Muestras de Ensayos de Compresión

Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE DENSIDAD				TOTAL
EDAD (DIAS)	PATRON	Agente Espumante (0.2%)	Polvo De Aluminio (3%)	
28 días	3	3	3	<b>9</b>

Tabla 10: Cantidad de Muestras de Ensayos para Determinar la Densidad

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

#### TECNICAS

Las técnicas principales aplicadas en el presente trabajo de investigación fueron por observación directa estructurada, consiste en la captación de actividades con el fin de recolectar información de gran escala para posteriormente el investigador pueda analizar los datos obtenidos, para recolectar mayor información con la ayuda de fichas y cuadros, etc.

#### Instrumento de recolección de datos

Listo de cotejo (check list), se registran todos los datos obtenidos en laboratorio por las maquinas al realizar los ensayos de compresión y tracción para posteriormente analizarlos detalladamente en gabinete

#### Validez y confiabilidad

Cuando se habla de validez en la investigación, la confiabilidad existente del resultado obtenido, ya que sin esto el experimento no podría considerarse una investigación experimental. (Hernández,

Fernández y Batptista, 2014, p.148). Los estudios del presente proyecto de investigación se basan en las normas vigentes, y en los lineamientos del American Concrete Institute.

El A.C.I es una organización no lucrativa que se fundó en el siglo pasado, en el año 1904 en los Estados Unidos de América. El código ACI-318, provee unas exigencias

mínimas para el diseño y construcción en cualquier elemento estructural que implique hormigón.

### 3.5 Procedimientos

Para el trabajo de investigación tomaremos en cuenta, sus resistencias del concreto entre niveles de 50 y 100. Medido en kilogramo sobre centímetro cuadrado, y una densidad mayor a 600 kg/m<sup>3</sup>

Se realizará 2 métodos de elaboración de concreto celular: método químico y espumoso con polvo de aluminio 3% y Aditivo espumante Blotek Foaming C siguiendo la dosificación recomendada de la ficha técnica del fabricante 2% respectivamente

Para la parte Experimental se utilizaron las metodologías de ensayos de resistencias en compresiones (ASTM C495), Norma ACI 523, para determinar la densidad se empleará el ensayo normalizado obtendremos densidades de absorción en el material endurecido (NTP 339.187)

### 3.6 Método de Análisis de Datos

Todos y cada uno de datos recolectados para el presente proyecto se realizan de forma directa y por etapas, la primera consiste en hacer un muestreo, consecutivamente dirigir hacia el laboratorio los agregados, en la segunda etapa considerando los diseños y la recopilación de datos de ensayo anotados en formatos respectivos acorde a los procedimientos normativos y técnicos considerando a su vez el cronograma que se estableció para el proyecto de tesis, así también las edades a las que se realizaran los ensayos de Resistencia a la compresión

### 3.7. Aspectos Éticos

Los investigadores están comprometidos bajo su responsabilidad con la veracidad de la información, durante el transcurso de recopilación teórica, para ello se utilizó la norma ISO 690, la cual permite respetar y reconocer los derechos de autor de las referencias bibliográficas y de los resultados que se obtendrán en el proyecto de investigación,

teniendo confianza sobre los datos brindados del laboratorio donde se realizarán los ensayos<sup>1</sup>

## ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

### 4.1. Recursos y Presupuesto

Los gastos usados del trabajo de investigación están relacionado a los recursos intervinientes para el desarrollo de este, los cuales son asesoramiento, materiales y equipos. en la tabla se precisan los gastos programados por cada descripción

### 4.2. Financiamiento

Tabla 11: Presupuesto Del Proyecto de tesis

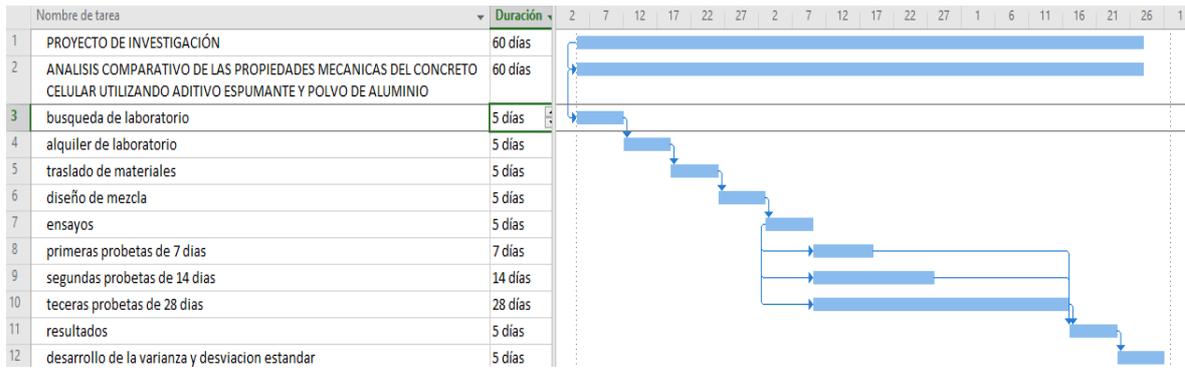
Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Parcial
1	Centro de Trabajo				
1.1	Laboratorio	Glb	1	3500	3500
2	Materiales				
2.1	Cemento	Und	4	30	120
2.2	Agua	Lt	1	20	20
2.3	Sika	Und	2	150	300
2.4	Polvo de Aluminio	Kg	10	10	100
2.5	Arena Gruesa	M3		80	80
3	Equipos				
3.1	Trompo Mezcladora	Glb	1	50	50
			TOTAL	4170	4170

Fuente: Elaboración Propia

El financiamiento del proyecto de investigación es autofinanciado, ya que cada uno de los investigadores cubrirá el presupuesto mostrado en la tabla

### 4.3. Cronograma de Ejecución

Figura 07: Cronograma de Ejecución



Fuente: Elaboración Propia

#### IV. RESULTADOS

##### PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

##### Características Del Cemento

En la tabla 12, se muestra las propiedades físicas que presenta el cemento INKA de tipo I, de mismo modo, el rango de valores radica tomando en cuenta la norma NTP.334.090 así como la ASTM C-595

Tabla 12: Cuadro resumen de Propiedades del Cemento Inka Tipo I

Características físicas del cemento			
Descripción	Unidad	Cemento Inka	Requisitos NTP.331.009 Astm C-595
Cont. De Aire	%	6	Max 12
Expansión en Autoclave	%	0.1	Max 0.8
Superficie Especifica	m <sup>2</sup> /kg	5800	mínimo 260
<b>Resistencia a la Compresión</b>			
Resistencia a la Compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	240	122 min
Resistencia a la Compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	320	194 min
Resistencia a la Compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	420	286 min
<b>Composición Química</b>			
Resistencia a los sulfatos	%	0.01	0.02 Max
Calor de Hidratación	Kcal/kg	77	80 Max
Álcalis totales	%	0.4	0.6 Max

Fuente: Elaboración Propia

### Características Físicas del Agente Espumante de Origen Proteico

En la presente Tabla 13 se muestran las propiedades y características físicas del agente espumante de origen proteico Blotek, tomando en consideración la norma ASTM C-796 y ASTM C-869 en la cual especifica el estándar de estos aditivos para la producción de concreto celular.

**Tabla 13: Cuadro De Propiedades Físicas del Agente Flamín C**

Características físicas del agente espumante	
Datos técnicos	Descripción
Composición	Proteínas hidrolizadas 25% sales minerales 4% (metálicas 1-1,5%, cloruro de zinc, cloruro de magnesio, sulfato de hierro)
Aspecto	Líquido marrón, de olor no nauseabundo, no fermentable
Peso específico	1,16 +/- 0,3
Densidad	1,10 +/- 0.02 g/ml
Viscosidad	4.0 +/- 2.0 mm <sup>2</sup> /s
Neutralidad	7.0 +/- 1.0
Incompatibilidad	Aceites, grasas, sustancias similares
Peso aconsejado de espuma	70-75 g/l
Solubilidad en agua	debe diluir al 2% (100 litros de agua/ 2 litros de producto)

Fuente: Elaboración Propia

### Características Físicas del Polvo De Aluminio

Del mismo modo, en la presente Tabla, se presenta las características físicas del Polvo de Aluminio, así como su composición, se basa tomando en consideración la norma ACI 523.3r-14 donde se muestra las especificaciones estándar para uso de polvo de aluminio en concreto.

**Tabla 14: Cuadro De Resumen de Propiedades Físicas del Polvo De aluminio**

Características	Unidad	Aluminio
<b>Rigidez Cortante E</b>	kg/cm <sup>2</sup>	280
<b>Resistencia a la Tracción</b>	kgf/cm <sup>2</sup>	1632-2040
<b>Módulo de Elasticidad</b>	Kg/mm <sup>2</sup>	7000
<b>Dureza</b>	HB	15

<b>Módulo de Poisson</b>		0.33
<b>Densidad</b>	kg/m <sup>3</sup>	2700
<b>Alargamiento</b>	%	11

Fuente: Elaboración Propia

## Diseño de Mezcla

### Procedimiento para Obtener Diseño de Mezcla

El objetivo principal para poder realizar la dosificación de la mezcla para el hormigón es de lograr que las propiedades físico-mecánica endurecido y fresco. En las dosificaciones que se realiza a menudo se busca resistencia a compresión pero al saber que el material tiene diferentes cualidades de diseño con la norma internacional ACI 523.2R-96 Y astm c-138 de gravimetría, para el seguiremos planes estratégicos como investigaciones bibliográficas concerniente al tema estudia después de ello encontraremos desarrollos que nos servirá y así llegar al que concuerde con el tema y es allí donde partiremos conforme a las normas y bases vigente y los materiales que necesitamos como el cemento inka tipo I el espumante de origen proteico que es natural y el polvo de aluminio.

Tabla 15: Diseño De Mezcla Patrón

Insumo	Nomenclatura	Unidad	Prueba Kg/m <sup>2</sup>	Metrado
<b>Cemento Inka Tipo I</b>	C (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	297	5
<b>Agua</b>	W (Kg/m <sup>3</sup> )	lts	191	3.22
<b>Agre F</b>	AF (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	46.65	6.64
<b>Ratio</b>	W/C	-	0.64	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Diseño de Mezcla Espumante 2%

Insumo	Nomenclatura	Unidad	Prueba Kg/m <sup>2</sup>	Metrado
<b>Cemento Inka Tipo I</b>	C (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	297	5
<b>Agua</b>	W (Kg/m <sup>3</sup> )	lts	215	3.22
<b>Foamin C</b>	F (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	70.78	-
<b>Agre F</b>	AF (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	46.65	6.64
<b>Ratio</b>	W/C	-	0.64	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17: Diseño De Mezcla Polvo De Aluminio 3%

Insumo	Nomenclatura	Unidad	Prueba Kg/m <sup>2</sup>	Metrado
<b>Cemento Inka Tipo I</b>	C (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	297	5
<b>Agua</b>	W (Kg/m <sup>3</sup> )	lts	191	3.22
<b>polvo de aluminio</b>	P (Kg/m <sup>3</sup> )	g	297	-
<b>Agre F</b>	AF (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	46.65	6.64
<b>Ratio</b>	W/C	-	0.64	-

Fuente: Elaboración Propia

### Proceso de Elaboración de Concreto Celular:

Para poder realizar y elaborar hormigón celular usamos el método espumoso, en el cual utilizaremos una mezcladora o trompo lo más común es de unos 200L para ello seguiremos una secuencia.

- Para realizar una dosificación del aditivo espumante para poder tener la espuma, es allí que interfiere el agente proteico ab Foamin C+ para este caso de la marca blotek el cual nos da especificaciones técnicas de uso nos dice que por 100 litros de agua se debe utilizar un producto el dos por ciento mejor dicho que 2 litros por 100 de agua con un tiempo estimado de mezclado de 3 minutos seguidamente o después de introducir la mezcla de arena y cemento para su elaboración tenemos dos formas directo a la mezcladora o realizar la espuma de forma cepearada para cada técnica encontramos el desarrollo de en las especificaciones realizadas y la que nos dieron la empresa blotek.
- Después de tener la mezcla que se requiere en cuanto su densidad el paso a seguir es el tiempo calculado de mezclado de 3 minutos con los agregados para posteriormente tener una mezcla homogénea.
- Después del tiempo que se realizó la mezcla procedemos a realizar los ensayos que se requieren en el trabajo de investigación el cual incluye los moldes a utilizar que tienen una figura cilíndrica de 3 por 5 por 6 pulgadas antes de ello se utiliza un desmoldante conocido como es la chema se usa una varilla para eliminar vacíos, así como golpes realizados alrededor de los moldes para que estén compactas según normas incluidas en el trabajo. Así como las normas ACI.

- Después del vaciado que se realizó y dejar que seque durante 24 horas procedemos a desencofrar los moldes e introducirlas en un pozo de agua para realizar los ensayos de curado en las edades ya especificadas como son de 7,14 y 28 días.

## Ensayos de Agregados

### Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (ASTM C128)

- Las probetas son sumergidas durante 24 horas después del secado correspondiente seguidamente se utilizó una cocina para un secado rápido con movimientos frecuentes y así tener uniformidad en el producto (A)
- Pusimos las muestras en las fiolas pesarlas añadiendo 1000 ml ya de colocar los agregados rodamos la fiola en una superficie lisa o plana, eliminando las burbujas de aire que se encuentren en ello en un tiempo corto. En seguida se pesa las mezclas (C)
- Eliminamos el agua de muestras del horno 1000°C. y tenemos el volumen seco (S).
- A hora pesamos con la formula

$$\text{Peso Especifico} = \frac{A}{B + S - C}$$

Tabla 18: Cuadro De Resumen Peso Específico del Agregado Fino

MUESTRA Nº		M - 1	M - 2	PROMEDIO
<b>PESO ESPECIFICO DE LA MASA (P.E.M. = A/(V-W))</b>	g/cc	<b>2.78</b>	<b>2.78</b>	<b>2.78</b>
PESO ESPEC. DE MASA S.S.S. (P.E.M. S.S.S. = 500/(V-W))	g/cc	2.83	2.83	2.83
PESO ESPECIFICO APARENTE (P.E.A. = A/[(V-W)-(500-A)])	g/cc	2.91	2.91	2.91
<b>PORCENTAJE DE ABSORCION (%) [(500-A)/A*100]</b>	%	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>

Fuente: Elaboración Propia

## Ensayo Peso Unitario (Astm C29)

**Tabla 19:** Cuadro De Resumen Peso Unitario Agregado Fino

MUESTRA N°			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Molde	g	6783	6787	6782
2	Peso del Molde	g	2446	2446	2446
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4337	4341	4336
4	Volumen del Molde	cc	2827	2827	2827
5	Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.534	1.535	1.534

<b>PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO</b>	g/cc	<b>1.534</b>
--------------------------------------	------	--------------

MUESTRA N°			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Molde	g	7534	7530	7539
2	Peso del Molde	g	2446	2446	2446
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	5088	5084	5093
4	Volumen del Molde	cc	2827	2827	2827
5	Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.800	1.798	1.801

<b>PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	g/cc	<b>1.800</b>
--	------	--------------

Fuente: Elaboración Propia

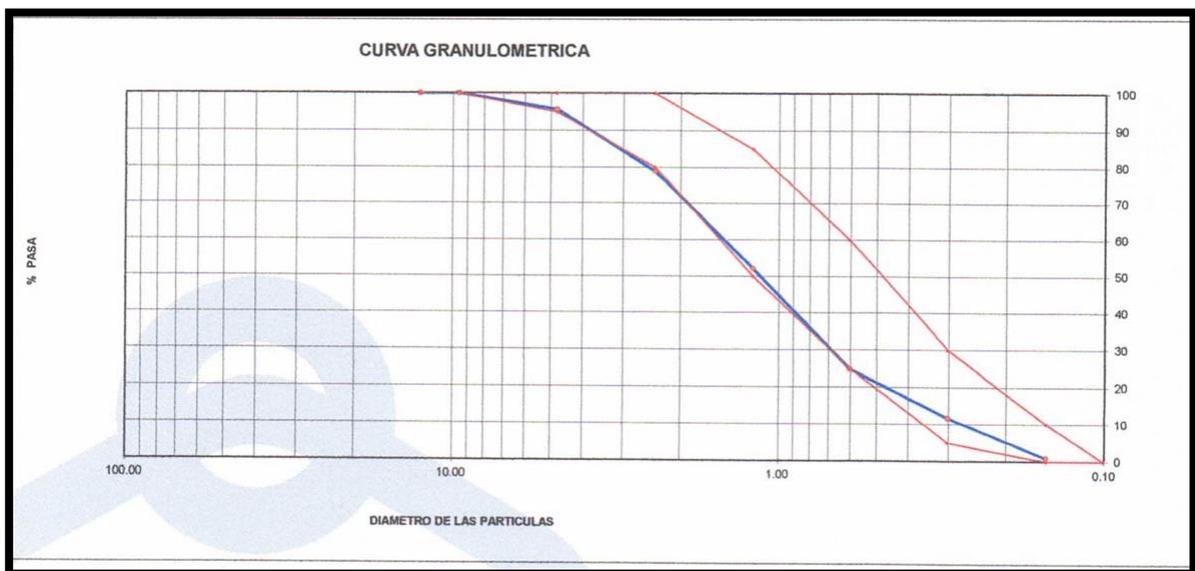
## Granulometría Agregado Fino (Astm C136)

**Tabla 20:** Cuadro De Resumen De Granulometría del Agregado Fino

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C 33
		(g)	(%)	Retenido	Pasa	
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	<b>100</b>
Nº4	4.76	38.9	4.3	4.3	95.7	<b>95 - 100</b>
Nº8	2.38	153.4	16.8	21.1	78.9	<b>80 - 100</b>
N.º 16	1.19	245.3	26.8	47.9	52.1	<b>50 - 85</b>
N.º 30	0.60	250.3	27.3	75.2	24.8	<b>25 - 60</b>
N.º 50	0.30	120.0	13.1	88.3	11.7	<b>05 - 30</b>
N.º 100	0.15	98.5	10.8	99.1	0.9	<b>0 - 10</b>
FONDO		1.0	0.1	99.2	0.8	<b>0 - 0</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 08: Curva Granulométrica**



Fuente: Elaboración Propia

### Ensayo en Estado Endurecido

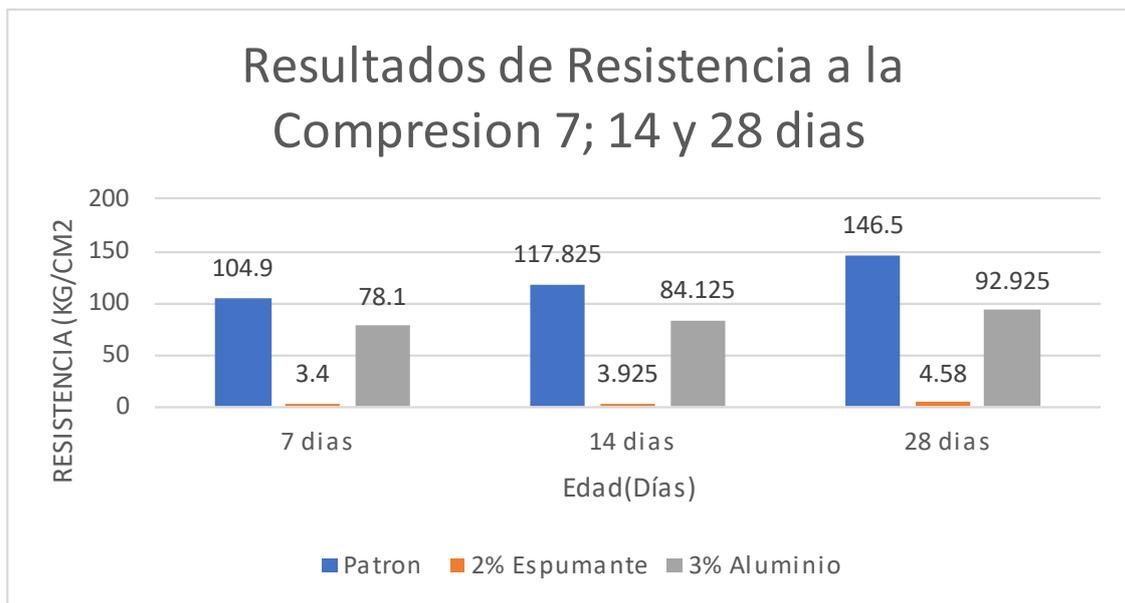
#### Ensayo a la Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)

El ensayo de resistencia a la compresión para el concreto celular es realizado siguiendo los estándares mencionados en la norma NTP.339.034, así mismo dichos

ensayos realizados con los especímenes producto del diseño de mezcla para la muestra patrón, Aditivo espumante (2%) por cada 100 lts y polvo de aluminio (3%) respecto al peso del cemento

Tipo De Mezcla	7 días	14 días	28 días
	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	104.9	117.825	146.5
2% Espumante	3.4	3.925	4.58
3% Aluminio	78.1	84.125	92.925

**Figura 09:** Representación Gráfica de los Resultados Obtenidos de Resistencia a los 7;14 y 28 días



Fuente: Elaboración Propia

## Ensayo de resistencia

### Análisis e interpretación de los resultados

Tabla 21: Análisis Estadístico de 7 Días  
**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
patrón día 7	3	1729,3000	3641,40233	1628,48463
aluminio día 7	3	1303,8400	2714,91945	1214,14889
espumante día 7	3	104,9400	120,12511	53,72158
ensayos de resistencia		9 probetas		

### Análisis e interpretación de los ensayos de resistencia edad 7 días

Los ensayos realizados en laboratorio y mediante la ayuda del programa spss se pude validar los resultados mediante la interpretación tales como el patrón a, aluminio y espumante que en la primera rotura realizado a los 7 días obtenemos la media, la desviación estándar y su error estándar en ello encontramos que la media entre los tres ensayos no es espumante tiene el rango mas bajo de 104,94 en cuanto al aluminio se nota que alcanza un rango de 1303,84 más cerca del patrón .

Tabla 22: Intervalo de Confianza al 95% de 7 días

### Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
					Inferior	Superior	
patrón día 7	0.822	4	,034	1729,30000	-2792,0982	6250,6982	
aluminio día 7	0.831	4	,034	1303,84000	-2067,1777	4674,8577	
espumante día 7	1,513	4	,012	104,94000	-44,2150	254,0950	
9 ensayos de resistencia		Nivel de significancia de 0,5 %					

Elaboración propia

En este cuadro logramos apreciar que el  $t$  estudent es bajo y entre ellos apreciamos que el espumante alcanza un superior rango a diferencia del patrón y el aluminio de 0.822 esto se determina mediante la forma para hallar la  $t_e$  que es la media sobre la raíz de la desviación estándar al cuadrado sobre el número de casos en este caso es 5 con un grado de libertad de 4 y el sig. bilateral está dentro de la frecuencia que se estima el rango de confianza es de 95% con un margen de error de 5% realizando el grafico nos da que 2.5% del margen de error es para la derecha y el otro margen hacia la izquierda y se precisa que la parte que acepta es de 97.5%

Tabla 24: Procesamiento de Casos 7 días

**Resumen de procesamiento de casos**

	N	%
Casos Válido	9	100,0
Excluido	0	,0
Total	9	100,0

Fuente: Elaboración Propia

También apreciamos la primera rotura que es de 7 días la cantidad de muestras que se desarrolló en tal caso fue 3 probetas de cada uno específicamente con tiempo de secado y tiempo de rotura estimado en este caso tenemos que el 100% de las muestras que estuvieron sujetas para la rotura cumplieron con lo especificado en la norma.

Tabla 25: Cuadro de Fiabilidad de Alfa de Cronbach

**Estadísticas de fiabilidad**

Alfa de Cronbach	N de elementos
1,000	3

Fuente: Elaboración Propia

En caso de confiabilidad en el alfa de Cronbach el número de elementos fueron tres tales como patrón, polvo de aluminio y aditivo espumante. Cumpliendo específicamente las normas vigentes y las reglas de desarrollo para los resultados obtenidos en laboratorio.

### **Análisis e interpretación de los ensayos de resistencia edad 14 días**

Tabla 27: Intervalo de Confianza al 95% de 14 días

#### **Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
patrón día 14	4	1973,1600	4172,52002	1866,00768
aluminio día 14	4	1367,1600	2852,79397	1275,80825
espumante día 14	4	102,9000	116,33886	52,02832

ensayos de resistencia	12 probetas
------------------------	-------------

Los ensayos realizados en laboratorio y mediante la ayuda del programa spss se pude validar los resultados mediante la interpretación tales como el patrón a, aluminio y espumante que en la primera rotura realizado a los 14 días obtenemos la media, la desviación estándar y su error estándar en ello encontramos que la media entre los tres ensayos no es espumante tiene el rango más bajo de 102,9 en cuanto al aluminio se nota que alcanza un rango de 1367,16 más cerca del patrón.

Tabla 28:

#### **Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Total, de ensayos 14						
patrón día 14	0.945	4	,035	1973,16000	-3207,7079	7154,0279
aluminio día 14	0.958	4	,034	1367,16000	-2175,0516	4909,3716
espumante día 14	1,768	4	,011	102,90000	-41,5538	247,3538

12 ensayos de resistencia	Nivel de significancia de 0,5 %
---------------------------	---------------------------------

Fuente: Elaboración Propia

En este cuadro logramos apreciar que el t estudent es bajo y entre ellos apreciamos que el espumante alcanza un superior rango a diferencia del patrón y el aluminio de 0.945 esto se determina mediante la forma para hallar la te que es la media sobre la raíz de la desviación estándar al cuadrado sobre el número de casos en este caso es 5 con un grado de libertad de 4 y el sig bilateral está dentro de la frecuencia que se estima el rango de confianza es de 95% con un margen de error de 5% realizando el grafico nos da que 2.5% del margen de error es para la derecha y el otro margen hacia la izquierda y se precisa que la parte que acepta es de 97.5%

### **Análisis e interpretación de los ensayos de resistencia edad 14 días**

Tabla 29: Procesamiento de Casos 14 días  
**Resumen de procesamiento de casos**

	N	%
Casos Válido	12	100,0
Excluido	0	,0
Total	12	100,0

Fuente: Elaboración Propia

también a hora podemos ver la segunda rotura que es de 14 días la cantidad de muestras que se desarrolló en tal caso fue 4 probetas de cada uno específicamente con tiempo de secado y tiempo de rotura estimado en este caso tenemos que el 100% de las muestras que estuvieron sujetas para la rotura cumplieron con lo especificado en la norma.

Tabla 30: Cuadro de Fiabilidad de Afla de Cronbach 14 días

#### **Estadísticas de fiabilidad**

Alfa de Cronbach	N de elementos
1,000	3

Fuente: Elaboración Propia

En caso de confiabilidad en el alfa de Cronbach el número de elementos fueron tres tales como patrón, polvo de aluminio y aditivo espumante. Cumpliendo

específicamente las normas vigentes y las reglas de desarrollo para los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 31: Tabla 26: Análisis Estadístico de 28 días

<b>Estadísticas de muestra única</b>				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
patrón día 28	4	2371,6400	5040,39187	2254,13177
aluminio día 28	4	1567,3200	3288,68145	1470,74305
espumante día 28	4	124,3400	157,81316	70,57619
12 ensayos de resistencia		4 por muestras		

Fuente: Elaboración Propia

### **Análisis e interpretación de los ensayos de resistencia edad 28 días**

Los ensayos realizados en laboratorio y mediante la ayuda del programa spss se puede validar los resultados mediante la interpretación tales como el patrón a, aluminio y espumante que en la primera rotura realizado a los 28 días obtenemos la media, la desviación estándar y su error estándar en ello encontramos que la media entre los tres ensayos no es espumante tiene el rango más bajo de 124,34 en cuanto al aluminio se nota que alcanza un rango de 1567,32 más cerca del patrón .

Tabla 32: Intervalo de Confianza al 95% de 14 días

	<b>Prueba de muestra única</b>					
	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior	
patrón día 28	0.941	4	,035	2371,64000	-3886,8331	8630,1131
aluminio día 28	0.953	4	,034	1567,32000	-2516,1174	5650,7574
espumante día 28	1,575	4	,015	124,34000	-71,6109	320,2909

12 ensayos de resistencia	Nivel de significancia de 0,5 %
---------------------------	---------------------------------

Fuente: Elaboración Propia

En este cuadro logramos apreciar que el t estudent es bajo y entre ellos apreciamos que el espumante alcanza un superior rango a diferencia del patrón y el aluminio de 1.575 esto se determina mediante la forma para hallar la te que es la media sobre la raíz de la desviación estándar al cuadrado sobre el número de casos en este caso es 5 con un grado de libertad de 4 y el sig bilateral está dentro de la frecuencia que se estima el rango de confianza es de 95% con un margen de error de 5% realizando el grafico nos da que 2.5% del margen de error es para la derecha y el otro margen hacia la izquierda y se precisa que la parte que acepta es de 97.5%

Tabla 34: Procesamiento de Casos 28 días

**Resumen de procesamiento de casos**

	N	%
Casos Válido	12	100,0
Excluido	0	,0
Total	12	100,0

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se realizó la última rotura que es de 28 días la cantidad de muestras que se desarrolló en tal caso fue 4 probetas de cada uno específicamente con tiempo de secado y tiempo de rotura estimado en este caso tenemos que el 100% de las muestras que estuvieron sujetas para la rotura cumplieron con lo especificado en la norma.

Tabla 35: Cuadro de Fiabilidad de Afla de Cronbach 28 días

**Estadísticas de fiabilidad**

Alfa de Cronbach	N de elementos
1,000	3

Fuente: Elaboración Propia

En caso de confiabilidad en el alfa de Cronbach el número de elementos fueron tres tales como patrón, polvo de aluminio y aditivo espumante. Cumpliendo específicamente las normas vigentes y las reglas de desarrollo para los resultados obtenidos en laboratorio.

## Densidad

### Ensayo de Densidad (NTP.339.189)

#### Análisis e interpretación de los resultados

Tabla 35: Análisis Estadístico de densidad

resultados ASTM C642	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
patrón	3	2,3903	1,12913	,42677
aluminio	3	5,5447	5,19452	1,96334
Espumante	3	8,7680	9,00673	3,40422

9 ensayos de densidad	7 ensayos realizados
-----------------------	----------------------

Elaboración propia

#### Análisis e interpretación de los ensayos de densidad

Los ensayos realizados en laboratorio y mediante la ayuda del programa spss se pude validar los resultados mediante la interpretación tales como el patrón a, aluminio y espumante que en la primera rotura realizado a los 28 días obtenemos la media, la desviación estándar y su error estándar en ello encontramos que la media entre los tres ensayos no es espumante tiene el rango más alto de 8,77 en cuanto al aluminio se nota que alcanza un rango de 5,19 a diferencia del patrón.

Tabla 36: Intervalo de Confianza al 95% de densidad

resultados ASTM C642	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
patrón	3,666	6	,001	2,39029	1,3460	3,4346
aluminio	1.848	6	,036	6,38429	,5740	12,1946
espumante	1.686	6	,042	8,76800	,4382	17,0978
9 ensayos de densidad			Nivel de significancia de 0,5 %			

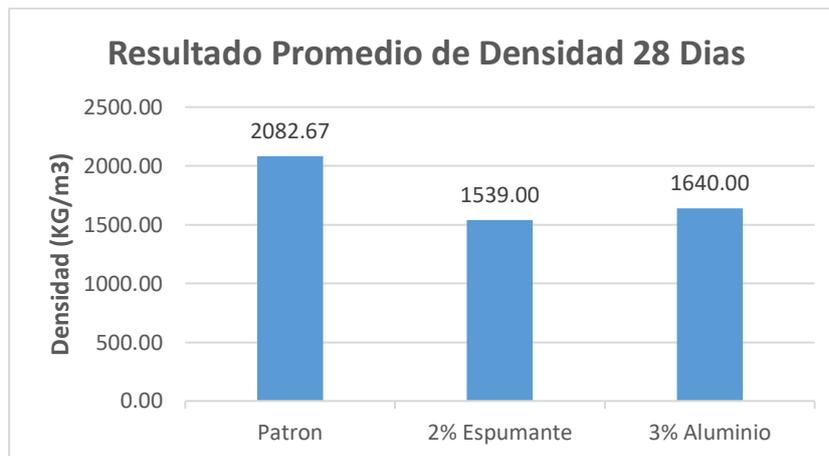
Elaboración propia

En este cuadro logramos apreciar que el t estudent es bajo y entre ellos apreciamos que el espumante alcanza un inferior rango a diferencia del patrón y el aluminio de 1.686 esto se determina mediante la forma para hallar la te que es la media sobre la raíz de la desviación estándar al cuadrado sobre el número de casos en este caso es 5 con un grado de libertad de 6 y el sig bilateral está dentro de la frecuencia que se estima el rango de confianza es de 95% con un margen de error de 5% realizando el grafico nos da que 2.5% del margen de error es para la derecha y el otro margen hacia la izquierda y se precisa que la parte que acepta es de 97.5%

### **Ensayo Estándar para la Densidad, Absorción y Vacíos en el Concreto Endurecido (NTP.339.189)**

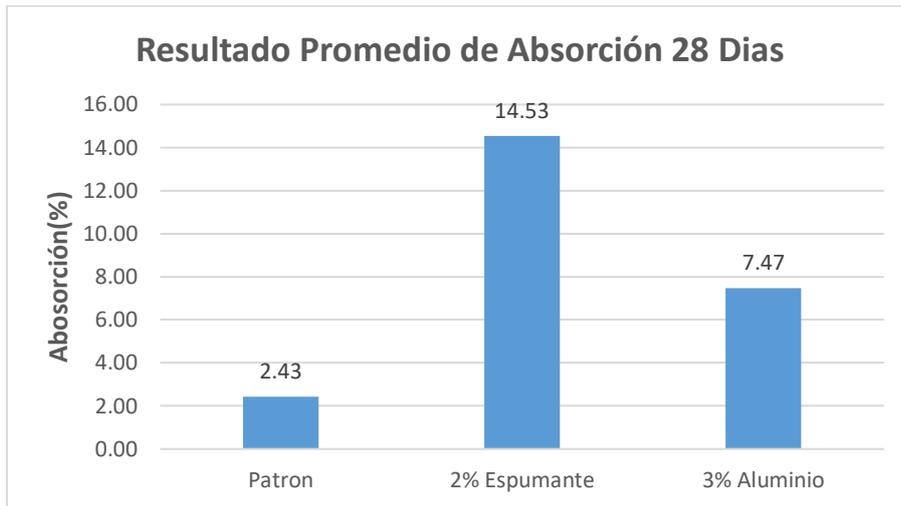
Tomando en cuenta la norma Ntp.339.189 se realizó el procedimiento para calcular la densidad (kg/m<sup>3</sup>), absorción (%) y Vacíos (%) en el cual consiste en hacer 3 cortes iguales horizontales al testigo, luego pesar cada uno, curarlos por 24 horas, pesarlos, luego secarlos al horno y posteriormente pesarlo nuevamente, luego sumergirlos, secarlos al horno y finalmente pesarlos y así obtenemos los resultados de las siguientes Tablas.

	<b>Patrón</b>	<b>2% Espumante</b>	<b>3% Aluminio</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2134	1752	1657
	2107	1456	1675
	2007	1410	1589
<b>Promedio</b>	2082.67	1539.33	1640.33



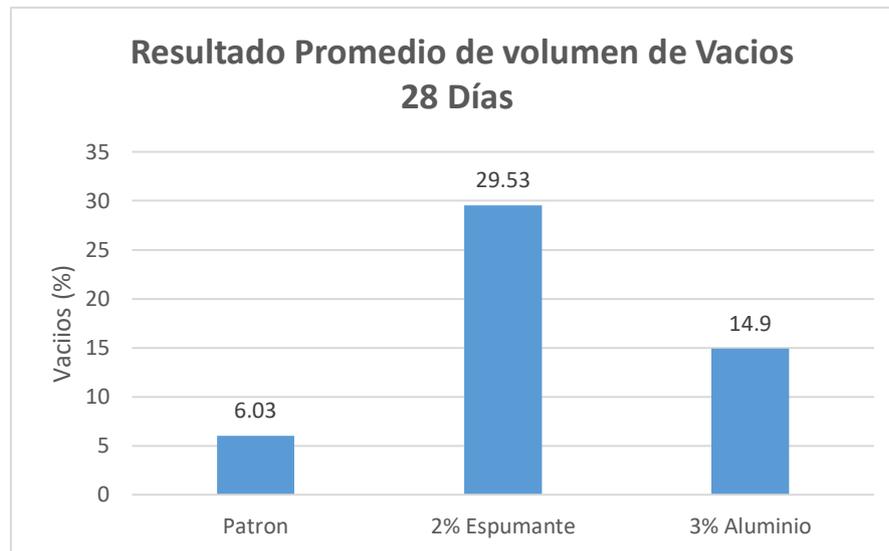
En la tabla se observa las Densidades obtenidas en el laboratorio siguiendo la norma NTP.339.189, para determinar las Densidad Del concreto Celular con una edad de 28 días curado para el Patrón, Agente Espumante con una dosificación del 2% por cada 100 lts de agua y para el Polvo de Aluminio con un 3% Respecto el peso de cemento. Los resultados obtenidos en la figura muestran una disminución de Densidad respecto al Concreto patrón en el Agente Espumante y el Polvo de Aluminio de un 26% y 21% Respectivamente.

	<b>Patrón</b>	<b>2% Espumante</b>	<b>3% Aluminio</b>
<b>Absorción (%)</b>	1.9	15.4	7.5
	2.1	15.9	8.9
	3.3	12.3	6
<b>Promedio</b>	2.43	14.53	7.47



En la tabla se observa los resultados obtenidos de Absorción (%) del concreto endurecido a los 28 días de edad, Por consiguiente, se puede afirmar que a mayor Densidad (kg/m<sup>3</sup>) menor absorción de concreto. En la figura se observa un incremento de Absorción (%) respecto al Patrón, en el diseño con Agente Espumante y Polvo de Aluminio De un 49% y 20% Respectivamente.

	Patrón	2% Espumante	3% Aluminio
<b>Volumen de Vacíos (%)</b>	4.8	24.1	15
	5.1	32.4	17.8
	8.2	32.1	11.9
<b>Promedio</b>	6.03	29.53	14.90



En la tabla se muestra los volúmenes de vacío (%) obtenidos en los ensayos de laboratorio, se observa que la cantidad de vacíos del concreto patrón es mínima ya que el agente espumante y el polvo de aluminio al ser adicionados a la mezcla producen una reacción química que producen burbujas de aire en el concreto. En la figura se visualiza un incremento de vacíos respecto al concreto patrón. Del Agente espumante y polvo de aluminio de un 39% y 14% respectivamente.

## V. Discusión

### **Analizar comparativamente las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar diseños utilizando agentes espumantes y polvo de aluminio.**

DG: YIGUAN Y TING (2017). Llega a comprobar que el polvo de aluminio y el agente espumante con el objeto de encontrar la proporción equivalente convencional con el concreto aireado o celular (AAC) mejora las propiedades mecánicas del concreto, de la misma forma se cumple en la presente investigación que el polvo de aluminio en una dosificación del 3% respecto al peso del cemento tiene un crecimiento del 96% en resistencia a la compresión respecto al Agente espumante con una dosificación del 2% por cada 100 lts de agua.

D1: PANESAR (2020). Llega a comprobar que los efectos del aditivo espumante (proteico "a") en las propiedades del hormigón celular que concluye en 28 días de curado se disminuya significativamente y en compresión es influenciada de acuerdo con el tipo de aditivo que se utiliza como resistencia a compresión de 5, 9 y 10 Kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia, de la misma manera en el presente trabajo de investigación obtenemos un crecimiento de resistencia de 15% a los 7 Días de Curado; y a los 14 días se observa un crecimiento de 17% y finalmente a los 28 días un 32%. De la misma forma obtenemos un crecimiento de Densidad endurecida del 26% cuando se adiciona el agente espumante con una dosificación del 2% por cada 100 lts de agua todo eso respecto al diseño del concreto patrón

D2: NINA QUISPE (2017). Llega a comprobar que para realizar una excelente dosificación del polvo de aluminio y utilizando el concreto celular no estructural en tabiquería concluye que la dosificación del aluminio es el 3% del volumen del concreto y la mejora de su resistencia a la compresión a un 60 % en los 28 días para su desarrollo. En el caso de la presente investigación la Dosificación del aluminio al 3% respecto al peso del cemento mejora la resistencia a la compresión a los 28 días en un 18%, llegando a resistencia de 92.92 kg/cm<sup>2</sup>, de igual manera en densidad tiene un aumento del 21% todo eso respecto al concreto de diseño patrón.

## VI. Conclusión.

Del diseño de mezcla del concreto celular de baja densidad, en el cual se reemplaza el cemento con un porcentaje de polvo de aluminio y aditivo espumante se llega a la siguiente conclusión.

CG: El polvo de aluminio optimiza las propiedades mecánicas del concreto celular, en cuanto a la compresión se llegó a una resistencia final a los 28 días de 92.93 kg/cm<sup>2</sup> que incremento en un 96% respecto al Agente espumante que llegó a una resistencia de 4.58 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a su diseño del concreto celular, por consiguiente en el ensayo de densidad se concluye que las propiedades que encontramos en el diseño con agente espumante se llega a obtener un diferencia del 10% respecto al diseño con polvo de aluminio.

CE1: El aditivo espumante disminuye la resistencia de compresión del concreto celular en un 30% cuando añadimos el Agente espumante al 2% por cada 100 lts de agua. Concluyendo que la Densidad (kg/m<sup>3</sup>) y el volumen de vacíos (%) en estado endurecido disminuye en un 26% y 39% respectivamente todo eso respecto al concreto patrón.

CE2: El polvo de aluminio disminuye la resistencia de compresión del concreto celular en un 53.58% cuando añadimos el polvo de aluminio al 3% respecto al cemento (inka tipo I). Concluyendo que la Densidad (kg/m<sup>3</sup>) y el volumen de vacíos (%) en estado endurecido disminuye en un 21% y 14% respectivamente todo eso respecto al concreto patrón.

## VII. Recomendación.

1. Se recomienda un mayor tiempo de control en el proceso de diseño de mezcla ya que al adicionar el aditivo espumante se generarán burbujas, ya que a mayor tiempo de mezclado podría romper las burbujas de aire y a menor tiempo no se generarían las burbujas suficientes para mejorar sus propiedades.
2. Se recomienda utilizar este tipo de concreto celular de una densidad baja cuando oscila entre 1200 y 1600 kg/m<sup>3</sup> en cuanto a tabiquería (albañilería) con el agente espumante en el cual solo se emplea para muros no necesariamente en reforzamiento sino para divisiones o en paneles prefabricados para usos comerciales e industriales
3. Se recomienda realizar mayores investigaciones con respecto al concreto celular ya que es de baja densidad es necesariamente observar su evolución con mayor resistencia a compresión de una densidad baja.

## REFERENCIAS

1. ARBITO, Gerardo. Concreto celular para uso estructural. Tesis (Magister en construcciones). Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
2. ABYZOV, V. Hormigón celular refractario a base de aglutinante de fosfato de residuos de producción y reciclaje de aluminio. Revista Procedia Engineering [en línea]. Noviembre 2017, vol. 206. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.122>
3. ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. United States, 2008.
4. CABRERA, Maria. Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación. Revista Ingenio [en línea]. Junio – Agosto 2015, vol. 1. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020].  
Disponible en: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/159/154>  
ISSN: 2588-0829
5. DIAZ, Roger. Concretos ligeros. Revista construcción y tecnología [en línea]. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>
6. ELIZONDO, A. Caracterización del concreto celular elaborado con Espuma preformado. México: Instituto Tecnológico y de estudios Superiores de Monterrey, 2006.
7. GOMEZ, Sergio Metodología de la investigación. Mexico red tercer mileno, 2012.88 pp  
ISBN:9786077331490
8. GYURKÓ, Zoltan, NEMES, Rita y SZIJÁRTO, Anna. Aumento de la resistencia a la congelación y descongelación del hormigón mediante la adición de hormigón celular en polvo y ladrillos de arcilla. Revista Procedia

- Engineering [en línea]. 2017, vol. 193. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].
9. Hormigón celular autoclavado que incorpora polvo de aluminio residual como agente espumante por Yiquan Liu [et al]. Revista El Sevier [en línea]. Abril – Mayo 2017, vol. 148. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817309376>
  10. IZQUIERDO, Miguel y ORTEGA, Enrique. Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones. Tesis (Título de ingeniero civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2017.
  11. KALPANA, M y MOHITH, S. Un estudio sobre el comportamiento a la compresión de AAC agregado con residuos industriales. Revista Materialtoday: proceedings [en línea]. Noviembre – Diciembre 2019, vol. 22. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.286>
  12. KORJAKINS, Aleksandrs, NAMNSONE, Eva y SAHMENKO, Genadijs. Propiedades de durabilidad del concreto espumado de alto rendimiento. Revista Procedia Engineering [en línea]. Febrero 2017, vol. 172. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.120>
  13. LAZO, Jaime. Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones. Tesis (Título de ingeniero civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2017.
  14. MINI, Km, RAJ, Amritha y SATHYAN, Dhanya. Características físicas y funcionales del hormigón celular: una revisión. Revista El Sevier [en línea]. Mayo – Junio 2019, vol. 221. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>
  15. MUTHU, kumar y RAMAMURTHY, k. Efecto de la finura y la dosificación de polvo de aluminio sobre las propiedades del hormigón celular curado en húmedo hormigón celular en polvo y ladrillos de arcilla. Revista El Sevier [en línea]. Junio - Julio 2015, vol. 95 [Fecha de consulta: 20 de mayo de

- 2020].
- Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.122>
16. Norma ACI. Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-98). Marzo, 1998.
- Disponible en:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/902c/f6a41164128ab88644fea8fe634e26e286a1.pdf>
17. NINASQUISPE, Yury. Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural. Tesis (Título de ingeniero civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
18. NEVILLE, A. Tecnología del concreto [en línea]. 2.ª ed. México: Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 2010. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2020].  
ISBN: 978-0-273-73219-8
19. LOZADA, Arraya Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones. Arequipa universidad nacional de san agustin , 2017
20. NTP 339.034. Metodo de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la comprensión. Lima, 2008, 18pp.
21. NTP 339.084 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 3ª Edición. Lima, 2012.
22. Obtención del polvo de aluminio por atomización por KRIVIJ, N. [et al]. Revista Metal Madrid [en línea]. , 1996, vol. 32. [Fecha de consulta: 25 de mayode2020]. Disponible en:  
<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/886/899>  
ISSN: 1986-4222
23. PANESAR, D. Propiedades del hormigón celular y el efecto de los agentes espumantes sintéticos y proteicos. Revista El Sevier [en línea]. Marzo - Abril 2013, vol. 44 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.024>

24. Propiedades mecánicas y físicas de la mampostería de bloques de hormigón celular ligero por Avadhoot Bhosale [et al]. Revista El Sevier [en línea]. Febrero– Marzo 2020, vol. 248. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118621>
25. VELARDE, Alfredo. Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, trujillo-2017. Tesis (Título de ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2017.
26. YOC, Jimmy. Fabricación y evaluación de unidades de mampostería de concreto celular de espuma performada. Tesis (Título de ingeniero civil). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.
27. ZAMORA, Lenin. Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural. Tesis (Título de ingeniero civil). Cajamarca: Universidad nacional de Cajamarca, 2015.
28. AMRAN MUGAHED , HUEI LEE YEONG 3, VATIN NIKOLAI, FEDIUK ROMAN, POI-NGIAN SHEK, LEE YEE YONG Y MURALI GUNASEKARAN, 2020 revista “Design Efficiency, Characteristics, and Utilization of Reinforced Foamed Concrete”.Revista crystals Ámsterdam p34, Revisado el 27 de Agosto Del 2020, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: <file:///C:/Users/Jimena/OneDrive/Escritorio/crystals-10-00948-v2.pdf>
29. CHICA, Lina y ALZATE, Albert. Cellular concrete review: New trends for application in construction. Construction and Building Materials, [en línea]. Octubre-diciembre 2018. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2021].  
Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818331258?via%3Dihub>
30. FALLIANO DEVID, RESTUCCIA LUCIANA, GUGLIANDOLO ERNESTO. “A simple optimized foam generator and a study on peculiar aspects

- concerning foams and foamed concrete” Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering, Politecnico Torino, revista el servier, 2020 material de construcción y edificación. Revisado el 18 de Abril Del 2020, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820331056>
31. FENG SHIWEN, ZHOU, YU WANG YU, LEI MENG DAN. Artículo “Experimental research on the dynamic mechanical properties and damage characteristics of lightweight foamed concrete under impact loading” revista. Sciencedirect. University of Science and Technology Beijing, Beijing. China Revisado el 22 De Febrero Del 2020, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734743X2030021X>
32. FU YANBIN, WANG XIULING, WANG LIXIN, LI YUNPENG “Foam Concrete: A State of the Art and State of the Practice Review”, 2020 artículo/ revista Hindawi, china pp25. Revisado el 20 De Diciembre Del 2019, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: [https://www.hindawi.com/journals/amse/2020/6153602/?fbclid=IwAR3ld9sSgTYCiNFxAR4TRR9GN2O0RdLUtg6Tc\\_xvCSVe10bTxyfZsW5d-uw](https://www.hindawi.com/journals/amse/2020/6153602/?fbclid=IwAR3ld9sSgTYCiNFxAR4TRR9GN2O0RdLUtg6Tc_xvCSVe10bTxyfZsW5d-uw) y <https://downloads.hindawi.com/journals/amse/2020/6153602.pdf>
33. KAZARYAN RUBEN, BELYAEV KONSTANTIN “The sustainable energy approach in the manufacture of cellular concrete” Moscow State University of Civil Engineering Artículo/revista “edpsciences, 2019 moscow pp11 Revisado el 20 De Diciembre Del 2019, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/17/e3sconf\\_tpacee2019\\_02024.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/17/e3sconf_tpacee2019_02024.pdf), <https://www.edpsciences.org/fr/>
34. LI TIAN, HUANG FANGMEI, ZHU JIANG, TANG JINHUI, LIU JIAPING. “Effect of foaming gas and cement type on the thermal conductivity of foamed concrete” college of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing, China. Revista: El servier. Revisado el 17 De Abril Del

- 2019, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819326492>
35. MI-WAY NI FRANK, GRACE OYEYI ABIMBOLA Y TIGHE SUSAN “The potential use of lightweight cellular concrete in pavement application”, Revista Internacional de Investigación y Tecnología de Pavimentos. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Canada 2021.pp11, Revisado el 10 De Noviembre Del 2020, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en:  
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs42947-020-6003-8> tambien en  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42947-020-6003-8.pdf>
36. RANA SHABBAR,2016 “Effect of aluminium powder grading on the properties of aerated concrete”manchester revista, researchgate, pp6, Revisado en setiembre del 2016, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/311608383\\_Effect\\_of\\_aluminium\\_powder\\_grading\\_on\\_the\\_properties\\_of\\_aerated\\_concrete#:~:text=The%20results%20indicated%20that%20the,porosity%20increased%20with%20increasing%20fineness.&text=Maximum%20tension%20stress%2Dstrain%20for%20aerated%20concrete%20with%20varying%20Al%20grading.](https://www.researchgate.net/publication/311608383_Effect_of_aluminium_powder_grading_on_the_properties_of_aerated_concrete#:~:text=The%20results%20indicated%20that%20the,porosity%20increased%20with%20increasing%20fineness.&text=Maximum%20tension%20stress%2Dstrain%20for%20aerated%20concrete%20with%20varying%20Al%20grading.)
37. SHE, Wei [et al]. Application of organic- and nanoparticle- modified foams in foamed concrete: reinforcement and stabilization mechanisms. Investigación de cemento y concreto [en línea]. Abril 2021. Vol. 106 [Fecha de consulta:5 de mayo del 2021]. Disponible en  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884617307159?via%3Dihub>
38. TANG VAN LAM, VU KIM DIEN, NGO XUAN HUNG, VU DINH THO, BULGAKOV BORIS. BAZHENOVA SOPHIA Artículo “Effect of Aluminium Powder on Light-weight Aerated Concrete Properties”, Moscow State University of Civil Engineering, revista:researchgate. Rusia, 2019.pp11, Revisado en Mayo Del 2019, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/333457358\\_Effect\\_of\\_Aluminium\\_Powder\\_on\\_Light-weight\\_Aerated\\_Concrete\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/333457358_Effect_of_Aluminium_Powder_on_Light-weight_Aerated_Concrete_Properties)

39. TIWARI BINOD, WYKOFF JEFF Y VILLEGAS DIEGO, 2020 california nevada cement association CNCA TECHNICAL RESOURCE “State of the Practice Use of Lightweight Cellular Concrete (LCC) Materials in Geotechnical Applications”, nevada pag.70. Revisado en Julio 2020, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021 Disponible en <https://cell-crete.com/build/wp-content/uploads/2020/07/Review-Geotechnical-Engineering-Application-of-LCC-material-Final-V9-07102020.pdf> y <https://www.cell-crete.com/divisions/lightweight-cellular-concrete/>
40. V G BORKOVSKAYA .2019, Artículo “Risks in Managing the Physical Parameters of Foams for Cellular Concrete” revista iopscience , moscow rusia.pp8, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/5/052045/pdf> también en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/5/052045/meta>
41. WEI YU ,XU LIANG, FRANK MI-WAY NI, ABIMBOLA GRACE OYEYI Y SUSAN TIGHE artículo “Characteristics of Lightweight Cellular Concrete and Effects on Mechanical Properties” revista materials 2020 p17, Revisado el 7 De Junio Del 2020, [fecha de consulta 5 De Mayo Del 2021] Disponible en: <file:///C:/Users/Jimena/Downloads/materials-13-02678-v2.pdf> también en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/12/2678> revisado 3 de mayo 2020

## ANEXO

### Anexo 1. Matriz De Consistencia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO UTILIZANDO AGENTE ESPUMANTE Y POLVO DE ALUMINIO							
TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HÍPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES			Diseño Metodológico
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	
¿Cómo podemos analizar comparativamente la optimización del concreto celular mediante el aditivo espumante y polvo de aluminio?	Analizar comparativamente la propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar diseños utilizando agentes espumantes y polvo de aluminio.	El polvo de aluminio mejora comparativamente el uso de agente espumante para el concreto celular.	Comparación De Las Propiedades Mecánicas Del Concreto Celular	Resistencia a Compresión	Modulo de rotura (7,14,28) días Kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Metodo</b> Científico
				Densidad	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	kg/m <sup>3</sup>	<b>Enfoque</b> Cuantitativo
					Absorción	% porcentaje	<b>Tipo</b> Aplicada
Problemas específicas	Objetivos específicas	Hipótesis específicas	Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Nivel
¿Cuáles son las propiedades que se conseguirá mediante la optimización del concreto celular utilizando aditivo espumante?	Analizar las propiedades mecánicas del concreto celular con aditivo espumante	El Aditivo espumante mejora las propiedades mecánicas del concreto celular	Optimizar El diseño utilizando Agente Espumante y Polvo De Aluminio	Dimension	porcentaje (%)	% porcentaje	Explicativo
							<b>Diseño</b> Pre-Experimental
¿Cuáles son las propiedades que se conseguirá mediante la optimización del concreto celular utilizando polvo de aluminio?	Analizar las propiedades mecánicas del concreto celular con polvo de aluminio	El polvo de aluminio mejora las propiedades mecánicas del concreto celular	Optimizar El diseño utilizando Agente Espumante y Polvo De Aluminio	Características físicas	Densidad aparente	Razón	<b>Instrumento</b> Ficha de Recoleccion
					Granulometría		<b>Poblacion</b> Indeterminada
				costo	Soles s/	S/.	Muestra: 42 Probetas
Muestreo: No Probabilístico							

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 2. Matriz de Operacionalización

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE EDICIÓN
comparacion de las propiedades mecanicas del concreto celular	la característica más sobresaliente del concreto celular es su densidad, Sin embargo, sus propiedades térmicas, acústicas, su trabajabilidad, etcétera, generan grandes ventajas en la industria de la construcción. Su factibilidad de diseño permite gran confort a quienes lo utilizan	Se medirá mediante ensayos de compresión y densidad siguiendo las normas vigentes (NTP.339.304 y NTP.339.187) Respectivamente. las probetas de concreto, para ellos tendrán 28 días de curado, tamaño de 25x30cm se medirá en kg/cm2	Resistencia a La Compresion (NTP.339.034)	Modulo De Rotura (7 , 14 y 28 dias) (kg/cm2)	razon
			Densidad (NTP.339.187)	Densidad (kg/m3)	
				Absorcion(%)	
VARIABLE DEPENDIENTE:	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
optimizar el diseño utilizando Agente Espumante y polvo De Aluminio	Para la optimizacion del diseño mediante el aditivo espumante o polvo de aluminio se realiza los respectivos ensayos comparativos en la cual determinamos como incrementa el valor del producto para su rendimiento en el area constructivo uno de ellos es el costo, mano de obra, tiempo. etc	Para obtener Un buen Diseño de mezcla nos basaremos y seguiremos el Reglamento Del ACI 523.3r-14 "Guia para Concreto Celulares" y asi obtener un diseño Optimo y compararlos	Dimension	Porcentaje (%)	razon
			Caracteristicas Fisicas	Densidad	
				Granulometria	
Costo	Soles (S./)				

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3. Diseño de Mezcla Patrón

Insumo	Nomenclatura	Unidad	Prueba Kg/m <sup>2</sup>	Metrado
<b>Cemento Inka Tipo I</b>	C (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	297	5
<b>Agua</b>	W (Kg/m <sup>3</sup> )	lts	191	3.22
<b>Agre F</b>	AF (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	46.65	6.64
<b>Ratio</b>	W/C	-	0.64	-

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 4. Diseño de Mezcla con Adición de Espumante 2%

Insumo	Nomenclatura	Unidad	Prueba Kg/m <sup>2</sup>	Metrado
<b>Cemento Inka Tipo I</b>	C (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	297	5
<b>Agua</b>	W (Kg/m <sup>3</sup> )	lts	215	3.22
<b>Foamin C</b>	F (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	70.78	-
<b>Agre F</b>	AF (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	46.65	6.64
<b>Ratio</b>	W/C	-	0.64	-

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 5. Diseño de Mezcla con Adición de Aluminio 3%

Insumo	Nomenclatura	Unidad	Prueba Kg/m <sup>2</sup>	Metrado
<b>Cemento Inka Tipo I</b>	C (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	297	5
<b>Agua</b>	W (Kg/m <sup>3</sup> )	lts	191	3.22
<b>polvo de aluminio</b>	P (Kg/m <sup>3</sup> )	g	297	-
<b>Agre F</b>	AF (Kg/m <sup>3</sup> )	kg	46.65	6.64
<b>Ratio</b>	W/C	-	0.64	-

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 6. Detalle Fotográfico de la Preparación De Concreto Celular

Figura 10: Materiales Utilizados para Elaborar Concreto Celular



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11: Polvo De Aluminio



Fuente: Elaboración Propia

Figura 12: Pesaje Del Cemento



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13: Adición Del Espumante



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Adición De Aditivo Desmoldando a los Moldes



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15: Mezcla con Aditivo Espumante



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16: Adición De Polvo De Aluminio



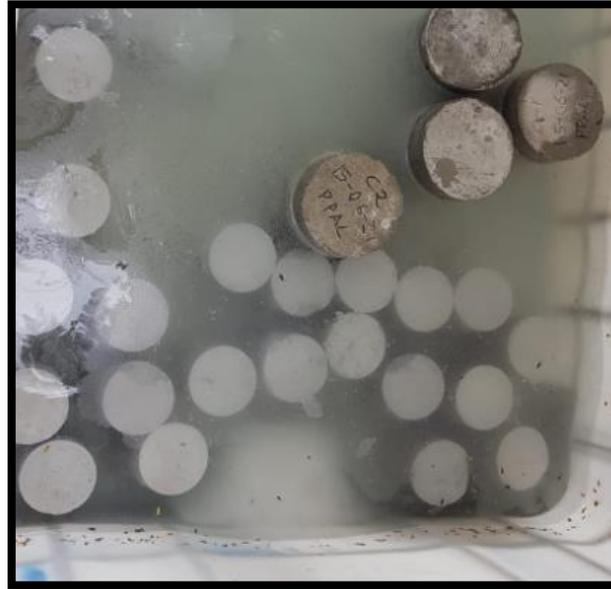
Fuente: Elaboración Propia

Figura 17: Testigos De Concreto Celular



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18: Curado de Testigos de Concreto Celular



Fuente: Elaboración Propia

Figura 19: Probetas De Concreto Celular Curado 7 días



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20: Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Celular 7 días



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21: Probeta con Polvo De Aluminio



Fuente: Elaboración Propia

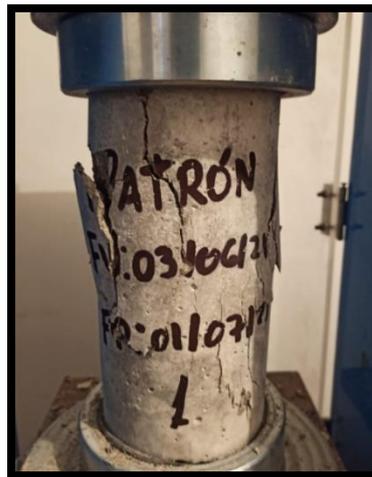
### Anexo 7: Ensayo De Resistencia a la Compresión 28 días

Figura 22: Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Celular 28 días



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23: Probetas Patrón



Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 8: Ensayo de Densidad

Figura 24: Corte Horizontal de Probetas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Pesaje de Muestra



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26: Curado de Muestras 24H



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27: Secado de Muestras En el Horno



Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 9: Resultado De Ensayos de Granulometría



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabaylo - Lima

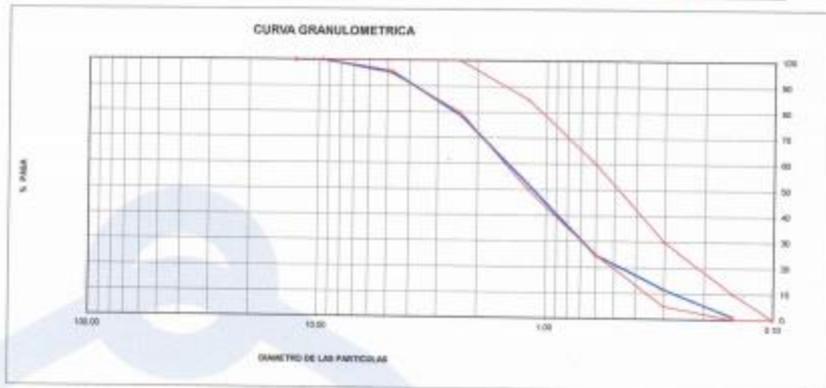
www.jcgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO	Código	FOR.LTC-AG-001
		Revisión	1
		Aprobado	AM-JC

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO  
 ASTM C136

REFERENCIA	- Datos de laboratorio
SOLICITANTE	- Carolina Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-5595) y Flores Rogan, Jodick David (0000-0007-8467-8506)
TESIS	- Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminato
UBICACIÓN	- Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
MATERIAL	- Agregado fino
PERO INICIAL HUMEDO (g)	529.0
PERO INICIAL SECO (g)	515.3
CARTERA:	TRAPICHE
% W =	1.8
MF =	3.34
Fecha de ensayo:	02/05/2021

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C 33
		(g)	(%)	Retenido	Pasa	
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100
Nº4	4.75	36.9	4.3	4.3	95.7	95 - 100
Nº5	2.36	153.4	16.8	21.1	78.9	60 - 100
Nº 10	1.19	249.3	28.6	47.8	52.1	58 - 88
Nº 20	0.60	290.3	27.3	75.2	24.8	25 - 60
Nº 30	0.30	120.0	13.1	88.3	11.7	18 - 30
Nº 50	0.15	38.5	15.6	99.7	0.3	8 - 16
PONDO	1.0	0.1	99.2	0.8	0.8	8 - 0



OBSERVACIONES:  
 - Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentación	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO
--	---	---

## Anexo 10: Resultado Peso Unitario Agregado Fino



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PESO UNITARIO	Código	FOR-LAB-AG-016
		Revisión	1
		Aprobado	AM-JC

**LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS**  
ASTM C29

<b>REFERENCIA</b>	: Datos de laboratorio		
<b>SOLICITANTE</b>	: Cortova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3890-0598) y Flores Roque, Jaidick David (0000-0001-8657-8508)		
<b>TESIS</b>	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño ante el agente espumante o polvo de aluminio		
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima	<b>Fecha de ensayo:</b>	02/06/2021

**MATERIAL** : AGREGADO FINO **CANTERA** : TRAPICHE

MUESTRA N°		M - 1	M - 2	M - 3	
1	Peso de la Muestra + Molde	g	8783	8787	8782
2	Peso del Molde	g	2446	2446	2446
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4337	4341	4336
4	Volumen del Molde	cc	2827	2827	2827
5	Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.534	1.535	1.534

<b>PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO</b>	g/cc	<b>1.534</b>
--------------------------------------	------	--------------

MUESTRA N°		M - 1	M - 2	M - 3	
1	Peso de la Muestra + Molde	g	7534	7530	7536
2	Peso del Molde	g	2446	2446	2446
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	5088	5084	5090
4	Volumen del Molde	cc	2827	2827	2827
5	Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.800	1.798	1.801

<b>PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	g/cc	<b>1.800</b>
--	------	--------------

**OBSERVACIONES:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	Revisado por:  CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 11: Resultado Peso Específico y Absorción Agregado Fino



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	Código	FOR-LAB-AG-013
		Revisión	1
		Aprobado	AM-JC

**LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS**  
 ASTM C128

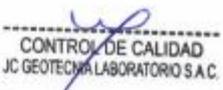
REFERENCIA	: Datos de laboratorio		
SOLICITANTE	: Contrata Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-0090) y Flores Roque, Jaidick David (0000-0001-0967-0506)		
TESTIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminato		
UBICACION	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima	Fecha de ensayo:	03/06/2021

MATERIAL : AGREGADO FINO CANTERA : TRAPICHE

MUESTRA N°		M - 1	M - 2	PROMEDIO	
1	Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón + Peso de Agua	g	758.34	758.34	758.3
2	Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón	g	296.11	296.11	296.1
3	Peso del Agua (W = 1 - 2)	g	462.23	462.23	462.2
4	Peso de la Arena Seca al Horno + Peso del Balón	g/oc	284.47	283.2	470.94
5	Peso del Balón N° 2	g/oc	196.11	196.11	196.11
6	Peso de la Arena Seca al Horno (A = 4 - 5)	g/oc	98.281	467.89	392.73
7	Volumen del Balón (V = 300)	cc	504.0	504.0	504.8

RESULTADOS				
PESO ESPECÍFICO DE LA MASA (P.E.M. = A/(V-W))	g/cc	2.78	2.78	2.78
PESO ESPEC. DE MASA S.S.S. (P.E.M. S.S.S. = 300/(V-W))	g/cc	2.83	2.83	2.83
PESO ESPECÍFICO APARENTE (P.E.A. = A/(V-W)-(300-A))	g/cc	2.81	2.81	2.81
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) [(300-A)/W*100]	%	1.7	1.7	1.7

OBSERVACIONES:  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 12: Resultado De Resistencia a la Compresión Patrón 7 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	18/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-0599); Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 10/06/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Patron 1	3/06/2021	10/06/2021	7	8243	78.5	105.0	150.0	70.0
Patron 2	3/06/2021	10/06/2021	7	8432	78.5	107.4	150.0	71.6
Patron 3	3/06/2021	10/06/2021	7	8033	78.5	102.3	150.0	68.2

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohaditas de neopreno como material reentrenante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

### Anexo 13: Resultado De Resistencia a la Compresión Patrón 14 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	16/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

<b>REFERENCIA SOLICITANTE</b>	: Datos de laboratorio
<b>TESIS</b>	: Cordova Flores, Marvin Agustin (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506) análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
<b>Fecha de emisión:</b> 17/06/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Patrón 1	3/06/2021	17/06/2021	14	9437	78.5	120.2	150.0	80.1
Patrón 2	3/06/2021	17/06/2021	14	9037	78.5	115.1	150.0	76.7
Patrón 3	3/06/2021	17/06/2021	14	9213	78.5	117.3	150.0	78.2
Patrón 4	3/06/2021	17/06/2021	14	9321	78.5	118.7	150.0	79.1

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material retentante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL, CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 14: Resultado De Resistencia a la Compresión Patrón 28 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	16/03/2020

### LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS

ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	Datos de laboratorio
SOLICITANTE	Cordova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima

Fecha de emisión: 01/07/2021

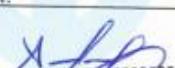
IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	AREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Patrón 1	3/06/2021	1/07/2021	28	11388	78.5	145.0	150.0	96.7
Patrón 2	3/06/2021	1/07/2021	28	11755	78.5	149.7	150.0	99.8
Patrón 3	3/06/2021	1/07/2021	28	11243	78.5	143.2	150.0	95.4
Patrón 4	3/06/2021	1/07/2021	28	11634	78.5	148.1	150.0	98.8

#### EQUIPO DE ENSAYO

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

#### OBSERVACIONES:

- \* No se observaron fallas elípticas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referencial
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCECO BASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 15: Resultado De Resistencia a la Compresión de Espumante 7 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-609
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	18/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3890-0599) y Flores Roque, Jaidick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 10/06/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Espumante 2% 1	3/06/2021	10/06/2021	7	290	78.5	3.7	150.0	2.5
Espumante 2% 2	3/06/2021	10/06/2021	7	270	78.5	3.4	150.0	2.3
Espumante 2% 3	3/06/2021	10/06/2021	7	240	78.5	3.1	150.0	2.0

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb. división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material refrentante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 16: Resultado De Resistencia a la Compresión de Espumante 14 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabaylo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	16/03/2020

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS  
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jedick David (0000-0001-8867-8506)
TESES	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 17/06/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VAGADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	AREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Espumante 2% 1	3/06/2021	17/06/2021	14	280	78.5	3.6	150.0	2.4
Espumante 2% 2	3/06/2021	17/06/2021	14	290	78.5	3.7	150.0	2.5
Espumante 2% 3	3/06/2021	17/06/2021	14	350	78.5	4.5	150.0	3.0
Espumante 2% 4	3/06/2021	17/06/2021	14	310	78.5	3.9	150.0	2.6

### EQUIPO DE ENSAYO

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

### OBSERVACIONES:

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas.
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referencial
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL / CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL / CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 17: Resultado De Resistencia a la Compresión de Espumante 28 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	18/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustin (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 01/07/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Espumante 2% 1	3/06/2021	1/07/2021	28	385	78.5	4.9	150.0	3.3
Espumante 2% 2	3/06/2021	1/07/2021	28	377	78.5	4.8	150.0	3.2
Espumante 2% 3	3/06/2021	1/07/2021	28	353	78.5	4.5	150.0	3.0
Espumante 2% 4	3/06/2021	1/07/2021	28	369	78.5	4.7	150.0	3.1

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material retentante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 18: Resultado De Resistencia a la Compresión de Polvo de Aluminio 7 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabaylo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	16/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustin (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 10/06/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Aluminio 3% 1	3/06/2021	10/06/2021	7	6160	78.5	78.4	150.0	52.3
Aluminio 3% 2	3/06/2021	10/06/2021	7	6100	78.5	77.7	150.0	51.8
Aluminio 3% 3	3/06/2021	10/06/2021	7	6140	78.5	78.2	150.0	52.1

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referente
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 19: Resultado De Resistencia a la Compresión de Polvo de Aluminio 14 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	16/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustin (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 17/06/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kgf/cm <sup>2</sup>	F'c Diseño kgf/cm <sup>2</sup>	% F'c
Aluminio 1	3/06/2021	17/06/2021	14	6470	78.5	82.4	150.0	54.9
Aluminio 2	3/06/2021	17/06/2021	14	6920	78.5	88.1	150.0	58.7
Aluminio 3	3/06/2021	17/06/2021	14	6730	78.5	85.7	150.0	57.1
Aluminio 4	3/06/2021	17/06/2021	14	6320	78.5	80.5	150.0	53.6

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas efímeras en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referencial
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO

## Anexo 20: Resultado De Resistencia a la Compresión de Polvo de Aluminio 28 días



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

[www.jcgeotecniasac.co](http://www.jcgeotecniasac.co)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	AM-JC
		Fecha	16/03/2020

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
ASTM C39-07 / NTP 338.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Cordova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
TESIS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Fecha de emisión: 01/07/2021	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
Aluminio 3% 1	3/06/2021	1/07/2021	28	7450	78.5	94.9	150.0	63.2
Aluminio 3% 2	3/06/2021	1/07/2021	28	7790	78.5	99.2	150.0	66.1
Aluminio 3% 3	3/06/2021	1/07/2021	28	8020	78.5	102.1	151.0	68.1
Aluminio 3% 4	3/06/2021	1/07/2021	28	5930	78.5	75.5	150.0	50.3

**EQUIPO DE ENSAYO**

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**

- \* No se observaron fallas atípicas en las roturas
- \* El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referente
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL / CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO
--	--	--

## Anexo 21: Resultados de Densidad, Absorción y Vacíos



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
 Fijo: 01 656 6232  
 informes@jcgeotecniasac.com  
 Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
 Carabaylo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO
<b>LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS</b> ASTM C642 / NTP 338.187	
TESS	: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar el diseño entre el agente espumante o polvo de aluminio
SOLICITANTES	: Cordova Flores, Marvin Agustín (0000-0003-3690-0599) y Flores Roque, Jadick David (0000-0001-8667-8506)
UBICACIÓN	: Distrito de Ate - Provincia de Lima - Departamento de Lima
Diseño (f'c)	: 150 kg/cm <sup>2</sup>
Fecha de vaciado	: 03/06/2021
Fecha de ensayo	: 01/07/2021
Edad	: 28 días

RESULTADOS ASTM C642	PATRÓN 1	PATRÓN 2	PATRÓN 3	ALUMBRIO 1	ALUMBRIO 2	ALUMBRIO 3	ESPUMANTE 1	ESPUMANTE 2	ESPUMANTE 3
ABSORCIÓN DESPUÉS DE LA INMERSIÓN	1.9%	2.1%	3.3%	7.5%	9.9%	8.0%	15.4%	15.9%	12.3%
ABSORCIÓN DESPUÉS DE LA INMERSIÓN Y EBULLICIÓN	2.3%	2.4%	4.1%	9.1%	10.6%	7.5%	13.8%	22.2%	22.8%
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	2.134	2.107	2.507	1.667	1.675	1.588	1.752	1.466	1.410
DENSIDAD APARENTE DESPUÉS DE LA INMERSIÓN (g/cm <sup>3</sup> )	2.174	2.152	2.074	1.781	1.825	1.985	2.022	1.686	1.583
DENSIDAD APARENTE DESPUÉS DE LA INMERSIÓN Y LA EBULLICIÓN (g/cm <sup>3</sup> )	2.182	2.190	2.089	1.807	1.853	1.708	1.893	1.780	1.731
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	2.242	2.219	2.187	1.950	2.037	1.805	2.309	2.153	2.076
VOLUMEN DE POROS PERMEABLES (% VACÍOS)	4.8%	5.1%	8.2%	15.0%	17.8%	11.9%	24.1%	32.4%	32.1%

**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin autorización escrita de JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Sucesos y Prevenciones	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Control de Calidad JC GEOTECNIA LABORATORIO
--	---	--

## Anexo 22: Certificado de calibración de Prensa



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016



### CERTIFICADO DE CALIBRACION

TC - 05434 - 2021

PROFORMA : 1503B Fecha de emisión : 2021-04-16

SOLICITANTE : JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.  
Dirección : MZA. D LOTE. 02 A.V. VILLA GLORIA LIMA - LIMA - CARABAYLLO

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN :** BALANZA  
Tipo : ELECTRÓNICA  
Marca : OHAUS  
Modelo : R31P30  
N° de Serie : 8336830027  
Capacidad Máxima : 30000 g  
Resolución : 1 g  
División de Verificación : 1 g  
Clase de Exactitud : II  
Capacidad Mínima : 50 g  
Procedencia : REINO UNIDO  
N° de Parte : CHRA  
Identificación : No indica  
Ubicación : LABORATORIO  
Variación de  $\Delta T$  Local : 4 °C  
Fecha de Calibración : 2021-03-30

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**LUGAR DE CALIBRACIÓN**  
Instalaciones de JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recibir sus instrumentos a intervalos apropiados.

**MÉTODO DE CALIBRACIÓN**  
La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II", Cuarta Edición - Abril 2010, SNM - INDECOPI.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no es responsable de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Pascoe  
Gerente Técnico  
CIP: 6216



Certificado de Calibración  
 TC - 00434 - 2021

2	5
3	4

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	24,9 °C	25,1 °C
Humedad Relativa	81 %	81 %

N°	Determinación de Error E <sub>0</sub>				Determinación de Error Corregido E <sub>c</sub>				s.m.p. (kg)
	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E <sub>c</sub> (g)	
1	10	10	0,5	0,0	10 000	10 000	0,5	0,0	2,0
2		10	0,6	-0,1		10 002	0,7	1,8	
3		10	0,6	-0,1		10 001	0,6	0,9	
4		10	0,5	0,0		10 001	0,6	0,9	
5		10	0,6	-0,1		10 001	0,6	0,9	

**ENSAYO DE PESAJE**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	25,0 °C
Humedad Relativa	63 %	62 %

Carga (g)	Crecientes				Decrecientes				s.m.p. (kg)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
10	10	0,5	0,0						
50	50	0,5	0,0	0,0	50	0,5	0,0	0,0	1,0
1 000	1 000	0,6	-0,1	-0,1	1 000	0,5	0,0	0,0	1,0
5 000	5 000	0,5	0,0	0,0	5 000	0,6	-0,1	-0,1	2,0
8 000	8 001	0,7	0,8	0,8	8 001	0,8	0,7	0,7	2,0
10 000	10 001	0,8	0,7	0,7	10 000	0,5	0,0	0,0	2,0
15 000	15 002	0,8	1,7	1,7	15 001	0,6	0,9	0,9	2,0
18 000	18 002	0,8	1,7	1,7	18 001	0,6	0,9	0,9	2,0
20 000	20 001	0,7	0,8	0,8	20 001	0,7	0,8	0,8	2,0
25 000	25 001	0,7	0,8	0,8	25 001	0,7	0,8	0,8	2,0
30 000	30 000	0,5	0,0	0,0	30 000	0,5	0,0	0,0	2,0

Donde:

I : Indicación de la balanza

ΔL : Carga adicional

 E<sub>0</sub> : Error en cero

R : Lectura de la balanza posterior a la calibración (g)

E : Error del instrumento

 E<sub>c</sub> : Error corregido

**LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE DE LA BALANZA**

$$\text{Lectura Corregida} : R_{\text{corregida}} = R - 3,58 \times 10^{-3} \times R$$

$$\text{Incertidumbre Expandida} : U_{95} = 2 \times \sqrt{3,83 \times 10^{-5} \text{ g}^2 + 3,18 \times 10^{-3} \times R^2}$$

**OBSERVACIONES**

 Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.  
 La indicación de la balanza fue de 30 000 g para una carga de valor nominal 30000 g.

**INCERTIDUMBRE**

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

**FIN DEL DOCUMENTO**


Certificado de Calibración  
TC - 05434 - 2021

TRAZABILIDAD

Trazabilidad	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de LO JUSTO	Juego de Pesas 1 mg a 1 kg Clase de Exactitud F1	IP-178-2020 Agosto 2020
Patrones de Referencia de DM-INACAL	Juego de Pesas 1 kg a 5 kg Clase de Exactitud F1	LM-C-133-2020 Julio 2020
Patrones de Referencia de DM-INACAL	Pesa 10 kg Clase de Exactitud F1	LM-C-134-2020 Julio 2020
Patrones de Referencia de DM-INACAL	Pesa 20 kg Clase de Exactitud F1	LM-C-135-2020 Julio 2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCION VISUAL

Ajuste de Cero	Tiene	Escala	No Tiene
Oscilación Libre	Tiene	Cursor	No Tiene
Plataforma	Tiene	Nivelación	Tiene
Sistema de Traba	No Tiene		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,4 °C	25,2 °C
Humedad Relativa	61 %	60 %

Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15 000	15 001	0,5	0,9	1	30 000	30 000	0,5	0,0
2		15 001	0,5	1,0	2		30 000	0,5	0,0
3		15 001	0,5	1,0	3		30 000	0,4	0,1
4		15 002	0,7	1,8	4		30 000	0,4	0,1
5		15 002	0,8	1,7	5		30 000	0,4	0,1
6		15 001	0,5	1,0	6		30 001	0,7	0,8
7		15 001	0,5	0,9	7		30 001	0,7	0,8
8		15 001	0,5	0,9	8		30 000	0,5	0,0
9		15 002	0,8	1,7	9		30 000	0,4	0,1
10		15 001	0,5	1,0	10		30 000	0,5	0,0
E <sub>máx</sub> - E <sub>mín</sub>   (g)				0,9	E <sub>máx</sub> - E <sub>mín</sub>   (g)				0,8
error máximo permitido (±g)				2,0	error máximo permitido (±g)				3,0



## Anexo 23: Cotización de Laboratorio



**JG GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.**  
RUC: 20605882032

**FORMATO  
COTIZACIONES DE ESTUDIO Y PROYECTOS**

COT. N° 01 - LEM 20

REFERENCIA	CORREO ELECTRONICO						
SOLICITANTE	Flora Condova Marvin Agustín Y Fabrice Roque Jaidick David						
ATENCIÓN	Isaac Carlos Hidalgo						
OSPA	Tesis						
UBICACIÓN	Ate - Lima						
FECHA	CARABAYLLO 21 DE MAYO DE 2021						

**CUADRO 1 - PRESUPUESTO DE ACUERDO A SOLICITUD DEL CLIENTE  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN**

ITEM	TRABAJO EN CAMPO	CONCEPTO	NORMA	UND.	CANT.	PARCIAL	SUB TOTAL
1.0							
1.1		Diseño de mezcla 210 kg/cm <sup>2</sup> (Ensayos Físicos Granulometría, Peso Específico, Absorción, Pesar específico, Humedad)	-	Und.	3	S/. 300.00	S/ 900.00
1.2		Realización de Pruebas Clásticas Incluye Rotura	-	Und.	42	S/ 80.00	S/ 3,360.00
1.3		Ensayo de Densidad	-	Und.	9	S/ 90.00	S/ 810.00
						SUB TOTAL	S/ 4,070.00

**NOTAS / ANOTACIONES:**

- \* Validez de oferta 30 días desde su emisión
- \* La movilidad es por salida a campo para realizar la verificación de compactación.
- \* Nuestros equipos de laboratorio de ensayo cuentan con certificados de calibración vigentes, puede solicitarlos una vez iniciado el servicio
- \* El cliente deberá coordinar previamente los permisos necesarios y gestionar la seguridad y señalización de la zona de trabajo
- \* La presente propuesta incluye seguro SCTR, EPP, incluye exámenes médicos de nuestro personal.
- \* El cliente deberá asumir el pago del personal y equipo si durante el día sucede paralización de obra a la mitad de las actividades por razones ajenas a JG Geotecnia, el monto por día como penalidad por Stand by será calculado de la siguiente manera:  
M = (Costo personal + equipo) x 24 horas
- Comer:  
 M = Sub total del proyecto en S/., sin I.G.V.
- Inicio de actividades: Al día siguiente de recibida la orden de servicio o previa coordinación posterior a la confirmación del pago.
- Posterior a la aceptación de la presente propuesta, remitir su orden de servicio o contrato al correo [informes@jggeotecniasac.com](mailto:informes@jggeotecniasac.com)

**FORMA DE PAGO:**

Al iniciar servicios	S/ 885.00	50% al inicio de los trabajos.
Al finalizar el servicio	S/ 2,075.00	50% a la entrega de informe final.

**CUENTAS DE PAGO:**

CTA CORRIENTE BANCO CONTINENTAL: 005 1084 20200 202963  
 BCP ANDRÉS SOLÍS: 19939720091028  
 CCI BANCO BCP: 002 19119772095323954  
 CTA DEBICACIONES: 0020307977

Montos superiores a S/. 700.00 están sujetos al 1.2% de deducciones



JG GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

Calle 3, Carabayllo 15318 - Asociación de Propietarios Villa Gloria Mz D L1 2 (Av. Au. Martín Regna con Av. Tupac Amaru)  
 Telefonos: (05) 8566232 RPM: 916333983/ 933390237  
 Email: [informes@jggeotecniasac.com](mailto:informes@jggeotecniasac.com) [www.jggeotecniasac.com](http://www.jggeotecniasac.com)

## Anexo 24: Certificado de Acreditación de Laboratorio Incal

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

## TEST & CONTROL S.A.C.

Laboratorio de Calibración  
 En su sede ubicada en: Calle Condesa de Lemós N° 117, Urb. San Miguelito, distrito de San Miguel, provincia de Lima y departamento de Lima

Con base en la norma  
**NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 24 de marzo de 2019  
 Fecha de Vencimiento: 23 de marzo de 2023



**ESTELA CONTRERAS JUGO**  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 230 2019-INACAL/DA  
 Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°004-16-INACAL-DA  
 Registro N° : LC-016

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y símbolo de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe consultarse en la página web [www.inacal.gob.pe/cro/direccion/otorga/ocro/datos](http://www.inacal.gob.pe/cro/direccion/otorga/ocro/datos) al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-03P-02M Ver. 02

Fecha de emisión: 05 de junio de 2019

## Anexo 25: Norma ASTM C642



Designation: C 642 – 06

### Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 642; 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 (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

#### 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determinations of density, percent absorption, and percent voids in hardened concrete.

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

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

#### 2. Significance and Use

2.1 This test method is useful in developing the data required for conversions between mass and volume for concrete. It can be used to determine conformance with specifications for concrete and to show differences from place to place within a mass of concrete.

#### 3. Apparatus

3.1 *Balance*, sensitive to 0.025 % of the mass of the specimen.

3.2 *Container*, suitable for immersing the specimen and suitable wire for suspending the specimen in water.

#### 4. Test Specimen

4.1 Whenever possible, the sample shall consist of several individual portions of concrete, each to be tested separately. The individual portions may be pieces of cylinders, cores, or beams of any desired shape or size, except that the volume of each portion shall be not less than 350 cm<sup>3</sup> (or for normal weight concrete, approximately 800 g); and each portion shall be free from observable cracks, fissures, or shattered edges.

#### 5. Procedure

5.1 *Oven-Dry Mass*—Determine the mass of the portions, and dry in an oven at a temperature of 100 to 110 °C for not less than 24 h. After removing each specimen from the oven, allow it to cool in dry air (preferably in a desiccator) to a

temperature of 20 to 25 °C and determine the mass. If the specimen was comparatively dry when its mass was first determined, and the second mass closely agrees with the first, consider it dry. If the specimen was wet when its mass was first determined, place it in the oven for a second drying treatment of 24 h and again determine the mass. If the third value checks the second, consider the specimen dry. In case of any doubt, redry the specimen for 24-h periods until check values of mass are obtained. If the difference between values obtained from two successive values of mass exceeds 0.5 % of the lesser value, return the specimens to the oven for an additional 24-h drying period, and repeat the procedure until the difference between any two successive values is less than 0.5 % of the lowest value obtained. Designate this last value *A*.

5.2 *Saturated Mass After Immersion*—Immerse the specimen, after final drying, cooling, and determination of mass, in water at approximately 21 °C for not less than 48 h and until two successive values of mass of the surface-dried sample at intervals of 24 h show an increase in mass of less than 0.5 % of the larger value. Surface-dry the specimen by removing surface moisture with a towel, and determine the mass. Designate the final surface-dry mass after immersion *B*.

5.3 *Saturated Mass After Boiling*—Place the specimen, processed as described in 5.2, in a suitable receptacle, covered with tap water, and boil for 5 h. Allow it to cool by natural loss of heat for not less than 14 h to a final temperature of 20 to 25 °C. Remove the surface moisture with a towel and determine the mass of the specimen. Designate the soaked, boiled, surface-dried mass *C*.

5.4 *Immersed Apparent Mass*—Suspend the specimen, after immersion and boiling, by a wire and determine the apparent mass in water. Designate this apparent mass *D*.

#### 6. Calculation

6.1 By using the values for mass determined in accordance with the procedures described in Section 5, make the following calculations:

$$\text{Absorption after immersion, \%} = [(B - A)/A] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Absorption after immersion and boiling, \%} = [(C - A)/A] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Bulk density, dry} = [A/(C - D)] \cdot \rho = g_1 \quad (3)$$

$$\text{Bulk density after immersion} = [B/(C - D)] \cdot \rho \quad (4)$$

<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 C09.69 on Miscellaneous Tests.

Current edition approved July 1, 2006. Published August 2006. Originally approved in 1969. Last previous edition approved in 1997 as C 642 – 97.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

**Anexo 26: Norma ACI 525.3R-14” Guide for Cellular Concrete Above 50lb/ft(800kg/m3)**

**ACI 525.3R-14**

**Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>)**

Reported by ACI Committee 523

Konstantin Sobolev, Chair

Vivek S. Hindiganavile, Secretary

Felipe Babbitt  
Ronald E. Barnett  
Cesar Chan  
Martin L. Cornelius  
Bill T. Dye  
Fouad H. Fouad

Edward (Naf) M. Glysson  
Milton R. Gomer Jr.  
Ralph D. Gruber  
Werner H. Gumpertz  
Richard E. Klingner  
Leo A. Legatski

David L. Liotti  
Darmawan Ludirjaja  
Barzin Mobasher  
John W. Rose  
Sylvester B. Schmidt  
Cajun Shi

Jennifer E. Tanner  
Silvia C. Valentini  
Bruce Weems  
Peter T. Yen  
Ronald F. Zollo

*This guide addresses the materials, properties, design, production, and placement of cellular concretes with as-cast densities greater than 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>). The usual density range of cellular concrete is 20 to 120 lb/ft<sup>3</sup> (320 to 1920 kg/m<sup>3</sup>). Cellular concretes in the lower portion of this range are used for many applications, such as roof thermal insulation and geotechnical fills. Cellular concretes in the higher density range are used for cast-in-place, precast applications and nonstructural floor fills.*

**Keywords:** cellular concrete; compressive strength; fire resistance; insulating concrete; lightweight concrete; mixture proportioning; modulus of elasticity; precast concrete; recyclability; shear properties; splitting tensile strength; structural design; sustainability; thermal conductivity.

**CONTENTS**

**CHAPTER 1—INTRODUCTION AND SCOPE, p. 1**

- 1.1—Introduction, p. 1
- 1.2—Scope, p. 1

**CHAPTER 2—NOTATION AND DEFINITIONS, p. 1**

- 2.1—Notation, p. 1
- 2.2—Definitions, p. 2

**CHAPTER 3—MATERIALS, p. 2**

- 3.1—Cement and supplementary cementitious materials, p. 2
- 3.2—Water, p. 2
- 3.3—Prefomed foam, p. 2
- 3.4—Aggregates, p. 2
- 3.5—Fibers, p. 3
- 3.6—Chemical admixtures, p. 3

**CHAPTER 4—MIXING AND HANDLING, p. 3**

- 4.1—Storage of materials, p. 3
- 4.2—Mixture proportioning, p. 3
- 4.3—Mixing procedure, p. 3
- 4.4—Conveying, p. 3
- 4.5—Curing, p. 3
- 4.6—Weather considerations, p. 3

**CHAPTER 5—FORMING AND FINISHING, p. 3**

- 5.1—Form systems, p. 3
- 5.2—Finishing, p. 4

**CHAPTER 6—PROPERTIES OF CELLULAR CONCRETE, p. 4**

- 6.1—Physical properties, p. 4
- 6.2—Mechanical performance, p. 6
- 6.3—Durability, p. 7

**CHAPTER 7—DESIGN CONSIDERATIONS, p. 8**

**CHAPTER 8—MIXTURE PROPORTIONING, p. 8**

- 8.1—General, p. 8

*ACI Committee Reports, Guides, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The American Concrete Institute disclaims any and all responsibility for the stated principles. The Institute shall not be liable for any loss or damage arising therefrom.*

*Reference to this document shall not be made in contract documents. If items found in this document are desired by the Architect/Engineer to be a part of the contract documents, they shall be restated in mandatory language for incorporation by the Architect/Engineer.*

*ACI 525.3R-14 supersedes ACI 525.3R-93 and was adopted and published March 2014.*

*Copyright © 2014, American Concrete Institute  
All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, print, write, oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietor.*

## Anexo 27: Norma 523 “Guide for Cast-in-place Low-Density Concrete Cellular”

**ACI 523.1R-06**

# Guide for Cast-In-Place Low-Density Cellular Concrete

Reported by ACI Committee 523

Edward M. “Bud” Glysson  
Chair

Ronald E. Barnst  
Secretary

Delpe Rabbitt  
Bill T. Dye  
Fouad H. Fouad  
Dean M. Golden  
Werner H. Gampertz

Wanyi Hu  
Keith Itzer  
Richard E. Klingner  
Leo A. Legutski  
Daniel L. Little

Francis A. McNeal-Page  
Ali M. Muzari  
Edgar Nasser  
Cajjan Shah

Konstantin Sobolev  
Jennifer U. Tansur  
Peter T. Yin  
Ronald F. Zelle

This guide provides information on the materials, properties, design, proper handling, and applications of cast-in-place low-density cellular concrete having oven-dry densities of 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>) or less. Roof deck systems and geotechnical applications often incorporate these low-density cellular concretes.

**Keywords:** cellular concrete; organosol fill; foaming agent; geotechnical fill; insulating concrete; insulating concrete roof slabs; low-density cellular concrete; low-density controlled low-strength material (LD-CLSM); preformed foam.

### CONTENTS

#### Chapter 1—General, p. 523.1R-2

- 1.1—Definition of cellular concrete
- 1.2—Definition of low-density, controlled low-strength material (LD-CLSM)

#### Chapter 2—Materials, p. 523.1R-2

- 2.1—Cement
- 2.2—Water
- 2.3—Preformed foam
- 2.4—Aggregates
- 2.5—Admixtures
- 2.6—Nonstandard materials
- 2.7—Fiber reinforcement

#### Chapter 3—Physical properties, p. 523.1R-4

- 3.1—As-cast density
- 3.2—Oven-dry density
- 3.3—Compressive strength
- 3.4—Drying shrinkage
- 3.5—Thermal expansion
- 3.6—Walkability
- 3.7—Mechanical attachment
- 3.8—Thermal conductivity
- 3.9—Fire resistance
- 3.10—Permeability
- 3.11—Freezing-and-thawing resistance

#### Chapter 4—Proportioning and testing, p. 523.1R-6

- 4.1—Proportioning
- 4.2—Ingredient compatibility
- 4.3—Cast density
- 4.4—Physical properties

#### Chapter 5—Batching, mixing, placing, finishing, and curing, p. 523.1R-7

- 5.1—Storage of materials
- 5.2—Batching
- 5.3—Mixing
- 5.4—Placing
- 5.5—Finishing
- 5.6—Curing
- 5.7—Placement in cold-weather conditions
- 5.8—Placement in hot-weather conditions

#### Chapter 6—Design considerations for roof decks, p. 523.1R-8

- 6.1—Form systems

ACI Committee Reports, Guides, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The American Concrete Institute disclaims any and all responsibility for the stated principles. The Institute shall not be liable for any loss or damage arising therefrom.

Reference to this document shall not be made in contract documents. If items found in this document are desired by the Architect/Engineer to be a part of the contract documents, they shall be restated in mandatory language for incorporation by the Architect/Engineer.

ACI 523.1R-06 supersedes ACI 523.1R-02 and became effective August 15, 2006.  
Copyright © 2006, American Concrete Institute.  
All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permitted in writing in advance from the copyright proprietor.

- 6.2—Roofing readiness
- 6.3—Load-carrying capacity
- 6.4—Expansion and contraction joints
- 6.5—Relief of vapor pressure
- 6.6—Standard roofing details

**Chapter 7—Geotechnical applications, p. 523.1R-10**

- 7.1—Backfill
- 7.2—Roadway bases
- 7.3—Pipeline and culvert fills
- 7.4—Void fills
- 7.5—Tank fills
- 7.6—Insulation and isolation fills

**Chapter 8—References, p. 523.1R-12**

- 8.1—Referenced standards and reports
- 8.2—Cited references

**CHAPTER 1—GENERAL**

**1.1—Definition of cellular concrete**

Low-density cellular concrete (Fig. 1.1) is defined as concrete made with hydraulic cement, water, and preformed foam to form a hardened material having an oven-dry density of 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>) or less. These mixtures may include aggregate and other material components including, but not limited to, fly ash and chemical admixtures.

This guide provides data and techniques pertaining to the properties and applications of cast-in-place low-density cellular concrete. Common applications of cast-in-place low-density cellular concrete are on roof decks and geotechnical applications. On roof decks, the material provides roofing base, thermal insulation, and drainage slope for flat-roofed industrial and commercial buildings (Fig. 1.2).

In geotechnical applications, the material is applied in thick sections of cellular concrete with low compressive strengths (Fig. 1.3) for the replacement of poor soils, fills for abandoned structures (pipelines), and cellular concrete fills designed, mixed, and placed to meet specific job conditions and functional requirements.

**1.2—Definition of low-density, controlled low-strength material (LD-CLSM)**

Controlled low-strength material (CLSM) is a cementitious material that is in a flowable state at the time of placement, and that has a specified compressive strength of 1200 psi (8.3 MPa) or less at the age of 28 days. This material is discussed further in ACI 229R. Low-density CLSM (LD-CLSM) meets this definition, and has a cast density that is controllable from 20 to 50 lb/ft<sup>3</sup> (320 to 800 kg/m<sup>3</sup>). The quantity of preformed foam in the mixture determines the mixture's final density.

**CHAPTER 2—MATERIALS**

The basic materials in low-density cellular concrete are cement, water, and preformed foam. Because the main ingredient by volume of a low-density cellular concrete mixture is preformed foam, it is critical that all admixtures be compatible with the preformed foam within the specific

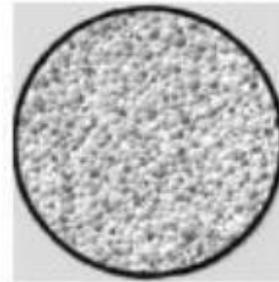


Fig. 1.1—Typical cell structure of cellular concrete.



Fig. 1.2—Roof deck application (click on picture to view video).



Fig. 1.3—Geotechnical application (click on picture to view video).

mixture. Trial mixture tests are needed to determine compatibility and the resulting physical properties. Low-density cellular concrete mixtures may also include supplementary cementitious materials.

**2.1—Cement**

The cement should meet the requirements of ASTM C 150 (portland cement), C 595 (blended cement), or C 1157 (hydraulic cement). Blended cements include cement containing combinations of portland cement, pozzolans, slag, other hydraulic cement, or some combination of these. Blended cement may result in lower rates of early strength

development and should be tested for specific applications. High-early-strength (Type III or HE) cement produces cellular concrete with higher rates of early strength development.

### 2.2—Water

Mixing water for concrete should be clean and free from detrimental amounts of oils, acids, alkalis, salts, organic materials, or other substances deleterious to concrete or reinforcement. Any nonpotable water should be tested for hardness, pH, suspended solids, total salt content, and other characteristics that might affect the preformed foam, the setting time, and the strength of the low-density cellular concrete.

### 2.3—Preformed foam

Preformed foam is created by diluting a liquid foam concentrate with water in predetermined proportions (Fig. 2.1) and passing this mixture through a foam generator. Meter the preformed foam directly into the cement-water slurry at the job site (Fig. 2.2). The density of the preformed foam is typically between 2.5 and 4.0 lb/ft<sup>3</sup> (40 and 65 kg/m<sup>3</sup>).

The foam concentrate should have a chemical composition capable of producing and maintaining stable air cells within the concrete mixture. The air cells should be able to resist the physical and chemical forces imposed during mixing, pumping, placing, and setting of the cellular concrete. If the cellular (air-cell) structure is not stable, it may break down under these forces, resulting in an increased concrete density. Most common proprietary formulations of foam concentrates contain protein hydroxylates or synthetic surfactants. ASTM C 796 provides a standard method for laboratory measurement of the performance of a foaming chemical to be used in producing foam (air cells) for making cellular concrete. ASTM C 869 is a standard specification that covers foaming agents specifically formulated for making preformed foam for use in the production of cellular concrete. This specification provides the means for evaluating the performance of a specific foaming agent. Further information concerning these formulations and the procedures for using them is available from foam manufacturers.

### 2.4—Aggregates

Low-density cellular concrete may include lightweight aggregates such as vermiculite or perlite meeting the requirements of ASTM C 332 Group 1 to lower the slump to achieve steeper roof slopes, and to maintain moisture in dry climates. Wilson (1981) provides additional information on the use of lightweight aggregates used in cellular concrete. Any proposed aggregates should be tested for physical properties, pumpability, and compatibility in trial mixtures.

### 2.5—Admixtures

**2.5.1 Chemical admixtures**—Chemical admixtures, such as water-reducing admixtures and set accelerators, are used with cellular concretes. Water-reducing admixtures can improve compressive strength for special mixtures or applications. Hot water, high-early-strength (Type III or HE) cement, and chemical accelerators can be used singly or in combination



Fig. 2.1—Diluting foam concentrate in water (click on picture to view video).



Fig. 2.2—Metering preformed foam into cement-water slurry (click on picture to view video).

to accelerate setting. Accelerators containing chloride ions should not be used in cellular concrete placed in contact with steel. Chemical admixtures should conform to ASTM C 494 and be used at dosages recommended by the manufacturer or determined by trial mixtures.

Not all chemical admixtures are compatible for use in foamed cellular concrete. Individual manufacturers of foam concentrate should be contacted for information about the compatibility of specific admixtures with their foam concentrates, and trial batches should be used to determine the resulting mixture characteristics.

**2.5.2 Supplementary cementitious materials**—In the production of cellular concrete, supplementary cementitious materials such as fly ash, silica fume, high reactivity metakaolin, or ground-granulated blast-furnace slag (slag cement) are included to reduce bleeding and segregation and to increase strength. Trial batches should be used to confirm the compatibility of the selected foam concentrate with other admixtures, and to help determine the proper admixture dosages and resulting physical properties. Various mineral admixtures may differ considerably in composition, fineness, and other properties. The user should review major fly ash properties—loss on ignition (LOI), cementing activity, and



Fig. 2.3—Typical fiber types.



Fig. 2.4—Fibers in cellular concrete.

water demand of the fly ash—before including fly ash in a low-density cellular concrete mixture. The first of these properties (LOI) is addressed in ASTM C 618. A fly ash with a high LOI (carbon content) may adversely affect the preformed foam by causing an increase in density and loss of yield. If cementing activity is low, the concrete may set too slowly, resulting in a lower strength and a higher density. High water demand may require that the water-cementitious material ratio ( $w/cm$ ) be adjusted to achieve the desired strength.

#### 2.6—Nonstandard materials

Special cements, supplementary cementitious materials, and aggregates may be included as nonstandard materials. Some mine-fill applications may use local materials as aggregates or fillers in low-density cellular concrete to extend the mixture when transportation of materials to remote areas is difficult. The user should pretest nonstandard mixtures for proper development of the desired fill properties.

#### 2.7—Fiber reinforcement

Low-density cellular concrete may include commercially available fibers, such as nylon, polypropylene, polyester, and alkali-resistant glass, as reinforcing materials (Fig. 2.3). The choice of fiber type depends on performance requirements. Cellular concrete's flexural and tensile strength,



Fig. 3.1—Measuring as-cast density (click on picture to view video).

impact resistance, fatigue limit, energy absorption, and spalling resistance can be enhanced through the use of fibers that are known to be sufficiently durable under the expected service conditions. Zollo and Hays (1998) address the material and engineering properties of fiber-reinforced cellular concrete. Fibers can also help control plastic shrinkage cracking (Fig. 2.4).

### CHAPTER 3—PHYSICAL PROPERTIES

#### 3.1—As-cast density

The as-cast density at the point of placement should be determined by calculating the density of samples using a container of known volume and empty weight, as prescribed in applicable sections of ASTM C 796 (Fig. 3.1). Monitoring the as-cast density of the cellular concrete is an important job-site quality-assurance tool for controlling the uniformity and density of the mixture at the point of placement. Procedures for sampling and testing hardened insulating cellular concrete are given in ASTM C 513.

#### 3.2—Oven-dry density

Oven-dry density, evaluated using ASTM C 796 and C 495, determines the unit weight used to define low-density cellular concrete, which by definition has a maximum oven-dry density of  $50 \text{ lb/m}^3$  ( $800 \text{ kg/m}^3$ ).

#### 3.3—Compressive strength

The relationship between compressive strength and as-cast density is an important indicator of the quality of cellular concrete (Kearsley and Wainwright 2002b). The compressive strength of cellular concrete should be evaluated in accordance with ASTM C 796 and C 495. Compressive strength specimens should not be oven-dried. When it is necessary to determine oven-dry density, it is necessary to make companion specimens for this test in addition to those specimens for compressive strength testing. The user should relate compressive strength to the oven-dry density of cellular concrete as indicated in Table 3.1. Table 3.1 is a guideline only, based on Type I cement, no cement substitution, and using local materials. The user should test specific local materials to determine these properties.

For geotechnical applications, the cast density of the material is usually the most significant property and is more important than bearing capacity (unconfined compressive

**Table 3.1—Possible ranges of compressive strength and modulus of elasticity versus oven-dry density for cellular concrete in roof deck applications**

Oven-dry density	Usual range of compressive strength at 28 days			Modulus of elasticity		
	lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	psi	MPa	10 <sup>3</sup> psi	GIpa
20 to 25	320 to 400	70 to 125	0.48 to 0.86	30 to 52	0.27 to 0.36	
25 to 30	400 to 480	125 to 225	0.86 to 1.55	52 to 89	0.36 to 0.61	
30 to 35	480 to 560	225 to 390	1.55 to 2.41	89 to 135	0.61 to 0.93	
35 to 40	560 to 640	390 to 490	2.41 to 3.30	135 to 180	0.93 to 1.26	
40 to 50	640 to 800	490 to 790	3.30 to 5.17	180 to 328	1.26 to 2.21	

**Table 3.2—Physical properties for geotechnical (Engineered Fill 2001)**

Maximum cast density		Minimum compressive strength		Bearing capacity	
lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>2</sup>	MPa	ton/ft <sup>2</sup>	MPa
24	385	10	0.07	0.7	0.07
30	481	40	0.28	2.9	0.28
36	575	80	0.55	5.8	0.56
42	675	120	0.85	8.6	0.82
50	800	160	1.10	11.5	1.10

strength). As a result, these densities and compressive strengths are lower than those for roof deck applications (Table 3.2). If standard materials are used, the density of the low-density cellular concrete has properties that fall within ranges specified by the manufacturer of the foam concentrate. If nonstandard materials are used, special test batches may be required to confirm specific properties. To define the general relationship between cast density and compressive strength for specific applications, one manufacturer has divided the cast density into convenient ranges.

Because the need for controlled low-density fill is usually the main reason for using low-density cellular concrete, compressive strengths and ultimate bearing capacities require only minimum values. For specialized low-density cellular concrete geotechnical applications, other physical properties may be required.

Cellular concrete with a compressive strength below 70 psi (0.48 MPa) has proven satisfactory for special applications such as pipe and wall insulation, tunnel and mine fills, energy absorption or shock mitigation, and backfills in sewer and highway construction per ACI SP-29 (ACI Committees 213 and 523 1971).

### 3.4—Drying shrinkage

Drying shrinkage is not usually critical in cellular concrete used for roof deck insulation or geotechnical applications. The reason for this is that when cellular concrete is used to insulate roof decks, it is not considered to contribute structurally; and when it is used in geotechnical applications, any shrinkage cracking that it might undergo does not significantly reduce bearing capacity. Drying shrinkage is typically 0.30 to 0.60% after 6 months at 50% relative humidity and 73 °F (23 °C), and increases with decreasing density. Some of the effects of drying shrinkage can be mitigated by adding

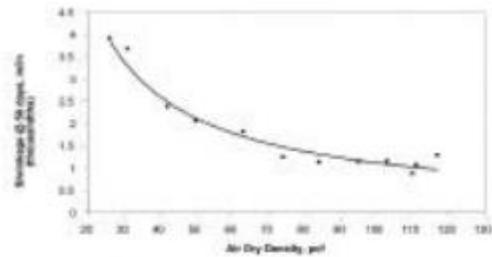


Fig. 3.2—Drying shrinkage versus air-dry shrinkage ( $T$  in  $= 25.4$  mm;  $1$  lb/ft<sup>3</sup> =  $16.0$  kg/m<sup>3</sup>).

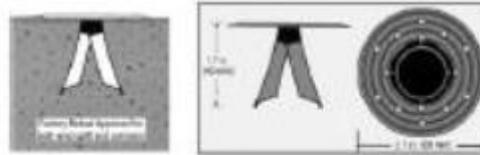


Fig. 3.3—Typical base-sheet nail.

fibers to the mixture (Section 2.7). Figure 3.2 relates drying shrinkage at 56 days to the air-dry density of cellular concrete (ASTM C 157).

### 3.5—Thermal expansion

The coefficient of thermal expansion for cellular concrete varies directly with density, and is typically  $5.0$  to  $7.0 \times 10^{-6}$  per °F ( $9.0$  to  $12.6 \times 10^{-6}$  per °C) as evaluated using a linear thermal expansion test with strain gauges. The designer should consider thermal expansion in applications with significant variation in placing temperatures, operating temperatures, or both. These conditions could occur in applications such as roof decks, power plants, ovens, and steam lines.

### 3.6—Walkability

Walkability, a term developed to describe the ability of low-density concrete to sustain normal construction foot traffic without damage, is best judged by examining surface distress. Walkability improves with increased density. When heavy construction traffic is expected (such as from wheelbarrows, scaffolds, material storage, or pathways), the surface of the roof deck should be protected with wooden boards or by a similar method.

### 3.7—Mechanical attachment

For roof deck applications, the roofing base sheet should be mechanically attached to the low-density cellular concrete roof deck using specifically designed nails or screws (Fig. 3.3). Fastening within 2 to 7 days of concrete placement is possible if the fastener can be installed without shattering or spalling the cellular concrete and if an installed fastener has a minimum specified withdrawal resistance of 40 lb (180 N), which is consistent with required wind-uplift resistance and typical nailing patterns (such as three rows,

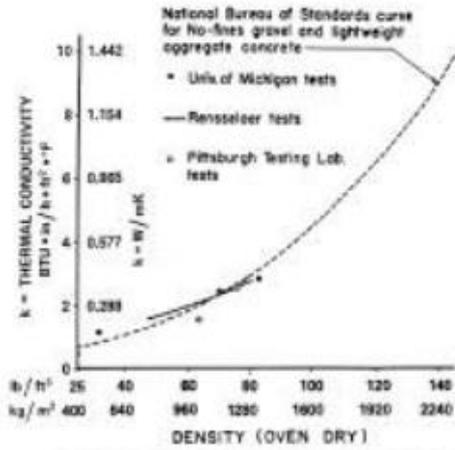


Fig. 3.4—Thermal conductivity versus oven-dry density (National Bureau of Standards 1955).

uniformly spaced over the width of each base sheet, and using a nail spacing of 7-1/2 in. [190 mm] in each row). Because no consensus standard exists, nailing patterns are generally qualified by product- and pattern-specific testing, and are published in evaluation-service reports (ANSI/SPRI FX-1-2001 2001).

### 3.8—Thermal conductivity

The thermal conductivity of cellular concrete should be measured using the guarded hot plate (ASTM C 177) or the heat flow meter (ASTM C 518) methods. A full-scale assembly is measured by a hot box apparatus (ASTM C 1363). Table 3.3 lists typical thermal conductivity values. These values follow the curve of Fig. 3.4, originally produced by the National Bureau of Standards (1955).

### 3.9—Fire resistance

The fire resistance of cellular concrete in a building system is determined by a fire test, during which the cellular concrete element must support its design load, remain within the temperature increase specified by the test standard, and withstand the transmission of flame or hot gasses per ASTM E 119. Information on the demonstrated fire resistance of slabs with cellular concrete and charts for estimating the fire resistance of various two-course roofs is available (Abrams and Gustafsson 1969; Gustafsson et al. 1970).

Fire-resistance tests have been conducted on wall, floor, and roof assemblies of cellular concrete cast over concrete (precast or cast-in-place), galvanized steel, and wood substrates. Some of these assemblies contain expanded polystyrene insulation board sandwiched within the cellular concrete. Recognized laboratories, such as Underwriters Laboratories, Inc., publish construction details for the tested assemblies, including fire ratings in hours evaluated using ASTM E 119.

Table 3.3—Typical thermal conductivity values for oven-dry cellular concrete

Oven-dry density		Thermal conductivity, $k$	
lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	BTU-in./in. <sup>2</sup> ·h·°F	W/(m·K)
20	320	0.23	0.11
30	480	0.31	0.13
40	640	1.11	0.16
50	800	1.36	0.20

### 3.10—Permeability

Generally, low-density cellular concrete has a low coefficient of permeability  $k$  that is constant throughout the lower-density ranges (Kearsley and Wainwright 2001a). The coefficient of permeability is inversely related to the effective confining pressure on the sample. Because low-density cellular concrete is a rigid material rather than a yielding soil, its permeability is measured using a modified triaxial-type test including a confining pressure to prevent direct passage of water (short-circuiting) along the interface between the specimen and the confining membrane. A constant head should be maintained during the test. Reported values range from  $1 \times 10^{-8}$  to  $1 \times 10^{-5}$  mm/s ( $4 \times 10^{-6}$  to  $4 \times 10^{-7}$  in./s) (ASTM D 2434).

### 3.11—Freezing-and-thawing resistance

Freezing-and-thawing resistance of low-density cellular concrete is evaluated using Procedure B (rapid freezing and thawing) of ASTM C 666, with a modified cycling protocol involving a longer thawing period. This modification is necessary because the insulating properties of low-density cellular concrete prevent rapid lowering and raising of the temperatures at the interior of the specimen, and thus prevent completion of a freezing-and-thawing cycle in the originally prescribed maximum 4-hour time period.<sup>7</sup> Low-density cellular concrete intended for exterior exposure should have a relative dynamic modulus of elasticity  $E$  at least 70% of its original value after 120 cycles when tested according to Procedure B of the modified ASTM C 666. Because the freezing-and-thawing resistance of low-density cellular concrete increases with increasing density, cellular concrete within 2 to 3 ft (0.6 to 1 m) of a surface subjected to cycles of freezing and thawing while exposed to water must have a density of at least 36 lb/ft<sup>3</sup> (575 kg/m<sup>3</sup>). MacDonald et al. (2004) provide an evaluation of the freezing-and-thawing performance and testing of cellular concrete.

## CHAPTER 4—PROPORTIONING AND TESTING

### 4.1—Proportioning

Guidance for mixture proportioning is generally available from the manufacturer of foam concentrates. The mixture proportion specifies the range of proportions of the various ingredients needed to attain the desired physical properties (density and compressive strength). The user should test mixture proportions when nonstandard materials or special applications are involved.

<sup>7</sup>Personal correspondence from R. L. Bidwell, University of Illinois, to Charles Culp, of America, and report, "Stress-Strain Testing of Low-Density, Expanded Lightweight Concrete," Apr. 2, 1975.

#### 4.2—Ingredient compatibility

Each ingredient that does not meet standard specifications for mixture compatibility should have the cellular concrete physical properties checked in actual mixtures according to ASTM C 796 and C 869. Cements may have significant strength variations within standard specification limits. Mill reports and test batches are useful for reviewing the product differences between cement and fly ash sources. Kearsley and Waterwright (2002a) demonstrate how to optimize fly ash content for strength.

#### 4.3—Cast density

Measuring the cast density at the point of placement is the simplest and most convenient test for monitoring the quality of the placed material. Cylinder specimens for compressive strength tests, usually measuring 3 x 6 in. (76 x 150 mm), should be cast at the same time that periodic density tests are performed. These samples should be covered and stored in a protected area for at least 24 hours before they are transported to the testing laboratory for testing in accordance with ASTM C 796.

#### 4.4—Physical properties

For standard mixtures made from standard materials, cast density determines the physical properties of the cellular concrete. It is not necessary to repeat the specialized tests of materials for each project. These specialized tests include permeability and freezing-and-thawing resistance; they may require up to 3 months to complete. Strength and density determinations are often sufficient. If unique applications or nonstandard materials are used, special tests may be required. A special test is one related to the performance of the material in the specialized application. Legabki (1994) provides a detailed review of testing the properties of cellular concrete.

### CHAPTER 5—BATCHING, MIXING, PLACING, FINISHING, AND CURING

#### 5.1—Storage of materials

All materials should be stored in a manner to prevent deterioration and contamination by foreign matter.

#### 5.2—Batching

Materials for low-density cellular concrete are typically proportioned and batched on site, directly into a specialized mixer. The cement, fly ash, and other dry materials are weighed on a calibrated scale, and the mixing water is metered. The preformed foam is metered into the mixture through a calibrated nozzle. The accuracy of each batching device is critical to the final mixture density and its subsequent reproducibility. Each batching device (scales, water meter, foam-generating nozzle) should be calibrated before starting a project, and during a project if there is a reason to believe it is necessary.

#### 5.3—Mixing

Mechanically mixing cellular concrete produces a uniform distribution of materials with a suitable consistency at the specified as-cast density. Excessive mixing should be avoided, as it may cause changes in density and consistency.

In batch mixing, the mixer should be charged with mixture water and dry ingredients, followed by special admixtures and the preformed foam. The as-cast density should be monitored at the point of placement every 30 to 60 minutes based on consistency of results. Allowance should be made for any density changes that result from placing methods or conditions, such as pumping distances and extreme weather conditions. Ingredients should be added in the proper proportions and sequence during continuous mixing operations. This is necessary to ensure reasonable uniformity and achieve the required as-cast density at the point of placement.

Standard concrete mixing equipment is normally not acceptable for low-density cellular concrete mixtures because the action of the mixer does not combine the ingredients with the correct speed and mixing action. A high-speed paddle mixer is preferable because it properly combines the ingredients and blends the preformed foam rapidly and efficiently to produce a uniformly consistent low-density cellular concrete mixture. Other mixers and processes that produce uniform mixtures include high-shear mixers.

#### 5.4—Placing

Cellular concrete should be placed by a progressive-cavity pump or a peristaltic pump. The pump hose should be large enough in diameter (usually 2 to 2.5 in. [51 to 64 mm]) to ensure uniform delivery of cellular concrete at the point of placement without damage to the structure or substrate. Low-density cellular concrete can be pumped over long distances (over 1500 ft [460 m]). This is a major advantage for low-density cellular concrete over other materials and placing methods, and is important on large, congested projects with difficult access.

#### 5.5—Finishing

For roof deck applications, cellular concrete should be finished to the slope and thickness specified on the project drawings. A minimum slope for proper roof drainage is 2% (equivalent to 1/4 in./ft [21 mm/m]). It is possible to place this material on steeper slopes. The cellular concrete surface is usually finished with a darby or screeded to the specified slope (Fig. 5.1). The surface should be smooth and free from ridges, projections, and depressions that might adversely affect the roofing membrane.

For geotechnical applications, lift thicknesses ranging from 2 to 4 ft (0.6 to 1.2 m) are typical. The lift thickness is job-specific and related to the project layout and casting procedure. A greater lift thickness is acceptable for specific job conditions. The heat of hydration developed within the mass, the material density, the cement content, and the ambient temperature also influence the lift thickness. Thinner castings reduce the heat buildup from hydration of the cement. It is desirable to cast material in a formed area within 1 or 2 hours to permit an undisturbed setting. In general, low-density cellular concrete should be cast to final grade with a tolerance of 0.1 ft (0.03 m). It is not necessary to scarify intermediate lift surfaces. A darby finish is acceptable for the final lift.

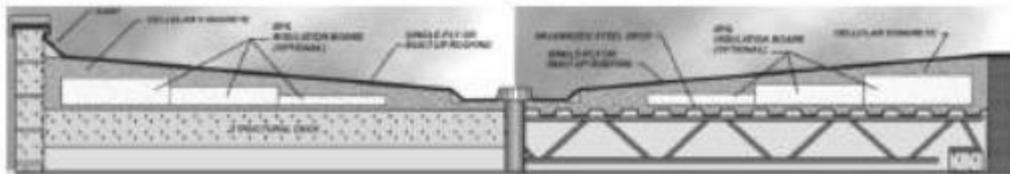


Fig. 5.1—Typical roof deck cross sections.

### 5.6—Curing

Water curing or use of a curing compound is advisable for roof deck applications when rapid drying is anticipated. Curing compounds should be compatible with the final roofing system. Traffic should not be permitted on freshly placed cellular concrete roof decks until adequate walkability (Section 3.6) is demonstrated. Check with the manufacturer of foaming agent for specific recommendations to ensure compatibility with subsequent roofing membrane material.

### 5.7—Placement in cold weather conditions

When ambient temperatures below 32 °F (0 °C) are predicted within 8 hours after placement, special precautions should be taken, including the use of Type III (high early-strength) cement or Type I cement with heated mixing water to increase the initial internal temperature of the concrete and accelerate the setting time. Because of the relatively high cement content and insulation properties of cellular concrete, these precautions are usually adequate. Cellular concrete should not be mixed or placed during freezing weather, rain, or snow, or when standing water, snow, or ice is present on the deck. The foaming agent manufacturer should be consulted for specific cold weather placement recommendations.

### 5.8—Placement in hot weather conditions

When expecting ambient temperatures above 100 °F (38 °C) during casting, the following special precautions should be considered:

- Casting before dawn will avoid the heat of the day;
- Vermiculite or perlite aggregate may be used as an additive to maintain moisture in the mixture;
- Fiber reinforcement may be incorporated in the mixture to minimize plastic-shrinkage cracking;
- The roof deck may be moist-cured by fogging after casting; and
- The roofing membrane may be installed as soon as the moisture content is deemed acceptable for the roofing application. The installation may begin as soon as 2 days after casting.

The foaming agent manufacturer should be consulted for specific hot weather application recommendations.

## CHAPTER 6—DESIGN CONSIDERATIONS FOR ROOF DECKS

### 6.1—Form systems

A common application of cellular concrete is as insulation for concrete roof deck fills. The cellular concrete is cast over the structural deck system of the building. Typical deck

types include corrugated or fluted steel, structural concrete, and wood.

**6.1.1 Steel**—Casting cellular concrete against permanent, uncoated structural metal formwork is not good concrete construction practice. Steel embedded in cellular concrete should be protected from corrosion in a manner consistent with its service environment (refer to ACI 222R).

Corrugated or fluted steel deck should be galvanized, coated, or both to meet the requirements of ASTM A 653. Steel decks are designed for gravity loads by selecting an appropriate steel gauge and deck profile, depending on the load and the span. The deck should be attached to the framing by welds or mechanical fasteners according to the deck manufacturer's recommendations and as required to resist the specified loadings, as determined by the designer with due consideration to diaphragm strength, uplift, and other structural design requirements. The steel sheets should be vented, with bottom slots having an open area of at least 0.5% of the plan area (Fig. 6.1). Slide-lap embossments improve bond, which is important under seismic loading and wind uplift.

**6.1.2 Structural concrete**—A structural concrete base for cellular concrete (Fig. 6.2), whether cast-in-place or precast, may require venting for moisture relief that can be achieved with unsealed joints between precast structural concrete elements or by venting (refer to Fig. 6.3).

**6.1.3 Wood**—Cellular concrete is cast over structural wood roof decks to produce the proper slope for drainage and for thermal insulation (Fig. 6.4). A waterproof membrane, such as an asphalt-saturated felt, should be securely fastened to the wooden deck with the edges sealed before the cellular concrete fill is placed.

### 6.2—Roofing readiness

A roof membrane can generally be installed 2 to 5 days after a cellular concrete roof deck has been cast if the moisture content is deemed to be acceptable for roofing membrane application. The surface hardness of the cellular concrete should be adequate to withstand foot traffic and other light roofing operations without damage. The screeded surface of the cellular concrete should be smooth and free from ridges or depressions that would adversely affect the integrity of the roofing membrane. Ridges should be scraped flat. Roofing base sheets are commonly attached to the roof deck by nailing. The roofing membrane is commonly attached to the base sheet by mopping or torch-heating. Other roofing-attachment systems should be compatible with



Fig. 6.1—Casting cellular concrete over vented steel deck.



Fig. 6.2—EPS insulation board placed in cellular concrete slurry over structural concrete deck.

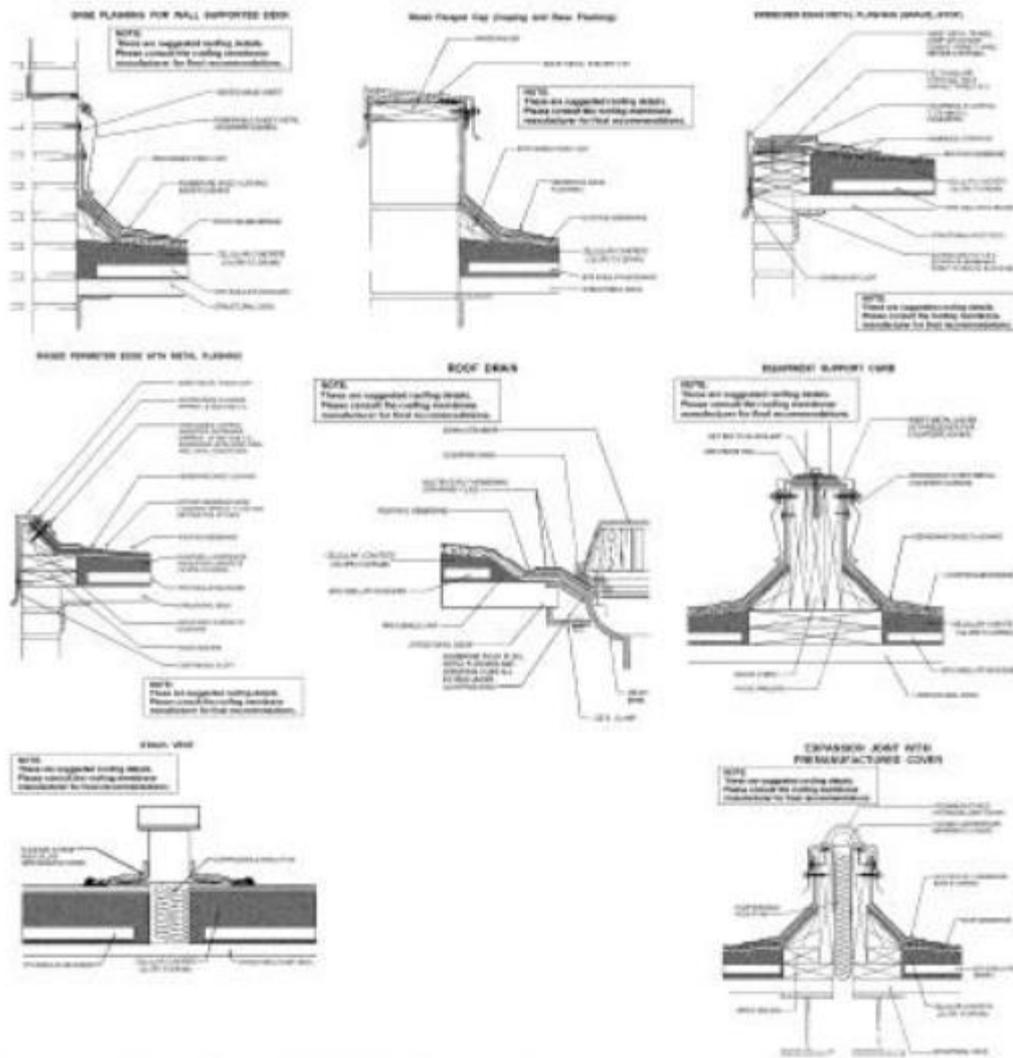


Fig. 6.3—Typical roofing details for cellular concrete roof decks.



Fig. 6.4—Wood frame roof deck substrate from below.

the cellular concrete and with the substrate (the structure that provides the required wind uplift resistance).

### 6.3—Load-carrying capacity

Specific structural design requirements for cellular concrete depend on the type of substrate used. The most common substrates are galvanized steel and precast or cast-in-place concrete. Although cellular concrete is not designed for composite action with the substrate, it provides additional stiffness. Designers should obtain information from substrate manufacturers regarding the ultimate flexural capacities and in-plane stiffness and strength characteristics of various systems.

### 6.4—Expansion and contraction joints

Cellular concrete exhibits drying shrinkage when placed in large monolithic placements such as roof decks. Because shrinkage of cellular concrete is much greater than its thermal expansion, expansion joints are generally not necessary. Expansion joints are required, however, in a cellular-concrete roof deck at expansion joints in the structural system, and at changes in the direction or type of substrate material.

### 6.5—Relief of vapor pressure

Under certain temperature conditions, moisture in cellular concrete or moisture intruding from external sources may cause undesirably high vapor pressure under roofing membranes covering a roof deck system. The vapor pressure can be reduced by postponing the application of the roofing membrane until the cellular concrete moisture content is at an acceptable level. A nailed base sheet, combined with perimeter venting at the intersection detail between the edge flashing and the counter-flashing, also helps reduce the vapor pressure.

The rate of drying of cellular concrete is a function of placing conditions, density and thickness, substrate, venting, and environmental conditions. The overall roof deck system, building use, and climatic conditions should be evaluated before specific recommendations regarding venting are made. This evaluation is especially important in re-roofing applications where dry portions of the existing roof



Fig. 7.1—Geotechnical application under a bridge structure with mechanically stabilized earth (MSE) containment walls.



Fig. 7.2—Geotechnical application at bridge widening approach.

membrane and insulation can be left in place and the cellular concrete cast over it.

### 6.6—Standard roofing details

For information on generally accepted roofing details (Fig. 6.3), refer to *NRCA Roofing and Waterproofing Manual* (The National Roofing Contractors Association 2001).

## CHAPTER 7—GEOTECHNICAL APPLICATIONS

In most applications, the major advantage of cellular concrete is its low density. Other advantages include ease of excavation (a requirement in some applications) and more controllable strength as compared with standard CLSM.

### 7.1—Backfill

Low-density cellular concrete placed around and next to structures such as bridge abutment and retaining and building walls significantly reduces the dead load over poor soils (Fig. 7.1 and 7.2).

Once low-density cellular concrete sets, it does not exert active lateral pressure against the wall structure, as does standard granular backfill. Because low-density cellular

concrete is cementitious, it does not require compaction, and because it has low density, settlement is minimal.

Bridge approach applications may often be from 10 to 40 ft (3.0 to 12 m) or more in height. A low-density fill that does not require compaction is often a preferred alternative to heavy, compacted fill.

Most of the fill thickness of cellular concrete should be cast at a density of 30 lb/ft<sup>3</sup> (480 kg/m<sup>3</sup>). The top 2 to 3 ft (610 to 910 mm) is usually 42 lb/ft<sup>3</sup> (675 kg/m<sup>3</sup>) cellular concrete, which has excellent resistance to freezing and thawing and provides a solid base for an approach slab or pavement structure.

### 7.2—Roadway bases

Low-density cellular concrete is often used for a roadway base over poor soil. The use of the material becomes even more important when raising or widening the roadway over poor soil, and added weight and settlement are concerns for the designer (Fig. 7.3). These designs often involve load-balancing and buoyancy calculations. Specific site conditions may require the development of special drainage details.

When constructing a roadway over poor soil, a geotextile fabric should be placed after the excavation is complete. The low-density cellular concrete should be cast directly onto the geotextile fabric. This fabric acts as a tension skin and, in conjunction with the low-density cellular concrete, can span localized settlements up to 3.2 ft (1 m).

### 7.3—Pipeline and culvert fills

Low-density cellular concrete is often a supporting fill in pipeline applications over poor soils or a containment fill cast around these drainage structures to provide support and stability. Compaction is not necessary as it would be with a granular fill.

Culvert applications include concrete box culverts, segmented or pipe sections, and metal culvert systems including multi-plate culverts of significant size (Fig. 7.4).

Low-density cellular concrete reduces the dead weight on the culvert. The cementitious nature of all CLSM mixtures provides erosion control, which is an advantage over standard granular fills that erode when subjected to moving water. These mixtures may need to be evaluated for freezing-and-thawing resistance.

Placing low-density cellular concrete on both sides of the culvert simultaneously minimizes eccentric loading. In addition to supporting the culvert from below, the low-density cellular concrete cast around these drainage structures provides lateral support because compaction is not necessary.

### 7.4—Void fills

Low-density cellular concrete is commonly used as a void fill when the reduction of dead load is critical. It is also applicable to mass structures where access may be limited and flowability is important. Void-fill applications include pipeline abandonment, filling around excavations, annular space fills between slip-lined pipes, and structures that are to be abandoned rather than demolished (Fig. 7.5).



Fig. 7.3—Geotechnical roadway base at bridge approach.



Fig. 7.4—Geotechnical fill around steel culvert under existing bridge.



Fig. 7.5—Filling abandoned swimming pool with low-density concrete.

Because every void-fill application is unique, each one should be examined for special conditions. To contain the easy-flowing low-density cellular concrete, the entire fill area should be sealed, including pipes, drains, and structural discontinuities such as holes in walls or under footings. Lift heights for void fills may be greater than normal if the low-

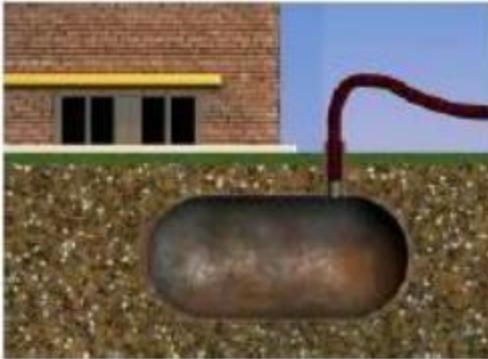


Fig. 7.6—Filling abandoned underground fuel- or oil-storage tank with cellular concrete (click on picture to view video).



Fig. 7.7—Cellular concrete as wall fill with stay-in-place forms.

density cellular concrete can be reasonably contained by earth, forms, or a structure.

#### 7.5—Tank fills

An acceptable abandonment alternative to the excavation and removal of underground fuel- or oil-storage tanks required by many agencies is a low-density cellular concrete tank fill (Fig. 7.6). Federal regulations refer to low-density cellular concrete fills as an “inert substance.”

#### 7.6—Insulation and isolation fills

The discrete air-cell structure within the cementitious matrix of low-density cellular concrete provides thermal-insulation and physical shock-mitigation properties to this material for applications such as walls (Fig. 7.7), roofs, and other similar structures. Giannakou and Jones (2004) describe the use of cellular concrete to thermally insulate foundations and slabs.

## CHAPTER 9—REFERENCES

### 9.1—Referenced standards and reports

The standards and reports listed below were the latest editions at the time this document was prepared. Since frequent revisions occur with some of these documents, the reader is advised to contact the appropriate sponsoring group for reference to the latest version.

#### American Concrete Institute

- 222R Protection of Metals in Concrete Against Corrosion
- 229R Controlled Low-Strength Materials

#### ASTM International

- A 653 Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process
- C 150 Specification for Portland Cement
- C 157 Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
- C 177 Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot-Plate Apparatus
- C 332 Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
- C 494 Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- C 495 Test Method for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete
- C 513 Test Method for Securing, Preparing, Obtaining and Testing Specimens of Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength
- C 538 Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus
- C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements
- C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- C 666 Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- C 796 Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam
- C 869 Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete
- C 989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars
- C 1157 Performance Specification for Hydraulic Cement
- C 1240 Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- C 1363 Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus
- D 2434 Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

E 119 Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials

The above publications may be obtained from:

American Concrete Institute  
3880 Country Club Drive  
Farmington Hills, MI 48331  
www.concrete.org

ASTM International  
100 Barr Harbor Drive  
West Conshohocken, PA 19428-2959  
www.astm.org

### 8.2—Cited references

Abrams, M. S., and Gustaferru, A. H., 1969, "Fire Endurance of Two-Course Floors and Roofs," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 66, No. 2, Feb., pp. 92-102.

ACI Committees 213 and 523, 1971, *Lightweight Concrete*, SP-29, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 321 pp.

ANSI/SPR1 FX-1-2001, 2001, "Standard Field Test Procedure for Determining the Withdrawal Resistance of Roofing Fasteners."

Engineered Fill, 2001, "Elastizell E1 (Engineered Fill) Geotechnical Applications," Elastizell Corp., 16 pp.

Giannakou, A., and Jones, M. R., 2004, "Thermally Insulating Foundations and Ground Slabs Using Highly-Foamed Concrete," *ASTM Special Technical Publication* No. 1459, pp. 100-112.

Gustaferru, A. H.; Abrams, M. S.; and Litvin, A., 1970, "Fire Resistance of Lightweight Insulating Concretes," *Research and Development Bulletin* No. RD004B, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 12 pp.

Kearsley, E. P., and Wainwright, P. J., 2001a, "Porosity and Permeability of Foamed Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 31, No. 5, May, pp. 805-812.

Kearsley, E. P., and Wainwright, P. J., 2001b, "The Effect of High Fly Ash Content on the Compressive Strength of Foamed Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 31, No. 1, Jan., pp. 105-112.

Kearsley, E. P., and Wainwright, P. J., 2002a, "Ash Content for Optimum Strength of Foamed Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 32, No. 2, Feb., pp. 241-246.

Kearsley, E. P., and Wainwright, P. J., 2002b, "The Effect of Porosity on the Strength of Foamed Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 32, No. 2, Feb., pp. 233-239.

Legatski, L. A., 1994, "Chapter 49—Cellular Concrete," *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*, ASTM STP 169C, ASTM International, West Conshohocken, Pa.

MacDonald, W.; Pospisil, J.; and Tikalsky, P. J., 2004, "A Method for Assessment of the Freeze-Thaw Resistance of Preformed Foam Cellular Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 34, No. 5, May, pp. 889-893.

National Bureau of Standards, 1955, "Thermal Conductivity Versus Oven-Dry Density," *Technical News*, V. 39, Bulletin 39, No. 3, Mar., U. S. Department of Commerce.

National Roofing Contractors Association, 2001, *The NRCA Roofing and Waterproofing Manual*, 5th Edition, Rosemont, Ill.

Wilson, H. S., 1981, "Lightweight Aggregates—Vermiculite, Perlite, Pumice—for Insulating Concretes," *CANMET Report* No. 81-15E, Energy Mines and Resources Canada, Ottawa, 28 pp.

Zollo, R. F., and Hays, C. D., 1998, "Engineering Material Properties of a Fiber-Reinforced Cellular Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 95, No. 5, Sept.-Oct., pp. 631-635.