



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

“PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO
CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION”.

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Ricardo Daniel Pacheco Tinoco.

ASESOR:

Dr. Gerardo Enrique Cancho Zúñiga.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Edificaciones Especiales

LIMA – PERÚ

2018

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don(a) Rodrigo Tenorio Ricardo Daniel.

cuyo título es: "Propiedades Físico-Mecánicas del concreto Celular con Poliestireno Expandido y su aplicación en la industria de la Construcción".

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 16 (número) Distinto (letras).
Trujillo (o Filial) 07 de 07 del 2018



PRESIDENTE



SECRETARIO

Mg. Ing. Marquina Callacna, Rodolfo Ricardo

Mg. Ing. Rios Dias, Hugo Orlando



VOCAL

Dr. Ing. Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	---------------------	--------	---------------------------------

DEDICATORIA

A JEHOVA DIOS: por iluminarme cada día y brindarme de salud y darme fuerzas necesarias para cumplir mis objetivos; **A MIS PADRES: MAXIMO Y MAVILA** por su apoyo y consejos diarios a ser una mejor persona y un buen profesional; **A MI ESPOSA E HIJO: LAURA AMPARO Y DANIEL ALEXSANDER:** que es el motivo, mi fuerza, mi inspiración a seguir adelante y ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad César Vallejo por enseñarme lo largo del tiempo académico de mi carrera, a mis profesores que con su experiencia contribuyeron al fortalecimiento de mis conocimientos como ingeniero y también a mis asesores los Ingenieros: Gerardo Enrique Cancho Zúñiga y Jorge Luis Alban Contreras.

Por otro lado, también demuestro mi agradecimiento con la empresa constructora CORBAZ SRL. Quién me brindó la oportunidad y tiempo necesario para el proceso de esta investigación.

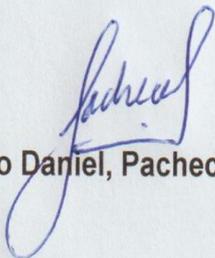
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ricardo Daniel Pacheco Tinoco con DNI N. ° 44857877, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información Aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, junio del 2018


Ricardo Daniel, Pacheco Tinoco.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado, presento ante ustedes la Tesis titulada “PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION”. Con la finalidad de cumplir con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Esperando satisfacer con los requisitos de aprobación.

El Autor

INDICE

Pagina de jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Declaración de autenticidad	v
Presentación	vi
Índice	vii
Resumen	xii
Abstrac	xiii
I.-INTRODUCCIÓN	15
1.1.- Realidad Problemática.	16
1.2.- Trabajos Previos.	17
1.3.- Teorías Relacionadas al Tema.....	18
1.3.1 Historia del Concreto.	18
1.3.2 Tipos de Concreto	20
1.3.5 Concreto celular.....	21
1.3.6 Materiales para concreto celular.....	22
1.3.7 Concreto celular.....	23
1.3.8 Estructuras donde se utilizó concreto celular.	27
1.3.9 Ensayos Mecánicos.	30
1.4 Formulación del Problema	33
1.4.1 Problema General.	33
1.4.1 Problema específicos.	33
1.5 Justificación del Estudio	33
1.6 Hipótesis General.....	34
1.6.1 Hipótesis específica.	34
1.7 Objetivos.....	35
1.7.1 Objetivos Generales.	35
1.7.2 Objetivos Específicos.	35
II. MÉTODO.....	36
2.1 Diseño de Investigación	37

2.2 Variables, Operacionalización.....	37
2.2.1 Variables	37
2.3 Población y Muestra.....	39
2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez Y Confiabilidad.....	40
2.5 Métodos de Análisis de Datos.....	42
2.5.1 Análisis descriptivo.....	42
2.5.2 Análisis ligados a las hipótesis.....	42
2.6 Aspectos éticos.....	42
III. RESULTADOS.....	43
3.1 Analisis del Concreto Celular:	44
3.1.1 Generalidades	44
3.1.2 Materiales y ensayos.....	44
IV. DISCUSION.....	58
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES.-.....	63
VII. REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	68
Anexo 1_Diseño de mezcla considerando 15% de porcentaje en peso de poliestireno.....	69
Anexo 2_Diseño de mezcla considerando 20% de porcentaje en peso de poliestireno.....	76
Anexo 3_Diseño de mezcla considerando 25% de porcentaje en peso de poliestireno.....	83
Anexo 4_Ensayo de compresión considerando 15% de porcentaje de peso de poliestireno.....	91
Anexo 5_Ensayo de compresión considerando 20% de porcentaje de peso de poliestireno.....	95
Anexo 6_Ensayo de compresión considerando 25% de porcentaje de peso de poliestireno.....	99
Anexo 7_Ensayo de para determinar el módulo de elasticidad.....	103
Anexo 8_Ensayo de para determinar propiedades térmicas	105
Anexo 9_Costos y presupuestos de vivienda multifamiliar típica.....	116
Anexo 10_Certificado de calibración de la prensa hidráulica.....	122
Anexo 11Ficha Técnica de las perlas de poliestireno expandido.....	126
Anexo 12_Informe de calidad del cemento.....	128

Anexo 13_Ficha Técnica del ladrillo pandereta Acanalada.	130
Anexo 14	
Anexo 15_Matriz de Consistencia	154
Anexo 16_Planos	
Anexo 17_Panel Fotográfico	160

Indice de tablas

Tabla 1	Resistencia del concreto según RNE	21
Tabla 2.	Propiedades de la arena	23
Tabla 3.	Concreto Celular a base de Poliestireno Expandido	23
Tabla 4.	Resistencia a la compresión	32
Tabla 5	Operacionalización. Autor: proyectista, Fecha: 12/06/2017,	38
Tabla 6		44
Tabla 7	Cantidad de materiales para 1 m3 de mezcla a ensayar".	44
Tabla 8	Dosificación de materiales por bolsa de cemento.	51
Tabla 9	Dosificación de materiales por pie cúbico (P3).	51
Tabla 10	Resultados de roturas Elaboración Propia.	51
Tabla 11	Resultados de densidad del concreto celular.	52
Tabla 12	Resultados de densidad del concreto celular.	56
Tabla 13	Variación de temperatura (ΔT °C Panel) en tabiques según %Peso de poliestireno en material de tabiques de ensayo".	56
Tabla 14	Cuadro comparativo de precios por m2	57
Tabla 15	Resultados de roturas Elaboración Propia.	59
Tabla 16.	Cronograma de actividades	65

Índice de figuras

Figura 1. Panteón de Agripa	19
Figura 2. Palomino Sheyla, Ramos Liz, Zapata Yisell. Trabajo De Investigación Empresa: Industrias Rayben. Universidad de Lima	25
Figura 3 Composición del estireno (monómero) que da origen al poliestireno	25
Figura 4: Símbolo de poliestireno reciclable	26
Figura 5 Envases de yogurt	27
Figura 6 Máquinas de afeitar	27
Figura 7 Cajas de CD	27
Figura 8 Recipientes	27
Figura 9 Juguetes	27
Figura 10 Contenedores	27
Figura 11.	28
Figura 12 Plataforma de perforación Hibernia	29
Figura 13 Cimentación de la plataforma Hibernia parcialmente hundida	29
Figura 14 Aislamiento térmico características físicas y químicas.	32
Figura 18	45
Figura 19	49
Figura 20	49
Figura 21	50

Indice de graficos

Grafico 1	Clasificación concreto celular.	44
Gráfico 2	Elaboración Propia. Resistencia a la compresión según variación de % en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.	52
Gráfico 3	Resistencia a la compresión según variación e 15% en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.	53
Gráfico 4	Resistencia a la compresión según variación de 20% en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.	53
Gráfico 5	Resistencia a la compresión según variación de 25% en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.	54
Gráfico 6	Curvas de aislamiento térmico de los paneles. Para temperaturas máximas del horno cercanas a los 600°C, la temperatura más alta alcanzada por la cara externa de los paneles fue de 119°C (M3) muy por debajo de los 160°C que como máximo establecen las normas europeas UNE-EN 1363-1:2015 o UNE-EN1363-2: 2000.	56

RESUMEN

La presente tesis investiga el comportamiento del material denominado “concreto celular” que es fabricado en base de poliestireno expandido, cemento, arena y agua; analizando sus propiedades físico-mecánicas. Se analizaron los materiales utilizados en la fabricación para luego realizar un diseño de mezcla según lo que indica la norma ACI 523, esto incluyó efectuar ensayos de laboratorio. Este concreto u hormigón, al no tener la presencia de agregado grueso (piedra), los valores de resistencia a la compresión disminuyen respecto del concreto convencional al igual que su densidad que puede llegar a ubicarse en un rango entre 320 a 1920 kg/m³. En su estado endurecido se sometió a los ensayos de compresión y térmico de tal manera de cuantificar las propiedades y características que presenta este tipo de concreto u hormigón.

Este tipo de concreto solo se puede utilizar en elementos no estructurales ya que al no tener mucha resistencia no se puede utilizar en columnas, vigas, losas, cimentaciones u otros similares. Se recomienda, por tanto, en la fabricación de tabiques de separación de ambientes, veredas peatonales u otros elementos no resistentes.

PALABRAS CLAVES: Físico-mecánicas, Polietileno Expandido. Concreto celular, Industria.

ABSTRACT

This thesis investigates the behavior of the material called "cellular concrete" that is manufactured on the basis of expanded polystyrene, cement, sand and water; analyzing its physical-mechanical properties. The materials used in the manufacturing were analyzed to then make a mix design according to the ACI 523 standard, this included carrying out laboratory tests. This concrete or concrete, not having the presence of coarse aggregate (stone), the values of resistance to compression decrease with respect to conventional concrete as well as its density that can be located in a range between 320 to 1920 kg / m³. In its hardened state, it underwent compression and thermal tests in order to quantify the properties and characteristics of this type of concrete or concrete.

This type of concrete can only be used in non-structural elements since it does not have much resistance and can not be used in columns, beams, slabs, foundations or similar. It is recommended, therefore, in the manufacture of partition walls for environments, pedestrian paths or other non-resistant elements.

KEYWORDS: Physical-mechanical, Expanded Polyethylene. Cellular concrete, Industry.

I.-INTRODUCCIÓN

1.1.- Realidad Problemática.

El concreto u hormigón convencional tiene una densidad aproximado de 2350 kg/m³. Este valor de densidad o peso específico es lo que los diseñadores de la industria de la construcción consideran elevado, siendo el origen de un aumento en los valores de carga muerta especialmente en estructuras en las que se tiene que considerar un contrapiso. Este elemento (contrapiso) es necesario para conseguir el nivel de horizontalidad requerido para el acabado final de pisos. En este caso, dicho volumen de contrapiso de concreto se transforma en una carga distribuida que es transmitido a las vigas que soportan al techo luego pasa a las columnas y finalmente se suma al peso que resistirá la cimentación en relación con el tipo de suelo sobre la que esta se apoya. El diseñador busca disminuir el valor de carga muerta y no cargar en demasía a la estructura que soportan dichas edificaciones o construcciones.

Según Masloff & Palladino, 2012. El concreto convencional en uno de los materiales más requeridos en el ámbito de la construcción al año se vacean más de 6 millones de m³ . En el Perú, sobre todo en la construcción de edificaciones urbanas, la realidad muestra que el uso de concreto convencional (cemento, agregado fino, agregado. grueso y agua), en todos los elementos de las mencionadas edificaciones es lo más común en la tecnología constructiva en todo el territorio, miles de metros cúbicos son preparados y utilizados por lo que conviene el desarrollo de nuevos materiales basados en el cemento para aligerar el peso muerto de dichas edificaciones.

Según Enrique Riva López, 2015. El concreto es uno de los materiales más nobles y versátiles de la industria de la construcción. Esta versatilidad permite que se use en todo tipo de formas estructurales, así como en los climas más variados. En toda estructura el concreto u hormigón es el material base no teniendo excepciones, es así que se usa en proyectos de pavimentación, saneamiento, hidráulica y electricidad.

En la actualidad el mercado inmobiliario se ha vuelto más exigente respecto de lo que buscan los clientes quienes se orientan a productos que muestren apego a la calidad y con precios razonables obligando a los diseñadores a buscar nuevos materiales y tecnologías en el mercado nacional.

La presente investigación muestra que existe una alta probabilidad del uso del concreto celular al tener este material menos peso específico y densidad con lo cual se estaría aligerando el peso muerto de la estructura. Se analiza el concreto celular como material y por tanto se realizaron ensayos de laboratorio para probar la hipótesis general e hipótesis específicas.

Cabe mencionar que en esta investigación se ha enfatizado en los ensayos al material y la interpretación de los resultados de laboratorio para verificar y analizar las propiedades que tiene este concreto celular.

1.2.- Trabajos Previos.

Como antecedentes citaremos las siguientes investigaciones:

Según, Arbito Contreras. (2016). en su tesis de grado de Magister “Concreto Celular para uso Estructural”. Ecuador. Las viviendas son una necesidad en la población, y ante recursos económicos al tope, el uso de concreto celulares brinda una alternativa que permite hacer que más familias accedan a una vivienda de calidad y a costos accesibles a economías bajas y medianas.

Si se reduce el costo de fabricación del concreto, se conseguirá un precio también bajo de las viviendas de programas sociales orientados a solucionar el déficit de estas en las familias de los sectores C, D y E de la economía del país.

Según, Medina Piza, Yáñez López (2016), en su tesis para optar el grado de Ingeniero “Análisis de Viabilidad para el uso del Mortero Celular en Colombia a partir de la revisión del Estado del Arte”. Colombia. Indica que, a diferencia del concreto convencional, el concreto celular no debe ser expuesto a vibraciones porque esto podría modificar o alterar su resistencia. Por lo tanto, en estado líquido sus propiedades son la fluidez y la auto compactación.

Este tipo de concreto no necesita de vibración ya que su alta fluidez cuando se encuentra en estado fresco ingresa en todos los lugares del encofrado preparado. Al no existir el vibrado se ahorra en alquiler o compra de maquinaria y en combustibles, así como no existe emisión de gases resultantes de la combustión.

Según “Kombinat stenowykh materialov Kubani” (000 KSMK). En varios países ya se elabora a nivel masivo el concreto celular como es el caso de Rusia donde en el año 2013 se produjeron más de trescientos mil metros cúbicos de concreto celular en la planta ubicada en Krasnodar (revista BFT Edición española 02-2014) por lo que el desarrollo de plantas de producción de este tipo de material resultaría factible.

El uso de concreto celular presenta ventajas constructivas como son: rapidez en la construcción, permite mejores diseños al disminuir el peso muerto en elementos no estructurales de la estructura, aislante térmico y acústico. En estructuras de concreto, al reducir la carga muerta, es un logro muy beneficioso para una estructura.

Cabe mencionar que el término “hormigón” difiere en cada país, en el Perú el termino para la mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos es llamada: “concreto” (junio 2006, Reglamento Nacional de Edificaciones, El Peruano, Lima).

1.3.- Teorías Relacionadas al Tema.

1.3.1 Historia del Concreto.

Según. Enrique Rivva López. 2015. Las primeras referencias sobre un aglomerante con características parecidas a este tipo de concreto están dadas por Plinio autor romano, quien se refería a las proporciones de un aglomerante empleado en la construcción de las cisternas romanas, indicando que “...deben mezclarse cinco partes de arena de gravilla pura, dos de cal calcinada más fuerte, y fragmento de sílice...”.

Los romanos ya conocían el concepto de concreto celular. En el año 120 DC, en el Panteón de Agripa – Italia, en la parte del domo que se encuentra en la parte alta el peso es menor para que pueda funcionar esta estructura. Otro de los recursos para la construcción de este domo fue el disminuir el espesor de a medida que va en la parte alta. Algo muy importante es que esta estructura tiene más de 2000 años de antigüedad y sigue manteniendo a pesar de los azotes de la naturaleza.

Figura 1. Panteón de Agripa



Fuente: <http://piazzarotonda.blogspot.pe/2014/11/el-panteon-de-agripa.html>.

Según, IECA Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. Con la aparición del cemento Portland en el año 1824, se definió cualidades y bases teóricas para la aplicación del hormigón o concreto en el área de la arquitectura y la ingeniería, desde esos tiempos se ha venido mejorando la tecnología y la aplicación de los diferentes tipos de concreto. En 1889 se utilizan las primeras vigas prefabricadas de hormigón armado o concreto armado; dos años más tarde en 1891 aparece la primera patente de edificio prefabricado en los Estados Unidos.

El concreto convencional fue descubierto y utilizado desde la época del imperio romano de la misma forma se puede afirmar respecto del concreto celular. La tecnología de uso de estos materiales quedó sin mayor desarrollo luego de la caída del imperio romano perdiéndose los registros documentarios de dicho avance tecnológico. Luego de cientos de años, la humanidad empezó una carrera acelerada en el uso de este material desarrollando la investigación y aplicación.

1.3.2 Tipos de Concreto

Concreto Simple:

Según, el Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006. Diario “El Peruano”, Lima). Define al concreto que no tiene acero de refuerzo o que la tiene en una cantidad menor que el mínimo porcentaje especificado para el concreto armado.

Concreto Armado:

Según, el Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006. Diario “El Peruano”, Lima. Define al concreto que tiene armadura de refuerzo en una cantidad igual o mayor que la requerida de acuerdo con la norma y en el que ambos materiales actúan juntos para resistir esfuerzos.

Concreto de Peso Normal

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006. Diario “El Peruano”, Lima. Define al es un concreto que tiene un peso aproximado de 2300 kg/m³.

Concreto Prefabricado.

Según, el Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006. Diario “El Peruano”, Lima. Define al elementos de concreto simple o armado, fabricados en una ubicación diferente a su posición final en la estructura.

Concreto Ciclópeo.

Según, Reglamento Nacional de Edificaciones 2006, Diario “El Peruano”, Lima. Define al concreto simple en cuya masa se incorpora grandes piedras y bloques y que no contiene armadura.

Concreto de Cascote.

Según, Reglamento Nacional de Edificaciones 2006, Diario “El Peruano”, Lima. Define cuando está constituido por cemento, agregado fino, cascote de ladrillo y agua.

Concreto Premezclado.

Según, Reglamento Nacional de Edificaciones 2006, Diario “El Peruano”, Lima. Define al concreto que se dosifica en lugares distantes de la obra llamados plantas de mezclado o dosificación. Puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores que lo transportan a obra.

Concreto Bombeado.

Según, Reglamento Nacional de Edificaciones 2006, Diario “El Peruano”, Lima. Define al concreto que es impulsado por bombeo a través de tuberías hacia su ubicación final. 8 de junio 2006,

Tabla 1 Resistencia del concreto según RNE

RESISTENCIA A COMPRESION (f'c)	PORCENTAJE (%)
28 días	100%

Fuente: (NTP.320873).

1.3.5 Concreto celular.

Según, La norma del Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute – ACI) N° 523.3R-14 define al concreto celular, con una densidad que varía de 320 a 1920 kg/m³ y que su resistencia es variable, también lo define como un producto liviano, la célula de aire se consigue esencialmente al incluir vacíos resultantes de reacción química”

Según, Narayanan & Ramamurthy, 2000. Entre las características del concreto celular es que no contiene agregado grueso, sin embargo, muestra gran variación en sus propiedades, al utilizar las fibras dependiendo de qué fibra sea se forman poros dentro de la estructura del concreto.

Según, Panesar, 2013. El concreto celular a nivel mundial es muy reconocido y empleado en varios tipos de obras por sus múltiples ventajas. Se compone de cemento, agua, agregados y de espuma que se mezcla con el mortero. El último ingrediente puede ser reemplazado dependiendo de la densidad que se requiera.

Una característica del concreto celular es la auto-compactación, por lo tanto, no es necesario el uso de vibradores y compactadores; aunque esta propiedad causa un impacto representativo en cualquier proceso constructivo.

Según Mazhar ul Haq y Alex Liew, una pared de mortero celular con una densidad de 1.100 Kg/m³ y un espesor de aproximado de 13 a 15 centímetros puede estar expuesta al fuego de 5 a 7 horas; esta misma resistencia la puede obtener una pared de mortero celular con 400 Kg/m³ con tan solo 10 centímetros de espesor (Haq & Liew, 2014).

1.3.6 Materiales para concreto celular.

1. Agua

El agua es muy importante para la mezcla. La cantidad va a depender del diseño de mezcla.

Si el agua contiene compuestos orgánicos puede afectar negativamente el endurecimiento del concreto; la presencia de algas en el agua de mezcla se traducirá en arrastre de aire y por consiguiente pérdida de fuerza.

El uso del agua de mar como agua de mezcla debe ser observado y analizado; esta contiene, por lo general, una salinidad total de aproximadamente 3,5 por ciento. Puede causar en términos de resistencia una pérdida gradual de esta. Según, Gelim & Ali, 2011. El agua de mar también contiene una gran cantidad de cloruros que podría causar corrosión en las armaduras. Es mejor utilizar agua libre de material orgánico, sales y cloruros. ().

2. Cemento

En la investigación de Diana Lorena Medina Piza, Shirley Paola Yáñez López titulada: “Análisis de Viabilidad para el uso del Mortero Celular en Colombia a partir de la revisión del Estado del Arte” 2014; indican que según la norma ASTM C-150 el cemento portland tipo I, II, III deberá cumplir con las especificaciones:

Tipo I: Se emplea cuando no se requieren de propiedades específicas, sin sales.

Tipo II: Se emplea especialmente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o cuando se requiere calor moderado de hidratación.

Tipo III: Se emplea cuando se requiera alta resistencia inicial.

Arena

La arena es un material muy importante para la mezcla, depende de la calidad de esta va a depender la buena mezcla que se va a realizar.

Para los diseños ya existen métodos estandarizados; la procedencia del material es muy importante para saber las características de este material, en la Tabla 2 se muestran algunas de las características que deben tener estas arenas.

Tabla 2. Propiedades de la arena

TABLA 3 GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA	
MALLA ASTM	% QUE PASA
N° 4 (4,75 mm)	100
N° 8 (2,36 mm)	95 a 100
N° 16 (1,18 mm)	70 a 100
N° 30 (0,60 mm)	40 a 75
N° 50 (0,30 mm)	10 a 35
N° 100 (0,15 mm)	2 a 15
N° 200 (0,075 mm)	Menos de 2

Fuente: (NTP. 320925)

El tercer elemento, que es el que reemplaza al agregado, va a depender del tipo de concreto celular a fabricar.

1.3.7 Concreto celular.

Tabla 3. Concreto Celular a base de Poliestireno Expandido

CONCRETO CELULAR SEGÚN SU MATERIAL		
ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL
1	CONCRETO CELULAR	POLIESTIRENO EXPANDIDO

Fuente: *Elaboración propia.*

3. **Concreto celular con Poliestireno Expandido. -**

Según Carlos Geovanny Almeida Ávila, en la investigación titulada “Uso de bloques de poliestireno expandido en terraplenes”. El poliestireno expandido, tiene unas buenas propiedades como material para el aislamiento térmico, cumple de manera efectiva en la construcción. Con el empleo del poliestireno expandido, el diseñador y el constructor cuentan con posibilidades que le brindan los materiales modernos de aislamiento térmico.

Según Carlos Geovanny Almeida Ávila, en la investigación titulada “Uso de bloques de poliestireno expandido en terraplenes”. El polietileno expandido o espuma de polietileno es un termoplástico cuyas siglas en inglés son EPE. Se trata de una espuma de polietileno semirrígida, no reticulada creada mediante la disolución y mezcla de un gas en el polietileno líquido que, al expandirse, produce esta estructura celular cerrada.

-Propiedades:

- Color gris oscuro.
- Densidad: 20 kg/m³.
- Aislante térmico.
- absorbe el sonido, impactos, golpes y vibraciones.
- Flexible, estable dimensionalmente.
- Duradero.
- Estructura celular uniforme.
- Flota.
- Irrompible.
- Ligero.
- Resistente a las bacterias, químicos, grasa, moho y disolventes.
- No abrasivo.
- No tóxico.
- Suave al tacto.

- Suele llevar incorporado aditivos antiestáticos y retardantes de llama.

Según la investigación de Palomino Sheyla, Ramos Liz y Zapata Yisell denominado "Industrias Rayben". Universidad de Lima. El Poliestireno expandido es un plástico que se obtiene por un proceso de polimerización; es ideal para envases termo formados y anuncios publicitarios. También se pueden producir cualquier objeto a base de plástico.

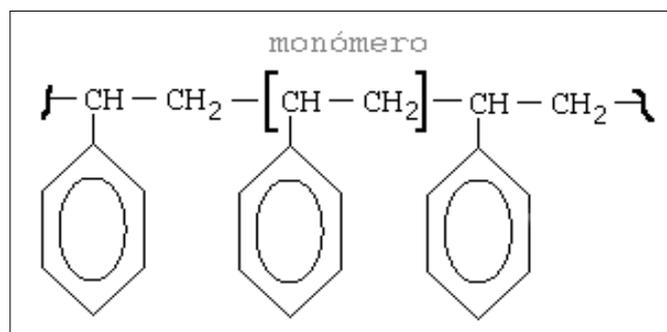
Figura 2. Palomino Sheyla, Ramos Liz, Zapata Yisell. Trabajo De Investigación Empresa: Industrias Rayben. Universidad de Lima



1.3.7.1 Características químicas

El poliestireno expandido que se obtiene de la polimerización del estireno. Este es un proceso químico por el cual los reactivos, monómeros se agrupan químicamente entre si y dan lugar a una molécula de gran peso, denominada polímero.

Figura 3: Composición del estireno (monómero) que da origen al poliestireno



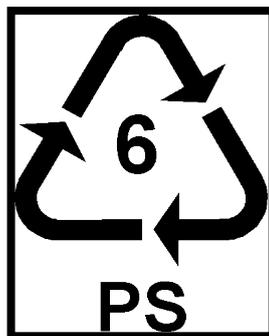
1.3.7.2 Características Físicas

Según, Palomino Sheyla, Ramos Liz y Zapata Yisell. Trabajo de Investigación Empresa: Industrias Rayben. Universidad de Lima. El poliestireno es un sólido vítreo transparente por debajo de 100°C; sin embargo, tiene baja resistencia a altas temperaturas dado que por encima de 100°C es procesable y puede dársele diversas formas.

Según, Palomino Sheyla, Ramos Liz y Zapata Yisell. Trabajo de Investigación Empresa: Industrias Rayben. Universidad de Lima. Entre sus propiedades también tenemos que poseer elasticidad, buena resistencia mecánica, térmica, eléctrica, resistencia al ataque químico y baja densidad. Además, es de fácil uso y su costo es relativamente bajo.

Según, Palomino Sheyla, Ramos Liz y Zapata Yisell. Trabajo de Investigación Empresa: Industrias Rayben. Universidad de Lima. El polietileno puede ser procesado mediante varios métodos, entre ellos: moldeo por inyección, moldeo por soplado y por vacío, termo formado, moldeo por extrusión o compresión y maquinado.

Figura 4: Símbolo de poliestireno reciclable



También posee propiedades balanceadas de fuerza y resistencia al calor y es fácil de procesar, permitiendo copiar detalles de moldes con gran precisión.

El HIPS es una materia prima que no se elabora en el país, las empresas dependen de la fluctuación del precio de este insumo, por lo tanto es un insumo muy demandado el cual si se logra importar directamente de alguna petroquímica, esa empresa tendrá una gran ventaja competitiva debido a que la mayoría de empresas dependen de importadores intermediarios.

1.3.7.5 Características Comerciales

Todos los objetos de plástico llevan un símbolo y un código que indica el tipo de plástico del que está hecho.

En el caso del polietileno, el número 6 y las siglas PS indican que se trata de este material. Por otro lado, el triángulo señala que se trata de un plástico reciclable.

Los principales productos fabricados a base de este insumo son:

Envases de yogurt



FIGURA 5

Recipientes

Máquinas de afeitar



FIGURA 6

Juguetes

Cajas de CD



FIGURA 7

Contenedores



FIGURA 8



FIGURA 9



FIGURA 10

1.3.8 Estructuras donde se utilizó concreto celular.

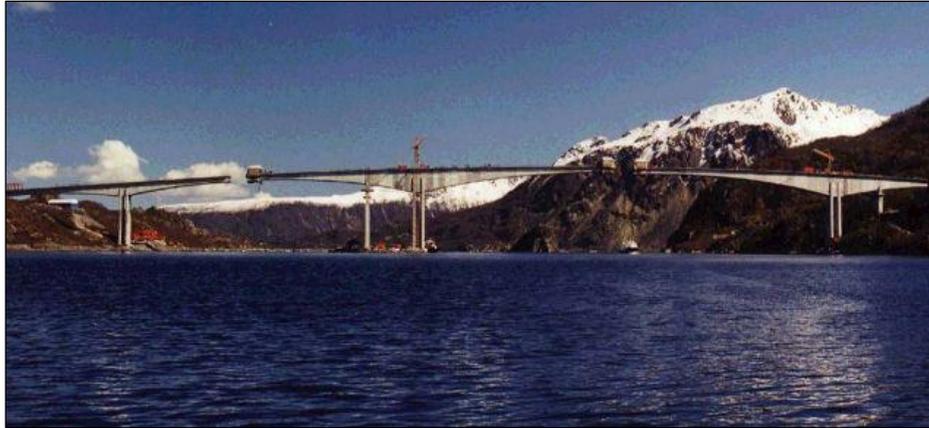
4. Puente Raftsundet.

El puente Raftsundet se encuentra ubicado en el norte de Noruega. El puente cruza una de las principales rutas de transporte marítimo del país entre dos islas. Tiene una longitud total de 711.0 m con un tramo principal de 298 m.

En los pilares y plataformas del tramo principal se utilizó concreto celular el cual posee una densidad de 1975 kg/m³ y resistencia a la compresión a los 28 días de

65.9 MPa. El resto de la superestructura y columnas fueron construidas con concreto de densidad 2400 kg/cm³ y resistencia a los 28 días de 71.9 MPa.

Figura 11.



Fuente (<https://www.absolutviajes.com/el-majestuoso-puente-raftsundet/>.)

5. Plataforma de perforación para petróleo Hibernia.

El campo de petróleo de Hibernia se ubica a 315 km al sureste de St. Johns en Terranova, Canadá. Una plataforma mar adentro se consideró necesario para explotar y ganar el recurso petróleo.

La base estructural de la plataforma está diseñada para soportar los esfuerzos ocasionados por el hielo y deshielo, la abrasión, la acción del viento y olas, y al ataque químico.

Para mejorar la resistencia de la estructura, los diseñadores determinaron que una reducción de aproximadamente 10% en la densidad del concreto de cimentación sería una ventaja.

Figura 12. Plataforma de perforación Hibernia



Fuente: <http://tectonicablog.com/?p=13792>

Figura 13. Cimentación de la plataforma Hibernia parcialmente hundida



Fuente: "Hormigones livianos de alto desempeño". Hou, Caicedo, Falconí.
Guayaquil. Ecuador. 2009

1.3.9 Ensayos Mecánicos.

Ensayos para el control de calidad de los materiales y agregados antes del diseño de mezcla del concreto celular a continuación:

Cemento. –

El cemento cumple las especificaciones dictadas en la norma NTP 334.090 y la norma ASTM - C150. Se utilizó cemento Andino TIPO I (Ver Anexos).

Arena fina. –

El agregado fino (arena), procede de la cantera “Gloria” ubicada en el distrito de Ate Vitarte al este de Lima. Se hizo el ensayo del análisis granulométrico según la norma ASTM – C33, ensayo de módulo de fineza según la norma MTC 204 material que pasa por el tamiz N° 200 (norma MTC 202) y ensayo químico para determinar la presencia de sales (Ver Anexos).

Fibras. –

Los diseñadores consideraran escoger fibras basados en los requisitos de rendimiento indicados en los métodos de ensayo tales como ASTM C-1399 y C-1609. También se verificará la durabilidad de la fibra seleccionado en la aplicación específica prevista. En este caso las fibras fueron de Poliestireno Expandido (Ver Anexos).

Agua. -.

En el caso del agua se realizaron ensayos físico - químicos para descartar presencia de sulfatos, sales y organismos de acuerdo con la norma ASTM C - 1602 (ver anexos).

Ensayos para el control de calidad de la mezcla endurecida del concreto celular a continuación:

6. Ensayos de resistencia a la compresión.

Según, Abd elaty, 2014. El ensayo de la resistencia a la compresión es una de las más importantes y útiles propiedades para el concreto El concreto es empleado para resistir esfuerzos a compresión, si bien en los lugares donde la resistencia a la tracción o la resistencia al corte son de primordial importancia, la resistencia a la compresión se utiliza para confirmar la resistencia de diseño.

Según, Gambhir, 2013. Inmediatamente después de mezclar el cemento con el resto de materiales, el proceso de hidratación se lleva a cabo, por lo que el mortero que es la mezcla de cemento, agua y arena es el compuesto resultante de la hidratación ocasionando en el concreto su resistencia.

La Norma Técnica Peruana E.0.60 en el artículo N°3 indica que la resistencia máxima de diseño se obtendrá a los 28 días de vaciada la mezcla en el interior de los moldes. El resultado indicará la resistencia de diseño (f'_c) de la muestra ensayada.

Asimismo, indica que se podrán realizar ensayos a 7, 14 y 28 días; mínimo tres pruebas por tipo de ensayo. El valor resultante será el promedio de rotura de ensayados al mismo tiempo.

En la presente investigación se han realizado ensayos de compresión y tracción. Las muestras se han colocado en los moldes cilíndricos indicados en la norma.

Las caras de las probetas (cilindros de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro) se comprueban que sean planas, en caso de que no sea planas se nivelaran, según lo indicado en la norma ASTM C-617. Los cilindros se ensayan en estado húmedo; se llevan a la máquina de ensayo y se aplica carga a una velocidad constante (1.4 a 3.5 kg/cm²/seg.) hasta que el cilindro falle. Previo a realizar el ensayo, se pesa y se toma las medidas de cada probeta para calcular la densidad del concreto endurecido.

Cada probeta se coloca entre las mordazas de la máquina "prensa universal", se procede a dar carga hasta la rotura, se lee la carga en la pantalla de resultados o en el dial de carga de la prensa. Dividiendo el valor de carga entre el promedio de

las dimensiones de la cara superior de la probeta, obtenemos la resistencia del concreto.

Tabla 4. Resistencia a la compresión

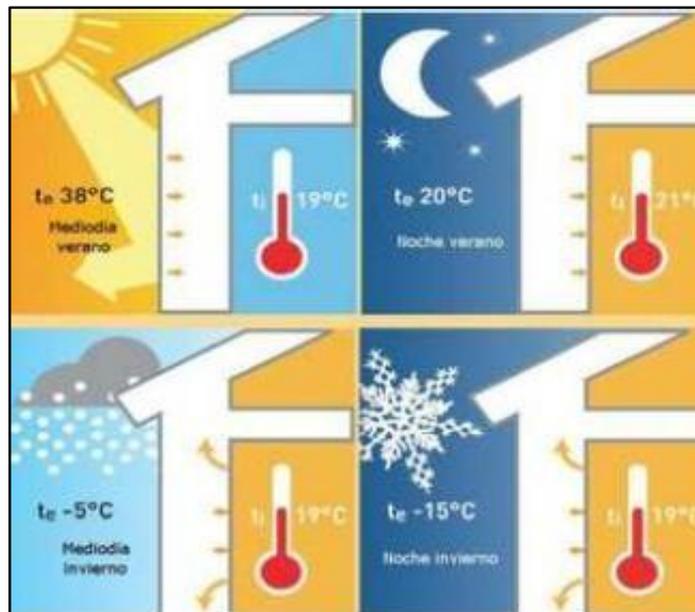
Densidad (Kg/m ³)	Resistencia a compresión (Mpa)
400	1.3 - 2.8
500	2.0 - 4.4
600	2.8 - 6.3
700	3.9 - 8.5

Fuente: Narayanan & Ramamurthy, 2000)

7. Ensayo de conductividad térmica

Este ensayo consiste en realizar muestras de concreto de dimensiones 900 x 900 x 30 mm (largo, ancho, espesor) y someterlas a temperaturas altas para determinar la transmisión de calor midiendo el valor de conductividad térmica en base al valor de transmitancia térmica. Se analizó en base a la norma ACI 523.

Figura 14. Aislamiento térmico



Fuente: (Rengifo & Yupangui, 2013)

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema General.

¿De qué manera el análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con poliestireno mejorara su aplicación en la industria de la construcción?

1.4.1 Problema específicos.

1.- ¿De qué manera los resultados físico-mecánicos permitirán su mayor uso del concreto celular a base de poliestireno expandido para implementarlo en la industria de la construcción?

2.- ¿Qué efectos produce el poliestireno expandido al aplicarlo en el diseño de mezcla del concreto celular?

1.5 Justificación del Estudio

8. Aspecto económico. –

El presente estudio se **justifica** teórica y práctica ya que para desarrollar este tipo de concreto celular se recopiló información basada en investigaciones similares de propiedades de este tipo de concreto. Excepto en su resistencia, es mejor en aligerar el peso muerto, por otro lado brinda y aislamiento térmico, es resistente a altas temperaturas y presenta valores bajos en los costos de producción en obra.

El costo de materiales y mano de obra especializada puede ocasionar que existan pocas posibilidades de acceder a una vivienda sobre todo a la población de los sectores C, D y E. Se requiere buscar nuevas alternativas de materiales y técnicas de construcción que permitan bajar los costos de producción en obra actuales.

9. Aspecto ambiental. –

El ahorro energético en la industria y específicamente en la industria de la construcción es una gran ventaja ya que en la actualidad existen varios materiales que aportan con este factor. Una construcción sustentable o los llamados “edificios verdes” son cada vez más pedidos en el mercado y por otro lado contribuirían a materializar los programas de vivienda masivos con productos confortables.

10. Aspecto social. –

También, si esta tecnología logra su meta que es de abaratar costos en la construcción esto se podría comercializar para distintas ciudades del país ayudando más a las ofertas de viviendas para persona de menor acceso económico.

11. Aspecto Técnico. –

Este tipo de concreto a realizar experimentalmente cumple con las normas y reglamentos y ensayos de tal manera que su aplicación en la industria de la construcción es viable, así su producción en masa sea reglamentaria y confiable y pueda ser utilizada en diferentes ciudades.

1.6 Hipótesis General.

El análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con polietileno expandido mejora su aplicación en la industria de la construcción.

1.6.1 Hipótesis específica.

Hipótesis específica 1

Los resultados físico-mecánicas del concreto celular con poliestireno expandido en su propiedad térmica y su baja densidad son favorables para ser aplicado en la industria de la construcción.

Hipótesis específica 2

La aplicación del poliestireno expandido minimiza la consolidación en el diseño del concreto celular.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivos Generales.

Evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular a base de poliestireno expandido para ser utilizado en la industria de la construcción.

1.7.2 Objetivos Específicos.

Objetivos Específicos 1

Evaluar los resultados de acuerdo con la Norma N° 523.3R-14 sobre los elementos del concreto celular (arena, cemento, agua) en relación con la proporción de fibras de poliestireno expandido.

Objetivos Específicos 2

La aplicación en porcentajes del poliestireno expandido mejora la conductividad térmica del concreto celular.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de Investigación

El diseño propuesto en esta investigación es **aplicada** por que se aporta resultados fehacientes resultantes de instrumentos y equipos de laboratorios basados en normas técnicas nacionales y extranjeras.

Es **Transversal** ya que se realiza en un tiempo puntual, una época del año de tal manera que se pudo analizar, ensayar en una etapa específica.

Es **Experimental**, existe un control de la variable independiente trabajando en la cual se va a realizar ensayos para determinar su efecto en la variable dependiente (los costos para la industria de la construcción).

2.2 Variables, Operacionalización.

2.2.1 Variables

- Variable independiente, cuantitativa:

Las Propiedades físico-mecánicas del Concreto celular a base de poliestireno expandido, es decir que se realizaron ensayos para analizar los materiales del concreto celular, también una vez obtenidas las muestras y fraguadas a los 28 días, según RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones), se realizaron ensayos de rotura a la compresión. De la misma forma se analizaron las propiedades térmicas. Con esto se determinó el uso para este tipo de concreto.

- Variables dependientes, cuantitativas:

Aplicación en la Industria de la construcción. Se efectuó el análisis de costos correspondiente de tal manera que se obtuvieron conclusiones respecto a la aplicación de este material en la industria de la construcción en el país.

2.2.2 Operacionalización.

Tabla 5: Operacionalización. Autor: proyectista, Fecha: 12/06/2017, Fuente: Propia.

<i>VARIABLE</i>	<i>DEFINICION CONCEPTUAL</i>	<i>DIMENSION</i>	<i>INDICADORES</i>	<i>ESCALA</i>
Propiedades físico-mecánicas del concreto celular	Según, Narayanan & Ramamurthy, 2000. Entre las características del concreto celular es que no contiene agregado grueso, sin embargo, muestra gran variación en sus propiedades, al utilizar las fibras dependiendo de qué fibra sea se forman poros dentro de la estructura del concreto.	Ensayo de laboratorio Propiedades físicas, químicas y mecánicas.	Ensayos de agregados Ensayos de compresión. Ensayos de conductividad térmica	Razón
		Tecnologías en la construcción	-Nuevos tipos de concreto.	
Poliestireno expandido en concreto celular	Según la investigación de Palomino Sheyla, Ramos Liz y Zapata Yisell denominado "Industrias Rayben". Universidad de Lima. El Poliestireno expandido es un plástico que se obtiene por un proceso de polimerización; es ideal para envases termoformados y anuncios publicitarios. También se pueden producir cualquier objeto a base de plástico.	Poliestireno expandido. Análisis de precios unitarios de partidas con material investigado	Mejora las propiedades. Precio por metro cuadrado de vivienda típica con elementos de concreto celular con poliestireno expandido.	Razón

2.3 Población y Muestra.

- Población. -

Según Luzardo y Arraga, 2014. En su investigación titulada “Análisis del concreto celular y sus aplicaciones en la fabricación de paneles livianos” indica que la población se considera como el conjunto de unidades de observación que se encuentra en el estudio, objetos, personas, asociaciones, actividades, acontecimientos, entre otros, es decir, la totalidad de los elementos que forman un conjunto.

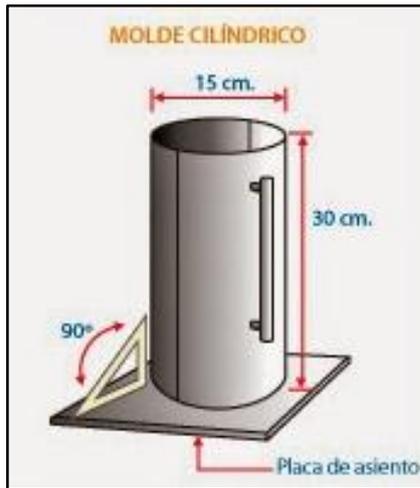
El cálculo de población para esta investigación se fundamentó en simular una cantidad de concreto a utilizar a partir de cuyo valor se obtuvieron las cantidades de probetas a utilizar en los diferentes ensayos.

La población son todos los módulos de comedor popular en el distrito de Carabaylo. Los planos de diseño se encuentran en los anexos de la investigación.

- Muestra

Según Sampieri. 2014. Señala que muestra, es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tienen que definirse o delimitarse de antemano con precisión, éste debe ser representativo de dicha población.

La muestra se encuentra ubicado en el pueblo joven el progreso sector zona III, distrito de Carabaylo, provincia de lima – lima.



Configuración y dimensiones de la probeta donde se tomo la muestra para el ensayo de compresión y módulo de elasticidad del concreto celular.



Configuración y dimensiones de molde de 0.90 x 0.50 x 0.03 cm donde se tomó la muestra para el ensayo térmico.

2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez Y Confiabilidad.

-Técnicas e Instrumentos. -

Para realizar el sustento de la viabilidad de la recolección de datos y ensayos realizados en la investigación de concreto celular a base poliestireno expandido y el uso para su aplicación en la industria de la construcción, se realizó lo indicado en la tabla siguiente:

TABLA 6 .

ETAPAS DE LA INVESTIGACION	TECNICA	INSTRUMENTO	VALIDACION
RECOLECCION DE INFORMACION TECNICA	LECTURA DIRECTA	LIBROS, INVESTIGACIONES SIMILARES, NORMAS TECNICAS E INTERNET	CERTIFICACION-EXPERTO
DISEÑO DE MEZCLA	PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS INDICADOS EN LAS NORMAS	CERTIFICADO DE DISEÑO DE MEZCLA	CERTIFICACION-EXPERTO
ENSAYO DE COMPRESION	PROCEDIMIENTOS, INSTRUMENTOS DE RECOLECCION, INSTRUMENTOS DE ENSAYO	CERTIFICADO DE COMPRESION	CERTIFICACION-EXPERTO
ENSAYO TERMICO	PROCEDIMIENTOS, INSTRUMENTOS DE RECOLECCION, INSTRUMENTOS DE ENSAYO	CERTIFICADO TERMICO	CERTIFICACION-EXPERTO
ELABORACION DE RESULTADOS	PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS INDICADOS EN LAS NORMAS	PROCEDIMIENTOS Y TABLAS DE RESULTADOS INDICADOS EN LAS NORMAS	CERTIFICACION-EXPERTO

Fuente: Propia, Descripción: cuadro de validación para el desarrollo del proyecto de investigación.

Ensayos programados durante la investigación. –

✓ Ensayo de rotura a la compresión. –

Este ensayo se realizó exclusivamente para medir la resistencia de las probetas con concreto celular a los 7, 14 y 28 días e identificar en que elemento estructural de la vivienda típica se utilizará.

Los ensayos se realizaron utilizando las instalaciones, instrumentos y equipos de laboratorios reconocidos como el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM-UNI) y laboratorio particular.

✓ Ensayo de conductividad térmica. –

Este ensayo se realizó al concreto celular en las instalaciones del LEM – UNI.

2.5 Métodos de Análisis de Datos.

2.5.1 Análisis descriptivo. -

De acuerdo con las variables de estudio, se procedió a recolectar los datos referidos a canteras de agregados, tipo de cemento, agua y fibras de poliestireno. Sobre cada uno de ellos se obtuvieron sus características antes de llevarlos a los laboratorios para ensayarlos.

2.5.2 Análisis ligados a las hipótesis. -

Para probar la hipótesis se hizo uso de ensayos de laboratorios los cuales se ligan las cantidades (3 muestras) por resistencia y por cada tipo de ensayo.

2.6 Aspectos éticos.

En este trabajo el investigador se compromete a respetar la veracidad de los resultados y la confiabilidad de los datos los cuales se realizaron en un laboratorio certificado y con años de experiencia en la industria de la construcción.

III. RESULTADOS.

3.1 Analisis del Concreto Celular:

3.1.1 Generalidades

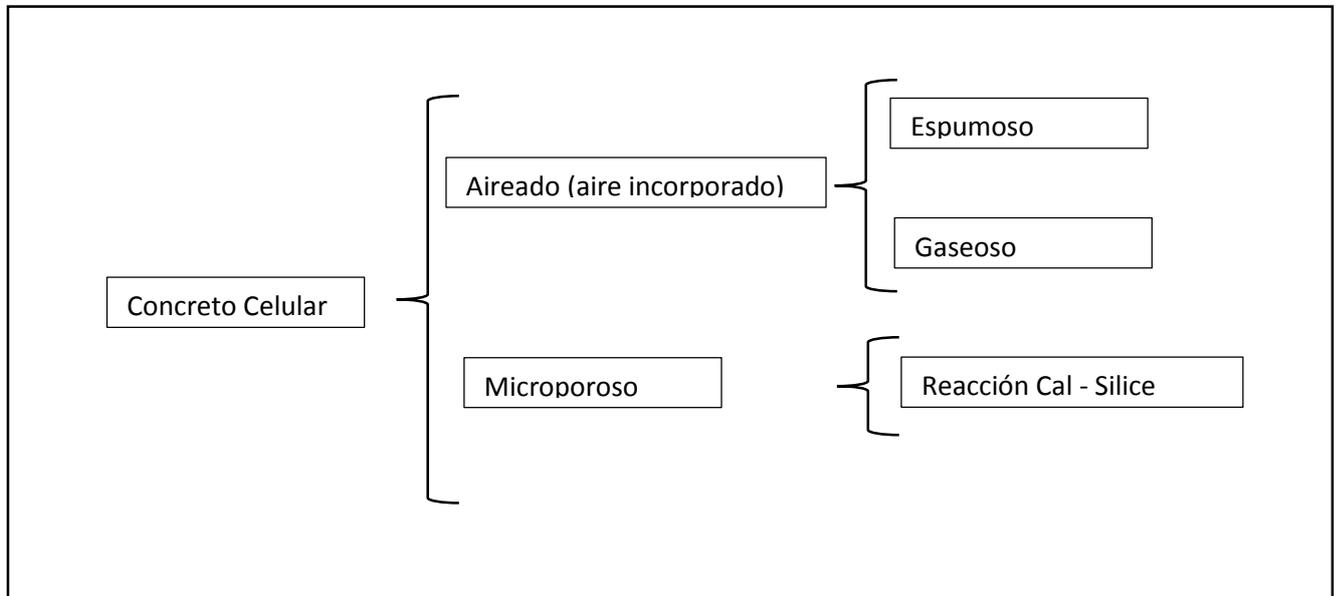
Se considera que existen dos grupos principales de concreto celular:

- Aireados
- Microporos.

En los concretos aireados la porosidad se forma con la inclusión de aire o agente espumoso, dando por resultado una gran cantidad de burbujas. En cambio, la estructura porosa de los microporos se debe primordialmente al tipo de mortero usado, el cual debe ser material sumamente diluido y de fraguado rápido, que permite que el aire entre a los poros que se forman cuando la mezcla empieza a fraguar. El sistema de porosidad así integrado resulta bastante homogéneo. El uso más generalizado es como bloques o unidades de albañilería.

Se presenta en forma esquemática la clasificación general de estos elementos.

Grafico 1: clasificación concreto celular.



3.1.2 Materiales y ensayos

- **Recolección de materiales.** -

La recolección de material se realizó en la zona de Aucayacu-Huánuco.

- **Localización de los agregados. -**

Los materiales utilizados son de la localidad de Aucayacu-Huánuco, esto con el fin de mostrar que el concreto celular es de uso indistinto de la zona geográfica donde se realice la preparación y/o uso.

- **Materiales**

12. **Cemento Andino tipo I. -**

El cemento que se utilizó fue el de tipo I (cemento portland tipo I) de la marca “Andino”. Se adjunta en los anexos, la hoja técnica de este material que indica sus características físicas y químicas.

FIGURA 18

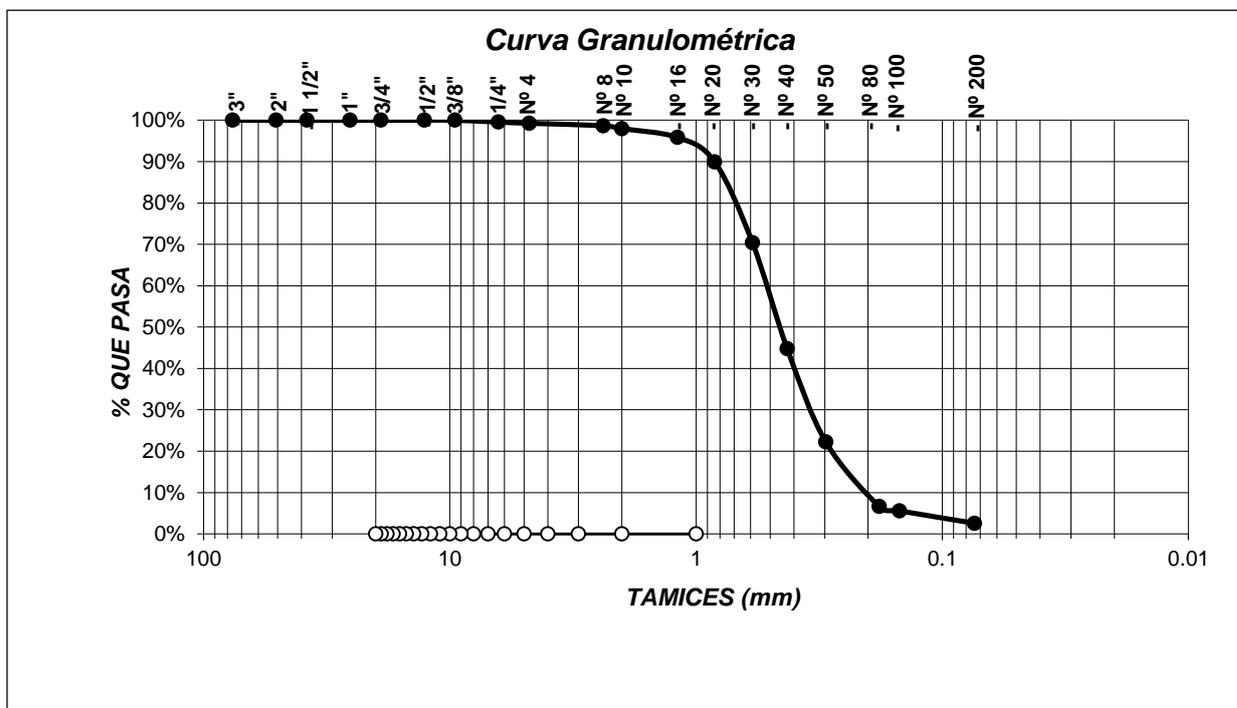


Fuente: <https://www.datosperu.org/marca-cemento-andino-cemento-fuerza-tarma-peru-cemento-portland-tipo-i-182496.php>

- **Arena.-**

El diseño específico de una mezcla para concreto, depende entre otros factores de la arena escogida; dichas propiedades dependen del lugar geográfico y de las recomendaciones dadas para la mezcla. La arena es proporcionada de la cantera ubicada en el rio Huallaga- sector Puerto Aucayacu.

Curva Granulométrica de la arena



Fuente: Diseño de mezcla elaboración del autor.

Se procedió tomar una muestra de arena y llevarlo al laboratorio para conocer las características fisicoquímicas de este material, ya que cada tipo de arena es diferente y sus características varían dependiendo de la ubicación de la cantera. En este caso la arena es proporcionada de la cantera rio Huallaga-sector Puerto Aucayacu.

TIPO DE EXTRACCION	CIELO ABIERTO		
MUESTRA N°	1		
ESPESOR DE ESTRATO			
CÁPSULA N°	01		
PESO RECIPIENTE (gramos)	245.59		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUMEDO (gramos).	1013.20		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO (gramos)	998.90		
PESO DEL AGUA (gramos)	14.30		
PESO MATERIAL SECO (gramos)	753.31		
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	1.90		
HUMEDAD PROMEDIO (%)	1.90		

Contenido de Humedad.

Fuente: Diseño de mezcla. Elaboración propia

Para conocer el porcentaje de contenido de humedad se pesaron las muestras en estado húmedo y estado seco, también se pesó el recipiente y en una hoja de cálculo como Excel, se calculó el porcentaje de agua que contenía la muestra; los resultados se muestran en los anexos.

Gravedad específica y absorción de los agregados

A	Peso Material. Sat. Sup. Seca (gramos)	209.19
B	Peso Frasco + Agua (gramos)	627.60
C	Peso Frasco + Agua + A (gramos)	836.79
D	Peso del Material + Agua en el Frasco (gramos)	758.50
E	Vol. de Masa + Vol. de Vacíos (gramos)	78.29
F	Peso del Material Seco en estufa (gramos)	207.10
G	Vol. de Masa (cm3)	76.20
	Peso Específico Aparente (grm./cm3)	2.65
	Peso Específico Aparente (Sat. Sup. Seca) (grm/cm3)	2.67
	Peso Específico Nominal (grm/cm3)	2.72
	% de Absorción	1.01

Fuente: Diseño de mezcla. Elaboración propia.

Para realizar esta prueba se tomó 25 kg de agregado fino, depositándose sobre un molde cónico. Los resultados son los siguientes:

AGREGADO FINO	
% ARENA	100.00
P E A	2.65
P E A (SSS)	2.67
P E N	2.72

Fuente: Diseño de mezcla. Elaboración propia.

PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m3)

ENSAYO N°	01	02	
NUMERO DE MOLDE	I	I	
PESO SUELO SECO + MOLDE (grm.)	5428.00	5429.00	
PESO DEL MOLDE (grm.)	3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (grm.)	2327.60	2328.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO SUELTO (gr / m3)	1431	1432	
PESO UNITARIO PROMEDIO (gr / m3)	1432		

PESO UNITARIO COMPACTADO (gr / m³)

NUMERO DE MOLDE	I	II	
PESO SUELO SECO + MOLDE (gr)	5692.00	5689.00	
PESO DEL MOLDE (gr)	3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (gr)	2591.60	2588.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)	1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO COMPACTADO (gr / m ³)	1594	1592	
PESO UNITARIO PROMEDIO (gr / m ³)	1593		

De igual modo el ensayo de peso unitario seco y compactado servirá para encontrar la cantidad necesaria de agregado en el diseño de mezcla

FIGURA 19



Fuente: http://www.gruponaturalpower.com.co/tienda/index.php?route=product/product&product_id=400

- Polietileno Expandido. -

El polietileno expandido fue adquirido por el investigador en una empresa proveedora de materiales de construcción.

FIGURA 20



Fuente: <https://arquigrafico.com/poliestireno-expandido-ventajas-de-su-uso-en-la-construccion/>.

– **Agua.-**

El agua es uno de los materiales más importantes ya que forma junto con la arena y el cemento el mortero del concreto celular. La calidad y el criterio de potabilidad de esta no es absoluto. El agua es la que se encuentra y potabiliza en la zona de Huánuco.

FIGURA 21



Fuente: <http://larepublica.pe/economia/865281-camion-con-hidrocarburos-vuelca-y-contamina-rio-que-desemboca-en-el-huallaga>.

13. Una vez que se recolectaron las muestras de agua y se realizaron los ensayos de caracterización de la arena se procedió según lo indicado en la norma ACI 523 para la preparación de este concreto dependiendo de su densidad.
14. Obtenido el diseño de mezcla se procedió a la elaboración de testigos y a realizar los ensayos de compresión y conductividad térmica.
15. Los testigos se rompieron a los 7, 14, y 28 días.
16. Se recalca que el diseño de mezcla, los ensayos a compresión se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Resultados obtenidos del diseño de mezcla con variación del porcentaje en peso del poliestireno expandido.

El diseño de mezcla a ensayar se realizó siguiendo los lineamientos indicados en la norma ACI 523. De acuerdo con esto, se procedió a realizar 3 ensayos por cada variación del porcentaje en peso de poliestireno expandido. Los porcentajes seleccionados fueron 15%, 20% y 25% en razón a lo indicado en la norma ACI para el concreto celular y las recomendaciones realizadas por los expertos del laboratorio de ensayos. Los resultados de las cantidades se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8: “Cantidad de materiales para 1 m3 de mezcla a ensayar”. Elaboración Propia.

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1m3 DE MEZCLA A ENSAYAR (KG)								
% Peso de Poliestireno	Cemento	Und.	Agregado fino	Und.	Poliestireno expandido	Und.	Agua	Und.
15	298.00	kg	1,210.00	kg	3.00	kg	129.00	lt
20	298.00	kg	938.00	kg	4.00	kg	132.00	lt
25	298.00	kg	666.00	kg	5.00	kg	134.00	lt

Fuente: Diseño de mezcla según variación % peso de poliestireno expandido.

Tabla 9: “Dosificación de materiales por bolsa de cemento. Elaboración Propia.

DOSIFICACION DE MATERIALES POR BOLSA DE CEMENTO (1 Bolsa = 42.5 Kg)								
% Peso de Poliestireno	Cemento	Und	Agregado fino	Und	Poliestireno expandido	Und	Agua	Und
15	1	Bolsa	172.70	Kg	0.43	Kg	18.50	lt
20	1	Bolsa	133.90	Kg	0.57	Kg	18.80	lt
25	1	Bolsa	95.10	Kg	0.71	Kg	19.10	lt

Fuente: Diseño de mezcla según variación % peso de poliestireno expandido.

Tabla 10: “Dosificación de materiales por pie cúbico (P3). Elaboración Propia.

DOSIFICACION DE MATERIALES POR PIE CUBICO (P3)								
% Peso de Poliestireno	Cemento	Und	Agregado fino	Und	Poliestireno expandido	Und	Agua	Und
15	1	Bolsa	4	p3	0.43	kg	18.50	lt
20	1	Bolsa	4	p3	0.57	kg	18.80	lt
25	1	Bolsa	2	p3	0.71	kg	19.10	lt

FUENTE: Diseño de mezcla según variación % peso de poliestireno expandido.

Resultados obtenidos de los ensayos a compresión.

Tabla 11: Resultados de roturas Elaboración Propia.

ENSAYO DE ROTURA A COMPRESION (KG/CM2)			
% Peso de Poliestireno	DIA 7	DIA 14	DIA 28
15	43.89	56.69	62.66
20	36.14	45.30	49.31
25	26.16	33.33	36.69

Fuente: Diseño de mezcla según variación % peso de poliestireno expandido.

Gráfico 2: Elaboración Propia. Resistencia a la compresión según variación de % en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.

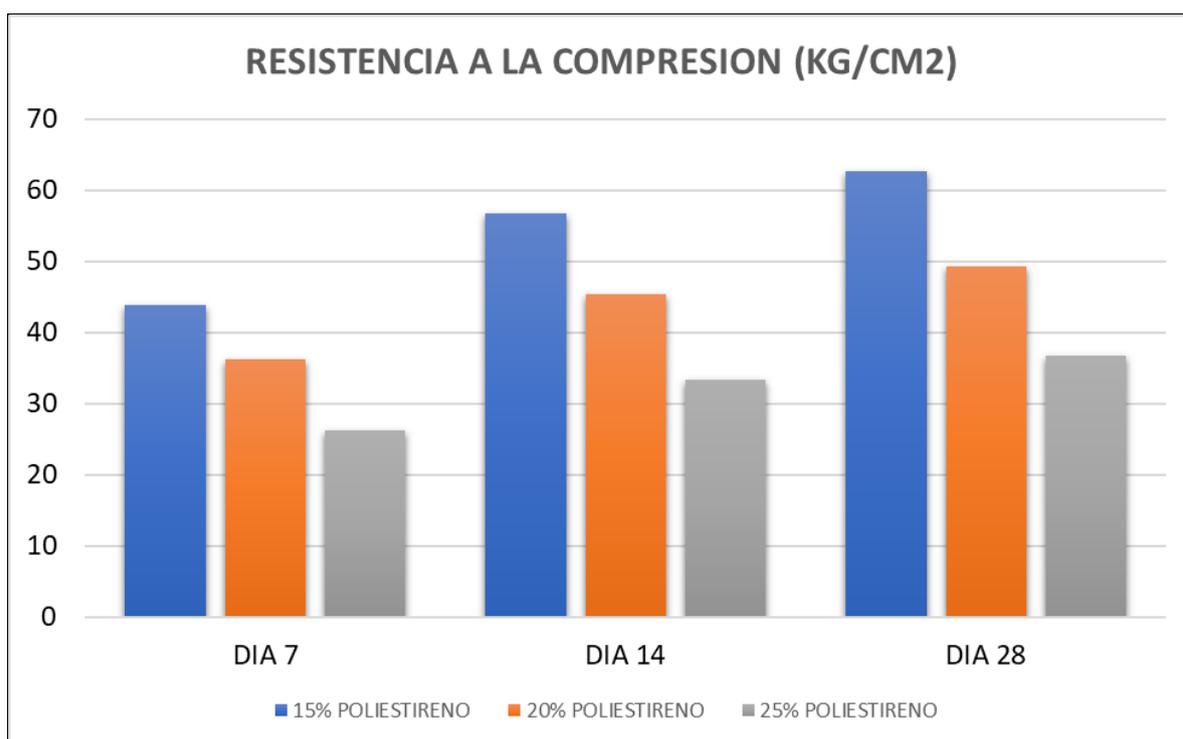
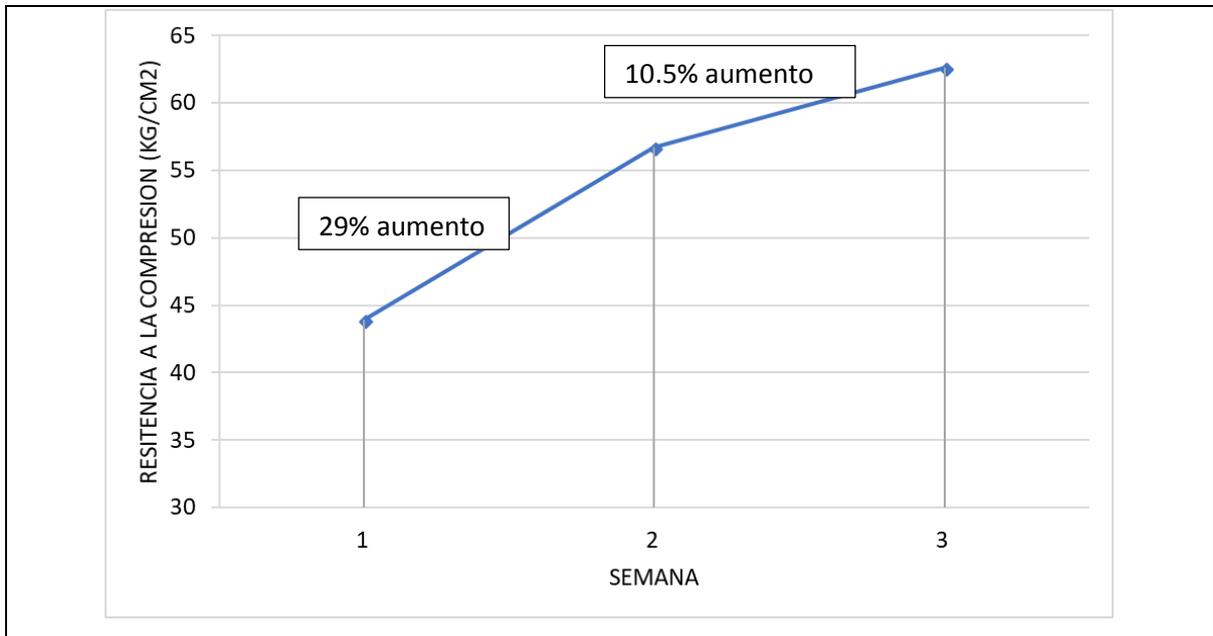
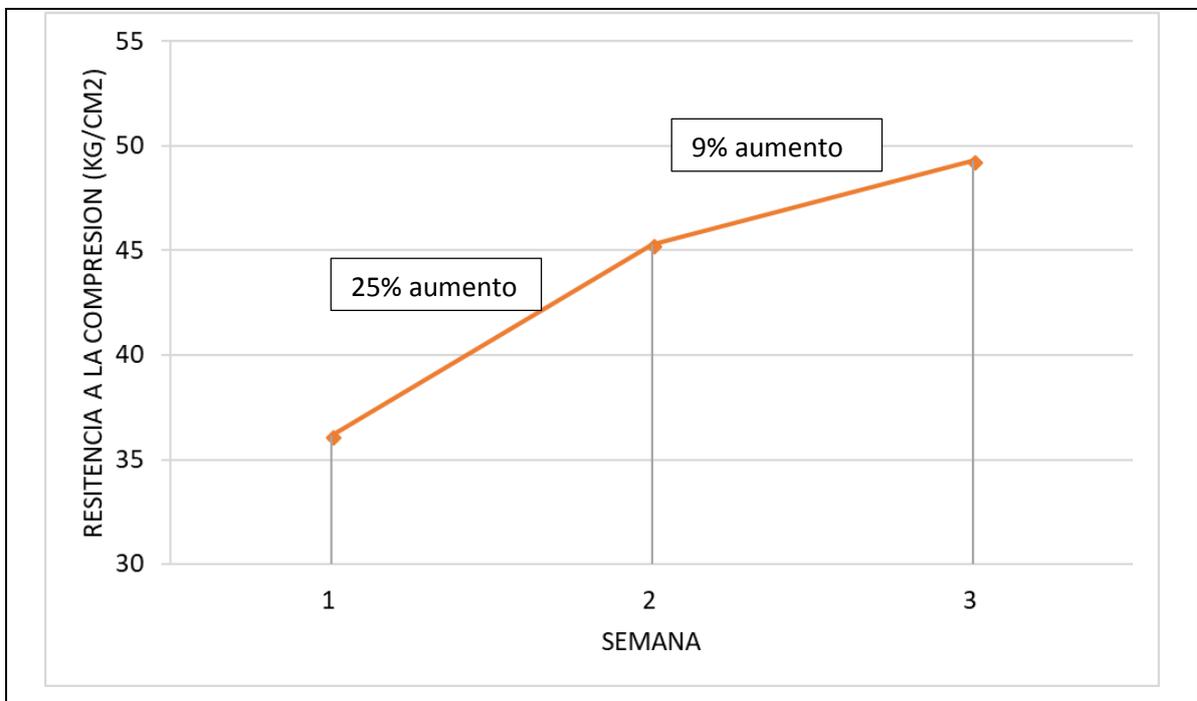


Gráfico 3.. Resistencia a la compresión según variación e 15% en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.



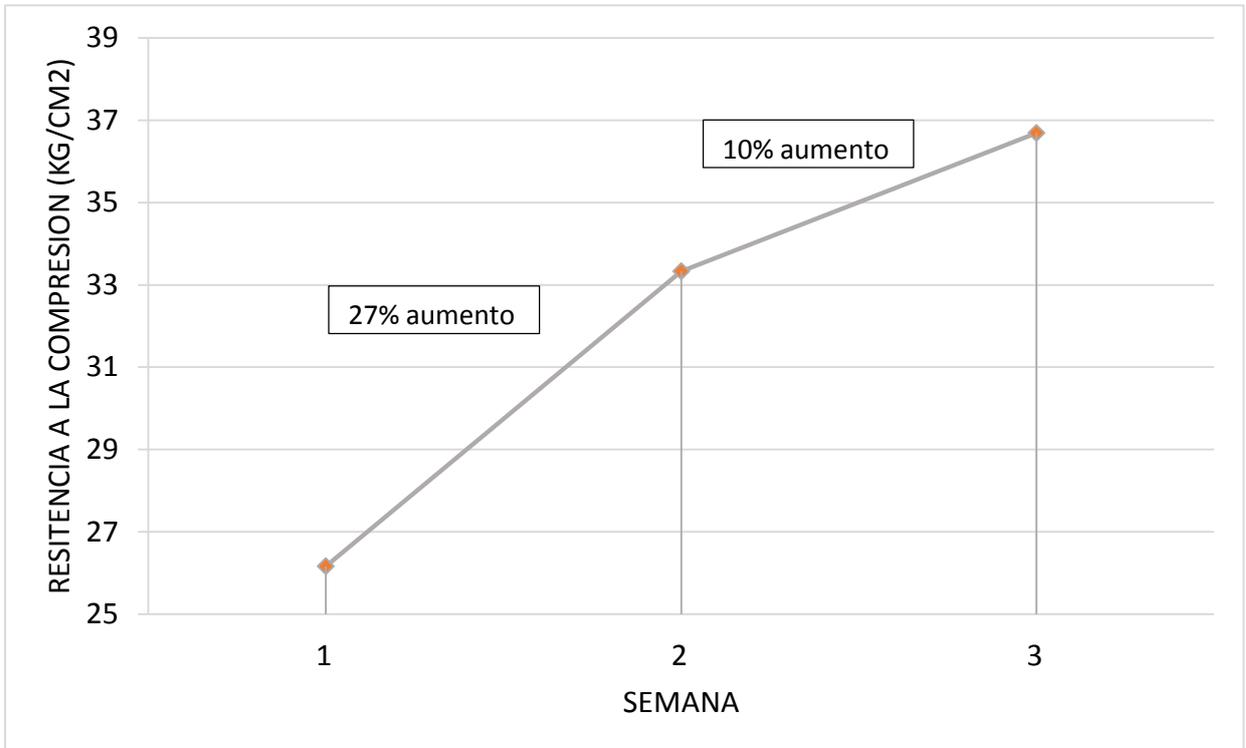
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4. Resistencia a la compresión según variación de 20% en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5.. Resistencia a la compresión según variación de 25% en peso de poliestireno. Fuente: Ensayos de laboratorio.



Fuente: Elaboración Propia

Resultados obtenidos de la densidad / m3.

Tabla 12. Resultados de densidad del concreto celular.

C. CELULAR	RESISTENCIA (Kg/cm2)	DENSIDAD (Kg/m3)
15%	62.66	1,668.00
20%	49.31	1312.00
25%	36.69	976.00
30%	30.07	800.00

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro comparativo de densidades de tabiquerías de concreto celular con Poliéstireno Expandido y ladrillo pandereta /m2.

Tabla 12. Resultados de densidad del concreto celular.

ITEM	DESCRIPCION	PESO (Kg/m2)
<i>1</i>	<i>CONCRETO CELULAR 15%</i>	<i>50.04</i>
<i>2</i>	<i>CONCRETO CELULAR 20%</i>	<i>39.36</i>
<i>3</i>	<i>CONCRETO CELULAR 25%</i>	<i>29.25</i>
<i>4</i>	<i>LADRILLO PANDERETA</i>	<i>103.00</i>

Fuente: Elaboración Propia.

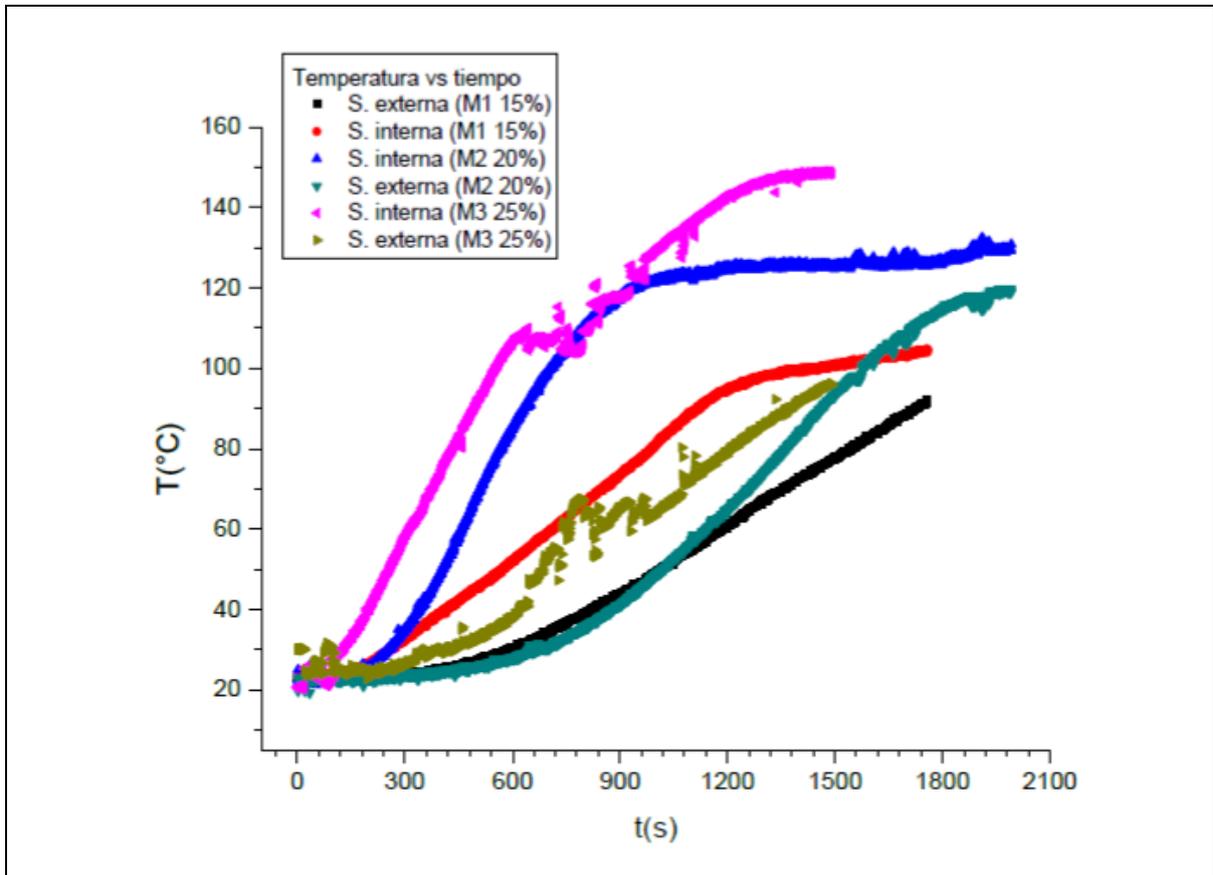
Resultados obtenidos del ensayo térmico.

La ejecución de este ensayo se basó en las normas internacionales UNE-EN 1363- 1:2015 o UNE-EN 1363-2:2000; las que consisten en preparar tabiques hechos, en este caso, de la mezcla homogénea de concreto con perlas de poliestireno,

Los tabiques se sometieron a la aplicación de calor en sus caras externas de tal forma que el gradiente de temperatura pueda ser medido y posteriormente evaluados los resultados en base a las normas anteriormente indicadas.

Los resultados son los siguientes:

Gráfico 6: Curvas de aislamiento térmico de los paneles. Para temperaturas máximas del horno cercanas a los 600°C, la temperatura más alta alcanzada por la cara externa de los paneles fue de 119°C (M3) muy por debajo de los 160°C que como máximo establecen las normas europeas UNE-EN 1363-1:2015 o UNE-EN1363-2: 2000.



Fuente: Ensayos de laboratorio.

Tabla 13. “Variación de temperatura (ΔT °C Panel) en tabiques según %Peso de poliestireno en material de tabiques de ensayo”.

	T °C (Horno)	AT °C Panel	Observaciones
M1- 15%	465	13	No hay Grietas o Fisuras
M2- 20%	525	11	No hay Grietas o Fisuras
M3- 25%	596	52	No hay Grietas o Fisuras

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Resultados obtenidos de comparación de precios de 1 m2.

El valor por metro cuadrado de construcción de una vivienda típica con este material dentro de los elementos de construcción es de S/.71.98 / M2 siendo este valor competitivo para usarse en proyectos de vivienda sociales.

Tabla 14: Cuadro comparativo de precios por m2

ITEM	DESCRIPCION	PARCIAL	TOTAL
01	PRESUPUESTO TABIQUERIA CONCRETO CELULAR	71.98	71.98
02	PRESUPUESTO TABIQUERIA LADRILLO PANDERETA	135.45	135.45
DIFERENCIA MONETARIA		S/.	63.47

Fuente: Elaboración Propia.

IV. DISCUSSION.

Según, Diana Lorena Medina Piza, Shirley Paola Yañez Lopez en el trabajo de investigación titulado: “**Análisis de Viabilidad para el uso del Mortero Celular en Colombia a partir de la revisión del Estado del Arte**” año 2014 en la Pontificia Universidad Javeriana facultad de Ingeniería - departamento de Ingeniería civil área de construcción. Bogotá; indican que, a diferencia del mortero convencional, el mortero celular no puede ser sometido a ningún tipo de compactación o vibraciones puesto que esto puede afectar la resistencia de diseño.

De los ensayos mecánicos realizados se determina que el diseño de concreto celular es un concreto no estructural, que no requiere compactación ni está sujeto a un vibrado y pueden desempeñarse como muros de tabiquería. Por lo tanto, en estado fresco las propiedades más importantes son la fluidez y la auto compactación.

De los ensayos a compresión se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA 15 Resultados de roturas Elaboración Propia.

ENSAYO DE ROTURA A COMPRESION (KG/CM2)			
% Peso de Poliestireno	DIA 7	DIA 14	DIA 28
15	43.89	56.69	62.66
20	36.14	45.30	49.31
25	26.16	33.33	36.69

FUENTE: Diseño de mezcla según variación % peso de poliestireno expandido.

Llegando a la conclusión que mientras menos porcentaje de poliestireno tenga la mezcla más será su resistencia a la compresión.

Según, Diana Lorena Medina Piza, Shirley Paola Yañez Lopez en el trabajo de investigación titulado: “**Análisis de Viabilidad para el uso del Mortero Celular en Colombia a partir de la revisión del Estado del Arte**” año 2014 en la Pontificia Universidad Javeriana facultad de Ingeniería - departamento de Ingeniería civil área de construcción. Bogotá; indican que, Como en la mayoría de las propiedades mecánicas y de durabilidad del mortero celular, la conductividad térmica depende de la densidad, el contenido de

humedad y de los componentes del material, así como la cantidad de poros y su distribución (Bave, 1980), por lo tanto, entre más finos sean los poros mejor es el aislamiento, ya que la conductividad térmica como se mencionó anteriormente está influenciada por el contenido de humedad. Tan solo el aumento del 1% de la humedad en la masa hace que la conductividad térmica aumente en un orden aproximado del 42% a comparación de un mortero convencional. (Narayanan & Ramamurthy, 2000).

En cuanto a los ensayos realizados de conductividad térmica, concluimos que mientras más porcentaje de perlas de poliestireno expandido tenga mejor resultados se obtienen en este caso 25%. Este tipo de concreto celular se puede utilizar en lugares donde hay fuerte friaje.

V. CONCLUSIONES.

1. Se concluye que este concreto celular será utilizado solo para tabiques no portantes ya que la resistencia a compresión para un diseño de 15 % de poliestireno expandido es de 62.66 kg/cm², pero su conductividad térmica es menor al de 25% de poliestireno expandido que su resistencia fue de 36.69 kg/cm². Entonces las tres muestras al no presentar ninguna grieta o fisura durante sus ensayos o manipuleo, sabiendo que no soportan cargas y su densidad en las tres muestras es mucho menor que al de una tabiquería de ladrillo pandereta la mezcla para ser utilizada en la industria de la construcción por su mayor grado de conductividad térmica es la de 25 % de poliestireno expandido.

2. Se concluye que el concreto celular dentro de sus propiedades térmicas varían de acuerdo con su porcentaje de poliestireno expandido en 15%, 20 % y 25%. Los tabiques de 90cm x 50cm x 3cm presentaron un considerable aislamiento térmico, el tiempo utilizado en el horno fue de 30 minutos. A continuación se presenta el cuadro de diferencia de temperaturas.

% de Tecnopor	Temperatura final del horno °C	Temperatura final de la cara interior del panel °C T ₂	Temperatura final de la cara externa del panel °C T ₁	AT = T ₂ -T ₁ °C	Tiempo de ensayo (minutos)
M1- 15 %	456	104,83	91,55	12.28	29,15
M2- 20 %	525	130,22	119,21	11.01	33,17
M3- 25 %	596	148,77	96,48	52.29	24,65

3. Esta mezcla en su estado fresco llega a tener un slump de 3 a 4 pulgadas este asentamiento llega a tener estas medidas al material de poliestireno expandido. Se requiere tener especial cuidado con el manipuleo de las perlas de poliestireno debido a que es muy liviano fácilmente transportado por el viento. Se requiere preparar recipientes adecuados para evitar el desperdicio y alta generación de residuos en obra.

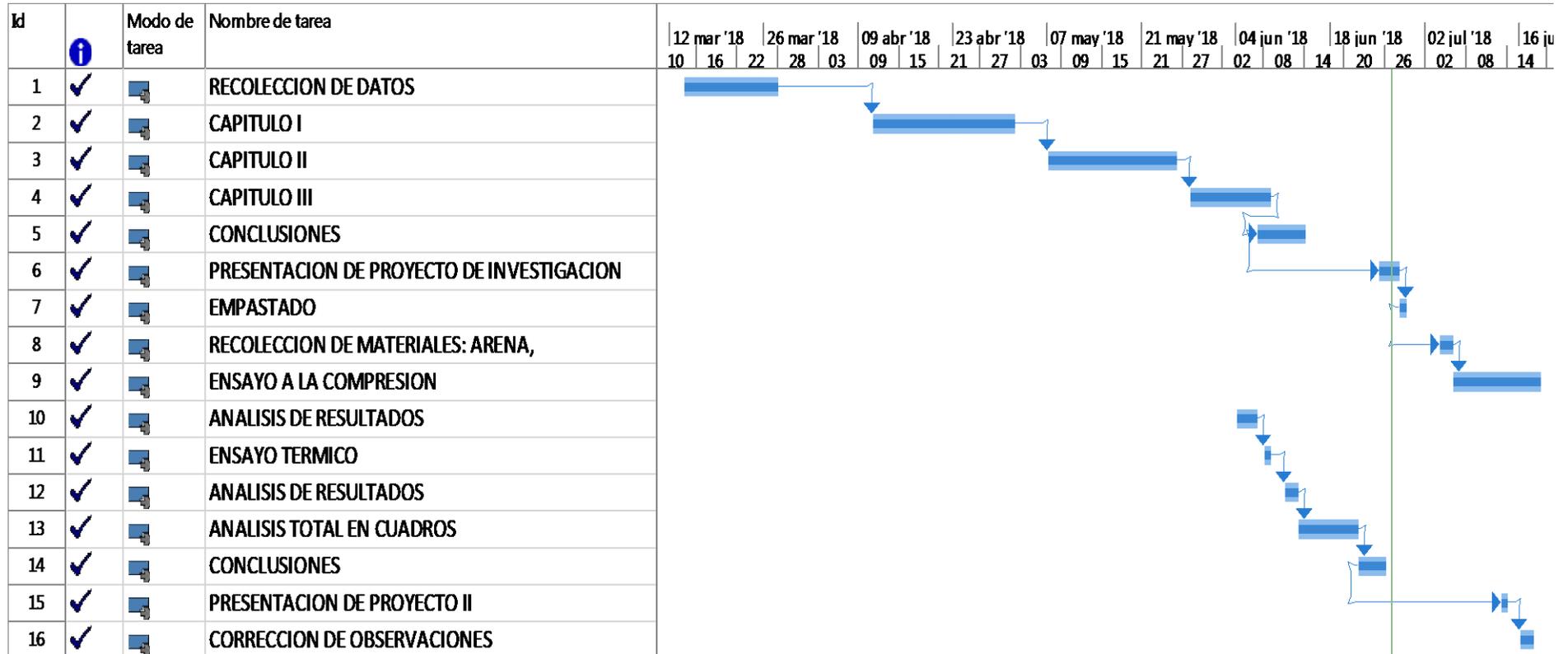
VI. RECOMENDACIONES.-

1. Como material se recomienda utilizar en las zonas frías y calidas ya que al ser térmico mantiene el clima cálido o fresco interiormente.
2. Para los amarres entre placa y placa se utilizará perfiles verticales de acero galvanizado las separaciones se encuentran detallados en los planos adjuntados en los anexos.
3. No se realiza vibrador porque es un concreto de bastante fluidez y las perlas de poliestireno se segregan.
4. Para la colocación de las perlas de poliestireno, primero se debe mezclar el agua y las perlas de poliestireno, sin alterar las cantidades del diseño de mezcla, luego se mezcla con el cemento y la arena gruesa teniendo una mezcla homogénea.,
5. Para edificaciones de un piso y si fuese el caso el techo fuese de un material simple como calaminas u otro tipo de material, se recomienda que los soportes del techo sean de madera, acero u concreto, solo para los apoyos del techo como se muestran en los planos anexados, se recuerda que este concreto no es estructural, solo es para tabiquerías.
6. El análisis económico concluye en un valor de 71.98 S/.M² que hacen competitivos los productos de viviendas económicas utilizando estos materiales.

Cronograma de Ejecución

CRONOGRAMA DE EJECUCION DE ACTIVIDADES

TABLA N°16. Cronograma de actividades FUENTE: Elaboración Propia.



VII. REFERENCIAS

ARBITO, Gerardo. Concreto Celular para uso Estructural”, tesis (Magister en la construcción) Ecuador : universidad de cuenca, 2016

LÓPEZ. Enrique. Diseño de Mezcla .., Perú, Tercera edición 2015, 2014. 133 pp.

LUZARDO Javier. y ARRAGA, Javier Analisis Del Concreto Celular Y Sus Aplicaciones En La Fabricacion De Paneles Livianos. 2014 <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-04-00480.pdf>.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones . Lima- Perú.2006

PACHECO Juan. Métodos Estadísticos. et al. Lima. Universidad cesar Vallejo, 2011. 266 pp.

SAMPIERI, Roberto Hernández. 2014. *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

VALDIVIESO, Alejandra y RAMÍREZ Jose , Compendio De Rocas Y Minerales En El Peru, Lima, 2009, 195 pp.

YÁÑEZ Shirley Paola titulado: “Análisis de Viabilidad para el uso del Mortero Celular en Colombia a partir de la revisión del Estado del Arte” año 2014 de la Pontificia Universidad javeriana facultad de Ingeniería - departamento de Ingeniería civil área de construcción Bogotá d.c. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16798/YanezLopezShirleyPaola2014.pdf?sequence=1>.

ANEXOS

Anexo 1

Diseño de mezcla considerando 15% de porcentaje en peso de poliestireno.



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 1

INFORME DISEÑOS DE MEZCLA CONCRETO CELULAR 15% TECNOPOR M3

DEL : Laboratorio Ensayos de Materiales
A : RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO.
OBRA : "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO
CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCION".
ASUNTO : Diseño de Mezcla Celular
FECHA : 27 de Agosto del 2017

1.0. - MATERIALES

1.1.- Cemento:

Se utilizó cemento ANDINO PORTLAND Tipo I.

1.2. - Agregado Fino:

Consistente en arena fina de cantera Aucayacu – río Huallaga, material zarandeado; Muestra proporcionada por el peticionario.

GRANULOMETRIA:

Ver hoja de análisis granulométrico adjunto.

Módulo de Fineza..... 2.080

PESO ESPECÍFICO

p. e. De masa..... 2.65
p. e. De masa sat. Sup. seco..... 2.67
p. e. aparente..... 2.72

PESO UNITARIO

p. u. Suelto seco..... 1432 Kg/m3
p. u. Compactado seco..... 1593 Kg/m3

HUMEDADES

Contenido de Humedad..... 1.90 %
Porcentaje de Absorción..... 1.01 %


Aracely A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
CIP N° 79372

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 2

2.0.- DISEÑO DE MEZCLA CELULAR 15% TECNOPOR

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Cemento.....	Andino Portland Tipo I
Relación a/c de Diseño.....	0.47
Relación a/c de Obra.....	0.43
Proporciones de Diseño en Peso.....	1.0 : 3.99
Proporciones de Obra en Peso.....	1.0 : 4.06
Factor Cemento.....	7.00 bolsas / m ³
Asentamiento.....	3" - 4"

Mezcla de Consistencia plástica.

2.2.- CANTIDAD DE MATERIAL POR m3 DE CONCRETO EN OBRA.

Cemento.....	298.00 Kg./m ³
Agregado Fino.....	1210.00 Kg./m ³
Tecnopor.....	3.00 Kg/M ³
Agua.....	129.00 Lt./m ³

2.3.- CANTIDAD DE MATERIAL POR BOLSA DE CEMENTO DE OBRA.

Cemento.....	42.50 Kg./bolsa
Agregado Fino.....	172.70 Kg./bolsa
Tecnopor.....	0.43 Kg/bolsa
Agua.....	18.50 Lt./bolsa

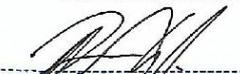
2.4.- PROPORCIONES APROX. EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Proporciones.....	1.0 : 4.10
Agua.....	18.50 Lt./bolsa
Tecnopor.....	0.43 Kg/bolsa

Rendimiento de una tanda de un saco de cemento ... 0.143 m³

2.5.- DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Cemento..... 1 bolsa = 42.50 Kg.
Agregado Global..... 4 x Cajones con las dimensiones 0.30 x 0.30 x 0.33
Todas las medidas en metros.
Las medidas son interiores.
Tec. : Arnulfo Rosas



Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio



SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
CIP N° 70372
Ing. Responsable

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

Tamices		Peso	% Retenido		% Que	Especificaciones		Tamaño Máximo:
Ø	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa	Min.	Max.	3/4"
3"	76.20			0.00%	100.00%			Descripción Muestras: ARENA SUCS = SP AASHTO = A-1b
2"	50.80			0.00%	100.00%			
1 1/2"	38.10			0.00%	100.00%			
1"	25.40			0.00%	100.00%			
3/4"	19.05			0.00%	100.00%			
1/2"	12.70			0.00%	100.00%			
3/8"	9.525			0.00%	100.00%			
1/4"	6.350	2.18	0.46%	0.46%	99.54%			
Nº 4	4.760	1.37	0.29%	0.75%	99.25%			
Nº 8	2.380	2.75	0.58%	1.32%	98.68%			
Nº 10	2.000	3.36	0.71%	2.03%	97.97%			
Nº 16	1.190	10.08	2.12%	4.14%	95.86%			
Nº 20	0.840	28.21	5.92%	10.07%	89.93%			
Nº 30	0.590	93.03	19.53%	29.59%	70.41%			
Nº 40	0.426	122.24	25.66%	55.25%	44.75%			
Nº 50	0.297	107.28	22.52%	77.77%	22.23%			
Nº 80	0.180	74.43	15.62%	93.39%	6.61%			
Nº 100	0.149	4.95	1.04%	94.43%	5.57%			
Nº 200	0.074	14.26	2.99%	97.43%	2.57%			
Fondo		12.26	2.57%	100.00%	0.00%			
TOTAL		476.40	100.00%					

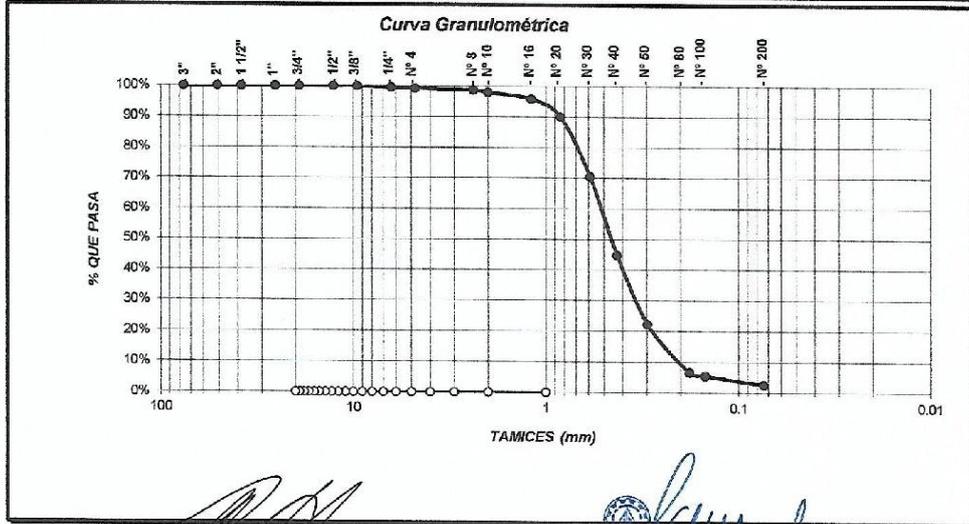
PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

MUESTRA: 1
AGREGADO FINO
ARENA GRUESA

SOLICITADO POR: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO

OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

LL = NP
LP = NP
IP = NP M.F. = 2.080
IG = 0
HUM. NATURAL = 1.90 %



Arnulfo A. Rosas Gargate
ARNULFO A. ROSAS GARGATE
TEC. LABORATORISTA
Tec. Laboratorio

Samuel Ayala Tineo
SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing. Responsable Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 - TINGO MARÍA - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



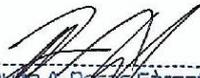
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ASTM D2216

PROYECTO: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION". MUESTRA: 1
AGREGADO FINO

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO OPERADOR: Amulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

PERFORACIÓN	CIELO ABIERTO		
MUESTRA N°	1		
ESPEJOR DE ESTRATO			
CÁPSULA N°	01		
PESO RECIPIENTE	245.59		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUM.	1013.20		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO	998.90		
PESO DEL AGUA	14.30		
PESO MATERIAL SECO	753.31		
PORCENTAJE DE HUMEDAD	1.90		
HUMEDAD PROMEDIO		1.90	

OBSERVACIONES:


Amulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing^o Responsable Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO ASTM C-29

PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
MUESTRA: AGREGADO FINO
ARENA GRUESA
OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO

PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m³)

ENSAYO N°		01	02	
NUMERO DE MOLDE		I	I	
PESO SUELO SECO + MOLDE (Kg)		5428.00	5429.00	
PESO DEL MOLDE (Kg)		3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (Kg)		2327.60	2328.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)		1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m ³)		1431	1432	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg / m ³)		1432		

PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg / m³)

NUMERO DE MOLDE		I	II	
PESO SUELO SECO + MOLDE (Kg)		5692.00	5689.00	
PESO DEL MOLDE (Kg)		3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (Kg)		2591.60	2588.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)		1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg / m ³)		1594	1592	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg / m ³)		1593		

OBSERVACIONES:


Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing° Responsable



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS ASTM C-127, ASTM C-128

PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

MUESTRA: AGREGADO FINO
ARENA GRUESA
OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO

AGREGADO GRUESO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el aire)		
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el agua)		
C	Vol. De Masas Vol. De Vacios		
D	Peso Material Seco en Estufa (105° C)		
E	Vol. De Masa		
	Peso Especifico Aparente		
	Peso Especifico Aparente (Sat. Sup. Seca)		
	Peso Especifico Nominal		
	% de Absorción		

AGREGADO FINO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el aire)	209.19	
B	Peso Frasco + Agua	627.60	
C	Peso Frasco + Agua + A	836.79	
D	Peso del Material + Agua en el Frasco	758.50	
E	Vol. de Masa + Vol. De Vacio	78.29	
F	Peso del Material Seco en Estufa (105° C)	207.10	
G	Vol. De Masa	76.20	
	Peso Especifico Aparente	2.65	
	Peso Especifico Aparente (Sat. Sup. Seca)	2.67	
	Peso Especifico Nominal	2.72	
	% de Absorción	1.01	

OBSERVACIONES:

AGREGADO GRUESO	
% GRAVA	0.00
P E A	0.00
P E A (SSS)	0.00
P E N	0.00
% ABSORCION	0.00

AGREGADO FINO	
% ARENA	100.00
P E A	2.65
P E A (SSS)	2.67
P E N	2.72
% ABSORCION	1.01

AGREGADO GLOBAL	
% HORMIGON	
P E A	
P E A (SSS)	
P E N	
% ABSORCION	


 Arnulfo A. Rosas Gargate
 TEC LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio


 SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable

Anexo 2

Diseño de mezcla considerando 20% de porcentaje en peso de poliestireno.



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 1

INFORME DISEÑOS DE MEZCLA CONCRETO CELULAR 20% TECNOPOR M3

DEL : Laboratorio Ensayos de Materiales
A : RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO.
OBRA : "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO
CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCION".
ASUNTO : Diseño de Mezcla Celular
FECHA : 27 de Agosto del 2017

1.0. - MATERIALES

1.1.- Cemento:

Se utilizó cemento ANDINO PORTLAND Tipo I.

1.2. – Agregado Fino:

Consistente en arena fina de cantera Aucayacu – río Huallaga, material zarandeado; Muestra proporcionada por el peticionario.

GRANULOMETRIA:

Ver hoja de análisis granulométrico adjunto.

Módulo de Fineza..... 2.080

PESO ESPECÍFICO

p. e. De masa..... 2.65

p. e. De masa sat. Sup. seco..... 2.67

p. e. aparente..... 2.72

PESO UNITARIO

p. u. Suelto seco..... 1432 Kg/m3

p. u. Compactado seco..... 1593 Kg/m3

HUMEDADES

Contenido de Humedad..... 1.90 %

Porcentaje de Absorción..... 1.01 %


Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC. LABORATORISTA


SÁMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
C.I.P. N° 70372

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 2

2.0.- DISEÑO DE MEZCLA CELULAR 20% TECNOPOR

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Cemento.....	Andino Portland Tipo I
Relación a/c de Diseño.....	0.47
Relación a/c de Obra.....	0.44
Proporciones de Diseño en Peso.....	1.0 : 3.09
Proporciones de Obra en Peso.....	1.0 : 3.15
Factor Cemento.....	7.00 bolsas / m ³
Asentamiento.....	3" - 4"

Mezcla de Consistencia plástica.

2.2.- CANTIDAD DE MATERIAL POR m3 DE CONCRETO EN OBRA.

Cemento.....	298.00 Kg./m ³
Agregado Fino.....	938.00 Kg./m ³
Tecnopor.....	4.00 Kg/M ³
Agua.....	132.00 Lt./m ³

2.3.- CANTIDAD DE MATERIAL POR BOLSA DE CEMENTO DE OBRA.

Cemento.....	42.50 Kg./bolsa
Agregado Fino.....	133.90 Kg./bolsa
Tecnopor.....	0.57 Kg/bolsa
Agua.....	18.80 Lt./bolsa

2.4.- PROPORCIONES APROX. EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Proporciones.....	1.0 : 3.20
Agua.....	18.80 Lt./bolsa
Tecnopor.....	0.57 Kg/bolsa

Rendimiento de una tanda de un saco de cemento ... 0.143 m³

2.5.- DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Cemento..... 1 bolsa = 42.50 Kg.
Agregado Global..... 4 x Cajones con las dimensiones 0.30 x 0.30 x 0.33
Todas las medidas en metros.
Las medidas son interiores.
Tec. : Arnulfo Rosas


Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA

Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
CIP N° 70372

Ing. Responsable

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

Tamices		Peso	% Retenido	% Retenido	% Que	Especificaciones		Tamaño Máximo:
Ø	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa	Min.	Max.	3/4"
3"	76.20			0.00%	100.00%			
2"	50.80			0.00%	100.00%			
1 1/2"	38.10			0.00%	100.00%			
1"	25.40			0.00%	100.00%			
3/4"	19.05			0.00%	100.00%			
1/2"	12.70			0.00%	100.00%			
3/8"	9.525			0.00%	100.00%			
1/4"	6.350	2.18	0.46%	0.46%	99.54%			
Nº 4	4.760	1.37	0.29%	0.75%	99.25%			
Nº 8	2.380	2.75	0.58%	1.32%	98.68%			
Nº 10	2.000	3.36	0.71%	2.03%	97.97%			
Nº 16	1.190	10.08	2.12%	4.14%	95.86%			
Nº 20	0.840	28.21	5.92%	10.07%	89.93%			
Nº 30	0.590	93.03	19.53%	29.59%	70.41%			
Nº 40	0.426	122.24	25.66%	55.25%	44.75%			
Nº 50	0.297	107.28	22.52%	77.77%	22.23%			
Nº 80	0.180	74.43	15.62%	93.39%	6.61%			
Nº 100	0.149	4.95	1.04%	94.43%	5.57%			
Nº 200	0.074	14.26	2.99%	97.43%	2.57%			
Fondo		12.26	2.57%	100.00%	0.00%			
TOTAL		476.40	100.00%					

PROYECTOS:	"PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".	MUESTRA:	1
SOLICITADO POR:	RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO	AGREGADO FINO	
		ARENA GRUESA	
		OPERADOR:	Arnulfo Rosas
		FECHA:	27-ago-2017

Descripción Muestras:	ARENA
SUCS =	SP
AASHTO =	A-1b
LL =	NP
LP =	NP
IP =	NP
M.F. =	2.080
IG =	0
HUM. NATURAL =	1.90 %

Curva Granulométrica

The graph plots the percentage of material passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve sizes in millimeters on a logarithmic scale from 100 to 0.01. The y-axis represents the percentage of material passing, from 0% to 100%. The curve shows that nearly all material passes through the 20mm sieve, with a sharp drop-off between 20mm and 75µm, indicating a fine sand texture.

Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio

SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing. Responsable Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 - TINGO MARÍA - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS

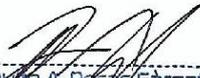


CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ASTM D2216

PROYECTO: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION". MUESTRA: 1 AGREGADO FINO
SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO OPERADOR: Amulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

PERFORACIÓN	CIELO ABIERTO		
MUESTRA N°	1		
ESPEJOR DE ESTRATO			
CÁPSULA N°	01		
PESO RECIPIENTE	245.59		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUM.	1013.20		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO	998.90		
PESO DEL AGUA	14.30		
PESO MATERIAL SECO	753.31		
PORCENTAJE DE HUMEDAD	1.90		
HUMEDAD PROMEDIO		1.90	

OBSERVACIONES:


Amulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing^o Responsable Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO ASTM C-29

PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

MUESTRA: AGREGADO FINO
ARENA GRUESA
OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO

PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m³)

ENSAYO N°		01	02	
NUMERO DE MOLDE		I	I	
PESO SUELO SECO + MOLDE (Kg)		5428.00	5429.00	
PESO DEL MOLDE (Kg)		3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (Kg)		2327.60	2328.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)		1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m ³)		1431	1432	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg / m ³)		1432		

PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg / m³)

NUMERO DE MOLDE		I	II	
PESO SUELO SECO + MOLDE (Kg)		5692.00	5689.00	
PESO DEL MOLDE (Kg)		3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (Kg)		2591.60	2588.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)		1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg / m ³)		1594	1592	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg / m ³)		1593		

OBSERVACIONES:


 Arnulfo A. Rosas Gargate
 TEC LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio


 SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing° Responsable

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
 CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS ASTM C-127, ASTM C-128

PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

MUESTRA: AGREGADO FINO
ARENA GRUESA
OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO

AGREGADO GRUESO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el aire)		
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el agua)		
C	Vol. De Masas Vol. De Vacios		
D	Peso Material Seco en Estufa (105° C)		
E	Vol. De Masa		
	Peso Especifico Aparente		
	Peso Especifico Aparente (Sat. Sup. Seca)		
	Peso Especifico Nominal		
	% de Absorción		

AGREGADO FINO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el aire)	209.19	
B	Peso Frasco + Agua	627.60	
C	Peso Frasco + Agua + A	836.79	
D	Peso del Material + Agua en el Frasco	758.50	
E	Vol. de Masa + Vol. De Vacio	78.29	
F	Peso del Material Seco en Estufa (105° C)	207.10	
G	Vol. De Masa	76.20	
	Peso Especifico Aparente	2.65	
	Peso Especifico Aparente (Sat. Sup. Seca)	2.67	
	Peso Especifico Nominal	2.72	
	% de Absorción	1.01	

OBSERVACIONES:

AGREGADO GRUESO	
% GRAVA	0.00
P E A	0.00
P E A (SSS)	0.00
P E N	0.00
% ABSORCION	0.00

AGREGADO FINO	
% ARENA	100.00
P E A	2.65
P E A (SSS)	2.67
P E N	2.72
% ABSORCION	1.01

AGREGADO GLOBAL	
% HORMIGON	
P E A	
P E A (SSS)	
P E N	
% ABSORCION	


 Arnulfo A. Rosas Gargate
 TEC LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio


 SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable

Anexo 3

Diseño de mezcla considerando 25% de porcentaje en peso de poliestireno.



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 1

INFORME DISEÑOS DE MEZCLA CONCRETO CELULAR 25% TECNOPOR M3

DEL : Laboratorio Ensayos de Materiales
A : RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO.
OBRA : "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO
CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCION".
ASUNTO : Diseño de Mezcla Celular
FECHA : 27 de Agosto del 2017

1.0. - MATERIALES

1.1.- Cemento:

Se utilizó cemento ANDINO PORTLAND Tipo I.

1.2. – Agregado Fino:

Consistente en arena fina de cantera Aucayacu – río Huallaga, material zarandeado; Muestra proporcionada por el peticionario.

GRANULOMETRIA:

Ver hoja de análisis granulométrico adjunto.

Módulo de Fineza..... 2.080

PESO ESPECÍFICO

p. e. De masa..... 2.65

p. e. De masa sat. Sup. seco..... 2.67

p. e. aparente..... 2.72

PESO UNITARIO

p. u. Suelto seco..... 1432 Kg/m3

p. u. Compactado seco..... 1593 Kg/m3

HUMEDADES

Contenido de Humedad..... 1.90 %

Porcentaje de Absorción..... 1.01 %


Arnelfo A. Rosas Gargate
TEC. LABORATORISTA


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
CIP N° 20372



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 2

2.0.- DISEÑO DE MEZCLA CELULAR 25% TECNOPOR

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Cemento.....	Andino Portland Tipo I
Relación a/c de Diseño.....	0.47
Relación a/c de Obra.....	0.45
Proporciones de Diseño en Peso.....	1.0 : 2.19
Proporciones de Obra en Peso.....	1.0 : 2.24
Factor Cemento.....	7.00 bolsas / m ³
Asentamiento.....	3" - 4"

Mezcla de Consistencia plástica.

2.2.- CANTIDAD DE MATERIAL POR m3 DE CONCRETO EN OBRA.

Cemento.....	298.00 Kg./m ³
Agregado Fino.....	666.00 Kg./m ³
Tecnopor.....	5.00 Kg/M ³
Agua.....	134.00 Lt./m ³

2.3.- CANTIDAD DE MATERIAL POR BOLSA DE CEMENTO DE OBRA.

Cemento.....	42.50 Kg./bolsa
Agregado Fino.....	95.10 Kg./bolsa
Tecnopor.....	0.71 Kg/bolsa
Agua.....	19.10 Lt./bolsa

2.4.- PROPORCIONES APROX. EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Proporciones.....	1.0 : 2.30
Agua.....	19.10 Lt./bolsa
Tecnopor.....	0.71 Kg/bolsa

Rendimiento de una tanda de un saco de cemento ... 0.143 m3

2.5.- DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Cemento..... 1 bolsa = 42.50 Kg.
Agregado Global..... 2 x Cajones con las dimensiones 0.30 x 0.30 x 0.36
Todas las medidas en metros.
Las medidas son interiores.
Tec. : Arnulfo Rosas


Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC. LABORATORISTA
Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 70372
Ing. Responsable

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 2

2.0.- DISEÑO DE MEZCLA CELULAR 15% TECNOPOR

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Cemento.....	Andino Portland Tipo I
Relación a/c de Diseño.....	0.47
Relación a/c de Obra.....	0.43
Proporciones de Diseño en Peso.....	1.0 : 3.99
Proporciones de Obra en Peso.....	1.0 : 4.06
Factor Cemento.....	7.00 bolsas / m ³
Asentamiento.....	3" - 4"

Mezcla de Consistencia plástica.

2.2.- CANTIDAD DE MATERIAL POR m3 DE CONCRETO EN OBRA.

Cemento.....	298.00 Kg./m ³
Agregado Fino.....	1210.00 Kg./m ³
Tecnopor.....	3.00 Kg/M ³
Agua.....	129.00 Lt./m ³

2.3.- CANTIDAD DE MATERIAL POR BOLSA DE CEMENTO DE OBRA.

Cemento.....	42.50 Kg./bolsa
Agregado Fino.....	172.70 Kg./bolsa
Tecnopor.....	0.43 Kg/bolsa
Agua.....	18.50 Lt./bolsa

2.4.- PROPORCIONES APROX. EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Proporciones.....	1.0 : 4.10
Agua.....	18.50 Lt./bolsa
Tecnopor.....	0.43 Kg/bolsa

Rendimiento de una tanda de un saco de cemento ... 0.143 m³

2.5.- DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN POR BOLSA DE CEMENTO

Cemento..... 1 bolsa = 42.50 Kg.
Agregado Global..... 4 x Cajones con las dimensiones 0.30 x 0.30 x 0.33
Todas las medidas en metros.
Las medidas son interiores.
Tec. : Arnulfo Rosas



Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio



SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
CIP N° 70372
Ing. Responsable

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

Tamices		Peso	% Retenido		% Que	Especificaciones		Tamaño Máximo:
Ø	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa	Min.	Max.	3/4"
3"	76.20			0.00%	100.00%			Descripción Muestras: ARENA SUCS = SP AASHTO = A-1b LL = NP LP = NP IP = NP M.F. = 2.080 IG = 0 HUM. NATURAL = 1.90 %
2"	50.80			0.00%	100.00%			
1 1/2"	38.10			0.00%	100.00%			
1"	25.40			0.00%	100.00%			
3/4"	19.05			0.00%	100.00%			
1/2"	12.70			0.00%	100.00%			
3/8"	9.525			0.00%	100.00%			
1/4"	6.350	2.18	0.46%	0.46%	99.54%			
Nº 4	4.760	1.37	0.29%	0.75%	99.25%			
Nº 8	2.380	2.75	0.58%	1.32%	98.68%			
Nº 10	2.000	3.36	0.71%	2.03%	97.97%			
Nº 16	1.190	10.08	2.12%	4.14%	95.86%			
Nº 20	0.840	28.21	5.92%	10.07%	89.93%			
Nº 30	0.590	93.03	19.53%	29.59%	70.41%			
Nº 40	0.426	122.24	25.66%	55.25%	44.75%			
Nº 50	0.297	107.28	22.52%	77.77%	22.23%			
Nº 80	0.180	74.43	15.62%	93.39%	6.61%			
Nº 100	0.149	4.95	1.04%	94.43%	5.57%			
Nº 200	0.074	14.26	2.99%	97.43%	2.57%			
Fondo		12.26	2.57%	100.00%	0.00%			
TOTAL		476.40	100.00%					

Curva Granulométrica

The graph plots the percentage of material passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve size in millimeters on a logarithmic scale from 100 to 0.01. The y-axis represents the percentage of material passing, from 0% to 100%. The curve shows that nearly all material passes through a 1mm sieve, with a sharp drop-off between 1mm and 0.075mm.

Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC. LABORATORISTA
Tec. Laboratorio

SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing. Responsable Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 - TINGO MARÍA - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



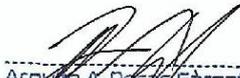
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ASTM D2216

PROYECTO: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION". MUESTRA: 1
AGREGADO FINO

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO OPERADOR: Amulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

PERFORACIÓN	CIELO ABIERTO		
MUESTRA N°	1		
ESPEJOR DE ESTRATO			
CÁPSULA N°	01		
PESO RECIPIENTE	245.59		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUM.	1013.20		
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO	998.90		
PESO DEL AGUA	14.30		
PESO MATERIAL SECO	753.31		
PORCENTAJE DE HUMEDAD	1.90		
HUMEDAD PROMEDIO		1.90	

OBSERVACIONES:


Amulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing^o Responsable Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS. ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO ASTM C-29

PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

MUESTRA: AGREGADO FINO
ARENA GRUESA
OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO

PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m³)

ENSAYO N°		01	02	
NUMERO DE MOLDE		I	I	
PESO SUELO SECO + MOLDE (Kg)		5428.00	5429.00	
PESO DEL MOLDE (Kg)		3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (Kg)		2327.60	2328.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)		1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO SUELTO (Kg / m ³)		1431	1432	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg / m ³)		1432		

PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg / m³)

NUMERO DE MOLDE		I	II	
PESO SUELO SECO + MOLDE (Kg)		5692.00	5689.00	
PESO DEL MOLDE (Kg)		3100.40	3100.40	
PESO SUELO SECO (Kg)		2591.60	2588.60	
VOLUMEN DEL MOLDE (m ³)		1626.29	1626.29	
PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg / m ³)		1594	1592	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg / m ³)		1593		

OBSERVACIONES:


 Arnulfo A. Rosas Gargate
 TEC LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio


 SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing° Responsable

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARÍA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
 CEL. 976941379, RPM #976941379, #958810962



AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.

CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN, EVALUACION, EJECUCIÓN DE PROYECTOS.
ELABORACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA, ALQUILER DE MAQUINARIAS,
EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y OTROS SERVICIOS



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS ASTM C-127, ASTM C-128

PROYECTOS: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
MUESTRA: AGREGADO FINO
ARENA GRUESA
OPERADOR: Arnulfo Rosas
FECHA: 27-ago-2017

SOLICITADO POR: RICARDO DANIELPACHECO TINOCO

AGREGADO GRUESO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el aire)		
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el agua)		
C	Vol. De Masas Vol. De Vacios		
D	Peso Material Seco en Estufa (105° C)		
E	Vol. De Masa		
	Peso Especifico Aparente		
	Peso Especifico Aparente (Sat. Sup. Seca)		
	Peso Especifico Nominal		
	% de Absorción		

AGREGADO FINO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en el aire)	209.19	
B	Peso Frasco + Agua	627.60	
C	Peso Frasco + Agua + A	836.79	
D	Peso del Material + Agua en el Frasco	758.50	
E	Vol. de Masa + Vol. De Vacio	78.29	
F	Peso del Material Seco en Estufa (105° C)	207.10	
G	Vol. De Masa	76.20	
	Peso Especifico Aparente	2.65	
	Peso Especifico Aparente (Sat. Sup. Seca)	2.67	
	Peso Especifico Nominal	2.72	
	% de Absorción	1.01	

OBSERVACIONES:

AGREGADO GRUESO	
% GRAVA	0.00
P E A	0.00
P E A (SSS)	0.00
P E N	0.00
% ABSORCION	0.00

AGREGADO FINO	
% ARENA	100.00
P E A	2.65
P E A (SSS)	2.67
P E N	2.72
% ABSORCION	1.01

AGREGADO GLOBAL	
% HORMIGON	
P E A	
P E A (SSS)	
P E N	
% ABSORCION	


Arnulfo A. Rosas Gargate
TEC LABORATORISTA
Tec. Laboratorio


SAMUEL AYALA TINEO
INGENIERO CIVIL
Ing. Responsable

Anexo 4

Ensayo de compresión considerando 15% de porcentaje de peso de poliestireno.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO
 NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
 OPERADOR: Arnulfo Rosas
 FECHA DE ENSAYO: 14/10/2017

SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO
 ESTRUCTURA : EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta N°	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 15% TECNOPOR	07-10-17	14-10-17	7	14.8	172.03		7650	43.89	
02		07-10-17	14-10-17	7	14.8	172.03		7650	44.47	
03		07-10-17	14-10-17	7	14.8	172.03		7450	43.31	43.89

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.



SAMUEL AYALA TINOCO
 INGENIERO CIVIL
 C.O.P. N° 20372
 Ing. Responsable Laboratorio



Arnulfo A. Rosas Gargate
 INGENIERO CIVIL
 Tec. Laboratorio

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO

NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO

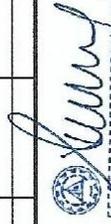
SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO OPERADOR: Arnulfo Rosas

ESTRUCTURA: EL QUE INDICA FECHA DE ENSAYO: 21/10/2017

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta Nº	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm ²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
01	DISEÑO 15% TECNOPOR	07-10-17	21-10-17	14	14.8	172.03		9523	55.36	
02		07-10-17	21-10-17	14	14.6	167.42		9850	58.84	
03		07-10-17	21-10-17	14	14.9	174.37		9742	55.87	56.69

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.


 SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable Laboratorio


 Arnulfo A. Rosas Gargate
 TEC. Laboratorio

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO

NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
 MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 OPERADOR: Arnulfo Rosas
 FECHA DE ENSAYO: 04/11/2017

SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO
 ESTRUCTURA: EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta Nº	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm ²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
01	DISEÑO 15% TECNOPOR	07-10-17	04-11-17	28	14.9	174.37		10500	60.22	
02		07-10-17	04-11-17	28	14.9	174.37		11426	65.53	
03		07-10-17	04-11-17	28	14.9	174.37		10850	62.23	62.66

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.

ARNULFO A. ROSAS SARGATE
 TEC. LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio

SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable Laboratorio

Anexo 5

Ensayo de compresión considerando 20% de porcentaje de peso de poliestireno.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO
 NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILÍNDRICA DE CONCRETO
 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION". OPERADOR: Amulfo Rosas
 SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO FECHA DE ENSAYO: 14/10/2017
 ESTRUCTURA : EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta N°	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 20% TECNOPOR	07-10-17	14-10-17	7	15.0	176.71		6350	36.93	36.14
02		07-10-17	14-10-17	7	14.9	174.37		6100	34.98	
03		07-10-17	14-10-17	7	14.8	172.03		6450	37.49	

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.

SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable Laboratorio

RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO
 TEC LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO
 NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
 OPERADOR: Armulfo Rosas
 FECHA DE ENSAYO: 21/10/2017

SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO
 ESTRUCTURA: EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta N°	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 20% TECNOPOR	07-10-17	21-10-17	14	14.9	174.37	7772	7772	44.57	45.30
02		07-10-17	21-10-17	14	14.8	172.03	7850	7850	45.83	
03		07-10-17	21-10-17	14	14.8	172.03	7862	7862	46.70	

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al laboratorio por el solicitante.

Armulfo A. Rosas Cargate
 TEC LABORATORISTA
 Ing. Laboratorio


 SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 C.O.P. N° 70372
 Ing. Responsable Laboratorio

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO
 NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
 OPERADOR: Arnulfo Rosas
 FECHA DE ENSAYO: 04/11/2017

SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHEGO TINOCO
 ESTRUCTURA: EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta N°	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Díámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 20% TECNOPOPOR	07-10-17	04-11-17	28	14.9	174.37		8523	48.88	
02		07-10-17	04-11-17	28	14.9	174.37		9123	52.32	
03		07-10-17	04-11-17	28	15.0	176.71		8260	46.74	49.31

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.

ARMANDO A. ROSAS ROSAS
 TEC LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio

SAMUEL AYALA TINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable Laboratorio

Anexo 6

Ensayo de compresión considerando 25% de porcentaje de peso de poliestireno.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO

NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
 MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 OPERADOR: Arnulfo Rosas
 FECHA DE ENSAYO: 14/10/2017

SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TIMOGO
 ESTRUCTURA: EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta Nº	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Díámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 25% TECNOPOR	07-10-17	14-10-17	7	14.8	172.03		4595	26.48	
02		07-10-17	14-10-17	7	15.0	176.71		4505	25.49	
03		07-10-17	14-10-17	7	14.6	167.42		4440	26.52	26.16

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.

Arnulfo A. Rosas Gargate
 Tec. LABORATORISTA
 Ing. Laboratorio

SAMUEL AYALATINEO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. Responsable Laboratorio

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE CONCRETO

NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".
 OPERADOR: Arnulfo Rosas
 FECHA DE ENSAYO: 21/10/2017
 SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO
 ESTRUCTURA: EL QUE INDICA

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Probeta N°	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 25% TECNOPOR	07-10-17	21-10-17	14	14.8	172.03		5766	33.46	
02		07-10-17	21-10-17	14	14.8	172.03		5745	33.39	
03		07-10-17	21-10-17	14	14.8	172.03		5701	33.14	33.33

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.


 Ricardo A. Rosas Gargate
 TEC. LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio


 Samuel Ayala Tineo
 Ing. Responsabil Laboratorio

AV. TITO JAIME N° 614 – TINGO MARIA – RUPA RUPA – LEONCIO PRADO – HUANUCO
 CEL. 976941379, RPM #976941379, #956910962

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO
NORMA: ASTM C-39

PROYECTO: "PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU MUESTRA: PROBETA CILINDRICA DE CONCRETO
 APLICACION EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION". Arnulfo Rosas
 SOLICITANTE: RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO OPERADOR:
 ESTRUCTURA: EL QUE INDICA FECHA DE ENSAYO: 04/11/2017

ENSAYO DE COMPRESION

Probeta N°	Estructura	Fecha de Moldeo	Fecha de Ensayo	Edad (dias)	Diámetro Nominal (cm)	Área Nominal (cm²)	Lectura de Prueba (Lbs)	Carga Equivalente (kg)	Resistencia Obtenida (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
01	DISEÑO 25% TECNOPOR	07-10-17	04-11-17	28	14.8	172.03		6500	37.78	
02		07-10-17	04-11-17	28	15.0	176.71		6423	36.35	
03		07-10-17	04-11-17	28	15.0	176.71		6350	35.93	36.69

Las probetas han sido fabricadas y transportadas al Laboratorio por el solicitante.


 Ricardo A. Rosas Sargate
 Ing. LABORATORISTA
 Tec. Laboratorio


 Samuel Ayala Tinoco
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 20327
 Ing. Responsable Laboratorio

Anexo 7

Ensayo de para determinar el módulo de elasticidad



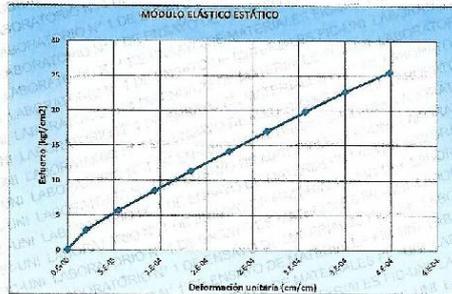
INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : RICARDO DANIEL PACHEGO TINOCO
 Asunto : Ensayo de Modulo Elastico del Concreto
 Expediente N° : 18-0879
 Recibo N° : 59631
 Fecha de emisión : 12/03/2018

- 1. DE LA MUESTRA** : Consistente en 03 probetas cilindricas de concreto de 15 x 30 cm, con una resistencia promedio de 61 kg/cm². Considerado concreto ligero (W = 1668 kg/m³)
- 2. DEL EQUIPO** : Máquina de ensayo universal TINIUS OLSEN
 Certificado de Calibración CMC-081-2017
- 3. MÉTODO DEL ENSAYO** : Norma de referencia ASTM C-469
- 4. RESULTADOS** : Fecha de ensayo : 12/03/2018

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS	FECHA DE OBTENCION	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	MASA (g)	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm2)
PROB-01 - 15%	28/01/2018	14.99	28.8	9112	10200	58
PROB-02 - 15%	28/01/2018	15.04	29.7	8490	9780	55
PROB-03 - 15%	29/01/2018	14.99	29.7	8706	12650	72

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación Unitaria (mm/mm)
6.60	0.000000
2.83	0.000020
5.66	0.000055
8.49	0.000094
11.32	0.000134
14.15	0.000175
16.98	0.000216
19.81	0.000257
22.65	0.000301
25.48	0.000349



Módulo elástico Resistencia (kg/cm ²)	70035
--	-------

Módulo Elástico Estático Técnico (kg/cm ²) E=0.14*W ^{0.85} (Kg/cm ²)	75103
--	-------

5. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por: Lic. J. Basurto
 Técnico Sr. A.A.G.

J. Basurto



Ana Ferré Carrillo
 Ms. Ing. Ana Ferré Carrillo
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI



Anexo 8

Ensayo de para determinar propiedades térmicas

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio de Ensayos de Materiales – LEM UNI



**ENSAYO TERMICO DE CONCRETO CELULAR
CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Expediente:2017-3703

DICIEMBRE-2017



INFORME DE ENSAYO TERMICO EN PLACAS DE CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO

1. Alcance
2. Equipos e instrumentos
 - 2.1 Horno de ensayo**
 - 2.2 Instrumentos de medición
 - Termocuplas tipo K
 - Sensor de infrarrojo
3. Elemento ensayado
4. Acondicionamiento y montaje
5. Procedimiento de ensayo
6. Valoración y criterios de evaluación
 - 6.1 Criterios de resistencia al fuego
 - Integridad**
 - Aislamiento térmico**
 - 6.2 Clasificación de resistencia al fuego
7. Condiciones ambientales
8. Resultados
 - 8.1 Capacidad de soporte de carga
 - 8.2 Aislamiento térmico
 - 8.3 Integridad
9. Anexos



1. ALCANCE

Pruebas de:

- Caracterización térmica del horno
- Prueba de integridad del panel
- Prueba de aislamiento térmico del panel

2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

2.1 Horno de ensayo

Según la Norma EN 1363-1 la temperatura del horno debería depender del tiempo según la relación:

$$T = T_0 + 345 \text{Log}(8t + 1)$$

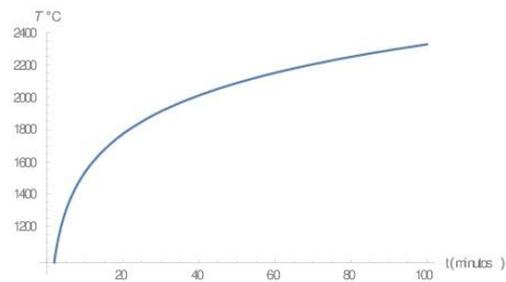


Fig 1. Curva de calentamiento de horno estándar (ISO 834)

Caracterización térmica del horno empleado

La figura 2 muestra la curva de calentamiento del horno. La función temperatura versus tiempo correspondiente es dada por la siguiente relación:

$$T = T_0 + 126,054 \text{Log}(3t + 1)$$

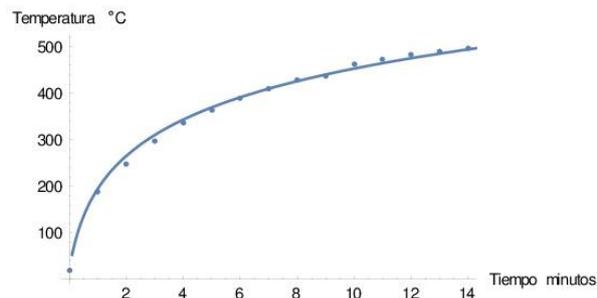




Fig 2. Curva de calentamiento del horno empleado en el ensayo. Los puntos corresponden a los datos medidos usando termocuplas tipo K. La curva continua corresponde a la función $T(t)$.

- 2.2 Instrumentos de medición
- Termocuplas tipo K
 - Sensor de infrarrojo
 - Tarjetas de adquisición de data ARDUINO

3 ELEMENTOS ENSAYADOS

06 Paneles de fibrocemento de 50 cm de ancho; 50 cm de longitud y 3,5 cm de espesor, con pares de:

M1 – 02 paneles con 15% de perlitas de Tecnopor.

M2 – 02 paneles con 20% de perlitas de Tecnopor

M3 – 02 paneles con 25% de perlitas de Tecnopor.

4 ACONDICIONAMIENTO Y MONTAJE

Se colocaron termocuplas para medir la temperatura del horno y de ambas caras del material a medida que se realizó el ensayo. Las mediciones fueron automatizadas con una tarjeta de adquisición de data, como se muestra en la figura 3.



Fig 3. Equipo de ensayo de resistencia al fuego.

5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Cuatro termocuplas son fijadas usando material epóxico sobre las caras del panel. Dos termocuplas T1 son fijadas sobre la cara exterior de la placa y dos termocuplas T2 son fijadas cercanas a la superficie de la cara interior expuesta al fuego

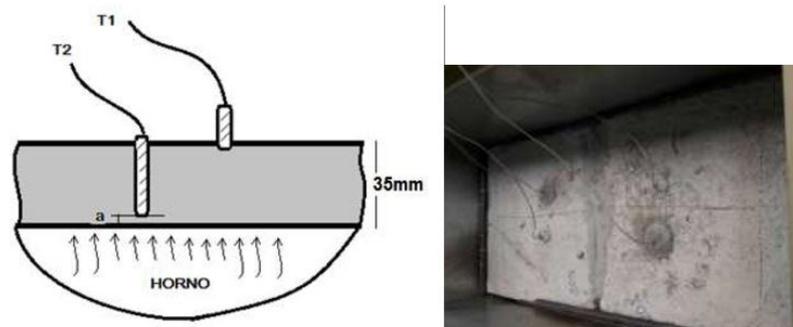


Fig. 4: Ubicación de los Termocuplas en el Panel.

La señal analógica de las termocuplas es digitalizada por una tarjeta de adquisición de datos ARDUINO y monitoreada mediante una PC.

Se encienden los quemadores comenzando el registro de temperatura versus tiempo. Son registradas las temperaturas del interior del horno y de ambas caras del panel hasta observar posibles fracturas del panel en la cara externa, presencia de humo o hasta que la temperatura de la cara externa supere el valor de temperatura de ignición de materiales inflamables.

6 VALORACIÓN Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

6.1 Criterios de resistencia al fuego

La tabla 1 muestra las temperaturas finales alcanzadas en el horno y en las caras del panel.

Tabla 1

% de Tecnopor	Temperatura final del horno °C	Temperatura final de la cara interior del panel °C T ₂	Temperatura final de la cara externa del panel °C T ₁	AT = T ₂ -T ₁ °C	Tiempo de ensayo (minutos)
M1- 15 %	456	104,83	91,55	12,28	29,15
M2- 20 %	525	130,22	119,21	11,01	33,17
M3- 25 %	596	148,77	96,48	52,29	24,65

Integridad E

El valor de la integridad en estos paneles se encontrará determinado por el aumento de la temperatura de la cara externa del panel a valores por encima de la temperatura de ignición (160°C) de materiales inflamables, sin embargo, para el horno usado (temperatura máxima alcanzada de 596°C) al cabo de 30 minutos la temperatura máxima alcanzada en una de las caras externas de los



paneles (M2), fue de 119°C que está debajo de los 160°C que establecen las normas UNE-EN 1363-1:2015 o UNE-EN 1363-2:2000.

Aislamiento Térmico

Los tabiques presentaron un considerable aislamiento térmico. Para el horno usado, el tiempo de inicio del comportamiento estacionario fue cercano a los 30 minutos; al cabo de dicho tiempo, las diferencias de temperaturas entre ambas caras de las placas fueron de 13°C en el panel M1; 11°C; en el panel M2 y de 52°C en el panel M3 (Tabla 1). El aumento de temperatura de las caras interna y externa de los paneles a medida que pasa el tiempo son mostradas en la figura 4 y anexo.

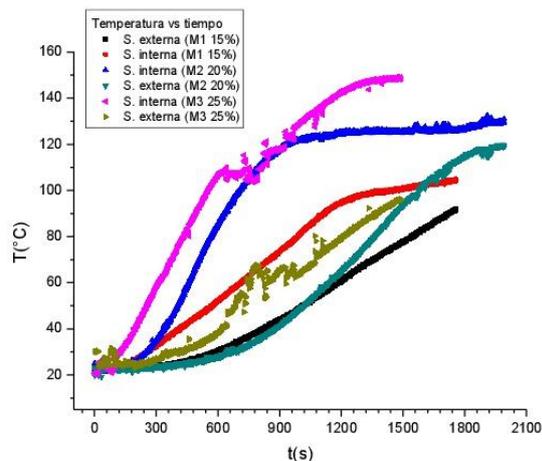


Fig 4. Curvas de aislamiento térmico de los paneles. Para temperaturas máximas del horno cercanas a los 600°C, la temperatura más alta alcanzada por la cara externa de los paneles fue de 119°C (M3) muy por debajo de los 160°C que como máximo establecen las normas Europeas UNE-EN 1363-1:2015 o UNE-EN 1363-2:2000.

6.2 Clasificación de los paneles por resistencia al fuego

- Panel M1 tipo F10
- Panel M2 tipo F10
- Panel M3 tipo F30

7 CONDICIONES AMBIENTALES

- Temperatura ambiente: 20°C
- Humedad relativa 78%



8. RESULTADOS :

	T °C (Horno)	AT ° C Panel	Observaciones
M1- 15%	465	13	No hay Grietas o Fisuras
M2- 20%	525	11	No hay Grietas o Fisuras
M3- 25%	596	52	No hay Grietas o Fisuras

- 8.1 Integridad: En el horno de calentamiento lento utilizado, no se alcanzó la temperatura de falla de aislamiento térmico y tampoco de falla de integridad de los paneles.
- 8.2 A partir de la curva Temperatura versus tiempo para el caso del panel 2 (20%) se determinó el valor de la difusividad térmica α del material ($\alpha = 3.592 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)



9. ANEXOS

A) Caracterización térmica del horno

El horno utilizado es de estructura de fierro y la cámara de combustión está forrada en latón. La cámara tiene una pared aislante de 5cm de espesor. El horno es calentado por gas. La temperatura de la cámara del horno es monitoreada por termocuplas tipo K instaladas sobre su pared interior y conectorizadas a tarjetas interfase ARDUINO acopladas a la pared exterior del horno. La lectura de las temperaturas registradas por las termocuplas puede ser visual o puede ser leída por una PC conectada a la salida del puerto digital de la tarjeta interfase.



Fig. A1 Horno empleado

La curva característica de calentamiento (Temperatura versus tiempo) del horno es mostrada en la figura

$$T = 20 + 126,054 \text{Log}(3t + 1)$$

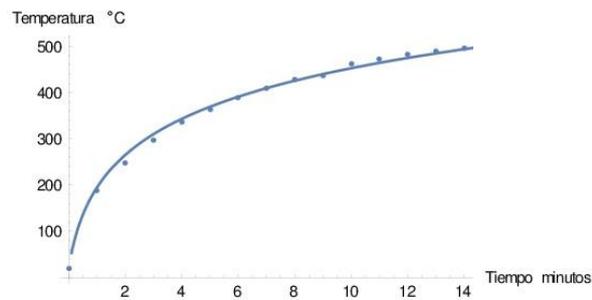


Fig. A2 Curva de calentamiento del horno



B) Ensayos de Integridad y aislamiento térmico de los paneles

Prueba 1: Panel M1 – 15 % de Tecnopor

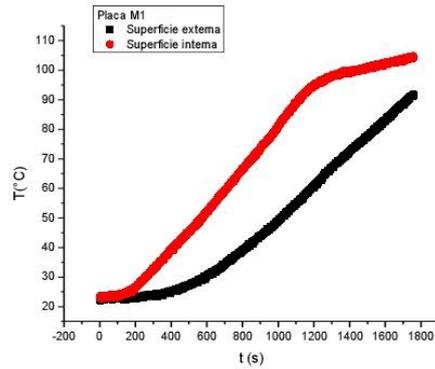


Fig. B1 Curva de calentamiento del panel M1

Prueba 2 Panel M2 – 20 % de Tecnopor

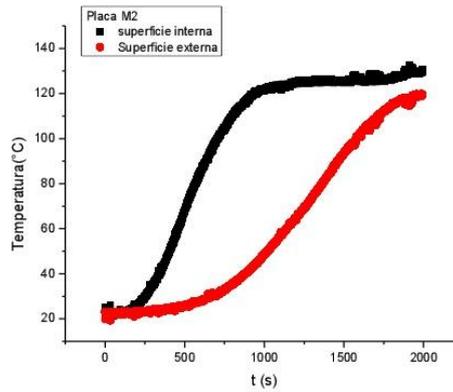


Fig. B2 Curva de calentamiento del panel M2



La curva Temperatura versus tiempo correspondiente al panel M2 nos permite determinar el valor de la difusividad térmica α de este Panel:

$$\alpha = \frac{1.38 d^2}{\pi^2 t_{1/2}} = \frac{1.38 (0.035)^2}{\pi^2 * (476)} = 3.592 * 10^{-7} m^2/s$$

Donde:

d: grosor del panel

$t_{1/2}$: Tiempo (en segundos), en el que se alcanza la mitad del valor de la temperatura estacionaria.

Prueba 3 Panel M3 – 25 % de Tecnopor

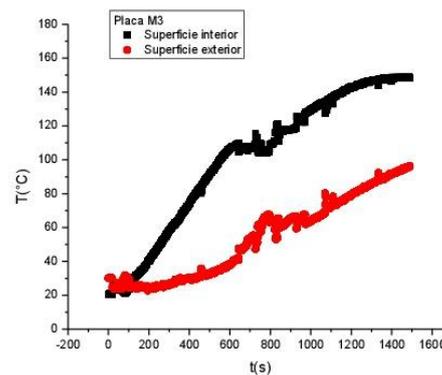


Fig. B3 Curva de calentamiento del panel M3

Hecho por: Dr. Luis Mosquera
Lic. Jesus Basurto

Anexo 9

Costos y presupuestos de vivienda multifamiliar típica.

CUADRO COMPARATIVO

TESIS "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

ALUMNO RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO

ITEM	DESCRIPCION	PARCIAL	TOTAL
01	PRESUPUESTO TABIQUERIA CONCRETO CELULAR	71.98	71.98
02	PRESUPUESTO TABIQUERIA LADRILLO PANDERETA	135.45	135.45

DIFERENCIA MONETARIA	S/. 63.47
-----------------------------	------------------

PRESUPUESTO TABIQUERIA CONCRETO CELULAR

OBRA: "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

ALUMNO RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	TOTAL S/.
01	TABIQUERIA CONCRETO CELULAR					71.98
01.01	VARIOS				71.98	
01.01.01	PLACAS DE CONCRETO CELULAR INCL/ENCOFRADO	m2	1.00	11.75	11.75	
01.01.02	PERFILES DE ACERO GALVANIZADO	und	0.70	38.53	26.97	
01.01.03	PINTURA LATEX INTERIOR	m2	1.00	16.63	16.63	
01.01.04	PINTURA LATEX EXTERIOR	m2	1.00	16.63	16.63	
01.01.05						
COSTO DIRECTO						71.98
TOTAL PRESUPUESTO						71.98
SON : SETENTA Y UNO CON 98/100 NUEVOS SOLES						

PRESUPUESTO TABIQUERIA LADRILLO pandereta

TESIS "PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

ALUMNO RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	TOTAL S/.
02	TABIQUERIA LADRILLO PANDERETA					135.45
02.01	VARIOS				135.45	
02.01.01	MURO DE LADRILLO K.K. DE ARCILLA MECANIZADO AMARRE DE SOGA	m2	1.00	41.39	41.39	
02.01.02	TARRAJEO FROTACHADO EN INTERIORES (CEMENTO ARENA)	m2	1.00	30.40	30.40	
02.01.03	TARRAJEO FROTACHADO EN EXTERIORES (CEMENTO ARENA)	m2	1.00	30.40	30.40	
02.01.04	PINTURA LATEX INTERIOR	m2	1.00	16.63	16.63	
02.01.05	PINTURA LATEX EXTERIOR	m2	1.00	16.63	16.63	
COSTO DIRECTO						135.45
TOTAL PRESUPUESTO						135.45
SON : CIENTO TREINTA Y CINCO CON 45/100 NUEVOS SOLES						

Análisis de precios unitarios

TESIS	0101035	*PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION*.					
ALUMNO	001 RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO					Fecha presupuesto	10/06/2018
Parida	01.01.01	PLACAS DE CONCRETO CELULAR INCL/ENCOFRADO					
Rendimiento	u/DIA	1.0000	EQ. \$2.5000	Costo unitario directo por : u		11.75	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0147010001	OFICIAL	hh	1.0000	0.0970	16.31	1.58	
0147010004	PECN	hh	1.0000	0.0970	14.66	1.42	
3.00							
Materiales							
0202010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 1 1/2"	kg		0.1000	2.90	0.29	
0202010007	MADERA TORNILLO	p2		0.0600	4.50	0.27	
0221000001	PETROLEO D-2	gal		0.8000	9.23	5.54	
0288000000	POLIESTIRENO EXPANDIDO	m3		0.0135	21.00	0.28	
0243040000	ARENA GRUESA	m3		0.0147	42.50	0.62	
0254010001	AGUA	m3		0.0051	1.60	0.01	
0274010032	CEMENTO PORTLAND TPO I (42.5 kg)	bol		0.0275	17.00	0.47	
7.48							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	4.78	0.24	
0349030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11PS (23HP)	hm	1.0000	0.0970	10.52	1.02	
1.26							
Parida	01.01.02	PERFILES METALICOS					
Rendimiento	u/DIA	1.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : u		38.53	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
147010006	OFICIAL	hh	1.0000	0.0970	16.31	1.58	
1.58							
Materiales							
0202010005	PERFILES DE ACERO GALVANIZADO	kg		1.0000	32.40	32.40	
0202010007	SOLDADURA CELLOCORDP 3/16"	p2		0.2000	13.13	2.63	
35.03							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	7.78	0.39	
0349030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11PS (23HP)	hm	0.5000	0.2867	6.30	0.84	
0349030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11PS (23HP)	und		0.1333	5.20	0.69	
1.92							
Parida	01.01.03	PINTURA LATEX INTERIOR					
Rendimiento	u/DIA	1.0000	EQ. 50.0000	Costo unitario directo por : m2		16.63	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
147010006	OFICIAL	hh	1.0000	0.2200	16.31	3.59	
147010007	PECN	hh	0.5000	0.0900	14.66	0.59	
4.17							
Materiales							
0202010005	LIJA	plg		0.2500	2.00	0.50	
0202010006	PINTURA	gal		0.0750	48.00	3.60	
0202010007	PASTA MURAL	gal		0.2850	25.00	7.13	
11.23							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	7.78	0.39	
0349030001	ANDAMIO METALICO (1.50 m - 2.00 m)	hm	0.5000	0.2867	6.30	0.84	
1.23							

París	01.01.04	PINTURA LATEX EXTERIOR					
Rendimiento	u/DA	1.0000	EQ. 50.0000	Costo unitario directo por : m2		16.63	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/
	Mano de Obra						
147010006	OFICIAL		hh	1.0000	0.2200	16.31	3.59
147010007	PEON		hh	0.5000	0.0800	14.66	0.59
	4.17						
	Materiales						
0202010005	LIJA		plg		0.2500	2.00	0.50
0202010006	PINTURA		gal		0.0750	48.00	3.60
0202010007	PASTA MURAL		gal		0.2850	25.00	7.13
	11.23						
	Equipos						
037010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	7.78	0.39
0346030001	ANDAMIO METALICO (1.50 m- 2.00 m)		hm	0.5000	0.2667	6.30	0.84
	1.23						

Análisis de precios unitarios

TESIS		0101035		"PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".			
ALUMNO		001 RICARDO DANIEL PACHECO TINOCO		Fecha presupuesto		10/06/2018	
Parida		02.01.01		MURO DE LADRILLO K.K. DE ARCILLA MECANIZADO AMARRE DE SOGA			
Rendimiento	u/DIA	1.0000	EQ. 82.5000	Costo unitario directo por : m2		41.39	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$L.	Parcial \$L.	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	th	0.1000	0.0400	25.82	0.10	
0147010004	OPERARIO	th	1.0000	0.4000	19.82	7.93	
0147010004	PEON	th	0.5000	0.2000	14.66	1.47	
9.50							
Materiales							
0202010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA	kg		0.0200	3.20	0.06	
0202010007	ARENA GRUESA	m3		0.0322	90.00	2.90	
0221000001	AGUA	m3		0.0088	5.68	0.05	
0238000000	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.2898	22.50	6.45	
0243040000	LADRILLO PANDERETARAYADO 6X12X3cm	m2		36.0000	0.53	19.08	
0254010001	MADRA TORNILLO ENCOFRADO	p2		0.2721	3.50	0.95	
29.49							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	11.90	0.60	
0348030001	ANDAMIO METALICO	hm	1.0000	0.4000	4.50	1.80	
2.40							
Parida		02.01.02		TARRAJEO FROTACHADO EN INTERIORES (CEMENTO ARENA)			
Rendimiento	u/DIA	1.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario directo por : m2		30.40	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$L.	Parcial \$L.	
Mano de Obra							
147010005	CAPATAZ	th	0.5000	0.0800	28.82	1.15	
147010006	OPERARIO	th	1.0000	0.8000	19.88	15.89	
147010006	PEON	th	0.5000	0.4000	14.66	2.93	
19.97							
Materiales							
0202010005	ARENA FINA	m3		0.0236	90.00	2.12	
0202010007	AGUA	m3		0.0080	5.68	0.03	
0202010008	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1665	22.50	3.75	
0202010009	MADERA TORNILLO PUNCOFRADO	p2		0.4040	3.50	1.52	
7.42							
Equipos							
0337010001	REGLA DE ALUMINIO 1" X 4" X 8"	und		5.0000	60.00	3.00	
3.00							

Período	02.01.03	TARRAJEO FROTACHADO EN EXTERIORES (CEMENTO ARENA)						
Rendimiento	u/DIA	1,0000	EQ. 10,0000			Costo unitario directo por : m2	30.40	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$L	Parcial \$L	
Mano de Obra								
147010006	CAPATAZ		h	0.5000	0.0800	28.82	1.15	
147010006	OPERARIO		h	1.0000	0.8000	19.86	15.89	
147010006	PEON		h	0.5000	0.4000	14.66	2.93	
							19.97	
Materiales								
0202010005	ARENA FINA		m3		0.0236	90.00	2.12	
0202010007	AGUJA		m3		0.0060	5.68	0.03	
0202010008	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bal		0.1685	22.50	3.75	
0202010009	MADERA TORNILLO BIENCOFRADO		p2		0.4340	3.50	1.52	
							7.42	
Equipos								
0337010001	REGLA DE ALUMINIO 1" X 4" X 8"		und		5.0000	60.00	3.00	
							3.00	
Período	02.01.04	PINTURA LATEX INTERIOR						
Rendimiento	u/DIA	1,0000	EQ. 50,0000			Costo unitario directo por : m2	16.63	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$L	Parcial \$L	
Mano de Obra								
147010006	OFICIAL		h	1.0000	0.2200	16.31	3.59	
147010007	PEON		h	0.5000	0.0800	14.66	0.59	
							4.17	
Materiales								
0202010005	LIA		plg		0.2500	2.00	0.50	
0202010006	PINTURA		gal		0.0750	48.00	3.60	
0202010007	PASTA MURAL		gal		0.2850	25.00	7.13	
							11.23	
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	7.78	0.39	
0349030001	ANDAMIO METALICO (1.50 m - 2.00 m)		hm	0.5000	0.2667	6.30	0.84	
							1.23	
Período	02.01.05	PINTURA LATEX EXTERIOR						
Rendimiento	u/DIA	1,0000	EQ. 50,0000			Costo unitario directo por : m2	16.63	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$L	Parcial \$L	
Mano de Obra								
147010006	OFICIAL		h	1.0000	0.2200	16.31	3.59	
147010007	PEON		h	0.5000	0.0800	14.66	0.59	
							4.17	
Materiales								
0202010005	LIA		plg		0.2500	2.00	0.50	
0202010006	PINTURA		gal		0.0750	48.00	3.60	
0202010007	PASTA MURAL		gal		0.2850	25.00	7.13	
							11.23	
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	7.78	0.39	
0349030001	ANDAMIO METALICO (1.50 m - 2.00 m)		hm	0.5000	0.2667	6.30	0.84	
							1.23	

Anexo 10

Certificado de calibración de la prensa hidráulica.

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 156 - 2017**

Página 1 de 3

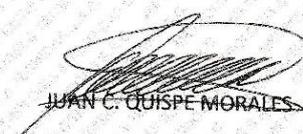
1. Expediente	17557	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	AYALA INGENIERIA & CONSTRUCCION S.A.C.	
3. Dirección	Av. Tito Jaime F. N° 614 Rupa Rupa - Leoncio Prado - HUANUCO.	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	100000 kgf	
Marca	ORION	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	NO INDICA	
Procedencia	PERÚ	
Identificación	MF-49 (*)	
Indicación	DIGITAL	
Marca	HIWEIGH	
Modelo	315-A1GB	
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	10 kgf	
5. Fecha de Calibración	2017-07-06	

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2017-07-10


JUAN C. QUISPE MORALES

Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282
RPM: *849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 156 - 2017

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticas. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.

AA. VV. Buenos Aires Mz. E Lt. 3A Tingó María - Leoncio Prado - HUANUCO.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	24,5 °C	24,7 °C
Humedad Relativa	61 % HR	61 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en el National Standards Testing Laboratory de Maryland - USA	Celda de carga calibrado a 1500 kN con incertidumbre del orden de 0,6 %	LEDI-PUCP INF-LE-473-16A

10. Observaciones

- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherido al equipo.
- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282
RPM: *849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 156 - 2017

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo	Indicación de Fuerza (Ascenso)				
	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	F_4 (kgf)	$F_{promedio}$ (kgf)
10	10000	9989,9	9975,0	10004,8	9989,9
20	20000	19998,9	19978,9	20033,7	20003,8
30	30000	29950,1	29925,2	30010,0	29961,8
40	40000	40018,3	39988,4	40038,3	40015,0
50	50000	50033,8	49953,8	49963,8	49983,8
60	60000	60066,3	59981,4	60096,3	60048,0
70	70000	70176,1	70106,1	70196,1	70159,4
80	80000	80313,2	80233,1	80273,1	80273,1
90	90000	90487,5	90417,4	90497,6	90467,5
100	100000				
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa α (%)	
10000	0,10	0,30	---	0,10	0,36
20000	-0,02	0,27	---	0,05	0,36
30000	0,13	0,28	---	0,03	0,36
40000	-0,04	0,12	---	0,03	0,36
50000	0,03	0,16	---	0,02	0,36
60000	-0,08	0,19	---	0,02	0,36
70000	-0,23	0,13	---	0,01	0,36
80000	-0,34	0,10	---	0,01	0,36
90000	-0,52	0,09	---	0,01	0,36

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (ϵ_0)	0,00 %
--	--------

12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282
RPM: *849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Anexo 11

Ficha Técnica de las perlas de poliestireno expandido.



Construcción PERLAS EPS



FICHA DE PRODUCTO

NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO	PRESENTACIÓN												
PERLAS EPS	Descripción												
   	<p>Perlas y granulado de Poliestireno Expandido que tiene muchas aplicaciones para la construcción, especialmente para realizar rellenos livianos, como por ejemplo, sobre losas de hormigón liviano para recibir los pavimentos de terminación, entre muchas otras.</p> <table border="1"> <tr> <td>Materialidad</td> <td>Perlas de Poliestireno Expandido</td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td>20 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Dosificación</td> <td>Según densidad hormigón liviano</td> </tr> <tr> <td>Usos</td> <td>Morteros y hormigones livianos, sobre losas, y afines</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Blanco</td> </tr> <tr> <td>Provisión</td> <td>Bolsas de 250 litros</td> </tr> </table>	Materialidad	Perlas de Poliestireno Expandido	Densidad	20 kg/m ³	Dosificación	Según densidad hormigón liviano	Usos	Morteros y hormigones livianos, sobre losas, y afines	Color	Blanco	Provisión	Bolsas de 250 litros
Materialidad	Perlas de Poliestireno Expandido												
Densidad	20 kg/m ³												
Dosificación	Según densidad hormigón liviano												
Usos	Morteros y hormigones livianos, sobre losas, y afines												
Color	Blanco												
Provisión	Bolsas de 250 litros												

Ventajas al utilizar Poliestireno Expandido (EPS)	Atributos
Económico	Bajo índice Precio/Calidad
Versátil	Liviano, inocuo, fácil de manipular, transportar y colocar - Tiene múltiples usos y aplicaciones
Medio Ambiente	Inerte, higiénico, saludable, reciclable – No daña la capa de ozono ni produce cloro-fluorocarbonos
Impermeabilidad	No absorbe agua - No necesita revestimiento adicional contra la absorción de humedad
Dimensionamiento	Según los requerimientos del usuario
Estabilidad Dimensional	Indeformable – Compatible con la mayoría de los materiales usados y alta resistencia físico-mecánica
Comportamiento al fuego	Autoextinguible - Carga combustible despreciable al poseer 98 % de aire en su volumen

¡NO DUDE EN CONTACTARNOS PARA OTRAS APLICACIONES!
Estamos para atenderle acorde a su requerimiento

La información contenida en esta ficha es referencial y podrá cambiar sin previo aviso

Calle San Carlos N°198 (Ex. N° 120) Urb. Santa Martha, Ate Vitarte, Lima – Perú
 Teléfonos: (01) 351 7521 (01) 351 0314 - E-mail: etsaperu@etsaperu.com.pe
 ventas@etsaperu.com.pe

Anexo 12

Informe de calidad del cemento.

INFORME DE CALIDAD

MARCA: **Andino Tipo I**
 TIPO DE CEMENTO: **Portland Tipo I** Fecha:
 ESPECIFICACIÓN VIGENTE: **ASTM C-150 NTP 334.009** **1a. Quincena de Setiembre de 2017**

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

PRUEBAS FÍSICAS:	Result. Ensayo	Spec. Límite	ANÁLISIS QUÍMICO:	Result. Ensayo	Spec. Límite	
1) Superficie específica (BLAINE)	cm ² /gr.	3640	2800 Mín.	1) Pérdida por Ignición.	1.64 % 3.00 Máx.	
				2) Residuo Insoluble	0.72 % 0.75 Máx.	
2) Tiempo de fraguado (VICAT)	Hr: min'.			3) Dióxido de silicio (SiO ₂)	20.18 % ---	
	INICIAL	1:58	0:45: Mín	4) Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	5.00 % ---	
	FINAL	4:55	06:15 Máx.	5) Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	3.42 % ---	
3) Expansión Autoclave	%	0.01	0.8 Máx.	6) Óxido de Calcio (CaO)	64.08 % ---	
				7) Óxido de Magnesio (MgO)	2.03 % 6.0 Max.	
4) Contenido de Aire, en volumen	%	5.08	12 Máx.	7) Cal libre	0.90 % ---	
				8) Tríoóxido de Azufre (SO ₃)	2.79 % 3.0 Máx.	
				10) Óxido de Sodio (Na ₂ O)	0.06 % ---	
				11) Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.62 % ---	
5) Resistencia a la compresión	Mpa	(lb/pulg ²)	Mpa	<i>FASES MINERALÓGICAS SEGÚN BOGUE</i>		
	a 3 Días	26.8	3900	12.0 Min.	SILICATO TRICÁLCICO (C3S)	57.38 % ---
	a 7 Días	33.8	4920	19.0 Min.	SILICATO DICÁLCICO (C2S)	14.61 % ---
	a 28 Días *	43.1	6270	---	ALUMINATO TRICÁLCICO (C3A)	7.46 % ---
6) Densidad	(gr/cm ³)	3.15			FERROALUMINATO TETRACÁLCICO (C4AF)	10.40 % ---
REQUISITOS OPCIONALES						
7) Falso Fraguado, penetración final	%	90.00	50 Min.	<i>ALCALIS EQUIVALENTES</i>	0.47 % 0.60 Máx.	
8) Resistencia a sulfatos				Calor de Hidratación a 7 días	70.12 Calg	
Expansión a 180 días	%	0.083	0.1 Max.	Calor de Hidratación a 28 días	78.73 Calg	

* Corresponde a 1a. Quincena de agosto 2017

FORMATO UCC-20-10000-008-04



Ing. Hernán La Jara S.
División Química

Anexo 13

Ficha Técnica del ladrillo pandereta Acanalada.

LADRILLO PANDERETA ACANALADA

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Descripción General: Es el ladrillo fabricado de arcilla moldeada, extruida y quemada o cocida en un horno tipo túnel de proceso continuo.

Denominación del Bien : Pandereta Acanalada
Denominación Técnica : Pandereta Acanalada
Grupo / Clase / Familia : Construcciones de Tabiquería
Dimensiones : 9 x 10,5 x 23 cm.
Peso : 1,90 Kg.
Unid. m² : 36

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

De los Tipos de Ladrillos

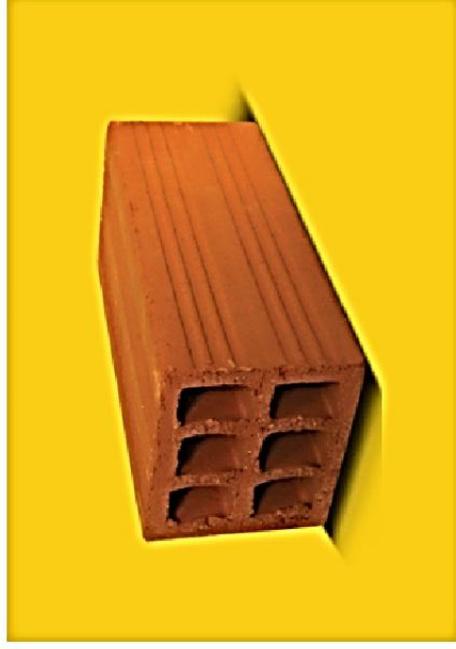
Según la Norma NTP 399.613 - 331.040 - 331.041, este ladrillo corresponde:
Tipo: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albanilería en condiciones de servicios rigurosas.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Variación de la dimensión (mm.) : ± 2,0
Alabeo (mm) : 2
Resistencia a la compresión (Kg/cm²) : 42,84
Absorción (%) : 14,20

OTRAS ESPECIFICACIONES

- Proceso de fabricación altamente controlado.
- Control de calidad riguroso en todos los procesos.
- Peso exacto.
- Secado Artificial Automatizado.



Existen dos tipos de ladrillo Pandereta liso y acanalado. Ambos tienen la función de hacer muros divisorios, tabiques ligeros (paredes delgada que sirve para separar las piezas de la casa). Recuerde que los ladrillos Pandereta no pueden soportar mucho peso. También son ampliamente utilizado en edificaciones altas como sistemas de vigas y columnas (aporticados). El ladrillo pandereta rayado necesita un mayor tarrajeo que permite un mejor asentamiento. En el caso del ladrillo pandereta liso, su adherencia es más rápida ya que no presenta desniveles.

Si desea descargar la Ficha Técnica, Haga Click Aquí

Anexo 14

Norma ACI N° 523.3R-14

ACI 523.3R-14

Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)

Reported by ACI Committee 523



Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)

Copyright by the American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. All rights reserved. This material may not be reproduced or copied, in whole or part, in any printed, mechanical, electronic, film, or other distribution and storage media, without the written consent of ACI.

The technical committees responsible for ACI committee reports and standards strive to avoid ambiguities, omissions, and errors in these documents. In spite of these efforts, the users of ACI documents occasionally find information or requirements that may be subject to more than one interpretation or may be incomplete or incorrect. Users who have suggestions for the improvement of ACI documents are requested to contact ACI via the errata website at <http://concrete.org/Publications/DocumentErrata.aspx>. Proper use of this document includes periodically checking for errata for the most up-to-date revisions.

ACI committee documents are 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. Individuals who use this publication in any way assume all risk and accept total responsibility for the application and use of this information.

All information in this publication is provided “as is” without warranty of any kind, either express or implied, including but not limited to, the implied warranties of merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement.

ACI and its members disclaim liability for damages of any kind, including any special, indirect, incidental, or consequential damages, including without limitation, lost revenues or lost profits, which may result from the use of this publication.

It is the responsibility of the user of this document to establish health and safety practices appropriate to the specific circumstances involved with its use. ACI does not make any representations with regard to health and safety issues and the use of this document. The user must determine the applicability of all regulatory limitations before applying the document and must comply with all applicable laws and regulations, including but not limited to, United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) health and safety standards.

Participation by governmental representatives in the work of the American Concrete Institute and in the development of Institute standards does not constitute governmental endorsement of ACI or the standards that it develops.

Order information: ACI documents are available in print, by download, on CD-ROM, through electronic subscription, or reprint and may be obtained by contacting ACI.

Most ACI standards and committee reports are gathered together in the annually revised ACI Manual of Concrete Practice (MCP).

American Concrete Institute
38800 Country Club Drive
Farmington Hills, MI 48331
Phone: +1.248.848.3700
Fax: +1.248.848.3701

www.concrete.org

Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)

Reported by ACI Committee 523

Konstantin Sobolev, Chair

Vivek S. Bindiganavile, Secretary

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

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

Daniel L. Liotti
 Damawan Ludirdja
 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/ft³ (800 kg/m³). The usual density range of cellular concrete is 20 to 120 lb/ft³ (320 to 1920 kg/m³). 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. 2**

- 1.1—Introduction, p. 2
- 1.2—Scope, p. 2

CHAPTER 2—NOTATION AND DEFINITIONS, p. 2

- 2.1—Notation, p. 2
- 2.2—Definitions, p. 3

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.

CHAPTER 3—MATERIALS, p. 3

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

CHAPTER 4—MIXING AND HANDLING, p. 4

- 4.1—Storage of materials, p. 4
- 4.2—Mixture proportioning, p. 4
- 4.3—Mixing procedure, p. 4
- 4.4—Conveying, p. 4
- 4.5—Curing, p. 4
- 4.6—Weather considerations, p. 4

CHAPTER 5—FORMING AND FINISHING, p. 5

- 5.1—Form systems, p. 5
- 5.2—Finishing, p. 5

CHAPTER 6—PROPERTIES OF CELLULAR CONCRETE, p. 6

- 6.1—Physical properties, p. 6
- 6.2—Mechanical performance, p. 7
- 6.3—Durability, p. 8

CHAPTER 7—DESIGN CONSIDERATIONS, p. 9**CHAPTER 8—MIXTURE PROPORTIONING, p. 9**

- 8.1—General, p. 9

ACI 523.3R-14 supersedes ACI 523.3R-93 and was adopted and published April 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, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

- 8.2—Material properties, p. 10
- 8.3—Mixture proportioning, p. 10
- 8.4—Example 1 (in U.S. customary units), p. 10
- 8.5—Example 2 (in SI units), p. 11

CHAPTER 9—FIRE RESISTANCE OF CELLULAR CONCRETE ASSEMBLIES, p. 12

- 9.1—Measuring fire resistance, p. 12
- 9.2—Fire resistance studies, p. 12

CHAPTER 10—APPLICATIONS, p. 13

- 10.1—General, p. 13
- 10.2—Placement by tremie, p. 13
- 10.3—Screeded floor fill, p. 13
- 10.4—Masonry and structural, p. 13
- 10.5—Lightweight architectural concrete masonry, p. 13

CHAPTER 11—CELLULAR CONCRETE AND SUSTAINABILITY, p. 13

- 11.1—Sustainability, p. 13
- 11.2—Energy efficiency, p. 14
- 11.3—Materials saving, alternative ingredients, and use of by-products, p. 14
- 11.4—Production method, p. 15
- 11.5—Site disturbances, p. 15
- 11.6—Applications greater than 50 lb/ft³ (800 kg/m³), p. 15
- 11.7—Foaming agents, p. 15
- 11.8—Recyclability and reuse, p. 15
- 11.9—CO₂ sequestration, p. 15

CHAPTER 12—REFERENCES, p. 15

- Cited references, p. 15

CHAPTER 1—INTRODUCTION AND SCOPE

1.1—Introduction

This guide includes cellular concretes with as-cast densities in the range of 50 to 110 lb/ft³ (800 to 1760 kg/m³). Applications include, but are not limited to, insulating or geotechnical fills and cast-in-place and precast elements. A wide range of applications is possible by controlling the as-cast density and mixture proportioning that influence the main physical properties, such as strength, modulus of elasticity, and thermal conductivity. Commercial uses include cast-in-place, nonstructural floor fills; precast or cast-in-place elements such as wall panels; architectural applications such as annular pipe fills (Fig. 1.1a); and pipeline abandonments (Fig. 1.1b).

Cellular concretes referenced in this guide contain stable gas cells uniformly distributed in a cementitious mixture (Fig. 1.1c). Typically, macroscopic bubbles are added at the mixer as stable preformed foam metered from a calibrated nozzle and thoroughly blended into the slurry. This guide does not cover the addition of an in-place-foam admixture that may require vigorous mixing to entrap air. Cellular concretes in the density range covered by this guide may contain natural or manufactured aggregates.

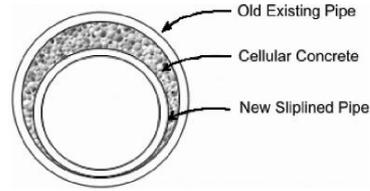


Fig. 1.1a—Sliplined pipe.

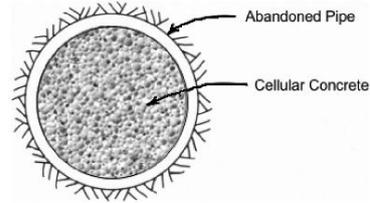


Fig. 1.1b—Pipeline abandonment.

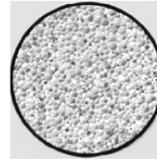


Fig. 1.1c—Typical cell structure of cellular concrete.

1.2—Scope

This guide applies to cellular concretes with cast densities greater than 50 lb/ft³ (800 kg/m³). Precast and cast-in-place cellular concretes are within the scope of this guide. Compressive strengths may vary widely and are specified based on a particular application. To assist in selection, proportioning, and production of cellular concretes, the available material property information and applications of cellular concretes are also addressed.

CHAPTER 2—NOTATION AND DEFINITIONS

2.1—Notation

A	=	dry mass of aggregate, lb/yd ³ (kg/m ³)
A_v	=	air content, percentage
C	=	mass of cement, lb/yd ³ (kg/m ³)
D	=	oven dry density, lb/ft ³ (kg/m ³)
d	=	diameter of test specimen, in. (mm)
E_c	=	static modulus of elasticity of concrete, ksi (MPa)
F	=	resistance to freezing and thawing, cycles
f'_c	=	specified compressive strength of concrete, psi (MPa)
f_{ct}	=	splitting tensile strength of concrete, psi (MPa)
G_c	=	specific gravity of cement

G_s	=	specific gravity of sand
k	=	thermal conductivity of concrete, BTU/ft·°F (W/(m·K))
l	=	length of test specimen, in. (mm)
P	=	applied load, lb (N)
S	=	dry mass of sand, lb/yd ³ (kg/m ³)
w_p	=	moisture content, percentage
γ_f	=	as-cast density of concrete, lb/ft ³ (kg/m ³)
γ	=	air-dry density of concrete, lb/ft ³ (kg/m ³)
ρ_w	=	density of water, lb/ft ³ (kg/m ³)

2.2—Definitions

ACI provides a comprehensive list of definitions through an online resource, “ACI Concrete Terminology,” <http://concrete.org/Tools/ConcreteTerminology.aspx>.

CHAPTER 3—MATERIALS

3.1—Cement and supplementary cementitious materials

Cement for cellular concrete should meet the requirements of ASTM C150/C150M (portland cement), ASTM C595/C595M (blended hydraulic cements), or ASTM C1157/C1157M (performance specification for hydraulic cement). Blended cements include portland cement with pozzolans, slag cement, or other hydraulic cements alone or combined. Blended cement may result in slower rates of strength development during the first 3 to 5 days after placement. High-early-strength cement, such as Type III portland cement, produces cellular concrete with higher rates of early strength development.

Cellular concrete may incorporate supplementary cementitious materials (SCMs) such as fly ash, silica fume, metakaolin, or slag cement to provide specific properties to the mixture. Reduced heat of hydration and increased flowability are a few of the attributes gained by using these cementitious materials. Because these mineral admixtures may differ considerably in composition, fineness, and other properties, trial batching should be used to confirm final properties.

3.2—Water

Water for cellular concrete should be potable and free of deleterious amounts of acids, alkali, salts, oils, and other organic materials (ASTM C94/C94M). Nonpotable water may be used if testing shows that it produces the required physical properties (ASTM C109/C109M; ASTM C191).

3.3—Preformed foam

Preformed foam is created by diluting a liquid foam concentrate with water in predetermined proportions and passing this mixture through a foam generator. The density of the preformed foam is typically between 2.0 and 5.0 lb/ft³ (32 and 80 kg/m³).

The foam concentrate should have a chemical composition capable of producing and maintaining stable air cells that can resist the physical forces and chemical interactions imposed during mixing, pumping, and concrete setting

within the concrete mixture. If the cellular (air-cell) structure is unstable, it could break down during these steps, resulting in an increased concrete density. ASTM C796/C796M and C869/C869M contain procedures for evaluating foam concentrates used to produce a standard preformed foam mixture. The most commonly used proprietary foam concentrate formulations contain protein hydroxylates or synthetic surfactants. Further information concerning these formulations and procedures for using them is available from foam manufacturers.

3.4—Aggregates

3.4.1 Aggregates for cellular concrete should conform to ASTM C33/C33M, C144, C330/C330M, or C332. The authority with jurisdiction might permit aggregates not meeting these specifications if they are shown by test or actual service to produce cellular concrete that meets the required unit weight, strength, durability, and fire resistance.

3.4.2 The maximum aggregate size should not exceed one-fifth of the narrowest dimension between form sides, three-fourths of the minimum clear spacing between individual reinforcing bars or bundles of bars, or one-third of the depth of slabs. These limitations may be waived if workability and consolidation methods allow concrete placement without honeycombing or excessive voids.

3.5—Fibers

Cellular concrete may contain fiber reinforcement. Commercially available fibers include steel; alkali-resistant glass; synthetic fibers such as acrylic, aramid, carbon, nylon, polyester, polyethylene, and polypropylene; and natural fibers such as refined and raw cellulose, coconut, and bamboo.

Fibers can affect flow characteristics and improve the stability of the cellular structure of a fresh mixture. They can enhance cellular concrete's characteristics in the plastic state by controlling plastic shrinkage cracking by improving early-age tensile strength. They also enhance cellular concrete's characteristics in the hardened state, including post-cracking flexural and tensile strength, impact resistance, energy absorption, and spalling resistance (Zollo and Hays 1998).

Specifiers should choose fibers based on performance requirements. ASTM test methods such as ASTM C1399/C1399M and C1609/C1609M are useful in verifying performance. Specifiers should also verify durability of the selected fiber in the specific intended application.

3.6—Chemical admixtures

Cellular concretes may incorporate chemical admixtures such as water-reducing admixtures or accelerators. Water-reducing admixtures can improve compressive strength and reduce shrinkage cracking. Hot water, high-early-strength (Type III) cement, and chemical accelerators—used alone or in combination—accelerate setting. Cellular concrete in contact with steel should exclude admixtures containing intentionally added chloride ions. To confirm compatibility with the foaming agent, chemical admixtures used in cellular

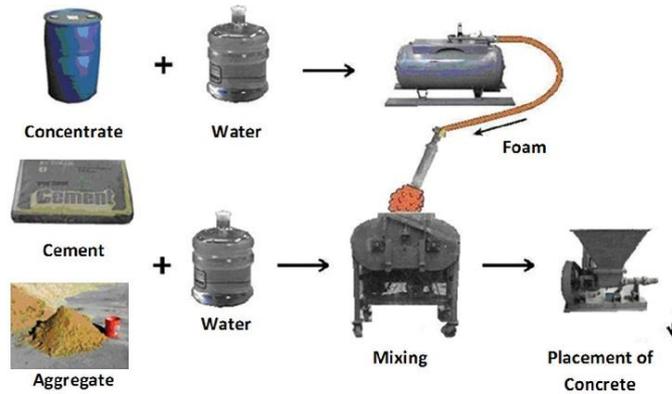


Fig. 4.3—Example of mixing sequence.

concrete should conform to ASTM C494/C494M following manufacturer's instructions, or should be evaluated in trial batches.

CHAPTER 4—MIXING AND HANDLING

4.1—Storage of materials

Materials should be stored in a manner that prevents deterioration and contamination by deleterious material. Manufacturers of specific foam concentrates should be consulted for storage and handling procedures. For example, some materials should not be stored in extreme temperatures.

4.2—Mixture proportioning

Manufacturers of foam concentrates should be consulted for specific mixture proportions, as-cast densities, and physical properties based on reliable test data for each individual application. Further details on cellular concrete mixture proportioning are given in Chapter 8.

4.3—Mixing procedure

Cellular concrete should be mixed mechanically to produce uniform distribution of materials at the specified as-cast density. Excessive mixing should be avoided, as it can cause changes in density and consistency. An example of the mixing sequence is shown in Fig. 4.3.

Specific batching and mixing sequences should be followed. Water and water-soluble admixtures are added to the mixer first, followed by cement, aggregate(s), and other admixtures. All ingredients except the preformed foam, which is added last, should be mixed to a uniform consistency. This sequence minimizes the destruction of gas cells. Varying the recommended sequence is permissible if it proves advantageous. Materials are proportioned to obtain design cast density at point of placement. Make allowances for any changes in cast density caused by method of placement, such as pumping.

When using transit-mix equipment, preformed foam should be added at the job site immediately prior to conveying the concrete to its final placement. The mixing time of 2 to 3 minutes is sufficient to integrate the foam into the mixture; however, actual mixing time can be longer, depending on the output of foam generator and concrete density. Add preformed foam at the batching plant if trial batches indicate the material maintains the required density and other properties to the point of placement at the job site.

4.4—Conveying

All conveying and placing equipment, whether manual or mechanical, should ensure a homogeneous mixture having a uniform cast density at the point of placement. Progressive cavity, peristaltic, or piston pumps are commonly used to place these cellular concretes. The pump hose diameter should be sufficient, usually 2 to 3 in. (50 to 75 mm), to ensure a continuous flow of uniform cellular concrete at the point of placement without mixture separation or substrate damage.

4.5—Curing

When rapid drying conditions exist, use a curing compound or wet curing. Traffic should be kept off freshly placed cellular concrete until it reaches adequate strength. Generally, it is not necessary to cure mass fill applications because they usually have fresh lifts placed over them on successive days. For precast applications, standard curing methods of ACI 308R would apply.

4.6—Weather considerations

Cellular concrete should not be mixed or placed during freezing weather, rain, or snow unless special precautions are taken. Use special precautions when anticipating ambient temperatures below 32°F (0°C) within 8 hours after placement. The use of Type III cement or heated mixing water increases the initial internal temperature of concrete and



Fig. 5.1.1—Reusable formwork for a wall panel



Fig. 5.1.2—Flowability of cellular concrete (video courtesy of Elastizell). See related video at http://www.concrete.org/Portals/0/Files/Media/ACI_523.3_Figure_5.1.2_Self-Leveling.mp4

accelerates the setting time. These precautions are usually adequate because of relatively high cement content and insulative properties of cellular concrete.

CHAPTER 5—FORMING AND FINISHING

5.1—Form systems

5.1.1 Formwork constructed of wood, steel, rigid plastic, aluminum, concrete, or other acceptable material can be either stay-in-place forms, which become part of the structure, or removable/reusable forms (Fig. 5.1.1). Forms should be designed to prevent undue deflection and distortion from the weight of the cellular concrete during placement. Reinforced cellular concrete should include provisions for accurately placing reinforcement in the forms. To prevent the forms from bonding with the cellular concrete, they should be coated with a form-release agent before placing. The forming guidance of ACI 347 is applicable.

5.1.2 Cellular concrete without coarse aggregates is very fluid (Fig. 5.1.2). For floor slabs and other installa-

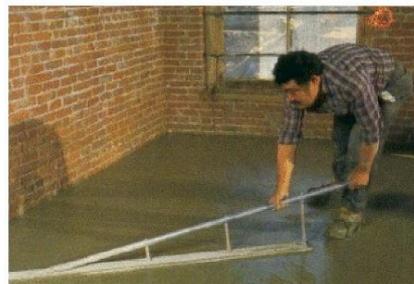


Fig. 5.2—Finishing a cellular concrete floor.

tions where the hydrostatic pressure of the fresh concrete is relatively low, the normal forming procedures used with concretes containing coarse aggregates should be followed. For cast-in-place vertical walls or other applications where substantial casting depths are required, the forms should be tight, nonabsorptive, and designed to resist hydrostatic pressure that may cause openings in the forms through which the fluid cellular concrete or cement paste could flow.

5.2—Finishing

Cellular concrete should be finished to the elevation specified on the project drawings. The surface should be smooth and free from ridges, projections, and depressions (Fig. 5.2).

5.2.1 *Finishing flatwork*—The procedures for finishing cast-in-place cellular concrete flatwork vary with each application. After screeding to level or a specified slope with a straightedge and darby, floors may be steel-trowelled, if required. The cellular concrete finish should be compatible with the specified floor covering material.

5.2.2 *Plastic shrinkage*—Plastic shrinkage is principally caused by rapid evaporation of moisture from the surface that exceeds the bleeding rate, and is a potential cause of cracks in floor fill slabs and other applications. The use of fibers in the mixture may reduce the width of drying shrinkage cracks (Fig. 5.2.2).

When practical, frequent applications of light moisture (fogging) to the surface may maintain adequate moisture in the cellular concrete. Weather conditions will influence the amount of moisture replacement required.



Fig. 5.2.2—Examples of fibers used to control shrinkage cracking.



Fig. 5.2.3—Crack control strips.

5.2.3 Crack control—Suitable fiber reinforcement should be incorporated into cellular concretes cast in thin sections. The cellular concrete may be subjected to differential drying between the top and bottom surfaces. Although fibers won't eliminate cracking, they interrupt enough of the potential cracks to minimize their occurrence, and also control the width of cracks that do form. For thin applications over large areas such as floor fills, control strips (Fig. 5.2.3) may direct cracking into predetermined locations, resulting in a more pleasing appearance.

Water-reducing admixtures may reduce shrinkage cracking and complement a properly designed mixture for maximum performance. These additives should be pretested for compatibility with the specific foam concentrates being used, or approved by the manufacturer of the foam concentrate.

CHAPTER 6—PROPERTIES OF CELLULAR CONCRETE

6.1—Physical properties

6.1.1 Workability and setting times—Cellular concrete has excellent workability and demonstrates some self-leveling

properties (Fig. 5.1.2). As such, it is considered self-consolidating and therefore does not require vibration during placement (Legatski 1978; Rakhimbaev et al. 2005; Fouad 2006).

6.1.2 Density—Three types of density are referenced for cellular concrete: as-cast, air-dry, and oven-dry. The as-cast densities described in this guide range from 50 to 110 lb/ft³ (800 to 1760 kg/m³).

6.1.2.1 As-cast density—As-cast density is usually determined at the point of placement by weighing a tared container of known volume filled with cellular concrete. This procedure is detailed in ASTM C796/C796M. Any entrapped air in the cellular concrete is relieved by tapping the container sides. Rodding or mechanical vibration to achieve consolidation is not required because the cellular concrete is self-consolidating; the use of vibration can increase the as-cast density of the concrete mixture. The as-cast density of cellular concrete is an essential quality-assurance tool used at the job site to monitor uniformity of the mixture.

6.1.2.2 Air-dry density—Air-dry density represents the density of the material in place. It is affected by temperature, humidity, age, maturity, as-cast density, water-cementitious material ratio (*w/cm*), and the surface area available for evaporation. It is approximately 5 lb/ft³ (80 kg/m³) less than the as-cast density, and can be as much as 10 lb/ft³ (160 kg/m³) and lower in conditions of low humidity, approaching an oven-dry density (Legatski 1994; Fouad 2006). For engineering calculations, the air-dry density is estimated by Eq. (6.1.2.2)

$$\gamma = [\gamma_f - 5] \text{ lb/ft}^3 \quad (6.1.2.2)$$

$$\gamma = [\gamma_f - 80] \text{ kg/m}^3$$

6.1.2.3 Oven-dry density—The oven-dry density is primarily used for determining the thermal conductivity based on ASTM C177. Assuming that the water required for cement hydration is 20 percent of the cement mass, the oven-dry density can be calculated by Eq. (6.2.2.3a) (Fouad 2006)

$$D = \left[\frac{(1.2C + A)}{27} \right] \text{ lb/ft}^3 \quad (6.1.2.3a)$$

$$D = [1.2C + A] \text{ kg/m}^3$$

There is a strong correlation between as-cast density and oven-dry density obtained by Eq. (6.1.2.3a). Based on experimental data (Neopor 2012), the simplified equation for oven-dry density can be derived from

$$D = [\gamma_f - 7.8] \text{ lb/ft}^3 \quad (6.1.2.3b)$$

$$D = [\gamma_f - 122] \text{ kg/m}^3$$

6.1.3 Acoustical characteristics—Cellular concrete exhibits excellent sound absorption due to its cellular struc-

ture (Yun et al. 2006). Because of its reduced density, cellular concrete also improves sound attenuation.

6.1.4 Specific heat—The specific heat of the cellular concretes addressed by this guide is 0.23 BTU/(lb·°F) [0.98 J/(kg·K)] as reported by Aroni et al. (1993).

6.1.5 Thermal conductivity—The thermal conductivity of concrete is primarily a function of its density. Thermal conductivity, designated as k , is determined in accordance with either the guarded hot plate method (ASTM C177) or the heat flow meter method (ASTM C518). Table 6.1.4 gives values of k for a range of oven-dry densities. The oven-dry density D may be approximated using Eq. (6.1.2.3a) or (6.1.2.3b).

6.1.6 Coefficient of thermal expansion—Although the coefficient of thermal expansion for the cellular concretes addressed by this guide varies directly with density, it is typically from 5.0 to 7.0×10^{-6} per °F (9.0 to 12.6×10^{-6} per °C) compared with the coefficient of thermal expansion for normalweight concrete of 3.3 to 7.3×10^{-6} per °F (5.9 to 13.1×10^{-6} per °C) (Neville 2000). The designer should consider thermal expansion for applications with significant variation; namely, $\pm 36^\circ\text{F}$ ($\pm 20^\circ\text{C}$) in placing temperatures, operating temperatures, or both.

6.2—Mechanical performance

6.2.1 Compressive strength—Factors such as density, cement content, w/cm , type, properties and content of aggregates, and curing conditions affect the compressive strength of cellular concrete (Table 6.2.1). Density is a key criterion for controlling the compressive strength and the modulus of elasticity of cellular concrete. Because strength is related to the as-cast (and, thus, also dry) density, field personnel can use as-cast density determined at the time of placement to estimate the eventual compressive strength, using the results presented in Table 6.2.1.

The compressive strength for the range of cellular concretes covered by this guide should be determined according to ASTM C796/C796M. Testing for compressive strength should produce results corresponding to field conditions. Therefore, compression test specimens should not be oven-dried nor tested in the moist condition.

6.2.2 Modulus of elasticity—In this guide, the modulus of elasticity E_c is determined as the secant modulus at $0.5f'_c$. ACI 318 permits calculating the modulus of elasticity by Eq. (6.2.2a)

$$\begin{aligned} E_c &= 33\gamma^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ lb/in.}^2 \\ E_c &= 43\gamma^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ N/m}^2 \end{aligned} \quad (6.2.2a)$$

Table 6.2.2 shows typical relationships between density, compressive strength, and modulus of elasticity (Legatski 1978, 1994). Based on the studies by Legatski (1978), the modulus of elasticity can also be expressed as shown in Eq. (6.2.2b)

$$\begin{aligned} E_c &= 28.6\gamma^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ lb/in.}^2 \\ E_c &= 37.04\gamma^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ N/m}^2 \end{aligned} \quad (6.2.2b)$$

Table 6.1.4—Thermal conductivity for oven-dry cellular concrete

Oven-dry density, lb/ft ³ (kg/m ³)	Thermal conductivity k	
	Btu/h·ft ² ·(°F in.)	W/(m·K)
50 (800)	1.3	0.20
65 (1080)	2.1	0.30
80 (1280)	2.8	0.40
95 (1520)	4.0	0.57
110 (1760)	5.4	0.77

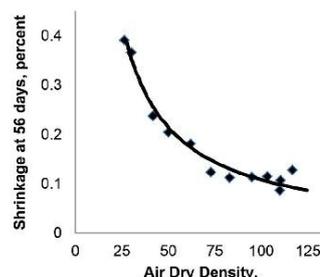


Fig. 6.2.6—Drying shrinkage of cellular concrete versus air dry density (figure courtesy of Elastzell).

6.2.3 Tensile strength—Using ASTM C496/C496M, the splitting tensile strength of cellular concretes is determined by

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi l d} \quad (6.2.3)$$

The tensile strength is generally 10 to 15 percent of the compressive strength (Fouad 2006).

6.2.4 Shear strength—Shear strength of the cellular concretes can be approximated using the formulas for lightweight concrete of ACI 213R (Legatski 1994). Those approximations can be refined by testing if desired.

6.2.5 Development of reinforcement—Data are not available to indicate that the requirements of ACI 318 may be applied to cellular concrete. Any projected application, by considering cellular concrete as sand-lightweight, should be verified by test. Typical tests for development of reinforcement in normalweight concrete are included in ACI 408R and can be used as examples of procedures that can be used for cellular concrete.

6.2.6 Drying shrinkage—Drying shrinkage is less critical in cellular concrete used for roof-deck insulation and geotechnical fills than in structural applications. Because cellular concrete undergoes most shrinkage prior to the roofing material installation, damage to the roofing material from substrate shrinkage is avoided. The 56-day drying shrinkage ranges from 0.2 to 0.1 percent for the densities 50 to 120 lb/ft³ (800 to 1920 kg/m³), as shown in Fig. 6.2.6. Autogenous shrinkage of cellular concrete with manufac-

Table 6.2.1—Composition and properties of cellular concrete (McCormick 1967)

As-cast density, lb/ft ³ (kg/m ³)	Sand-cement ratio	Water-cement ratio	Cement factor, lb/yd ³ (kg/m ³)	Estimated compressive strength, psi (MPa)
50 (800)	0.79	0.60	564 (335)	250 (1.7)
50 (800)	0.55	0.50	658 (390)	300 (2.1)
50 (800)	0.29	0.50	752 (446)	400 (2.8)
60 (960)	1.27	0.60	564 (335)	350 (2.4)
60 (960)	0.96	0.50	658 (390)	400 (2.8)
60 (960)	0.65	0.50	752 (446)	500 (3.5)
70 (1120)	1.75	0.60	564 (335)	450 (3.1)
70 (1120)	1.37	0.50	658 (390)	500 (3.5)
70 (1120)	1.06	0.45	752 (446)	600 (4.1)
80 (1280)	2.22	0.60	564 (335)	600 (4.1)
80 (1280)	1.78	0.50	658 (390)	650 (4.5)
80 (1280)	1.42	0.45	752 (446)	750 (4.8)
90 (1440)	2.85	0.45	564 (335)	1100 (7.6)
90 (1440)	2.19	0.50	658 (390)	1100 (7.6)
90 (1440)	1.78	0.45	752 (446)	1300 (9.0)
100 (1600)	3.18	0.60	564 (335)	1250 (8.6)
100 (1600)	2.65	0.45	658 (390)	1700 (11.7)
100 (1600)	2.14	0.45	752 (446)	1800 (12.4)
110 (1760)	3.66	0.60	564 (335)	2000 (13.8)
110 (1760)	3.06	0.45	658 (390)	2600 (17.9)
110 (1760)	2.44	0.50	752 (446)	2500 (17.2)
120 (1920)	3.32	0.60	658 (390)	3320 (22.9)
120 (1920)	2.80	0.50	752 (446)	3520 (24.3)

tured lightweight aggregates is reduced due to the effect of internal water supply by the aggregates (Kitsutaka et al. 2000a), which is commonly called internal curing.

6.3—Durability

6.3.1 Water absorption—Water absorption of the cellular concretes addressed in this guide depends on their density and mixture ingredients. Interconnected cells allow increased water absorption. The addition of lightweight aggregates may result in increased water absorption. The addition of fly ash or silica fume can reduce the capillary porosity, thereby decreasing water absorption (Legatski 1994; Fouad 2006).

6.3.2 Permeability—Permeability of cellular concretes addressed in this guide generally increases with decreasing density, and can be measured using ASTM D2434. This method is more accurate than other methods, such as ASTM D4491, which was developed for geotextiles. Another method that provides approximate permeability more quickly is shown in ACI 522R, a simple falling-head permeability metering apparatus (Olek et al. 2003).

6.3.3 Resistance to freezing and thawing—In air-dry conditions, cellular concrete has excellent resistance to freezing and thawing due to its high cement content and extended internal void structure. Resistance to freezing and thawing should be verified by ASTM C666/C666M, and

modified to account for its insulating properties and saturation procedure to normalize the moisture content (Tikalay et al. 2004).

Silaenkov (1986) reported on the high resistance to freezing and thawing (using the procedure described by Sobolev and Batrakov (2007) of cellular concretes with density of 40 to 50 lb/ft³ (600 to 800 kg/m³). The improved resistance to freezing and thawing was attributed to the beneficial effects of air-void structure. The use of volume ratio of reserve pores (with size greater than 200 μm) to critical pores (with sizes in the range of 0.1 to 200 μm) for evaluation of freezing and thawing performance of cellular concrete was suggested. Silaenkov (1986) investigated the effect of moisture content and saturation degree on resistance to freezing and thawing of cellular concrete with a air-dry density of 35 lb/ft³ (545 kg/m³). Specimens with very high moisture content of 198 percent were destroyed after five cycles of freezing and thawing. Specimens of the same composition, but with moisture content of 57 percent, were severely damaged after 53 cycles, whereas those with a moisture content of less than 35 percent demonstrated exceptional performance after 1500 cycles of freezing and thawing. The compressive and flexural (as measured by three-point bending test) strength of these specimens was even improved after the freezing and thawing tests, as demonstrated by Table 6.3.3 and Fig. 6.3.3.

Table 6.2.2—Compressive strength and modulus of elasticity for cellular concrete (table courtesy of Elastizell)

As-cast density, lb/ft ³ (kg/m ³)	Typical 28-day compressive strength, psi (MPa)	Modulus of elasticity, ksi (GPa)
50 (800)	250 to 400 (1.7 to 2.8)	149 (1.03)
65 (1040)	400 to 550 (2.8 to 3.8)	297 (2.05)
80 (1280)	600 to 750 (4.1 to 5.1)	491 (3.38)
95 (1520)	800 to 1100 (5.5 to 7.6)	772 (5.31)
110 (1760)	1300 to 1600 (9.0 to 11.0)	1191 (8.21)

Table 6.3.3—Resistance to freezing and thawing of cellular concrete (Silaenkov 1986)

Moisture content, %	Compressive strength/Flexural strength ^a , psi (MPa)					
	Before testing		After freezing and thawing tests, cycles			
	Dry	Wet	25	75	225	1500
55	—	—	580 (4.0) 205 (1.4)	—	—	—
35	610 (4.2) 250 (1.7)	510 (3.5) 175 (1.2)	—	670 (4.6) 260 (1.8)	520 (3.6) 220 (1.5)	885 (6.1) 350 (2.4)
25	—	—	—	—	595 (4.1) 275 (1.9)	970 (6.7) 290 (2.0)
15	—	—	—	—	550 (3.8) 260 (1.8)	840 (5.8) 305 (2.1)

^aAs measured by three-point bending test

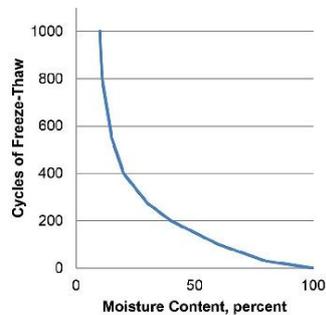


Fig. 6.3.3—Resistance to freezing and thawing of cellular concrete (Silaenkov 1986).

Silaenkov (1986) reports on freezing and thawing performance of low-density cellular concrete; however, the main findings regarding the effect of moisture content and saturation degree are applicable to concrete with as-cast densities in the range of 50 to 110 lb/ft³ (800 to 1760 kg/m³). Equation (6.3.3), proposed by Silaenkov (1986) for resistance to freezing and thawing of cellular concrete, is as follows (Fig. 6.3.3)

$$F = 17,772 \times e^{(-0.056 \times w_p)} \quad (6.3.3)$$

6.3.4 Fire resistance—Cellular concrete exhibits excellent fire resistance. For example, lightweight fiber-reinforced cellular concrete demonstrated improved performance in fire tests because the entrained air reduced the danger of explosive failure. The microcracks formed at high temperature

prevent the brittle fracture of cellular concrete; in addition, melting of fibers reduces the water vapor pressure (Kitsutaka et al. 2000b). The required thickness of cellular concrete needed to achieve a particular fire rating in hours can be less than half that of normal concrete (Abrams and Gustafsson 1969; Legatski 1994; Fouad 2006). More precise values can be determined with testing. Further details on fire resistance of cellular concrete are given in Chapter 9.

CHAPTER 7—DESIGN CONSIDERATIONS

Cellular concretes in this guide have general structural characteristics similar to those of normalweight aggregate concrete. Designers are accustomed to using normalweight aggregate concrete of a specific compressive strength in designing structural elements. This is possible because the strength and stiffness properties, such as tensile strength, shear strength, bond strength, and modulus of elasticity, are known functions of the compressive strength. These same functions of compressive strength apply to cellular and cellular-aggregate concretes (Fouad 2006).

CHAPTER 8—MIXTURE PROPORTIONING

8.1—General

Like normalweight concrete mixtures, the quantities of the materials used to prepare suitable mixtures of cellular concrete should be selected on a rational basis. By understanding the design parameters and individual material properties in the trial batch, computations based on the absolute volume of constituents are straightforward and will provide a reasonable estimate. The parameters of interest for cellular concrete include as-cast density, air-dry density, compressive strength, and thermal properties. Of these, the key parameter that defines the performance of cellular concrete

is its density in the air-dry state, which is a function of the as-cast density. The as-cast density is required for proportioning the mixture and, in turn, can be correlated to the compressive (flexural and tensile) strength, the modulus of elasticity, and thermal properties. The fundamental characteristics of cellular concrete, such as density and compressive strength, are interrelated and can be calculated one from another (Tam et al. 1987). Therefore, fixing any one of these parameters defines the mixture proportions of cellular concrete and determines its entire set of performance characteristics. In contrast to normalweight concrete, the w/cm of cellular concrete can be adjusted only within a relatively narrow range of 0.45 to 0.60 to ensure internal stability of the cellular structure.

8.2—Material properties

Proportioning cellular concrete mixtures by the absolute volume method requires knowledge of the value of the specific gravity of all constituent materials. Absorption characteristics and free moisture conditions of aggregates should be determined and controlled during the batching operation. Aggregates are evaluated in accordance with ASTM C128 and ASTM C70.

8.3—Mixture proportioning

8.3.1 Mixture proportioning begins with the selection of as-cast density of cellular concrete and w/cm . These parameters are generally chosen after a study of requirements, such as the compressive strength and thermal conductivity. For example, if f'_c is the primary consideration and density is secondary, select the as-cast density γ_f from Table 6.2.1, or calculate it using Eq. (8.3.1a) derived from data presented in Table 6.2.1.

$$\gamma_f = 29 \times \ln(f'_c/49) \text{ (U.S. customary units)} \quad (8.3.1a)$$

$$\gamma_f = 455 \times \ln(f'_c/0.34) \text{ (SI units)}$$

Alternatively, f'_c can be obtained from as-cast density using Table 6.2.1 or Eq. (8.3.1b)

$$f'_c = 49 \times e^{0.035 \times \gamma_f} \text{ (U.S. customary units)} \quad (8.3.1b)$$

$$f'_c = 0.34 \times e^{0.0022 \times \gamma_f} \text{ (SI units)}$$

The w/cm can be selected from a range of 0.45 to 0.60 with a suitable reduction if a high-range water-reducing admixture is used. The sand-to-cement ratio (s/c) is then selected from Table 6.2.1 or by using Eq. (8.3.1c)

$$s/c = (\gamma_f - 42)/21.5 \text{ (U.S. customary units)} \quad (8.3.1c)$$

$$s/c = (\gamma_f - 673)/345 \text{ (SI units)}$$

Oven-dry density (D) can be estimated using Eq. (6.1.2.3a) or (6.1.2.3b). Using γ_f , w/cm , and s/c , the cellular concrete mixture can be proportioned based on the estimated concrete weight and by the method of absolute volumes.

For example, cement content may be calculated as

$$C = \gamma_f / (1 + w/cm + s/c) \quad (8.3.1d)$$

The quantities of mixing water and sand can be calculated as

$$W = C \times w/cm \quad (8.3.1e)$$

$$S = C \times s/c \quad (8.3.1f)$$

The sum of the absolute volumes of cement, water, and aggregate (V_A) subtracted from 1 yd³ (0.76 m³) gives the volume of air (A_v) required per cubic yard (cubic meter) of concrete

$$A_v = 1 - V_A \quad (8.3.1g)$$

$$V_A = C/(G_c \times \gamma_w) + W/(\gamma_w) + S/(G_s \times \gamma_w) \quad (8.3.1h)$$

where γ_w is 62.4 lb/ft³ (1000 kg/m³).

The air yield per volume of foam used (ϕ_A) is obtained based on the foam performance test. For a satisfactory foaming agent, this ratio is usually approximately 0.95. The volume of foam is calculated using the foam yield ratio as

$$V_F = A_v / \phi_A \quad (8.3.1i)$$

The weight of water calculated from the w/cm is reduced by the weight of the water in the foam, admixtures, and aggregates.

8.3.2 Trial batch adjustments—After testing trial batches, the calculated mixture can be adjusted with respect to desired workability, compressive strength, and as-cast density. Trial batches can help to adjust the w/cm and account for different types of cement, as well as the use of supplementary cementitious materials (SCMs) or chemical admixture(s).

Two examples given in U.S. customary units and SI units, respectively, demonstrate the proposed concrete mixture procedure.

8.4—Example 1 (in U.S. customary units)

Task: Proportion a cellular concrete mixture using Type I portland cement for a fresh density of 90 lb/ft³ (1440 kg/m³). The required batch volume is 0.65 yd³ or 18 ft³ (0.5 m³).

Material properties:

Foam yield (air/foam output) = 0.95

Density of the foam (ρ_f) = 3 lb/ft³ (50 kg/m³)

Specific gravity of cement (G_c) = 3.15

Specific gravity of sand (G_s) = 2.65

Density of water (ρ_w) = 62.4 lb/ft³ (1000 kg/m³)

Mixture proportioning procedure steps:

1) Calculate the compressive strength using Eq. (8.3.1b) as

$$f'_c = 49 \times e^{0.035 \times 90} = 1140 \text{ psi (9.9 MPa)}$$

2) Assume $w/cm = 0.50$ (from the range of 0.45 to 0.60)

3) Calculate the sand-to-cement ratio (s/c) using Eq. (8.3.1c) as

$$s/c = (\gamma_f - 42)/21.5 = 2.2$$

4) Calculate the oven-dry density using Eq. (6.1.2.3b) as

$$D = \gamma_f - 7.8 = 83 \text{ lb/ft}^3 \text{ (1325 kg/m}^3\text{)}$$

5) Calculate the cement content using Eq. (8.3.1d) as

$$C = 90/(1 + 0.5 + 2.2) = 24.3 \text{ lb/ft}^3 (\times 27) = 657 \text{ lb/yd}^3 \text{ (390 kg/m}^3\text{)}$$

6) Calculate the sand content

$$S = 24.3 \times 2.2 = 53.5 \text{ lb/ft}^3 (\times 27) = 1443 \text{ lb/yd}^3 \text{ (856 kg/m}^3\text{)}$$

7) Calculate the quantities of mixing water

$$W = 24.3 \times 0.5 = 12.2 \text{ lb/ft}^3 (\times 27) = 329 \text{ lb/yd}^3 \text{ (195 kg/m}^3\text{)}$$

8) Calculate the absolute volumes of solids (cement, water, and aggregate) per unit volume of concrete

$$V_s = C/(G_c \times \gamma_w) + W/\gamma_w + S/(G_s \times \gamma_w) = 24.3/(62.4 \times 3.15) + 12.2/62.4 + 53.5/(62.4 \times 2.65) = 0.643 \text{ ft}^3 \text{ (m}^3\text{)}$$

and volume of air, required per unit volume of concrete

$$A_v = 1 - 0.643 = 0.357 \text{ ft}^3 \text{ (m}^3\text{)}$$

9) Calculate the volume of foam per unit volume of concrete

$$V_f = 0.357/0.95 = 0.376 \text{ ft}^3 \text{ (m}^3\text{)}$$

and weight of the foam

$$F = 0.377 \times 3 = 1.13 \text{ lb/ft}^3 (\times 27) = 31 \text{ lb/yd}^3 \text{ (18 kg/m}^3\text{)}$$

10) Adjust the weight of water

Water in foam

$$3 \text{ lb/ft}^3 \times 0.377 = 1.13 \text{ lb/ft}^3 (\times 27) = 31 \text{ lb/yd}^3 \text{ (18 kg/m}^3\text{)}$$

Water in sand (assume 2 percent)

$$0.02 \times 1443 \text{ lb/yd}^3 = 29.0 \text{ lb/yd}^3 \text{ (17 kg/m}^3\text{)}$$

Corrected water

$$329 - 31 - 29 = 269 \text{ lb/yd}^3 \text{ (160 kg/m}^3\text{)}$$

Corrected sand

$$1443 + 29 = 1472 \text{ lb/yd}^3 \text{ (873 kg/m}^3\text{)}$$

11) The adjusted mixture proportioning

	lb/yd ³	kg/m ³
Cement	657	390
Water	269	160
Sand	1472	873
Foam	31	18
Total weight:	2429	1441

12) Quantities required for nominal 0.65 yd³ (18 ft³ or 0.5 m³) batch

	lb	kg
Cement	427	195
Water	175	80
Sand	957	437
Foam	20	9
Total weight:	1579	721

8.5—Example 2 (in SI units)

Task: Proportion a cellular concrete mixture using Type I portland cement for a fresh density of 960 kg/m³ (60 lb/ft³). The required batch volume is 0.75 m³ (27 ft³ or 1 yd³).

Materials and properties:

Foam yield (air/foam output) = 0.95

Density of the foam (ρ_f) = 64 kg/m³ (4 lb/ft³)

Specific gravity of cement (G_c) = 3.15

Specific gravity of sand (G_s) = 2.65

Density of water (ρ_w) = 1000 kg/m³ (62.4 lb/ft³)

Mixture proportioning procedure steps:

1) Calculate the compressive strength using Eq. (8.3.1b) as

$$f'_c = 0.34 \times e^{0.0022 \times 960} = 2.8 \text{ MPa (410 psi)}$$

2) Assume $w/cm = 0.5$ (from the range of 0.45 to 0.6)

3) Calculate s/c using Eq. (8.3.1c) as

$$s/c = (960 - 673)/345 = 0.83$$

4) Calculate the oven-dry density using Eq. (6.1.2.3b) as

$$D = 960 - 122 = 838 \text{ kg/m}^3 \text{ (52 lb/ft}^3 (\times 27) = 1404 \text{ lb/yd}^3\text{)}$$

5) Calculate the cement content using Eq. (8.3.1d) as

$$C = 960/(1 + 0.5 + 0.83) = 412 \text{ kg/m}^3 \text{ (26 lb/ft}^3 (\times 27) = 702 \text{ lb/yd}^3\text{)}$$

6) Calculate the sand content

$$S = 412 \times 0.83 = 342 \text{ kg/m}^3 \text{ (21 lb/ft}^3 (\times 27) = 567 \text{ lb/yd}^3\text{)}$$

7) Calculate the quantities of mixing water

$$W = 412 \times 0.5 = 206 \text{ kg/m}^3 \text{ [13 lb/ft}^3 (\times 27) = 351 \text{ lb/yd}^3\text{]}$$

8) Calculate the absolute volumes of solids (cement, water, and aggregate) per unit volume of concrete using Eq. (8.3.1h) as

$$V_A = C/(G_c \times \gamma_w) + W/\gamma_w + S/(G_s \times \gamma_w) = 412/(1000 \times 3.15) + 206/1000 + 342/(1000 \times 2.65) = 0.466 \text{ m}^3 (16.5 \text{ ft}^3)$$

and volume of air, required per unit volume of concrete using Eq. (8.3.1g) as

$$A_v = 1 - 0.466 = 0.534 \text{ m}^3 (18.9 \text{ ft}^3)$$

9) Calculate the volume of foam

$$V_F = 0.534/0.95 = 0.562 \text{ m}^3 (19.8 \text{ ft}^3)$$

and weight of the foam

$$F = 0.562 \times 64 = 36 \text{ kg/m}^3 (2.3 \text{ lb/ft}^3)$$

10) Adjust the weight of water

Water in foam

$$64 \times 0.562 = 36 \text{ kg/m}^3 (61 \text{ lb/ft}^3)$$

Water in sand (assume 2 percent)

$$0.02 \times 342 \text{ kg/m}^3 = 7 \text{ kg/m}^3 (12 \text{ lb/ft}^3)$$

Corrected water

$$206 - 36 - 7 = 163 \text{ kg/m}^3 (275 \text{ lb/ft}^3)$$

Corrected sand

$$342 + 7 = 349 \text{ kg/m}^3 (588 \text{ lb/ft}^3)$$

11) The adjusted mixture proportioning

	kg/m ³	lb/ft ³
Cement	412	694
Water	163	275
Sand	349	588
Foam	36	61
Total weight:	960	1617

12) Quantities required for nominal 0.75 m³ (27 ft³ or 0.98 yd³) batch

	kg	lb
Cement	309	682
Water	122	270
Sand	262	577
Foam	27	60
Total weight	720	1587

Similarly, the design for required oven- or air-dry density, as well as for certain compressive strength, can be executed. Furthermore, the compressive strength can be slightly adjusted (by approximately ± 10 percent) by correction of the *s/c* and *w/cm*. The contribution of supplementary cementitious materials (SCM) or chemical admixtures can be adjusted after testing trial batches. The described mixture proportioning method can be updated to consider the case when lightweight aggregates such as pumice and tuff are incorporated with the cellular concrete mixture.

CHAPTER 9—FIRE RESISTANCE OF CELLULAR CONCRETE ASSEMBLIES

9.1—Measuring fire resistance

Wall, floor, and roof assemblies of cellular concrete, cast in conjunction with precast or cast-in-place concrete steel decking and wood, are fire-tested for specific resistances. The fire resistance of cellular concrete in a building system is determined by an ASTM E119 fire test during which the cellular concrete element should support its design load, remain within the temperature increase specified by the test standard, and withstand the transmission of flame or hot gasses.

The ability to resist heat transfer at high temperatures, as measured by the rise of temperature on the unexposed side of an assembly away from the fire, is an important criterion in measuring fire resistance of the material. Data on fire resistance of concrete materials presented in this guide are applicable only to heat transmission, one of three ASTM E119 criteria to evaluate fire resistance of the specimens.

9.2—Fire resistance studies

9.2.1 The Portland Cement Association conducted a series of tests (Gustafarro et al. 1970) on cellular concretes made with preformed foam and having oven-dry densities of 30 to 100 lb/ft³ (480 to 1600 kg/m³) (Table 9.2.1). The study included other low-density concretes made with vermiculite and perlite aggregate, and having oven-dry densities of 25 to 80 lb/ft³ (400 to 1280 kg/m³), as well as low-density concretes made with vermiculite and expanded shale aggregate that have oven-dry densities of approximately 80 lb/ft³ (1280 kg/m³). Based on these heat transmission tests, the thicknesses required for fire endurance of 2, 3, 4, and 5 hours are shown in Table 9.2.1 for the various unit weight ranges listed.

Table 9.2.1—Required thickness in inches of materials for the indicated fire resistance based on heat transmission (tested using ASTM E119)

Oven-dry unit weight		Fire resistance in hours (ASTM E119)			
lb/ft ³	kg/m ³	2	3	4	5
25 to 30	400 to 480	2.2 to 2.8	2.8 to 3.3	3.3 to 3.8	3.8 to 4.2
50 to 60	800 to 960	2.8 to 3.1	3.3 to 3.5	3.9 to 4.1	4.4 to 4.6
70 to 80	1120 to 1280	3.1 to 3.4	3.8 to 4.2	4.4 to 4.8	4.9 to 5.4
100	1600	4.0	5.0	5.8	—

9.2.2 Another experiment series tested (in the same study) two-course slab assemblies without roofing, made from cellular concretes having densities of 30, 50, and 70 lb/ft³ (480, 800, and 1120 kg/m³) for the upper course of the two-course assembly. The base slabs were fabricated from carbonate, siliceous, or lightweight aggregate concrete. Other low-density concretes, such as vermiculite and perlite concretes with densities similar to the cellular concretes, were also tested by Gustafarro et al. (1970).

CHAPTER 10—APPLICATIONS

10.1—General

This chapter reviews the applications of cellular concrete with as-cast densities greater than 50 lb/ft³ (800 kg/m³). These include applications as a fill material with low and specified strength, and as a structural material with specified strength.

10.2—Placement by tremie

Cellular concretes with densities greater than 65 lb/ft³ (1040 kg/m³) may be considered as a fill material for locations with potential for standing water. Because this type of cellular concrete is heavier than water (not buoyant), it may be placed by tremie. For such applications, the mixture should have enough cementitious material and aggregate to remain homogeneous during placement and to set within a reasonable period of time. An acceptable rheological modifier may also be used to maintain a homogeneous mass during placement.

10.3—Screeded floor fill

Floor fills in wood-frame construction often use cellular concretes with densities of 100 to 110 lb/ft³ (1600 to 1760 kg/m³), cast at the thickness of a standard wood plank (1.5 in [38 mm]). These nonstructural floor fills replace the second layer of wood or the finished floor in wood-frame construction.

The cellular concrete is placed by pumping over a plywood subfloor and screeding to its finished level. Because wire reinforcement is not effective in thin sections, fibers are added to the mixture at a specified rate of up to 1 percent by volume to improve the hardened material tensile strength. The compressive strength for floor fill applications may range from 1000 to 2000 psi (6.9 to 13.8 MPa).

Cellular concrete with a darby finish is acceptable for floors that are covered with a pad and carpet. Steel troweling is usually required to achieve cellular concrete with the necessary smooth hard finish for floors covered with sheet flooring or tile.

10.4—Masonry and structural

Cellular concrete at densities greater than 50 lb/ft³ (800 kg/m³) is used for masonry and structural applications. Cellular concrete mixture proportioning is based on specific strength and density relationships. Increasing the cement content and adding supplementary cementitious materials (SCMs), lightweight aggregates, water-reducing admixtures, and fibers could result in improved material properties outside the usually expected ranges (as specified by Tables 6.2.1

and 6.2.2). Trial batches with these materials to quantify material properties should be conducted. Structural applications include precast or cast-in-place roof panels, masonry elements, and wall and floor panels for housing elements or precast sound walls (Cellular-concrete 2012; TAG Crete 2014; Neopor 2012) as illustrated by Fig. 10.4.

10.5—Lightweight architectural concrete masonry

Lightweight architectural concrete masonry (LAM) elements have been developed based on cellular concrete technology (Yanagida and Inagaki 2002; Milestone 2005; Light Concrete LLC 2003). They are manufactured to simulate natural stone, like limestone and sandstone, and used in masonry applications in a form of architectural trim, ornament, or facing for buildings and other structures (Table 10.5).

The main value-added feature of LAM is its reduced weight, which is 40 to 50 percent less than the 145 lb/ft³ (2325 kg/m³) that is typical of normalweight concrete (Milestone 2005). This architectural cellular concrete product is analogous to lightweight concrete masonry, providing valuable benefits from simplified installation, shipment, and handling without compromising performance. Reduced material consumption and structure loads contribute to sustainability and green construction.

CHAPTER 11—CELLULAR CONCRETE AND SUSTAINABILITY

11.1—Sustainability

The definition of sustainability emphasizes the importance of ensuring the satisfaction of present need without compromising the ability of future generations to meet their own requirements (WCED 1987). As a business model, this translates to a professional endeavor that balances inputs with outputs while maintaining a profitable enterprise. Sustainable development also encompasses environmental impact, resource use, and social effects. Sustainable development is achieving social, economic, and environmental objectives in parallel (Howard 2000; Yates 2001). At the 1992 Earth Summit, The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) identified seven elements to achieve eco-efficiency (WBCSD 2000):

- 1) Reduce the material intensity of products
- 2) Reduce the energy intensity of products
- 3) Reduce toxic emissions
- 4) Enhance material recyclability
- 5) Maximize sustainable use of renewable resources
- 6) Extend product durability
- 7) Increase the service life of the products

Sustainability is an essential responsibility of architects and engineers during every phase of the design and construction process. Wischers and Kuhlmann (1991) and Sobolev (2003) transformed these eco-efficient elements into cement- and concrete-specific guidelines. To the construction industry, sustainability responsibilities include progress that meets the needs of society, economic development, preservation of the environment, and efficient use of resources.



Fig. 10.4—Application of cellular concrete in residential construction: (courtesy of: (a) TAG Crete [2014]; and (b) Neopor [2012])

Table 10.5—Strength, absorption, and weight materials classification requirements for LAM (Milestone 2005)

Type of LAM	ASTM C567/C567M oven-dry density, lb/ft ³ (kg/m ³)	ASTM C39/C39M, C140/C140M, C1194 compressive strength minimum, psi (MPa)		ASTM C140/C140M water absorption, maximum, lb/ft ³ (kg/m ³) (average of three units)
		Average of three units	Individual unit	
Load-bearing	Less than 105 (1680)	1900 (13.1)	1700 (11.7)	18 (288)
Non-load-bearing	Less than 105 (1680)	600 (4.1)	500 (3.5)	Not specified

Several performance characteristics of cellular concrete contribute to sustainability, including its excellent durability and resistance against fire flame or smoke spread, freezing and thawing, rot, and insect attack. Improved performance enhances the service life of structures based on cellular concrete; requiring minimum maintenance, they are a perfect solution for long-term sustainable construction projects.

Improved thermal insulation and thermal mass of a cellular concrete wall or roof deck structures help reduce energy costs in buildings. The LEED rating system provides a set of standards for environmentally sustainable construction. Cellular concrete roof decks have been used on many LEED-certified projects, assisting with certification by using local and recycled materials, as well as assisting with meeting energy and atmosphere emission requirements.

11.2—Energy efficiency

Cellular concrete walls and roofs provide effective thermal insulation of buildings, significantly reducing the costs associated with heating and air conditioning (Giannakou and

Jones 2002). Improved thermal mass of cellular concrete roof decks and walls helps reduce energy costs, and with roof decks helps increase service life by reducing its thermal shock on the roofing membrane (Legatski 1994). Cellular concrete can be used in conjunction with the popular green roofs, which help control water runoff by storing water and, through evapo-transpiration, reduce the heat island effect and interior noise. They can also reduce energy usage of the building (ACI 523.1R). Cellular concrete is a common substrate for roofing membranes that have low reflectivity and emissivity.

11.3—Materials saving, alternative ingredients, and use of by-products

Adding supplementary cementitious materials (SCMs) to a cellular concrete mixture imparts specific properties to the mixture in addition to replacing a portion of the portland cement content (3.1) (Bertov and Sobkalov 2005). Depending on the specific application, design requirements, and physical properties of the SCM, as much as 75 percent

cement replacement can be accomplished. This replacement saves on cement production and material cost, and reduces greenhouse gas emissions. SCMs should be tested for compatibility with the selected cellular concrete manufacturing process using test batches.

Cellular concrete by nature contains 50 to 80 percent air by volume. The substitution of such a large percentage of mixture, otherwise occupied by cement and aggregates with air, preserves the landscape and saves vital natural resources.

The use of architectural cellular concrete helps reduce the quantities used for decorative stone such as limestone, sandstone, and marble, and eliminates the waste associated with mining and carving them (Kobayashi and Mitsutomo 2004).

Recycled materials such as plastics, glass, carpet fiber, and shredded tires, have also been used in cellular concrete mixtures.

11.4—Production method

Cellular concrete is often produced on-site and placed immediately after mixing. The use of production materials made available at the site, such as cement, supplementary cementitious materials (SCMs), sand, or other aggregate and water, reduces the transportation costs of bulk assemblies. Waste material from a batch mixing process is minimal and can be returned into the production cycle.

11.5—Site disturbances

When cellular concrete is cast over soil, the soil preparation consists of minor excavation and profiling of the subgrade. For some projects, a geotextile may be placed over the existing soil. After the cellular concrete is placed, there is no granular material to compact, saving fuel and time. As an alternative geotechnical solution, cellular concrete usually saves time and money over a more standard solution (ACI 523.1R).

11.6—Applications greater than 50 lb/ft³ (800 kg/m³)

Floor fill applications provide additional sound attenuation and excellent floor-ceiling fire resistance to a wood structure. This improves the quality of life for the occupants over the conventional wood flooring system.

Cellular concrete in certain applications, such as precast panels for highway sound barriers and housing walls, provide lightweight solutions compared to conventional concrete. These result in reduced footing requirements and in fuel efficiency during transportation and installation.

11.7—Foaming agents

Available foaming agents use recycled materials in their production. Because most foaming agents are shipped as concentrates, there is an obvious savings in transportation compared with alternate components such as aggregates and insulation materials.

11.8—Recyclability and reuse

Cellular concrete is a 100 percent recyclable material which, after completion of its service cycle, can be effec-

tively used as concrete aggregate or as a fill or drainage material for soil improvement.

11.9—CO₂ sequestration

Due to its air-void structure, cellular concrete absorbs CO₂ during its service life (Djabarov 2000). This behavior compensates for CO₂ released during the production of portland cement. Alternatively, cellular concrete in the form of blocks or panels can be used as an absorbing media for CO₂ contained in exhaust gases from coal-fueled power plants. In addition, they provide residual heat for use in the curing process and reduce CO₂ emissions released into the atmosphere. The resulting cellular concrete has improved strength from carbonation (Ramme et al. 2008). Mineralization of CO₂ into carbonate compounds was realized for Class C fly-ash-based cellular concrete cast over a large field area. After carbonation, the final product was crushed into a carbonate-rich lightweight aggregate suitable for a variety of construction uses (Ramme et al. 2008).

CHAPTER 12—REFERENCES

Committee documents are listed first by document number and year of publication followed by authored documents listed alphabetically.

American Concrete Institute

ACI 213R-03—Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete

ACI 308R-01—Guide to Curing Concrete (Reapproved 2008)

ACI 318-11—Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

ACI 347-04—Guide to Formwork for Concrete

ACI 408R-03—Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (Reapproved 2012)

ACI 522R-10—Report on Pervious Concrete (Reapproved 2001)

ACI 523.1R-06—Guide for Cast-In-Place Low-Density Cellular Concrete

ASTM International

ASTM C33/C33M-13—Standard Specification for Concrete Aggregates

ASTM C39/C39M-12—Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

ASTM C70-13—Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate

ASTM C94/C94M-13—Standard Specification for Ready-Mixed Concrete

ASTM C109/C109M-13—Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2 in. or [50 mm] Cube Specimens)

ASTM C128-12—Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregates

ASTM C140/C140M-13—Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units

- ASTM C144-11—Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar
- ASTM C150/C150M-12—Standard Specification for Portland Cement
- ASTM C177-13—Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus
- ASTM C191-13—Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle
- ASTM C330/C330M-13—Standard Specifications for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- ASTM C332-09—Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
- ASTM C494/C494M-13—Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- ASTM C496/C496M-11—Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C518-10—Standard Test Method for Steady State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus
- ASTM C567/C567M-11—Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete
- ASTM C595/C595M-13—Standard Specification for Blended Hydraulic Cements
- ASTM C666/C666M-03(2008)—Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- ASTM C796/C796M-12—Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam
- ASTM C869/C869M-11—Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete
- ASTM C1157/C1157M-11—Standard Performance Specification for Hydraulic Cement
- ASTM C1194-03(2011)—Standard Test Method for Compressive Strength of Architectural Cast Stone
- ASTM C1399/C1399M-10—Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete
- ASTM C1609/C1609M-12—Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)
- ASTM D2434-68(2006)—Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)
- ASTM D4491-99(2009)—Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity
- ASTM E119-12—Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials
- Cited references**
- Aroni, S.; de Groot, G. J.; Robinson, M. J.; Svanholm, G.; and Whittman, F. H., 1993, "Autoclaved Aerated Concrete—Properties, Testing and Design," RILEM, London, 31 pp.
- Abrams, M. S., and Gustaferro, A. H., 1969, "Fire Endurance of Two-Course Floors and Roofs," *ACI Journal*, V. 66, No. 2, Feb., pp. 92-102.
- Bertov, V. M., and Sobkalov, P. F., 2005, "Use of Fly Ash in the Manufacture of Cellular Concrete," *Stroitel'nye Materialy*, V. 5, No. 12, 12 pp.
- Cellular-concrete, 2012, "What is Earth-crete Cellular Concrete?" <http://cellular-concrete.ca> (accessed Jan. 9, 2012)
- Djabarov, N., 2000, "CO₂-Treatment of Cellular Concrete—A Technology Ensuring Great Reduction of Gases Causing Greenhouse Effect," *Journal of Central Laboratory of Physico-Chemical Mechanics*, V. 26, pp. 21-26.
- Fouad, F. H., 2006, "Cellular Concrete—Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials," *ASTM Special Technical Publication 169D*, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 561-569.
- Giannakou, A., and Jones, M. R., 2002, "Potential of Foamed Concrete to Enhance the Thermal Performance of Low Rise Dwellings," *Proceedings of the International Conference: Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction*, R. K. Dhir, P. C. Hewlett, and L. J. Csetenyi, eds., Dundee, UK, Sept., pp. 533-544.
- Gustaferro, A. H.; Abrams, M. S.; and Litvin, A., 1970, "Fire Resistance of Lightweight Insulating Concretes," *Research and Development Bulletin RD004*, Portland Cement Association, Skokie, IL.
- Howard, N., 2000, "Sustainable Construction—The Data," *BRE Report CR258/99*, Centre for Sustainable Construction, 46 pp.
- Kitsutaka, Y.; Tamura, M.; and Iihoshi, A., 2000a, "Practical Study on Super Lightweight Cellular Concrete—The Influence of Lightweight Aggregates and Cellular Foam on Early Age Shrinkage of Concrete," *JCA Proceedings of Cement & Concrete*, No. 54, pp. 680-686.
- Kitsutaka, Y.; Tamura, M.; and Tsukamoto, K., 2000b, "The Influence of High Temperature Heating on the Fracture Properties of High-Strength Light-Weight Fiber Reinforced Cellular Concrete," *JCA Proceedings of Cement & Concrete*, No. 54, pp. 744-749.
- Kobayashi, R., and Mitsutomo, K., 2004, "Colored Lightweight Cellular Concrete as Secondary Products, and their Preparation," Japan Kokai Tokyo Koho, Patent 2004167753 A 20040617, 9 pp.
- Light Concrete LLC, 2003, "High-Strength Structural Lightweight Concrete," <http://www.lightconcrete.com/images/LightConcrete.pdf> (accessed Jan 9, 2012)
- Legatski, L. A., 1978, "Cellular Concrete—Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials," *ASTM Special Technical Publication 169B*, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 836-851
- Legatski, L. A., 1994, "Cellular Concrete—Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials," *ASTM Special Technical Publication 169C*, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 533-539.
- McCormick, F. C., 1967, "Rational Proportioning of Preformed Foam Cellular Concrete," *ACI Journal*, V. 64, No. 2, Feb., pp. 104-110.
- Milestone, 2005, "Standard Specification for Milestone Lightweight Architectural Concrete Unit Masonry," Milestone Architectural Ornamentation, <http://www.milestoneitd.com>

- com/MilestoneStandardSpecification.html (accessed Sept. 5, 2007)
- Neopor, 2012, "NEOPOR Cellular Lightweight Concrete," <http://www.neopor.com/en/clc.htm> (accessed July 30, 2012)
- Neville, A. M., 2000, *Properties of Concrete*, fourth edition, Prentice-Hall, Harlow, UK, 844 pp.
- Olek, J.; Weiss, W. J.; Neithalath, N.; Marlof, A.; Sell, E.; and Thomtonn, W. D., 2003, "Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials," *Final Report SQDH 2003-5*, University Center of the U.S. Department of Transportation's Research and Innovative Technology Administration, The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways, Purdue University, West Lafayette, IN, 179 pp.
- Rakhimbaev, S. M.; Tverdokhlebov, D. V.; and Tarasenko, V. N., 2005, "Comparative Studies of Rheological Properties of Cellular Mixes with the Foaming Agents Penostrom and Neopor," *Stroitel'nye Materialy*, V. 6, pp. 64-66.
- Ramme, B. W.; Goeckner, B. D.; and Russart, J. J., 2008, "Carbon Dioxide Sequestration in Foamed Controlled Low Strength Materials," U.S. Patent 7,390,444, June 24, 19 pp.
- Silaenkov, E. S., 1986, *Durability of Cellular Concrete*, Stroizdat, Moscow, 175 pp.
- Sobolev, K., 2003, "Blended Cements to Meet Ecological Challenges," *The Scientific World Journal*, V. 3, pp. 308-318.
- Sobolev, K., and Batrakov, V., 2007, "The Effect of a Polyethylhydrosiloxane Admixture on the Durability of Concrete with Supplementary Materials," *Journal of Materials in Civil Engineering*, V. 19, No. 10, pp. 809-819.
- TAG Crete, 2014, "TAG Crete Panels," <http://energycrete.com/tag-bounce-page/> (accessed Feb. 26, 2014).
- Tam, C. T.; Lim, T. Y.; and Lee, S. L., 1987, "Relationship between Strength and Volumetric Composition of Moist-Cured Cellular Concrete," *Magazine of Concrete Research*, V. 39, No. 138, Singapore, pp. 12-18.
- Tikalsky, P. J.; Pospisil, J.; and Macdonald, W., 2004, "A Method for Assessment of the Freeze-Thaw Resistance of Preformed Foam Cellular Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 34, No. 5, pp. 889-893.
- WBCSD, 2000, "Eco-efficiency—Creating More Value with Less Impact," World Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland, 36 pp. http://oldwww.wbcsd.org/DocRoot/BugWjalu0wHL0IMoiYDr/eco_efficiency_creating_more_value.pdf (accessed Feb. 26, 2014)
- WCED, 1987, "Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development," World Commission on Environment and Development (WCED), Published as Annex to General Assembly document A/42/427, Development and International Co-operation: Environment, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (accessed July 30, 2012)
- Wischers, G., and Kuhlmann, K., 1991, "Eco-Balance of Cement and Concrete," *Concrete Precasting Plant and Technology* No. 11, pp. 33-40.
- Yanagida, H., and Inagaki, S., 2002, "Decorative Lightweight Cellular Concrete Panels with Beaten Surfaces and their Manufacture," Japan Kokai Tokkyo Koho, Patent JP 2002020184 A 30020123, 7 pp.
- Yates, A., 2001, "Quantifying the Business Benefits of Sustainable Buildings—Summary of Existing Research Findings," Building Research Establishment (BRE), Centre for Sustainable Construction, London, 24 pp.
- Yun, H. D.; Kim, J. H.; Han, B. C.; and Yang, I. S., 2006, "A Method for Manufacturing Sound-Absorbing Panels, from High-Tensile Strength Cement Compound and Cellular Concrete, with Improved Structural Stability and Durability," Korean Kongkae Taeho Kongbo, South Korea.
- 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.



As ACI begins its second century of advancing concrete knowledge, its original chartered purpose remains “to provide a comradeship in finding the best ways to do concrete work of all kinds and in spreading knowledge.” In keeping with this purpose, ACI supports the following activities:

- Technical committees that produce consensus reports, guides, specifications, and codes.
- Spring and fall conventions to facilitate the work of its committees.
- Educational seminars that disseminate reliable information on concrete.
- Certification programs for personnel employed within the concrete industry.
- Student programs such as scholarships, internships, and competitions.
- Sponsoring and co-sponsoring international conferences and symposia.
- Formal coordination with several international concrete related societies.
- Periodicals: the ACI Structural Journal, Materials Journal, and Concrete International.

Benefits of membership include a subscription to Concrete International and to an ACI Journal. ACI members receive discounts of up to 40% on all ACI products and services, including documents, seminars and convention registration fees.

As a member of ACI, you join thousands of practitioners and professionals worldwide who share a commitment to maintain the highest industry standards for concrete technology, construction, and practices. In addition, ACI chapters provide opportunities for interaction of professionals and practitioners at a local level.

American Concrete Institute
38800 Country Club Drive
Farmington Hills, MI 48331
Phone: +1.248.848.3700
Fax: +1.248.848.3701

www.concrete.org



American Concrete Institute
Always advancing

38800 Country Club Drive
Farmington Hills, MI 48331 USA
+1.248.848.3700
www.concrete.org

The American Concrete Institute (ACI) is a leading authority and resource worldwide for the development and distribution of consensus-based standards and technical resources, educational programs, and certifications for individuals and organizations involved in concrete design, construction, and materials, who share a commitment to pursuing the best use of concrete.

Individuals interested in the activities of ACI are encouraged to explore the ACI website for membership opportunities, committee activities, and a wide variety of concrete resources. As a volunteer member-driven organization, ACI invites partnerships and welcomes all concrete professionals who wish to be part of a respected, connected, social group that provides an opportunity for professional growth, networking and enjoyment.

Anexo 15

Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

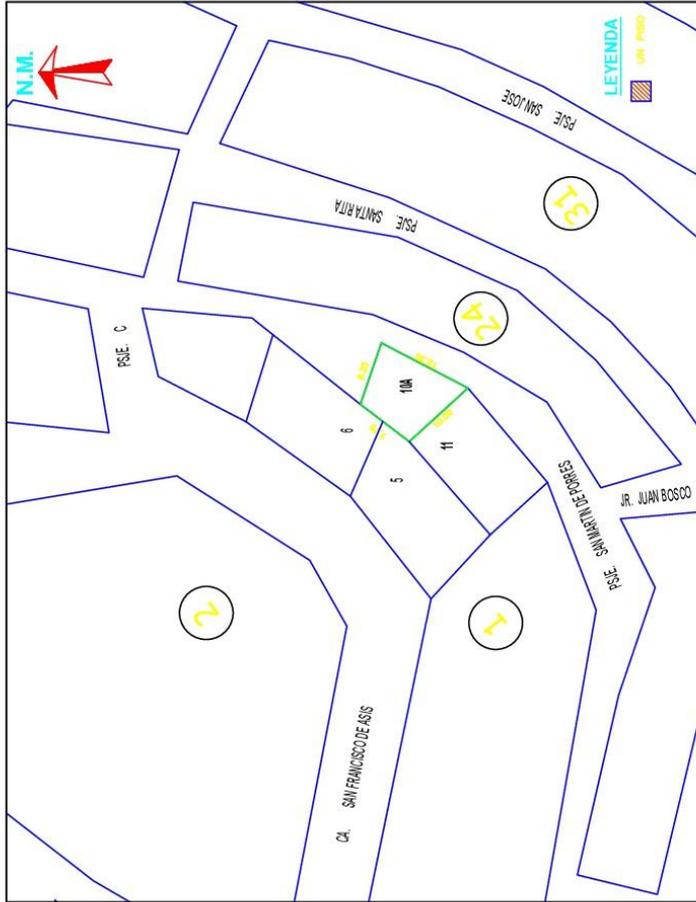
TÍTULO: "PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CELULAR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION".

AUTOR: Ricardo Daniel Pacheco Tinoco.

PROBLEMA		OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES																								
<p>Problema General: ¿De qué manera el análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con poliestireno mejorara su aplicación en la industria de la construcción?</p> <p>Problemas específicos: 1.- ¿De qué manera los resultados físico-mecánicos permitirán su mayor uso del concreto celular a base de poliestireno expandido para implementarlo en la industria de la construcción? 2.- ¿Qué efectos produce el poliestireno expandido al aplicarlo en el diseño de mezcla del concreto celular?</p>		<p>Objetivo general: Evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular a base de poliestireno expandido para ser utilizado en la industria de la construcción.</p> <p>Objetivos específicos: 1.- Evaluar los resultados de acuerdo con la Norma N° 523.3R-14 sobre los elementos del concreto celular (arena, cemento, agua) en relación con la proporción de fibras de poliestireno expandido. 2.- La aplicación en porcentajes del poliestireno expandido mejora la conductividad térmica del concreto celular.</p>	<p>Hipótesis general: El análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con polietileno expandido mejora su aplicación en la industria de la construcción.</p> <p>Hipótesis específica: 1.- Los resultados físico-mecánicos del concreto celular con poliestireno expandido en su propiedad térmica y su baja densidad son favorables para ser aplicado en la industria de la construcción. 2.- La aplicación del poliestireno expandido minimiza la consolidación en el diseño del concreto celular.</p>	<p align="center">Variables Independientes</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dimensiones</th> <th>Indicadores</th> <th>Ítems</th> <th>Niveles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ensayos de laboratorio</td> <td>-E. comprensión -E. térmico.</td> <td>No aplica</td> <td>No aplica</td> </tr> <tr> <td>Tecnologías en la construcción</td> <td>-Nuevos tipos de concreto.</td> <td>No aplica</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">Variables Dependientes</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dimensiones</th> <th>Indicadores</th> <th>Ítems</th> <th>Niveles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poliestireno expandido</td> <td>-Mejoras en las propiedades</td> <td>No aplica</td> <td>No aplica</td> </tr> <tr> <td>Análisis de precios unitarios de partidas con material investigado</td> <td>- Precio por metro cuadrado de vivienda típica con elementos de concreto celular con poliestireno expandido.</td> <td>No aplica</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Niveles	Ensayos de laboratorio	-E. comprensión -E. térmico.	No aplica	No aplica	Tecnologías en la construcción	-Nuevos tipos de concreto.	No aplica		Dimensiones	Indicadores	Ítems	Niveles	Poliestireno expandido	-Mejoras en las propiedades	No aplica	No aplica	Análisis de precios unitarios de partidas con material investigado	- Precio por metro cuadrado de vivienda típica con elementos de concreto celular con poliestireno expandido.	No aplica	
Dimensiones	Indicadores	Ítems	Niveles																									
Ensayos de laboratorio	-E. comprensión -E. térmico.	No aplica	No aplica																									
Tecnologías en la construcción	-Nuevos tipos de concreto.	No aplica																										
Dimensiones	Indicadores	Ítems	Niveles																									
Poliestireno expandido	-Mejoras en las propiedades	No aplica	No aplica																									
Análisis de precios unitarios de partidas con material investigado	- Precio por metro cuadrado de vivienda típica con elementos de concreto celular con poliestireno expandido.	No aplica																										

Anexo 16

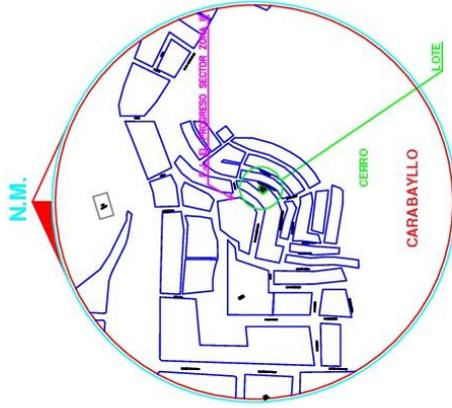
Planos



PLANO DE UBICACION
ESCALA: 1:500

PISO/NIVEL	PROYECTO		TOTAL
	OBRA	NUOVA	
PRIMERO	54.68	54.68	109.36
AREA CONSTRUIDA	54.68	54.68	109.36
AREA TERRENO			109.36
AREA LIBRE			33.34
AREA OCUPADA			109.36

Provincia : LIMA
 Distrito : CARABAYLLO
 P.U. : EL PROGRESO ZONA III
 PSJE. : SAN MARTIN DE PORRES
 Manzana : D
 Lote : 10A

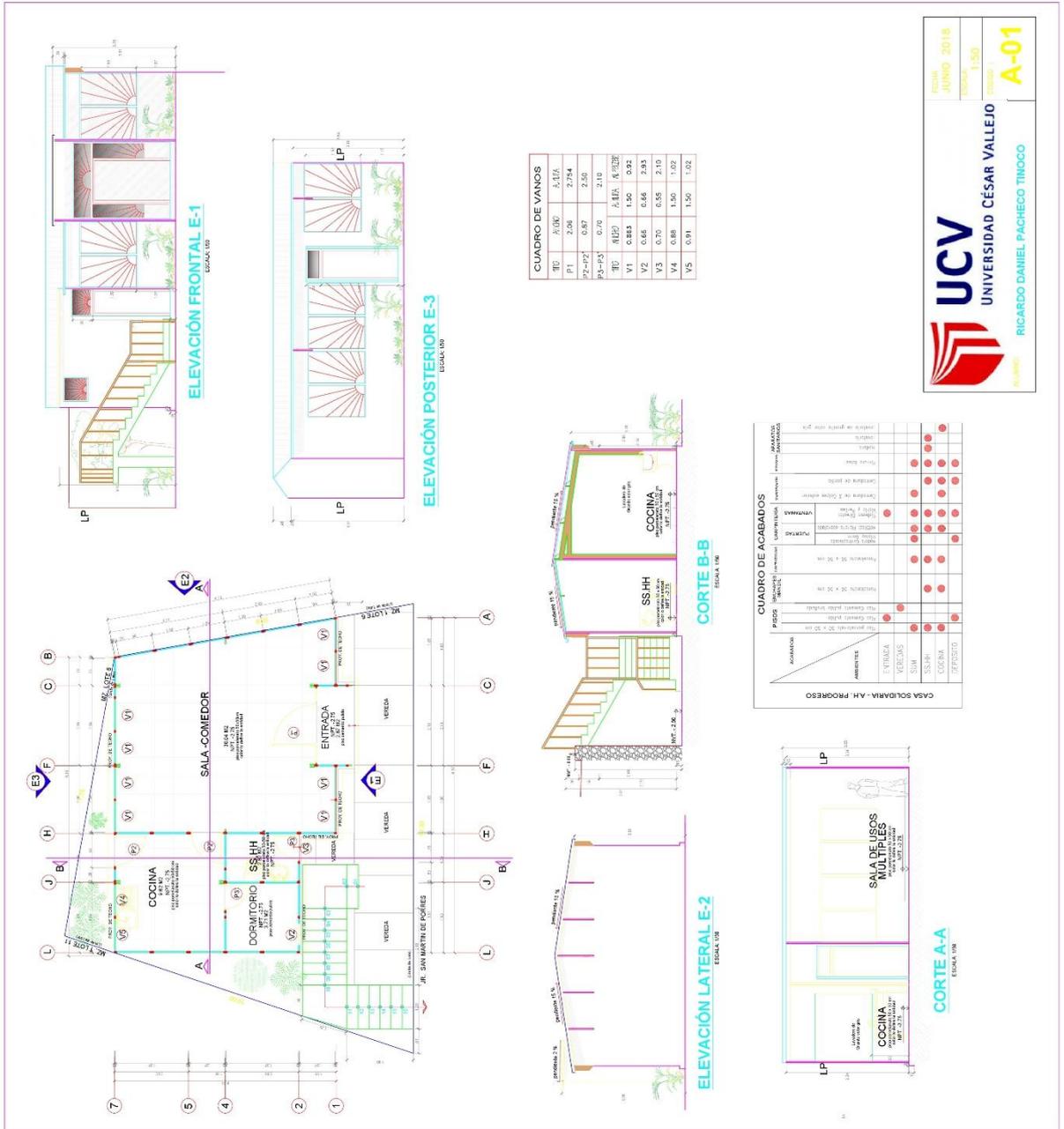


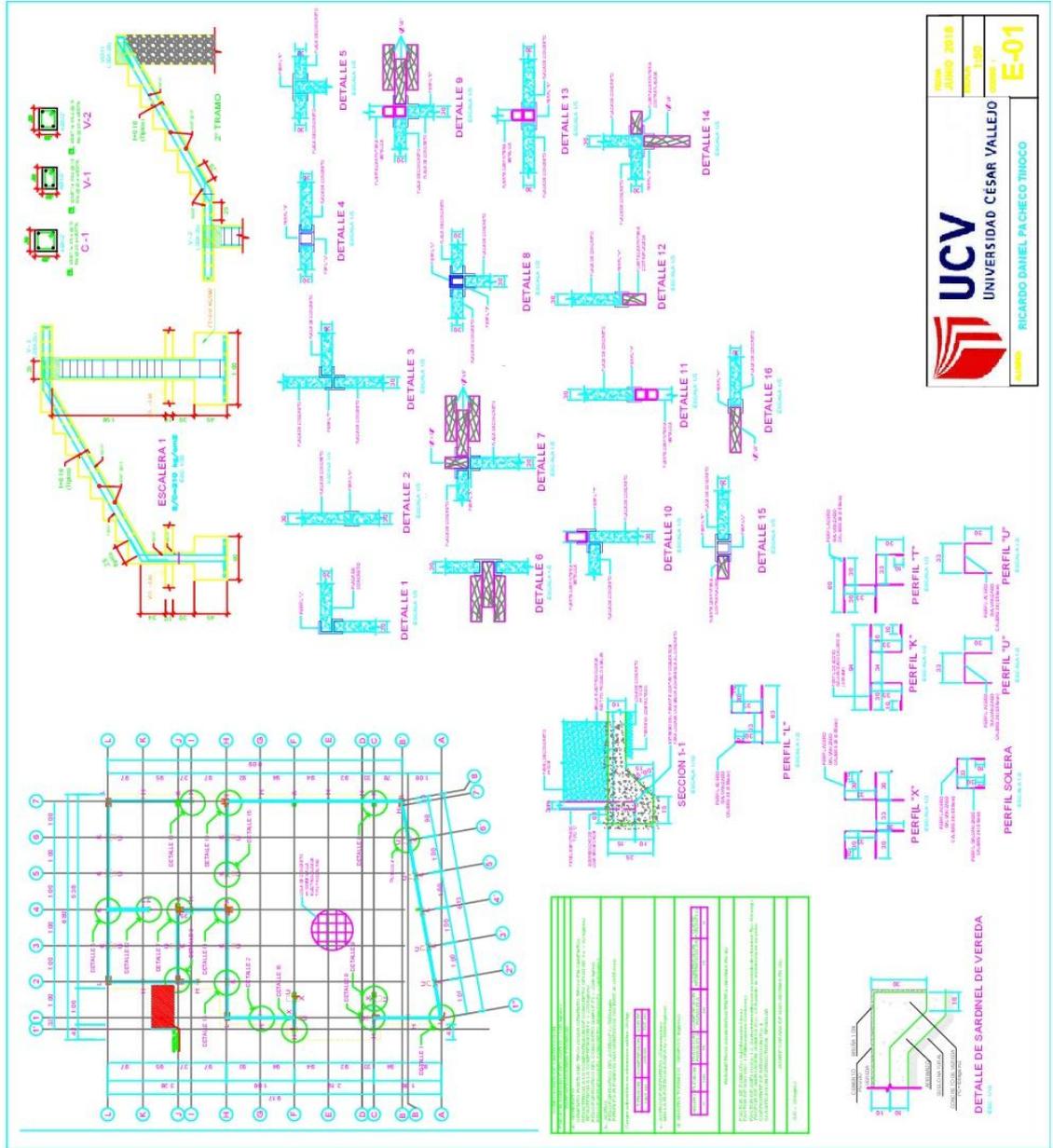
ESQUEMA DE LOCALIZACION
ESCALA: 1:5,000

UCV
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ALUMNO: RICARDO DANIEL PACHECO TIROCCO

FECHA: JUNIO 2018
 TITULO: TESIS
 ESCALA: 1:50
 CODIGO: U-01





Anexo 17

Panel Fotográfico



Mescla de concreto Celular



Toma de muestras del concreto Celular



Ensayo a compresión de concreto Celular



Ensayo termico de concreto Celular



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
La Escuela de Ingeniería Civil

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

PACHECO TIUO, RICARDO DANIEL

INFORME TITULADO:

*PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO CEBUCO CON
AGUASTIBANO EXPANRIDO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE
LA CONSTRUCCIÓN*

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Civil

SUSTENTADO EN FECHA:

04 / 07 / 2018

NOTA O MENCIÓN :

10 (Diez y Seis)



*Firma del Coordinador de Investigación de
Ingeniería Civil*

Yo, GERARDO ENRIQUE CANCHO ZUÑIGA
 docente de la Facultad INGENIERIA CIVIL y Escuela Profesional de
Ingeniería Civil, de la Universidad César Vallejo Lima (precisar filial o sede),
 revisor(a) de la tesis titulada

"PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL CONCRETO CELULAR
 CON POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN EN LA
 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN"

del (de la) estudiante PACHECO TAMBO RICHARDO
DANIEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud
 de 23 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las
 coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis
 cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la
 Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha, Lima, 05 de febrero 2019



Firma

Nombres y apellidos del (de la) docente

DNI: 07239759

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE
TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL
UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 09
Fecha : 23-03-2018
Página : 1 de 1

Yo Ricardo Daniel Bortolo Tanco, identificado con DNI N° 44813877,
egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad
César Vallejo, autorizo (x). No autorizo () la divulgación y comunicación
pública de mi trabajo de investigación titulado
"Propiedades Físico-Mecánicas del Concreto Colado con Aditivos Expansivos y su Aplicación
en la Construcción de la Infraestructura"; en el Repositorio Institucional de la UCV
(<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto
Legislativo 822, Ley sobre Derechos de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....


FIRMA

DNI: 44813877

FECHA: 05 de Febrero del 2019.

Baboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
--------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

