



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“EVALUACIÓN DEL POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO SOBRE EL ASENTAMIENTO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN EN UN CONCRETO LIGERO, TRUJILLO-2017.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Alfredo Ruggeri Velarde Rubio

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú
2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **ALFREDO RUGGERI VELARDE RUBIO**, denominada:

“EVALUACIÓN DEL POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO SOBRE EL ASENTAMIENTO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN EN UN CONCRETO LIGERO, TRUJILLO-2017.”

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro
ASESOR

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Carlos Humberto Fernández Fernández
JURADO

Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado
JURADO

DEDICATORIA

A mi familia por todo el apoyo a través de los años y a mis padres por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más, así también mi hermana por motivarme siempre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, gracias a él he podido culminar todas las metas que me he propuesto.

Mi agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron para que este trabajo tuviera buen término, en especial agradecer sinceramente a mi asesor de Tesis al Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro, por transmitirme sus conocimientos. Su paciencia, persistencia y responsabilidad han sido capaz de ganarse mi admiración.

A toda mi familia por la paciencia y apoyo incondicional durante todos mis estudios. A mis padres y hermana, que en todo momento siempre estuvieron conmigo.

Gracias a la Universidad Privada del Norte, que por varios años se encargó de mi formación, agradezco a los docentes y amigos de mi promoción, por su amabilidad y paciencia. Ellos fueron piezas claves en mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación	18
1.4. Limitaciones	19
1.5. Objetivos	19
CAPÍTULO 2. MARCOTEÓRICO	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Concreto	22
2.2.2. Concreto Ligero	31
2.2.3. Polvo de Aluminio	34
2.2.4. Construcción de Edificaciones	38
2.2.5. Propiedades físicas-mecánicas del concreto	39
2.2.6. Losa Aligerada	42
2.2.7. Importancia del curado del concreto	43
2.2.8. Diseño de mezcla	44
2.2.9. Control de calidad y aceptación de los ensayos	44
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	46
3.1. Operacionalización de variables	46
3.2. Diseño de investigación	47
3.3. Unidad de estudio	47
3.4. Población	47
3.5. Muestra (muestreo o selección)	47
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	50

3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.....	51
•	Cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto-ASTM-C617	63
•	Resistencia a compresión del concreto-NTP 339.034.....	63
•	Absorción y densidad del concreto en estado endurecido-ASTM C642.....	64
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....		66
4.1.	Caracterización de la materia prima.....	66
4.1.1.	Contenido de humedad	66
4.1.2.	Peso específico y absorción.....	66
4.1.3.	Peso unitario.....	67
4.1.4.	Granulometría.....	67
4.1.5.	Ensayo químico del agua, arena gruesa y piedra	68
4.1.6.	Resumen de la caracterización de la materia prima.....	68
4.2.	Diseños de mezcla y dosificaciones por volumen.....	69
4.3.	Ensayos en estado fresco y endurecido.....	69
4.3.1.	Asentamiento.....	69
4.3.2.	Resistencia a la compresión.....	71
4.3.3.	Absorción y densidad.....	73
4.4.	Comparación económica de un concreto convencional y un concreto ligero.....	76
4.5.	Calculo de carga muerta de una losa aligerada con concreto ligero.	77
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		79
CONCLUSIONES.....		89
RECOMENDACIONES.....		90
REFERENCIAS		91
APENDICE		95
ANEXOS		100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dosificación y resultados del concreto	21
Tabla 2: Materias que constituyen el cemento.	23
Tabla 3: Límites permisibles para la calidad del agua	26
Tabla 4: Propiedades técnicas del plastificante Euco 37.	28
Tabla 5: Características del concreto convencional.....	32
Tabla 6: Sistema de designación para aleaciones de aluminio.....	35
Tabla 7: Características físico-mecánica del aluminio.	36
Tabla 8: Composición química del aluminio fundido.....	37
Tabla 9: Pesos unitarios de losas aligeradas en una sola dirección con respectivos espesores ...	39
Tabla 10: Densidad del concreto	41
Tabla 11: Operacionalización de variables dependientes	46
Tabla 12: Operacionalización de variable independiente.....	47
Tabla 13: Tabla de muestra para el cálculo de número de muestras	49
Tabla 14: Procedimiento experimental.....	51
Tabla 15: Clasificación de los agregados, según su contenido de humedad.....	53
Tabla 16: Clasificación de los agregados, según su peso unitario	54
Tabla 17: Clasificación de los agregados, según su peso específico.....	56
Tabla 18: Clasificación de la arena, según su módulo de finura	56
Tabla 19: Análisis químico del agua, arena gruesa y piedra	57
Tabla 20: Resistencia requerida para definir la desviación estándar.....	58
Tabla 21: Relación agua/cemento sobre la resistencia promedio	58
Tabla 22: Cantidades de agua de mezcla en el concreto (l/m^3)	59
Tabla 23: Volumen de la piedra compactado en seco por metro cubico de concreto	60
Tabla 24: Clasificación del concreto, según su asentamiento.....	63
Tabla 25: Clasificación del concreto, según su resistencia a la compresión.....	64
Tabla 26: Clasificación del concreto, según su densidad.....	64
Tabla 27: Contenido de humedad promedio, de la arena y piedra.....	66
Tabla 28: Peso específico y absorción promedio, de la piedra y arena.....	66
Tabla 29: Peso unitario suelto, compacto de la piedra y arena.....	67
Tabla 30: Modulo de finura promedio de la arena	67
Tabla 31: Tamaño máximo nominal, tamaño máximo y huso granulométrico de la piedra	67
Tabla 32: Análisis químico agua, arena gruesa y piedra. Fuente: Propia.....	68
Tabla 33: Ficha técnica de la piedra, arena y polvo de aluminio.....	68
Tabla 34: Diseño de mezclas con diferentes porcentajes de polvo de aluminio	69
Tabla 35: Asentamiento del concreto con polvo de aluminio sin plastificante.....	69
Tabla 36: Coeficiente de variación y desviación estándar para el asentamiento.....	70
Tabla 37: Asentamiento frente a diferentes porcentajes de polvo de aluminio con plastificante	70

Tabla 38: Coeficiente de variación y desviación estándar del asentamiento	70
Tabla 39: Resistencia a compresión de probetas– curado 28 días, sin superplastificante.....	71
Tabla 40: Desviación estándar y coeficiente de variación de compresión.....	72
Tabla 41: Resistencia a compresión de probetas– curado 28 días	72
Tabla 42: Desviación estándar y coeficiente de variación de compresión.....	73
Tabla 43: Densidad y absorción de probetas	73
Tabla 44: Coeficiente de variación y desviación estándar de absorción.....	74
Tabla 45: Coeficiente de variación y desviación estándar de densidad.....	74
Tabla 46: Densidad y absorción de probetas	75
Tabla 47: Coeficiente de variación y desviación estándar de absorción.....	75
Tabla 48: Coeficiente de variación y desviación estándar de densidad.....	76
Tabla 49: Comparación económica de concretos.....	76
Tabla 50: Resistencia a la compresión-sin superplastificante	97
Tabla 51: Resistencia a la compresión- superplastificante 1%	97
Tabla 52: Costo de materiales de un concreto convencional	100
Tabla 53: Costo de materiales de un concreto con superplastificante.....	100
Tabla 54: Costo de materiales de un concreto con polvo de aluminio y aditivo.....	101
Tabla 55: Granulometría de arena gruesa-muestra 1	102
Tabla 56: Granulometría de arena gruesa-muestra 2.....	103
Tabla 57: Granulometría de la arena gruesa-muestra 3	104
Tabla 58: Coeficiente de variación, desviación estándar para la arena gruesa	105
Tabla 59: Granulometría de la piedra-muestra 1	105
Tabla 60: Granulometría de la piedra-muestra 2	106
Tabla 61: Granulometría de la piedra-muestra 3	107
Tabla 62: Coeficiente de variación y desviación del análisis granulométrico de la piedra.....	108
Tabla 63: Contenido de humedad de arena gruesa y piedra	109
Tabla 64: Desviación estándar y coeficiente de variación de arena, piedra	109
Tabla 65: Peso unitario suelto y compactado promedio de la arena gruesa-piedra.....	110
Tabla 66: Peso específico y absorción promedio de arena gruesa-piedra	110
Tabla 67: Resumen caracterización de agregados y cemento.....	111
Tabla 68: Resistencia a la compresión promedio	112
Tabla 69: Consistencia y asentamientos.....	112
Tabla 70: Relación agua/cemento por resistencia	113
Tabla 71: Volumen de agua para mezcla	113
Tabla 72: Volumen de aire atrapado.....	114
Tabla 73: Volumen de agregado grueso.	114
Tabla 74: Diseño de mezcla no corregido.	115
Tabla 75: <i>Diseño de mezcla 210 kg/cm².</i>	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Residuos Sólidos Municipales, 2010-2011,.....	15
Figura 2: Vaciado de concreto para una losa en Urb. Santo Dominguito.....	17
Figura 3: Cemento Tipo Ico.....	25
Figura 4: Reacción química-superplastificante con cemento.....	28
Figura 5: Lignosulfonatos.....	29
Figura 6: Reacción química-plastificante 1 y 2 generación con el agua y cemento.....	29
Figura 7: Floculación de los granos de cemento en presencia de agua.....	30
Figura 8: Reacción química cemento-aluminio.....	37
Figura 9: Porosidad de un concreto con aire incorporado.....	37
Figura 10: Esquema de la distribución del tamaño de poros en el concreto.....	42
Figura 11: Resistencia del concreto en función del tiempo de curado.....	43
Figura 12: Torneado de pistón.....	52
Figura 14: Pulverizado de aluminio.....	52
Figura 13: Pistón de carro.....	52
Figura 15: Losa aligerada.....	77
Figura 16: Forma de actuación de una molécula de superplastificante.....	79
Figura 17: Peso unitario suelto, compacto de la piedra, arena y aluminio.....	81
Figura 18: Asentamiento de un concreto con aditivo y sin aditivo.....	83
Figura 19: Resistencia a la compresión a los 28 días de curado.....	84
Figura 20: Densidad del concreto con aditivo y sin aditivo.....	85
Figura 21: Absorción del concreto con aditivo y sin aditivo.....	86
Figura 22: Comparación de carga muerta en una losa aligerada.....	87
Figura 23: Comparación económica de concretos.....	87
Figura 24: Asentamiento del concreto sin aditivo.....	96
Figura 25: Asentamiento del concreto con aditivo.....	96
Figura 26: Densidad de concreto sin aditivo.....	98
Figura 27: Densidad de concreto con aditivo.....	98
Figura 28: Absorción de concreto sin aditivo.....	99
Figura 29: Absorción de concreto con aditivo.....	99
Figura 30: Cemento tipo Ico, Lab.de concreto UNT.....	117
Figura 31: Piedra de 3/8", Lab. de concreto UNT.....	117
Figura 32: Arena gruesa, Lab. de concreto UNT.....	117
Figura 33: Pistones de carro fundidos reciclados, Lab. de ing. Mecánica UNT.....	117
Figura 34: Pistones después del torneado, lab. ing. mecánica UNT.....	117
Figura 35: Torneado de pistones de aluminio, lab. de ing. Mecánica UNT.....	117

Figura 36: Polvo de aluminio tamizado por la malla N#40	117
Figura 37: Tamizado del aluminio, lab. de concreto UNT	117
Figura 38: Absorción y peso específico de la piedra, lab. de concreto UNT	117
Figura 39: Maquina para el tamizado de los agregados, lab. de concreto UNT	117
Figura 40: Peso específico de la arena, lab. de concreto UNT	117
Figura 41: Arena para el contenido de humedad, lab. de concreto UNT.....	117
Figura 42: Equipo conductímetro, lab. de concreto UNT	117
Figura 43: Recipientes con muestra para análisis químico.....	117
Figura 44: Análisis químico del agua, piedra y arena	117
Figura 45: Conformación de probetas de concreto, lab. de concreto UNT.....	117
Figura 46: Poza de curado de probetas, lab. de concreto UNT	117
Figura 47: Codificación de probetas de concreto	117
Figura 48: Asentamiento de mezcla de concreto	117
Figura 49: Capeado de probetas, lab. de concreto UNT	117
Figura 50: Desmolde de probetas, lab. de concreto UNT	117
Figura 51: Reacción del aluminio en probetas de concreto, lab. de concreto UNT	117
Figura 52: Ensayo de resistencia a la compresión, lab. de concreto UNT	117
Figura 53: Ensayo de densidad para concreto, lab. de concreto UNT	117
Figura 54: Ensayo de absorción, lab. de concreto UNT	117

RESUMEN

En la presente tesis de grado, se investigó el comportamiento del polvo de aluminio en concreto ligero para la construcción de losas aligeradas sobre su resistencia a la compresión, asentamiento, absorción, densidad y tiempo de fraguado, se logra obtener por procesos de material espumoso e incorporador de aire hacen un concreto ligero con una densidad no mayor a 1900 kg/m^3 , para la presente investigación, se añadió polvo de aluminio lo que pasa de la malla N°40 (0.425mm) al 1.5%,3%,4.5% y 6% del peso del cemento, sin superplastificante y con superplastificante al 1%, se obtuvo de la empresa Química Suiza Industrial EUCO 37. El concreto se diseñó para 210 kg/cm^2 a base de Cemento Portland Compuesto Tipo ICo de la empresa Pacasmayo, arena y piedra de 3/8" de la cantera "Los Mellizos" en el distrito de Huanchaco, una relación agua/cemento constante de 0.55 y polvo de aluminio (Al) obtenido del reciclado de pistones de carros es un tipo de aluminio fundido, en el Emporio Albarracín, Urb. Palermo, Trujillo. Se conformaron probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto; curadas a los 28 días en una poza con hidróxido de calcio (NTP 339.183). Para determinar su resistencia a la compresión se empleó la norma NTP 339.034, para el asentamiento la NTP 339.035 y la NTP 339.187 para absorción y densidad, para el tiempo de fraguado NTP 339.082. Con la aplicación del polvo de aluminio en el concreto, se produjo un concreto menos pesado, pero aumentando su grado de absorción y a su vez manteniendo el asentamiento y su resistencia a la compresión. El diseño patrón o mezcla con 0% de polvo de aluminio y sin superplastificante alcanzó una resistencia a la compresión de 224 kg/cm^2 , un asentamiento de 4", una absorción de 2.22% y densidad de 2268 kg/m^3 . El diseño más óptimo del concreto ligero se dio al 1.5% de polvo de aluminio con superplastificante en base a los ensayos realizados durante esta investigación, presentándose un valor de resistencia de 236 kg/cm^2 , asentamiento de 4", absorción de 3.07% y densidad de 1765.55 kg/m^3 . Mientras que para el concreto añadiendo polvo de aluminio de 1.5% del peso de cemento sin superplastificante se obtuvo una resistencia de 195 kg/cm^2 , un asentamiento de 3 1/4", una absorción de 4.32% y una densidad de 1783 kg/m^3 . El costo aproximado de hacer una mezcla para concreto ligero es de S/. 250.51. Al utilizar concreto ligero en cualquier tipo de estructura se aprecian cargas muertas mucho más livianas, importante en áreas de alto riesgo sísmico. La baja densidad del concreto ligero, asegura a las estructuras de concreto. Durante un sismo las edificaciones no serán afectadas gravemente, de está manteniendo a la población más segura durante el acontecimiento de un terremoto de gran intensidad.

ABSTRACT

The research project, we investigate the behavior of aluminum powder in lightweight concrete for the construction of lightened slabs on their resistance to compression, settlement, absorption, density and time of fragmentation, it is obtained by processes of foamy material and The air lift has a light weight with a density not higher than 1900 kg / m^3 , for the present investigation, aluminum powder was added as it passes from the mesh No. 40 (0.425 mm) to 1.5%, 3%, 4.5 % and 6% of the weight of the cement, without superplasticizer and with 1% superplasticizer, was obtained from the company Química Suiza Industrial EUCO 37. The concrete was designed for 210 kg / cm^2 based on Type ICo cement of the company Pacasmayo, sand and stone of 3/8 "from the" Los Mellizos "quarry in the district of Huanchaco, a constant water / cement ratio of 0.55 and aluminum powder (Al) obtained from the recycling of car pistons is a type of molten aluminum, in the Emp ori or Albarracín, Urb. Palermo, Trujillo. Cylindrical specimens of 10 cm in diameter and 20 cm in height were formed; cured at 28 days in a well with calcium hydroxide (NTP 339.183). To determine its resistance to compression, the NTP 339.034 standard was used for the settlement of NTP 339.035 and NTP 339.187 for absorption and density, for setting time NTP 339.082. With the application of aluminum powder in concrete, but with a higher degree of absorption and in turn maintaining the settlement and its resistance to compression. The standard design or mixture with 0% aluminum powder and without superplasticizer achieved a compressive strength of 224 kg / cm^2 , a 4 "setting, an absorption of 2.22% and a density of 2268 kg / m^3 of the concrete to 1.5% of aluminum powder with superplasticizer based on the tests made for this investigation, presenting a resistance value of 236 kg / cm^2 , settlement of 4 ", absorption of 3.07% and density of 1765.55 kg / m^3 While aluminum powder could be added to 1.5% by weight of the cement without superplasticizer, a resistance of 195 kg / cm^2 , a settlement of $3 \frac{1}{4}$ ", an absorption of 4.32% and a density of 1783 kg / m^3 The approximate cost of making a mix for a single floor is S / .250.51 Someone lightweight in any type of structure can see much lighter dead loads, important in areas of high seismic risk The low density of lightweight concrete , assures the concrete structures, during an earthquake the buildings have not become serious, of being in the safest population during the event of a high intensity earthquake.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según construccionmundial.com(2017) el último análisis mundial del sector de construcción a largo plazo pronostica que la producción mundial aumentará en un 85% hasta 2030, creciendo US\$8.000 millones para alcanzar US\$15.500 millones, impulsado principalmente por el crecimiento en China, India y Estados Unidos, el cual representa el 57%. Esto a su vez está polarizando la demanda de plantas y maquinaria nuevas y usadas en estos tres mercados, que son seguidos de cerca por Indonesia, Reino Unido, México, Canadá y Nigeria. El pronóstico también dice que para el año 2025 Reino Unido será el mercado más grande de Europa, impulsado principalmente por mega proyectos de infraestructura a medio y largo plazo, superando a Alemania y convirtiéndose en el sexto mercado de construcción más grande del mundo. Esto debido al crecimiento poblacional en países desarrollados como Estados Unidos y China. A nivel mundial conceptos de ecología y medio ambiente están adquiriendo mayor importancia. La contaminación mundial afectaría directamente en la industria de la construcción, los países actualmente con la necesidad de revertir los efectos de la construcción convencional es optar por nuevos sistemas de construcción para proteger al medio ambiente. En la actualidad en el país por el crecimiento económico. La industria de la construcción ha crecido en el sector público y privado, pero la demanda insatisfecha de viviendas en el país todavía es muy alta

Según el diario *La Gestión*(2015) en Lima todavía hay una demanda de 290.000 viviendas en Lima, la alternativa para mayor rapidez de construcción sería utilizando un nuevo concreto, un concreto utilizado hace 50 años en mayor producción en otros países es el concreto celular.

Según Portafolio.com (2015), todas las actividades que se realizan impactan en el medio ambiente y la construcción de vías y edificios no escapa de esta responsabilidad incluso, la UNEP por sus siglas en inglés- United Nations Environment Program (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) dice que durante este proceso hay emisiones de gases efecto invernadero, y que a nivel mundial se calcula que representen una carga del 40 por ciento de estos, lo que conlleva al cambio climático, la pérdida de diversidad biológica y disminución de las reservas de agua dulce. Otro análisis es el que hace el Panel Intergubernamental del Cambio del Clima (IPCC por su sigla en inglés): en general, el entorno edificado es responsable a nivel mundial del 20 por ciento del consumo de agua potable, del empleo de la madera cultivada en un 25 por ciento, del uso de la energía en un 40 por ciento y del gasto de materias primas en un 50 por ciento.

Además, cuando las obras, por el correr del tiempo, deben ser demolidas, ese procedimiento no deja recursos reutilizables, lo que hace necesario producir más materiales para seguir construyendo, y son procesos que requieren grandes cantidades de combustible, materias primas y energía. Pero como dice Cristina Gamboa, directora ejecutiva del Consejo Colombiano

de Construcción Sostenible (CCCS), “el entorno edificado es la mayor oportunidad que tenemos para cambiar nuestros hábitos de consumo que tanto daño causan”. Según diario El Comercio(2015), el aluminio, obtenido de la bauxita, que es su única fuente importante, está presente en latas de cerveza y en desodorantes, en medicamentos para la acidez estomacal y aspirinas, en los utensilios para la cocina y hasta en la harina, en los motores y pistones de la BMW, en los autos Bentley, Rolls Royce, en los aviones; en ciertos campos profesionales, este elemento, de color y brillo semejantes a los de la plata, vence por mucho margen al cobre. Los ingenieros aeroespaciales prefieren implantar aluminio en lugar de cobre en los satélites de comunicación que próximamente serán lanzados al espacio exterior y puestos en órbita, producción mundial de aluminio en el 2015 fue de 47 millones de toneladas métricas, el Perú es un país importador de aleaciones de aluminio entre ellos perfiles de aluminio de, tubos de aluminio, entre otros.

Se trata de utilizar de manera eficiente la energía, el agua, reducir la generación de residuos y usar materiales sin compuestos tóxicos. Gamboa explica que esta nueva manera de hacer obras se basa en el análisis del ciclo de vida, es decir que se analiza el proceso desde la obtención de los materiales hasta la demolición de la edificación. Por ejemplo existen pinturas de origen natural y mineral que no contienen sustancias químicas, cementos que contienen menos elementos tóxicos, se reutilizan residuos de otras edificaciones y se elimina el proceso de calcinación de la materia prima, como sucede con la piedra caliza y la arcilla, que emiten gases de efecto invernadero.

En la actualidad hay empresas que reciclan todo tipo de productos como plástico, cartón, aluminio, etc. Según el Ministerio de la Producción (2000), las principales empresas productoras de aluminio son: Fábrica de Aluminio y Metales del Perú SA, Aluminio y Tecnología SA y Fundición Central S.A. Para hacer mediante este reciclaje nuevos productos como ollas, envases entre otros; este grupo de empresas tienen una asociación el RENAREP (Asociación Civil Nacional de Recicladores del Perú). Pero hay empresas dedicadas al reciclaje de aluminio estas obtienen el aluminio mediante el reciclado para la fabricación de utensilios de cocina entre otras cosas entre estas empresas que se ubican principalmente en la ciudad de Lima están: Metales Herrera, La moderna, Aluminio Grevisa, Envases D. Mendieta y Alianza Metalúrgica. En el informe realizado por el Ministerio del Ambiente en el cuadro donde se observa que en el 2012 se reciclo el 3,7% de metales entre esto incluye el aluminio [Figura 1].

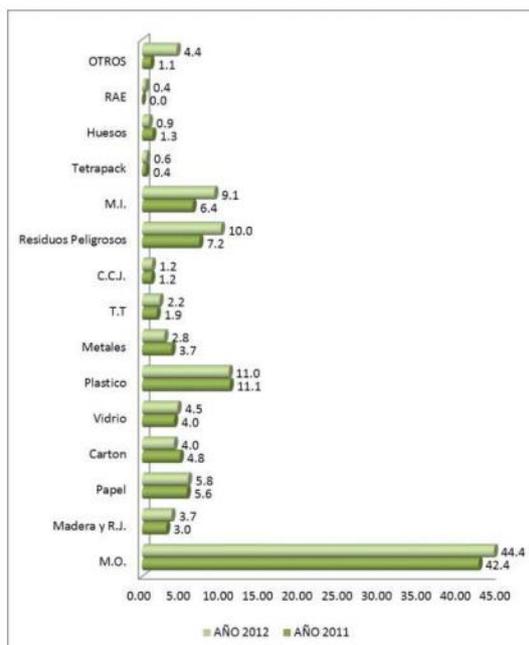


Figura 1: Residuos Sólidos Municipales, 2010-2011, **Fuente:** Ministerio del Ambiente

Actualmente empresas como Sika, Quimica Suiza, Basf y otras empresas ofrecen productos para reducir el peso del concreto, como son los incorporadores de aire, para obtener concretos livianos. Es importante destacar que la densidad obtenida de un concreto liviano puede ser un 25% menor que la normalmente utilizada en elementos estructurales y las resistencias obtenidas pueden superar el valor predicho por las estimaciones, por lo que el concreto liviano es una excelente alternativa en construcciones de gran altura. (Hernández, 2011).

En la ciudad de Trujillo, donde se realiza esta investigación, las construcciones no solo crecen de manera horizontal, sino también de manera vertical, en los últimos diez años se han construido una gran cantidad de edificios, algunos de estos ejemplos son la construcción de la torre de la facultad de ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego que posee diez pisos y aproximadamente cuarenta y cinco metros de altura, sin embargo debido a que los suelos tienen una capacidad portante estimada en promedio de entre 1.8 a 0.6 kg/cm², lo que indica que Trujillo es una zona con suelos no idóneos para construcciones con excesiva carga, se tiene que recurrir a otro tipo de cimentaciones como plateas o pilotes, lo cual aumentan los costos de construcción. (Esquema Director de Trujillo, 2003).

Según UNICON (2016), el concreto convencional es la mezcla de arena, piedra, cemento y agua, la piedra que se utiliza es de 1", 1/2", 3/4", el tipo de cemento usado es el tipo I, II, III, IV, V, ICO entre los más utilizados en el Perú, este tipo de concreto es usado en cimentaciones, columnas, losas y muros de contención, teniendo una densidad entre 2200-2400 kg/m³. Según

DINO (2005), el conjunto de procedimientos técnicos planeados cuya práctica permite que el concreto cumpla con los requisitos especificados, al menor costo posible, los ensayos son: asentamiento, temperatura, densidad, contenido de aire, resistencia a la compresión y flexión. Según Instituto mexicano del concreto y cemento (IMCYC), 2014, el concreto ligero tiene características propias; por un medio espumoso o incorporador de gas adicionado a la mezcla se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava, que por tanto tiempo ha sido el material empleado en las construcciones, otra definición señalada es el concreto ligero fue conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad superficialmente seca no es mayor a 1,800kg/m³. Por otra parte, con la aplicación en miembros estructurales de concreto reforzado con agregados de peso ligero, la densidad límite tuvo que ser revisada, ya que algunas muestras de concreto hechas para este propósito a menudo daban concretos de densidad (superficialmente secos) de 1,840 kg/m³, o mayores. Esto, sin embargo, es aún concreto ligero dado que resulta todavía bastante más ligero que el concreto común, que usualmente pesa entre los 2,400 y 2,500kg/m³. El concreto ligero es una buena opción ecológica en términos de producción, empleándose en unidades de albañilería, losas, muros para casas, cines, auditorios, teatros, muros divisorios, capas de nivelación de losas a causa que es liviano, ahorra tiempo de construcción, reduce los desperdicios incluyendo la energía a usar, menores costos de transporte. Según Segura (2007), existen tipos de concretos ligeros entre ellos con burbujas de aire o concreto aireado, reemplazo total del agregado grueso y el otro es concreto sin finos. En el caso del concreto aireado es conocido como concreto celular, según la empresa Atmosfera (2017), El concreto celular es la mezcla de cemento, arena, piedra, agua y un incorporador de aire o espumante. Hay dos tipos de concreto celular con espumante y gas, el concreto celular de gas es incorporando polvo de aluminio a la mezcla de concreto, el polvo de aluminio al mezclarse con el cemento reacciona formando burbujas de aire, haciéndolo un concreto ligero y con menor densidad, que la de un concreto convencional. Para la producción del concreto ligero se emplearía polvo de aluminio, llena todos los espacios completamente con la misma densidad en el elemento, en una sola etapa, lo cual acelera considerablemente la velocidad de construcción empleándose también un aditivo adicional entre ellos se encuentra la piedra pómez, arcilla expansiva, polvo de aluminio entre otros. El polvo de aluminio es uno de los más usados en estado líquido; pero también se usaría en estado sólido que se obtiene de diversas formas, puliendo el aluminio en un esmeril u otra alternativa es usar los residuos de fabricación de utensilios de aluminio que en el momento de su fabricación usan como materia prima productos de aluminio, dejando polvo de aluminio en el momento de producción. Otra forma es reciclando los pistones de los carros, los cuales contiene aluminio fundido, representado por una mezcla de aluminio, cobre y magnesio. Según el diario La Gestión (2015), en el 2015 existen 190,000 vehículos en la ciudad de Trujillo, creciendo al 6% anualmente. Los vehículos tienen en promedio 4 pistones. Los beneficios de concreto aireado o celular es el aislamiento térmico, densidad del concreto baja, haciendo la

estructura menos pesada y vulnerable durante un sismo. Considerando de acuerdo a la nueva norma técnica peruana E.030 Diseño sismo resistente, indicando que la zona 4 en toda la costa del Perú, haciéndola vulnerable durante un sismo de gran intensidad En la zona sierra del país especialmente en la zona sur por las grandes heladas que se presentan según el SENAMHI (2017), la temperatura en la sierra sur Tacna, Moquegua y Puno de -18°C mínima, el concreto celular tiene muchas ventajas entre ellas están la construcción rápida, aislamiento térmico, protección del descongelamiento de la nieve protegería a la vivienda a que no traspase hacia al interior de la vivienda y no haga un daño significativo al acero de la losa, haciéndolo ventajoso para emplearse en cualquier tipo de construcción en todo el país [figura 2].



Figura 2: Vaciado de concreto para una losa en Urb. Santo Dominguito

Fuente: Elaboración Propia

Construir viviendas con concreto celular haría estructuras más livianas. Otro factor beneficioso sería en la construcción de instituciones educativas como: universidades, colegios u otros, por sus propiedades acústicas será adecuado para que al momento que se dictan clases o el uso de equipos que generen ruido este no afecte a otros ambientes de la institución. También ser utilizado en lugares de diversión para que el ruido no traspase hacia las calles y no afecte el sonido hacia los vecinos aledaños a estos lugares, en la costa ayudando a los edificios a reducir peso muerto.

Finalmente es importante destacar que no es considerable el uso de concretos livianos estructurales en la ciudad de Trujillo, y son pocas las obras con el uso de concretos livianos estructurales en el país, debido a la falta de conocimiento sobre este tipo de concretos o la falta de investigaciones, por lo tanto esto indica que tenemos menos oportunidades de dar soluciones a los problemas de Ingeniería.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad y absorción en un concreto ligero, Trujillo-2017?

1.3. Justificación

La presente investigación pretende contribuir de gran manera a disminuir la contaminación ambiental, a partir de una correcta minimización de los residuos sólidos generados por los metales entre ellos el de aluminio, enmarcada en la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314. Contemplando el análisis del comportamiento del polvo de aluminio a diferentes porcentajes en la elaboración de concreto ligero, instaurándose una nueva alternativa un concreto ligero en el sector construcción, la utilización de concreto ligero según Goitia y Graterol (2015) busca dar una solución alternativa a mejorar la calidad, productividad y disminución de costos. Además se tendrá una mayor rapidez en la construcción así como menores costos en transporte. Es importante destacar que Trujillo se encuentra en una zona con capacidad portante relativamente baja, por lo que se puede usar el concreto liviano para realizar edificaciones de gran altura, sin recurrir a otros tipos de cimentaciones, que son más costosas que las convencionales. Además al disminuir el peso sísmico de una edificación, se tendrá menores fuerzas inerciales, por consiguiente las fallas en las estructuras durante un sismo serán menores, incluso se podrá privar a las estructuras del uso de placas. Para conseguir tal fin es necesario disminuir el peso del concreto, porque es el material mayoritario en la estructura.

El aumento de $f'c$ viene dado en parte por el peso propio de la estructura, por lo que proponer un concreto de baja densidad puede disminuir el $f'c$ a utilizar en el proyecto, que podría complementarse con la pérdida de resistencia a compresión del concreto por el uso de polvo de aluminio creando burbujas de aire, sin embargo por ser muy absorbentes pueden quitar agua a la mezcla, por consecuencia la mezcla no tendría un buen acomodo, afectando en la resistencia del concreto, por ello es necesario utilizar un plastificante, para que la mezcla tenga un mejor acomodo dentro de la estructura. En cuanto a las resistencias a compresión mínimas requeridas por la NTE E0.60 en el acápite 9.4.1 para elementos estructurales es de 17 MPa (175kg/cm^2), sin embargo generalmente en los expedientes técnicos se trabajan con resistencias de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 . En este estudio se buscará el mejor porcentaje que será añadido al concreto, para que cumpla con los parámetros de control de calidad del concreto, tales como: resistencia a la compresión donde se comprobará si cumple con el diseño de mezcla, absorción para determinar su grado de durabilidad y densidad para obtener su masa unitaria, además del asentamiento para medir el grado de trabajabilidad de dicha mezcla y el tiempo de fraguado para conocer las reacciones del cemento-polvo de aluminio, en cuanto influye el tiempo de pasar de un concreto en estado fresco a endurecido.

Se optará por utilizar Cemento Portland Compuesto Tipo ICo, debido a que este es el más comercial en la ciudad de Trujillo, además de que genera menos emisiones de CO_2 al ambiente por estar compuesta de hasta un 30% de materias calizas y/o inertes lo cual reduce la

producción de clínker para este cemento, contribuyendo con el ahorro energético y el cuidado del ambiente. Se establecerá el uso de confitillo y no otro tipo de piedra como agregado grueso, puesto que tiene un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/8" (9.50 mm), facilitando si se quiere la conformación de concreto, realizándose un correcto acomodo de la mezcla en el molde para evitar cangrejeras, permitiendo elaborar un concreto muy denso y resistente. Así evitando un costo excesivo al momento del tarrajeo de las estructuras. Todos estos factores y elementos, contribuirán y permitirán una optimización del diseño del concreto para bloques en la construcción, siendo implementado masivamente por su bajo costo. La trascendencia de este proyecto radica en hacer de conocimiento a la población de las características y propiedades de un concreto adicionado con polvo de aluminio, y de esta forma incitar la cooperación sector público y privado como es el caso de las cooperativas y asociaciones civiles sin fines de lucro, para la instauración de sistemas que nos proporcione un mejor panorama de estudio acerca de todas las aplicaciones que puede tener el material propuesto en la construcción.

1.4. Limitaciones

Limitado material bibliográfico nacional e internacional sobre investigaciones de concreto ligero, por lo que se tomó como referencia las investigaciones lo más cercanas al tema.

1.5. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Analizar la evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analizar la influencia del polvo de aluminio en la disminución del asentamiento en estado fresco del concreto, bajo la norma NTP 339.035.
- Determinar el porcentaje del polvo de aluminio en el descenso de la densidad en estado endurecido para obtener concreto ligero, bajo la norma NTP 339.046.
- Verificar el efecto que tiene el polvo de aluminio en la resistencia a la compresión de una losa de concreto aplicado para losas, bajo la norma NTP 339.034.
- Mostrar el efecto del polvo de aluminio en la absorción de una losa de concreto aplicado para losas, bajo la norma ASTM C-642.
- Realizar el estudio del agregado fino y grueso para determinar el diseño de mezcla para un concreto $f'c=210$ Kg/cm² aplicado en losas aligeradas.
- Analizar la carga muerta con un concreto convencional y ligero en una losa aligerada.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- En la tesis de Ninaquispe Manchego, Y. (2007) "Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural", Universidad Nacional de Ingeniería, considera que la dosificación de polvo de aluminio optima es de 3% del peso de cemento para albañilería estructural y en cuanto a la granulometría se debería usar el serrín de aluminio que pasa el 100% de la malla N°30 con todas estas consideraciones comprobó que es apropiado como aislante térmico y mejora la resistencia a la compresión aumento en un 60% a los 28 días, para la elaboración del concreto se utilizó cemento andino, arena fina, cal y polvo de aluminio, usando todos estos insumos se obtiene un concreto ligero, ello se debe a la reacción del aluminio con el cemento formando burbujas de hidrogeno, haciendo un concreto liviano para la estructuras, se obtuvieron los siguientes resultados: Densidades promedio de bloques de concreto de 1550 kg/m³ y una resistencia a la compresión promedio de 8 MPa.
- El artículo titulado, **Hormigones livianos de alto rendimiento**, de Hou, Caicedo y Falconi (2010), publicado por la revista tecnológica ESPOL, en Guayaquil, Ecuador, relata la construcción del puente Benecia-Martinez, San Francisco, para la cual se necesitaron requerimientos de concreto, la dosificación usada así como los resultados observados en la tabla N°01, los resultados son favorables como: La densidad alcanzada se logró gracias al uso de agregado fino liviano y la resistencia a compresión se logró con la adición de ceniza volante y metacaolín, conjuntamente con una baja relación a/c, sin embargo no hace mención al uso de un superplastificante, la cual se puede deducir, porque su mezcla con la relación a/c y la adición de materiales absorbentes dejarían la mezcla muy seca. Por lo tanto se puede decir que el uso de agregados finos livianos da buenos resultados en cuanto a densidad, sin embargo es necesario el uso de otros aditivos para mantener la resistencia a compresión.

Tabla 1: Dosificación y resultados del concreto obtenido por Hou, Caicedo y Falconi., **Fuente:** Revista Espol

Dosificación Usada	
	Kg/m ³
Cemento	495
Ceniza volante	29
Metacaolín	58
Agua	180
Arena	733
Agregado liviano	510
a/mc	0.31
Resultados Obtenidos	
Densidad (kg/m³)	2001
F'c (MPa)	74 a los 35 Días
E (Gpa)	27
Retracción %	0.042
Flujo plástico %	0.22

- En el artículo del Ingeniero Díaz de Cossio, R. en 2004, "Concretos Ligeros", Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, considero que los rangos de los concretos ligeros de densidades que oscilen entre 300 a 1,850 kg/m³. Los rangos correspondientes de resistencia van entre 0.3 a 40 Mpa, e incluso mayores. Las resistencias más elevadas se obtienen con contenidos elevados de cemento (500 kg/m³, puede necesitarse hasta 70% más que con agregados normales). Todos los agregados ligeros producen concretos totalmente diferentes entre sí por lo que se requiere un cuidadoso control. Generalmente estos concretos requieren de un 12 a un 14% menos de agua de mezclado para lograr una misma trabajabilidad que uno ligero. Puede sustituirse solo parte del agregado fino por agregados finos de peso normal, pero siempre en volúmenes iguales. Para la misma resistencia el módulo elástico de un concreto ligero es menor que el de uno normal, (alrededor de un 24 a 50%) por lo tanto las deformaciones son mayores.
- En el tomo de estructuras del Reglamento Nacional de Edificaciones en 2017, "Estructuras", Instituto de Construcción y Gerencia, determino que el peso propio de una losa aligerada en una sola dirección de concreto armado con un espesor de 0.17 m es de 280 kgf/m², 0.20 m es de 300 kgf/m², 0.25 m es de 350 kgf/m² y 0.30m es de 420 kgf/ m².
- La Norma Técnica Peruana titulada **N.T.E. E.60 CONCRETO ARMADO** (2009), del Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento en Lima, Perú, en el acápite 2.2 de definición de términos básicos nos indica que un concreto convencional tiene un peso específico de aproximadamente 2300 kg/m³, sin embargo define a un concreto como liviano cuando utiliza un agregado liviano y tiene una densidad de equilibrio, determinada por —Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete (ASTM C 567), que no

excede 1850 kg/m^3 . Además, indica que un agregado liviano debe tener una densidad cuando está seco y suelto de 1100 kg/m^3 , o menos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

Concreto es la mezcla de cemento, arena gruesa, piedra y agua. La cantidad de cada uno de estos materiales dependerá de la resistencia que se quiera lograr, la cual se indica en los planos con el símbolo $f'c$. La resistencia del concreto a utilizar dependerá, a su vez, de donde se va a emplear: cimientos, muros de contención, pisos, columnas o techos (Aceros Arequipa, 2017)

La mezcla de concreto se trabaja en forma semilíquida, esto hace que pueda ajustarse y adquirir cualquier forma, la cual al paso del tiempo (proceso de fraguado) se convierte en un material resistente y durable, por tal razón es un material muy utilizado en la industria de la construcción.

2.2.1.1. Usos estructurales

“Los elementos estructurales son las partes de una construcción que sirven para darle resistencia y rigidez. Su función principal es soportar el peso de la construcción y otras fuerzas como sismos, vientos, etc.”(Cenapred, 2017)

Los elementos más importantes en la construcción son:

- a) Vigas y viguetas: son habitualmente barras horizontales, que cumple una función muy importante en las construcciones como trasladar el peso a las columnas. Están sometidas generalmente a esfuerzos de flexión.
- b) Pilar o columna: son habitualmente barras apoyadas verticalmente, cuya función principal es trasladar cargas hacia los cimientos. Los principales esfuerzos que soporta son de compresión y pandeo.
- c) Cimientos: son los encargados de soportar y repartir en el suelo todo el peso de la estructura, soportando principalmente esfuerzos de compresión.
- d) Placas: Son muros de concreto que proporcionan gran rigidez lateral ante movimientos laterales como los sismos.

2.2.1.2. Componentes del concreto

a) Cemento Portland Compuesto Tipo ICo

“Cemento portland obtenido por pulverización conjunta de clínker portland, materias calizas y/o inertes hasta un máximo de 30%” (NTP 334.001, 2001, p. 7).

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009), el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir: Cemento Portland=Clinker Portland + Yeso

Óxido componente	Porcentaje típico	Abreviatura
CaO	58% - 67%	C
SiO ₂	16% - 26%	S
Al ₂ O ₃	4% - 8%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 5%	F
SO ₃	0.1% - 2.5%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0% - 1%	
Mn ₂ O ₃	0% - 3%	
TiO ₂	0% - 0.5%	
P ₂ O ₅	0% - 1.5%	
Pérdida por calcinación	0.5% - 3%	

Tabla 2: Materias que constituyen el cemento. Fuente: Mayta

- **Silicato Tricálcico (3CaO·SiO₂ = C₃S = Alita)**

Posee una incidencia de 50 a 70% en el cemento, definiendo la resistencia inicial (en la primera semana), siendo de gran importancia su efecto en el calor de hidratación.

- **Silicato Dicálcico (2CaO·SiO₂ = C₂S = Belita)**

Ocupa alrededor de 15 a 30%, definiendo la resistencia a largo plazo, sin tener fuerte impacto en el calor de hidratación.

- **Aluminato Tricálcico (3CaO·Al₂O₃ = C₃A)**

Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, puesto que interviene en 5 a 10%, pero con los silicatos condicionan el fraguado violento actuando como catalizador. Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al

reaccionar con estos produce sulfoaluminatos con propiedades expansivas, por lo que hay que limitar su contenido.

- **Ferro aluminato Tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF} = \text{Celita}$)**

Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación, por tener un porcentaje de incidencia comprendido entre 5 a 15%.

- **Cal libre (CaO)**

No debe sobrepasar el 2%, ya que en cantidades excesivas puede dar por resultado una calcinación insuficiente del clínker en el horno, esto puede provocar expansión y desintegración del hormigón. Inversamente, cantidades muy bajas de cal libre reducen la eficiencia en el consumo de combustible y producen un clínker duro para moler que reacciona con mayor lentitud.

- **Óxido de Magnesio (MgO)**

Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

Estos compuestos conforman del 90 al 95% de la masa del cemento. Así mismo, durante la molienda, se añade yeso (3 - 6%).

- **Sulfato de calcio Dihidratado ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{CSH}_2 = \text{Yeso}$)**

Su aporte principal en el proceso es de controlar el efecto producido por aluminato tricálcico y los silicatos, retardando el fraguado violento.

a.1) Tipos de cementos

La ASTM C150 lo clasifica en 5 tipos:

- **Tipo I:** Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- **Tipo II:** Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- **Tipo III:** Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- **Tipo IV:** Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos

“La norma establecida por la Norma Técnica Peruana (NTP 334.090), especifica las características de los cementos adicionados, los que contienen además de los compuestos mencionados, escorias, puzolanas y materiales calizos que modifican el comportamiento” (ICG, 2015, p. 66)

Entre los tipos de cementos y el porcentaje añadido, tenemos:

- **Tipo IS:** Contenido de escoria entre 25% y 70%.
- **Tipo ISM:** Contenido de escoria menor a 25%.
- **Tipo IP:** Contenido de puzolana entre 15% y 40%.
- **Tipo IPM:** Contenido de escoria menor a 15%.
- **Tipo ICO:** Cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Portland y materiales calizos (travertino), hasta un 30% de peso.



Figura 3: Cemento Tipo Ico

Fuente: Cementos Pacasmayo

Para esta investigación se utilizó cemento tipo ICO.

b.1.5 Agregados

Se define como agregados al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural y artificial, cuyas dimensiones están comprendidas en los límites fijados por la norma NTP 400.011 (Mayta,2014 , p.36).

b.1.5.1 Clasificación

a) Por su naturaleza

i. Naturales

Son los formados por los procesos geológicos naturales, que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto. Como por ejemplo, la arena en todas sus gradaciones, el confitillo, etc. (Mayta, 2014, p. 37).

ii. Artificiales

Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto (Mayta, 2014, p. 37). Algunos agregados de este tipo

los constituyen la escoria de altos hornos, arcilla expandida, áridos reciclados, cascote de ladrillo, etc.

iii. Subproductos

Son productos secundarios o incidentales, obtenidos de los desechos industriales, generalmente útiles y comerciables, derivados de un proceso de manufactura o reacción química tales como el aserrín, el aluminio, el vidrio, etc. (Osorio y Rojas, 2010).

b) Por su tamaño

i. Agregado fino

“Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg)” (NTP 400.037, 2002, p. 5).

ii. Agregado grueso

“Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (No. 4) proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca” (NTP 400.037, 2002, p. 6).

b.1.6 Agua

Sustancia líquida transparente, compuesto de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, (H₂O) en estado puro es inodora e insípida, no siempre se encuentra en estado puro por lo que puede contener en disolución de gases y sales, en suspensión, polvos y a veces microbios (Absalón y Salas, 2010, p.21).

Descripción	Límites permisibles	
Sólidos en suspensión	5 000 p.p.m.	Máximo
Conductividad, 25°C	1500 Us/cm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	600 p.p.m.	Máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	3000 p.p.m.	Máximo
Cloruros (Ión Cl ⁻)	1 000 p.p.m.	Máximo
PH	5,5 – 8,0	

Tabla 3: Límites permisibles para la calidad del agua, **Fuente:** ASTM C-1602

a) Agua de mezcla

Agregadas a las mezclas de concreto o de mortero para hacer reaccionar el aglomerante (cemento) dándole a la mezcla las propiedades resistentes deseadas y la fluidez necesaria para facilitar su manejo y colocación.

b) Agua de curado

“Constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento, con el fin de que este se hidrate y alcance sus propiedades potenciales” (Sánchez, 2001, p. 59).

b.3 Aditivos

Según la ASTM C494 clasifica a los aditivos de la siguiente manera.

- **TIPO A:** Reductor de agua
- **TIPO B:** Retardador de fraguado
- **TIPO C:** Acelerador de fraguado
- **TIPO D:** Reductor de agua y retardador
- **TIPO E:** Reductor de agua y acelerador
- **TIPO F:** Reductor de agua de alto efecto
- **TIPO G:** Reductor de agua de alto efecto y retardador

b.3.1 Aditivos Superplastificantes

Los aditivos superplastificantes pertenecen a una nueva generación de aditivos plastificadores, reduciendo el agua en un 25 a 40%.

“Son conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango, las cuales tienen por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla de concreto” (Huincho, 2011).

Según Oliva (2008) en el modo de acción de los superplastificantes pueden considerarse tres etapas consecutivas:

- Adsorción de los polímeros por parte de las partículas de cemento en la etapa de transición sólido-líquido.
- Carga de la superficie de los granos con fuerzas electroestáticas de repulsión por tener el mismo signo.
- Aparición de tensiones superficiales que aumentan la distancia entre partículas.

Estos aditivos están normados según la ASTM C 494.

Descripción	Características
Apariencia	Líquida
Color	Marrón oscuro
Densidad	1.19 kg/l
Solubilidad	Soluble en agua
Aumento de resistencia a 28 días	125% - 135%
Tiempo de fraguado	
Fraguado inicial	+30 min.
Fraguado final	+30 min.

Tabla 4: Propiedades técnicas del plastificante Euco 37, **Fuente:** Química Suiza.

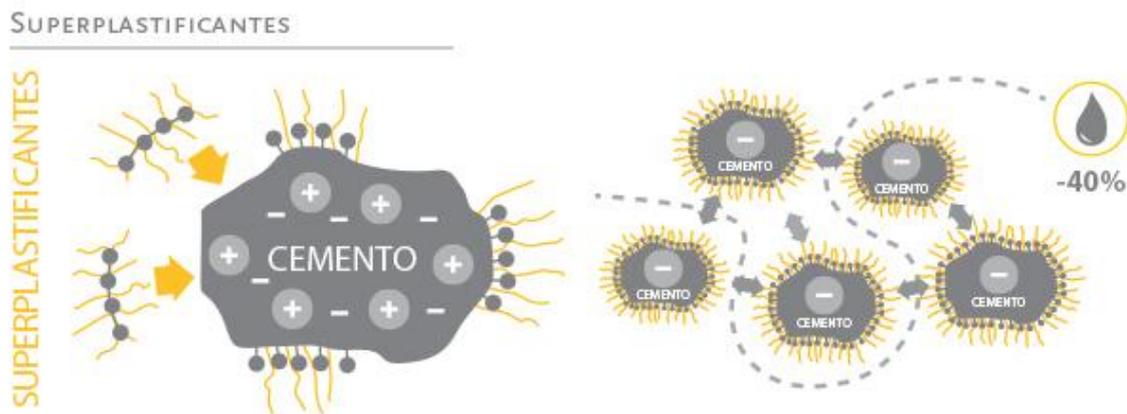


Figura 4: Reacción química-superplastificante con cemento **Fuente:** Autor

Aditivos plastificantes de primera generación

Se desarrolló alrededor de los años 30, hechos a base de lignosulfonatos. Según Valverde, et al (2016), se obtienen del proceso secundario de la extracción de la celulosa de la madera. Generalmente tienen que ser tratados con el fin de reducir su contenido en azúcares para contrarrestar su efecto retardador. Permiten reducir el agua en la mezcla del concreto como máximo un 10% o conseguir, a igual relación agua/cemento, un aumento de la fluidez.

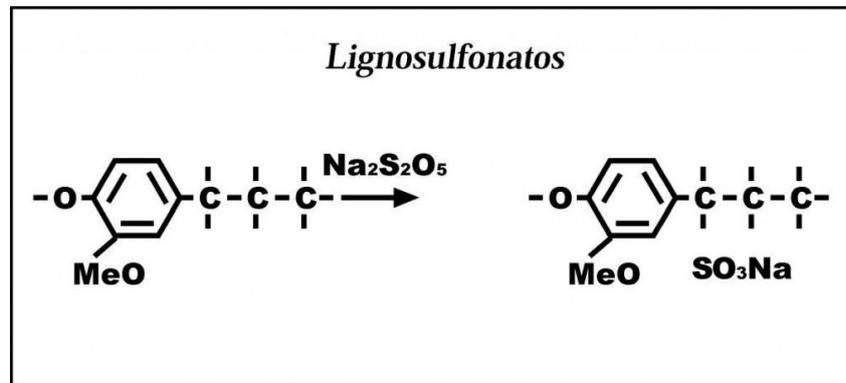


Figura 5: Lignosulfonatos **Fuente:** Valverde, et al.

Aditivos plastificantes de segunda generación

Una nueva generación de polímeros llega al mercado a mediados del siglo XX que permite una mayor reducción del ratio agua-cemento del 25%. Los polisulfonatos como el naftaleno y la melanina tienen un mecanismo de acción similar a los plastificantes de primera generación, produciendo un efecto de dispersión eléctrica aunque de mayor intensidad. Como hemos visto, los polímeros adhieren a las partículas de cemento, confiriéndoles una carga negativa que causa repulsión entre ellas, y permite al agua fluir e hidratar la mezcla mejor.

Por esa misma función de repulsión es también la causante de una mayor oclusión de aire, aumentando la trabajabilidad de la mezcla pero simultáneamente creando posibles bolsillos de aire que disminuyen su capacidad de resistencia y comprometen una integridad estructural.

PLASTIFICANTES 1ª Y 2ª GENERACIÓN

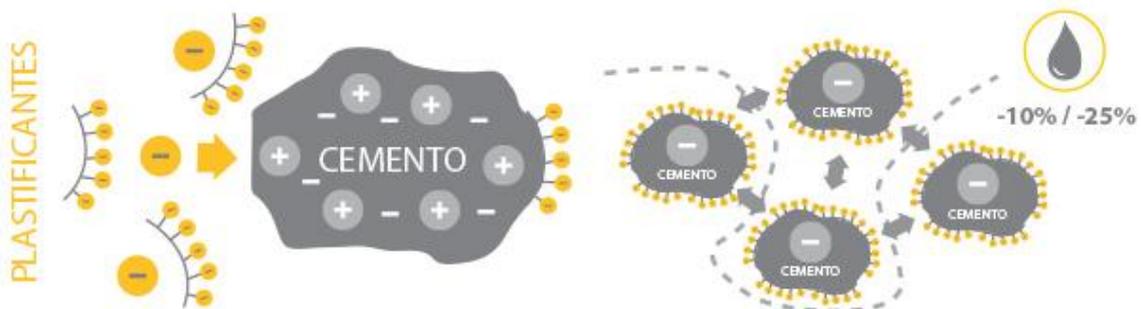


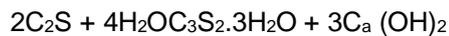
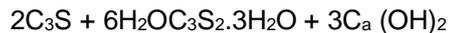
Figura 6: Reacción química-plastificante 1 y 2 generación con el agua y cemento **Fuente:** Putzmeister,

2.2.1.3. Reacción del cemento-agua

Según la empresa Sika sostiene que: El cemento requiere de cierta cantidad de agua para hidratarse (en promedio 25% de la masa de cemento), sin embargo para garantizar, en toda la masa de concreto, disponibilidad de agua de hidratación para el cemento es conveniente contar con una cantidad mayor, debido a que la hidratación sólo es posible en un espacio saturado. Esto no es un inconveniente dado que aún un concreto de baja relación agua/cementante, por ejemplo 0.45, tiene un 80% de agua por encima de lo requerido por el cemento para hidratarse, sin embargo la prematura desecación del concreto puede reducir el agua en la mezcla.

El cemento portland endurece al reaccionar con agua, por las denominadas reacciones de hidratación. El silicato dicálcico y el tricálcico constituyen aproximadamente un 75% en peso del cemento portland, y cuando estos componentes reaccionan con el agua durante el proceso de endurecimiento del cemento, producen como principal producto de hidratación el silicato tricálcico hidratado. Por hidratación del silicato tricálcico y el silicato dicálcico se produce también hidróxido cálcico, que es un material cristalino.

Estas reacciones son:



En donde el silicato tricálcico C_3S endurece rápidamente y es el principal responsable de la temprana resistencia del cemento portland, y así sucesivamente con los demás productos. Por lo tanto, de las reacciones anteriores se puede aclarar que, según la extensión en que se completan las reacciones de hidratación, así se determina la resistencia y durabilidad del concreto.

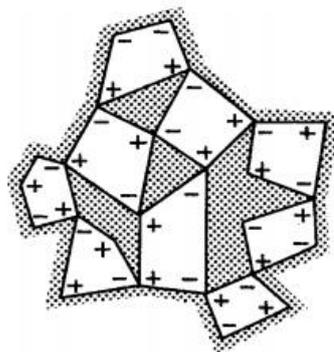


Figura 7: Floculación de los granos de cemento en presencia de agua

Fuente: Uniovi

2.2.2. Concreto Ligero

Definición

Se considera concreto liviano a aquellos concretos que tienen una densidad inferior a 1850 kg/m^3 según la NTP E060 y pueden dividirse en tres tipos: concreto aireado, concreto sin finos y concreto con áridos livianos.

Características

Algunas de las ventajas más sobresalientes presentadas por los autores Valdez, Suarez y Proaño (2010) en su artículo Hormigones ligeros son las siguientes:

- Permite disminuir el peso en estructuras y cargas a la cimentación.
- Ofrece un ahorro significativo en el consumo de energía eléctrica, en particular en sitios con clima extremo.
- Su Transporte y colocación es más económico.
- Baja densidad.
- Buena aislación térmica
- Buena aislación acústica
- Mayor resistencia al fuego que el concreto convencional
- Bajo módulo de elasticidad

Sin embargo también tienen desventajas frente al concreto convencional, estas son presentadas por los mismos autores.

- Los agregados livianos podrían ser más caros que la grava común, pero esta diferencia podrá ser compensada con un menor costo en el transporte e incluso puede influir en el tipo de cimentación favorablemente.
- Debido a que el módulo de elasticidad es bajo se pueden producir mayores deformaciones a las de un concreto convencional.

No se puede determinar el grado de incidencia en la relación de agua-cemento debido a su gran absorción.

- La contracción por secado es mayor a la del concreto convencional y por lo tanto debe tenerse en consideración en el dimensionamiento de los elementos constructivos.

- La falta de experiencia en el uso del concreto liviano lo cual genera inconvenientes en su uso y elaboración.
- Debido a su gran absorción se presentan problemas de corrosión del fierro, pero este problema se reduce al aumentar el recubrimiento del fierro.

Características	Concreto Convencional
Resistencia a la Compresión	210 kg/cm ²
Estado de Verificación f'c	28 días
Tamaño Máximo del Agregado	1", 3/4", 1/2"
Asentamiento	3 pulgadas
Tiempo de Fraguado Inicial	2.5 horas
Peso unitario	2200-2400 kg/m ³
Contenido de Aire	3%

Tabla 5: Características del concreto convencional

Fuente: UNICON

b.1.3 Aplicaciones

Sus aplicaciones son diversas, incluso tiene mayor aplicaciones que un concreto convencional, utilizada en cualquier obra civil.

2.2.2.1. Diseño de mezcla de concreto ligero

Hay muchas maneras de elaborar concreto liviano, según Segura (2007) dice que existen 3 formas que son:

El primero corresponde al concreto liviano con agregado liviano, el cual reemplaza en su totalidad al agregado grueso y está destinado para usos estructurales. El segundo hace referencia al concreto aireado, celular o espumoso, en el cual se le introducen grandes vacíos al concreto, de tal manera que se produce un concreto poroso y liviano. Finalmente, se tiene el concreto sin finos, donde se mantienen los agregados gruesos de peso normal, se omiten los agregados finos y por lo tanto hay un gran número de vacíos intersticiales presentes.

b.1.5 Concreto Celular

Según la empresa Atmosfera (2017), el hormigón celular, se fabrica a partir de una mezcla de cemento, arena, agua y espuma, que posteriormente requiere curado natural. Las burbujas de aire se distribuyen en forma pareja por toda la preparación, aunque no se comunican entre sí, logrando un producto final de estructura porosa, pero

con muy baja absorción de agua. El hormigón celular es un material muy liviano, y sin embargo perdurable. A juzgar por los resultados de las pruebas de campo, su resistencia aumenta con el paso del tiempo. Por lo mismo, emplearlo en construcción no solamente significa un factor de ahorro en cuanto a insumos y mano de obra, sino permite crear estructuras fáciles de manejar, que no pierden en firmeza.

En el interior de los edificios construidos con hormigón celular, se mantiene un microclima agradable. Su gran poder de aislación térmica se evita pérdidas de calor en invierno, mientras en verano el ambiente permanece fresco. Además, las paredes de hormigón celular no le temen a la humedad exterior y dejan que los vapores, generados dentro de la casa se ventilen, contribuyendo a un balance óptimo de la humedad relativa ambiente. En comparación con el hormigón tradicional, la estructura aireada del celular constituye una ventaja, ya que lo convierte en un aislante por excelencia, que a diferencia de las fibras minerales no se malogra con el tiempo. Existen dos tipos de concreto celular: Concreto celular de gas y Concreto Celular de espumante.

Concreto Celular de Gas

Según la empresa Atmosfera (2017), Es la tecnología para fábricas muy grandes. Este tipo de hormigón consta en general de cal. En la mezcla de cal con un poco de cemento agregan un polvo de aluminio y calientan fuertemente la mezcla. El aluminio entra en la reacción química con cal y segrega el hidrógeno que aumenta el volumen del hormigón. Después los macizos hechos cortan en bloques.

Concreto Celular de espumante

Según la empresa Atmosfera (2017), con esta tecnología en la mezcla de cemento, arena y agua agregan la espuma de generador de espuma. En las moldes vierten la mezcla hecha. Cuando se endurezca un poco hay que desarmar moldes y sacar bloques. Después hay que humectar bloques y dejarlos en paz durante 28 días antes de usarlos en la construcción. Se puede acelerar el endurecimiento calentando bloques con el vapor. También el calentamiento de bloques hasta la temperatura de 80° C convierte el agua dentro de bloques al estado de gel y eso aumenta mucho la calidad de hormigón celular. Un inconveniente de esta tecnología es un tiempo largo entre la fabricación y la venta de bloques.

En esta investigación se usara el concreto celular de Gas, añadiendo polvo de aluminio fundido al concreto, el aluminio fundido se obtuvo de los pistones de carros.

2.2.3. Polvo de Aluminio

El polvo de aluminio es un polvo liviano, inoloro, plateado-blanco a gris. Es un material inflamable reactivo. La humedad del polvo de aluminio puede encenderse en el aire, con la formación de gas hidrógeno inflamable. Es también un polvo combustible, cuando el polvo de aluminio entra en contacto con el agua, ácidos fuertes, bases o alcoholes fuertes, libera gas hidrógeno inflamable. Puede reaccionar violenta o explosivamente con muchos químicos orgánicos e inorgánicos. El polvo de aluminio es esencialmente no-tóxico luego de exposición de corto plazo información. El aluminio está normalmente cubierto con una capa de óxido de aluminio a menos que las partículas se formen frescamente. Existen dos tipos principales de polvo de aluminio: el tipo "partícula" que se hace estampando el metal frío y el tipo "granulado" que se hace de aluminio fundido. El puro polvo es un tipo especialmente fino de polvo "en partícula" y está compuesto de partículas muy pequeñas (menos de 1 micrómetro (μm) de diámetro). Este registro de perfil químico contiene información de polvos de aluminio, complementado con general del aluminio y sus compuestos.

Las propiedades físicas del aluminio varían significativamente de acuerdo con la pureza y la aleación. Los valores dados en este registro de perfil químico son para el aluminio de un mínimo de 99.99% de pureza.

Algunos polvos de aluminio se tratan con materiales como estearina para minimizar la superficie de oxidación. Adicionalmente, algunos polvos de aluminio están recubiertos con poliestireno para reducir o eliminar el riesgo de fuego. Esta revisión no trata los riesgos de los polvos de aluminio.

b.3.1 Características del polvo de aluminio:

- De fácil mecanizado debido a su baja dureza.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando (Escala de Mohs: 3). Límite de resistencia en tracción: 1632-2040 kgf/cm^2 en estado puro, en estado aleado el rango es de 14280-61200 kgf/cm^2 . El duraluminio fue la primera aleación de aluminio endurecida que se conoció, lo que permitió su uso en aplicaciones estructurales.
- Para su uso como material estructural se necesita alearlo con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas, así como aplicarle tratamientos térmicos.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.
- Con CO_2 absorbe el doble del impacto.
- Tiene propiedades térmicas
- Su Densidad del aluminio es baja 2700 kg/cm^3 . [2]

b.3.2 Sistema de designación de las aleaciones

Para clasificar los diversos tipos de aluminios primero se tiene en cuenta el método de la fabricación del producto, que puede ser mediante moldeado o mediante forjado. Las aleaciones de aluminio diseñadas para moldeado tienen una composición química que les permite fluir hacia el interior del molde. Las aleaciones de aluminio forjado se utilizan para productos que se fabrican deformando el aluminio hasta obtener su forma final. La asociación americana del aluminio (Aluminum Association) ha desarrollado un sistema de clasificación de las aleaciones de aluminio, el sistema designación para las aleaciones de aluminio forjado utiliza un código de cuatro dígitos. El primer dígito indica la serie de aleación, el segundo dígito indica, si es distinto a cero, indica una modificación en la aleación básica. El tercer y cuarto dígitos identifican la aleación especificada dentro de la serie; estos dígitos se asignan arbitrariamente, excepto para la serie 1xxx, en la que los dos dígitos indican el contenido mínimo de aluminio, que es el que se muestra en la tabla.

Tabla 6: Sistema de designación para aleaciones de aluminio, **Fuente:** Materiales de Ingeniería Civil, Michael S. Mamlouk y Jhon P. Zaniwski.

Aleaciones de aluminio forjado		Aleaciones de aluminio moldeado	
Serie de Aleación	Descripción de los principales elementos de aleación	Serie de Aleación	Descripción de los principales elementos de la aleación
1xxx	99 % mínimo de aluminio	1xx.x	99 % mínimo de aluminio
2xxx	Cobre	2xx.x	Cobre
3xxx	Manganeso	3xx.x	Silicio más cobre y/o magnesio
4xxx	Silicio	4xx.x	Silicio
5xxx	Magnesio	5xx.x	Magnesio
6xxx	Magnesio y Silicio	6xx.x	Seri no utilizada
7xxx	Zinc	7xx.x	Zinc
8xxx	Otro elemento	8xx.x	Estaño
9xxx	<i>Serie no utilizada</i>	9xx.x	<i>Otro elemento</i>

b.3.3 Características Físico-Mecánico del Aluminio

Características	Aluminio
Rigidez Cortante E(kg/cm ²)	280,000
Resistencia a la tracción (kgf/cm ²)	1632-2040
Módulo de elasticidad (kg/mm ²)	7000
Dureza (HB)	15
Módulo de Poisson	0.33
Densidad (kg/m ³)	2700
Dureza-Escala de Mohs	3
Alargamiento (%)	11

Tabla 7: Características físico-mecánica del aluminio, **Fuente:** Materiales de Ingeniería Civil, Michael S. Mamlouk y Jhon P. Zaniewski.

b.3.4 Aluminio Fundido

Según la Universidad Politécnica de Valencia, 2015, las aleaciones de aluminio para fundición se han desarrollado por sus buenas cualidades de colabilidad, fluidez y capacidad de alimentación de los moldes, así como por la optimización de las propiedades de resistencia y tenacidad o resistencia a la corrosión de estas aleaciones. En la tabla se recogen las composiciones químicas. El silicio, en cantidades del 5 al 12%, es el elemento de aleación más importante dentro de estas aleaciones, al aumentar sobre todo la colabilidad de las mismas. La adición de magnesio, en porcentajes del 0.3 al 1%, facilita el endurecimiento por precipitación con lo que aumenta las características resistentes. Adiciones de cobre entre el 1 y el 4% aumentan en gran medida la resistencia, sobre todo a temperaturas elevadas. Para optimizar las propiedades resistentes de las aleaciones de fundición, se realiza el enfriamiento de las piezas en moldes que permiten elevadas velocidades de enfriamiento, lo que produce estructuras en estado sólido sobresaturadas, que tras las correspondientes etapas de envejecimiento alcanzan niveles resistentes considerables. Un buen ejemplo de la aplicación de este proceso es la fabricación de pistones para automóviles, que tras su extracción del molde se somete a un tratamiento de envejecimiento que posibilita su endurecimiento por precipitación, tratamiento denominado T5.

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

Tabla 8: Composición química del aluminio fundido

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

2.2.3.1. Reacción cemento-polvo de aluminio

Según la empresa Aircrete Europe (2016), con toda la combinación de cemento, cal, yeso (anhidrita), arena finamente molida y aún más importante el polvo de aluminio hace que la mezcla se expanda considerablemente. Desde el principio hasta el final de las reacciones químicas simplificadas son los siguientes:

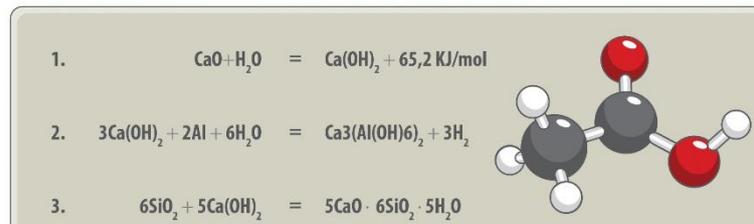


Figura 8: Reacción química cemento-aluminio

Fuente: Empresa Aircrete Europe



Figura 9: Porosidad de un concreto con aire incorporado

Fuente: Empresa Aircrete Europe

2.2.4. Construcción de Edificaciones

La construcción de edificios es el proceso mediante el cual se le añade una estructura al bien raíz. La gran mayoría de los trabajos realizados dentro de la construcción son pequeñas remodelaciones, tales como la adición, una habitación o renovación de éstas. Con frecuencia el propietario actúa como operador, administrador y diseñador del equipo de trabajo para todo el proyecto. Los proyectos de construcción tienen algunos elementos en común; el diseño, financiamiento, estimaciones y consideraciones legales. Muchos proyectos de diferentes magnitudes no alcanzan los resultados esperados por diferentes razones como colapso estructural, sobrecosto y/ o litigio. Es por ello que las personas con experiencia dentro del campo realizan planes detallados y mantienen una revisión cuidadosa y continua durante el proyecto con la finalidad de obtener resultados positivos. La construcción de edificios comerciales es adquirida de manera privada o pública utilizando varias metodologías de entrega que incluye el costo estimado, precio negociado, tradicional, gerencia que contrata, gerencia en riesgo de la construcción, diseño y estructura del mismo. Las prácticas, las tecnologías y los recursos de la construcción residencial deben ajustarse a las regulaciones y códigos de la autoridad de construcción local. Los materiales fácilmente disponibles en el área dictan generalmente los materiales de construcción usados (por ejemplo. ladrillo contra piedra, contra la madera). El costo de la construcción por metro cuadrado (o pie cuadrado) para las casa puede variar drásticamente por las condiciones en las que se encuentren el terreno, las regulaciones locales y economías de escala (casas con diseño particular en general son más costosas). Al igual que en otros tipos de construcción, también es importante considerar los posibles gastos que pueden afectar el resultado esperado, es por ello que la planificación cuidadosa es necesaria aquí. Entre las estructuras principales para una edificación son: Columnas, vigas y losas. Se pueden construir losas en una o dos direcciones pero las más comunes son las losas en una sola dirección, estas pueden ser: losas macizas o aligeradas.

Las losas aligeradas su peso mínimo propio son de 280 kgf/m². Se le puede colocar distintos tipos de aditivos para mejorar su resistencia, fraguado, térmicas, más liviano entre otros. [8]. En la siguiente tabla del Reglamento Nacional de Edificaciones se observa los espesores de losa con sus respectivos pesos propios. [8]

Losas aligeradas armadas en una sola dirección de concreto armado		
Con vigueta de 0.10 m de ancho y 0.40 m entre ejes		
Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior en metros	Peso Propio KPa (kgf/m ²)
0.17	0.05	2.8(280)
0.20	0.05	3.0(300)
0.25	0.05	3.5(350)
0.30	0.05	4.2(420)

Tabla 9: Pesos unitarios de losas aligeradas en una sola dirección con respectivos espesores

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones 2017

2.2.5. Propiedades físicas-mecánicas del concreto

2.2.5.1. Resistencia a la compresión

Según National Ready Mixed Concrete Association (S.F), la resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en megapascales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17 MPa o 173.4 kgf/cm² para concreto residencial hasta 28 MPa o 285.2 kgf/cm² y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 70 MPa o 714 kgf/cm² y más. Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. [2]

Otra definición dada por Rivva (2000), afirma que la Resistencia es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia a la compresión se utiliza como índice de calidad del concreto. En pavimentos suele utilizarse la resistencia a la flexión. La resistencia al corte no se utiliza.

Por su propia naturaleza, la resistencia del concreto no puede ser mayor que la de sus agregados. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los concretos convencionales dista mucho de la que corresponde a la mayoría de rocas empleadas como agregado, las mismas que se encuentran por encima de los 1000 kg/cm². Por esta razón no se ha profundizado el análisis de la influencia del agregado en la resistencia del concreto. [1]

Lo expresado anteriormente es de fácil comprobación, si se observa la fractura de los especímenes de concreto sometidos a ensayos de compresión. En ellos la rotura se presenta en el mortero o en la zona de adherencia con el agregado grueso y, por excepción, en los agregados descompuestos o alterados.

Pero Abrams (1918), indicó que en un conjunto dado de materiales y condiciones de trabajo, el factor determinante de la resistencia era la relación agua-cemento de diseño en la que se excluye el agua adsorbida por el agregado. En esta teoría las resistencias son mayores con la disminución de la relación agua-cemento. [1]

2.2.5.2. Asentamiento del Concreto

Es una propiedad del concreto que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación, es definido también como aquellos los cuales tienen el grado de humedad necesario como que al apretarlos con la mano quede adherida a esta la lechada de cemento. Este tipo de concretos solo contienen el agua necesaria para que su superficie, después de vibrados quede blanda y unida.

Los concretos plásticos son definidos como aquellos que contienen el agua necesaria para dar a la masa una consistencia pastosa.

Los concretos fluidos son aquellos que han sido amasados con tanta agua que la mezcla fluye como una pasta blanda. Este tipo de concretos solo debe ser empleado en aquellas estructuras en las que la disminución de calidad originada por el excesivo contenido de agua carece de importancia.

Los norteamericanos clasifican al concreto por el asentamiento de la mezcla fresca secas, plásticas y fluidas; el método de determinación empleado es conocido como método del cono de asentamiento, método del cono de Abrams o método Slump y define la consistencia de la mezcla por el asentamiento medido en pulgadas o en milímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definidas y sección tronco cónica por eso se puede definir el asentamiento como la medida de la diferencia de altura entre el molde metálico estándar y la masa de concreto después que ha sido retirado el molde que la recubría.

En mezclas de concreto adecuadamente proporcionadas, el contenido unitario de agua necesario para obtener un asentamiento determinado depende de diversos factores: La relación agua-cemento ya que un incremento excesivo de agua disminuiría la resistencia; por los requisitos de agua en el concreto se incrementan conforme el perfil del agregado se hace más angular y la textura más rugosa.

Los requisitos de agua de la mezcla pueden ser significativamente reducidos por empleo de determinados aditivos, tales como los incorporadores de aire, los reductores de agua y los superplastificantes.[1]

2.2.5.3. Densidad del Concreto

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. En el diseño del concreto armado (reforzado), el peso unitario de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m³. El peso del concreto seco es igual al peso de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable. Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento. Además, parte del agua permanece fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales. La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50% es cerca del 12% al 3% del peso del concreto; la cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto. El concreto ligero aquel cuya densidad en estado plástico, no es mayor a 1,900 kg/m³. Es decir, posee pesos unitarios por debajo del rango del concreto convencional, entre 2200 kg/m³ y 2,400 kg/m³. Este concreto tiene una resistencia a 28 días limitada en función al peso específico. [4]

Densidad concreto liviano	1850 kg/m ³
Densidad concreto convencional	2240-2400 kg/m ³

Tabla 10: Densidad del concreto

Fuente: Diego Sanchez de Guzmán, (2001)

2.2.5.4. Absorción y Porosidad

Según Neville (1999) el grado de porosidad de los agregados comunes varía de 0 a 50%. Teniendo en cuenta que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto, es claro que la calidad de la piedra utilizada como agregado es un factor que podría contribuir a la porosidad total del concreto. Sin embargo, la porosidad capilar es la que generalmente influye en la durabilidad del concreto.

Por otro lado Mayta (2014) indica que no hay un método estándar en las normas ASTM para evaluarla, sin embargo existen varias formas de determinación por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de estimarla es mediante la determinación de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que

la real, debido a que nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas.

Según Revista de Ingenierías de la Universidad de Medellín (2009), la porosidad del concreto, la porosidad fundamental corresponde a los poros interconectados y representa el máximo contenido reversible en agua; en el caso de la pasta de cemento es del orden de un 20% o un 30%. Esta porosidad está relacionada con la absorción.

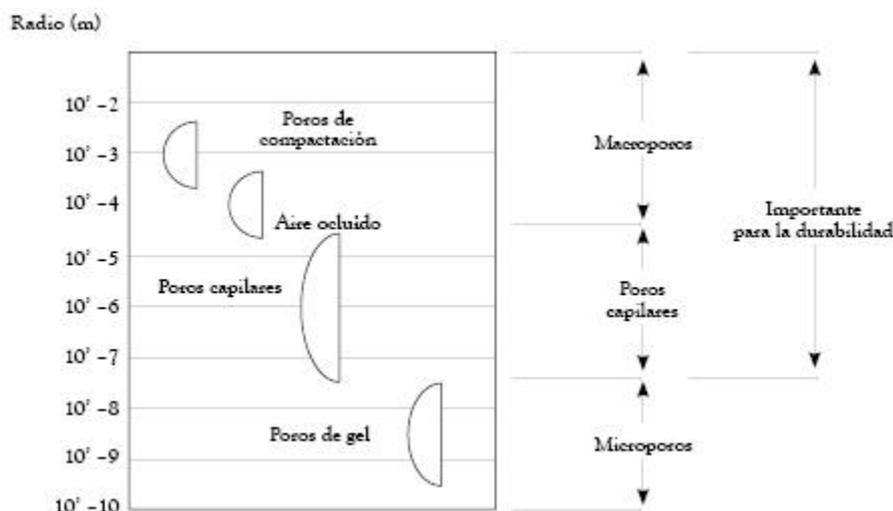


Figura 10: Esquema de la distribución del tamaño de poros en el concreto

Fuente: Revista de ingenierías de la Universidad de Medellín

2.2.6. Losa Aligerada

Losas aligeradas de concreto son empleadas cuando por las condiciones de carga y los claros que cubrirán, dan por resultado un peralte exagerado para evitar deflexiones excesivas. Las losas aligeradas al ser por diseño más rígidas que las losas macizas o llenas, son perfectas para estas situaciones de carga y apoyo. Se les llama aligeradas porque se les coloca algunas piezas de material más ligero que el concreto, estos materiales pueden bloques de concreto ligero, barro, o incluso de poliestireno, los ya famosos casetones y bovedillas. Esto da como resultado una losa de mayor peralte, pero de un peso mucho menor que si estuviera en su totalidad rellena de concreto.

Existen variaciones de este sistema que dan por resultado dos diferentes tipos de losas aligeradas de concreto, ambas funcionan y no se podría decir que una es mejor que otra, solo hay que entender las ventajas y desventajas de cada una de ellas y aprovecharlas.

Losas reticulares, este sistema consta de pequeñas vigas en ambos sentidos que al entrecruzarse forman una especie de retícula o entramado, que es de donde toman su nombre, el aligeramiento se logra hoy en día a base de bloques de espuma de poliestireno, llamados también casetones, las pequeñas vigas o nervaduras que ya mencione y que se

construyen de concreto reforzado, y una capa de compresión en la parte superior de la losa que tiene como función absorber y distribuir los esfuerzos sobre la losa, esta capa se refuerza con malla electro soldada, cuya única función es evitar que esta capa se agriete por la dilatación y contracción del concreto originada por los cambios de temperatura.

Losas aligeradas a base de vigueta y bovedilla, este otro sistema en su concepto es muy similar al primero, solo que aquí las vigas se colocan en un solo sentido, no se forman retículas, el aligerado se logra con elementos de espuma de poliestireno, las cuales se conocen con el nombre de bovedillas. [6]

2.2.7. Importancia del curado del concreto

.El ACI 308R (2001) establece que el curado tiene una influencia significativa sobre las propiedades del concreto endurecido. Por lo tanto, un buen curado es necesario para tener un concreto de buena calidad.

La Figura 9 muestra el comportamiento macro del concreto en lo que respecta a su desarrollo de resistencia en función del tiempo y del tipo de curado proporcionado. Kosmatka y Panarese (1988)

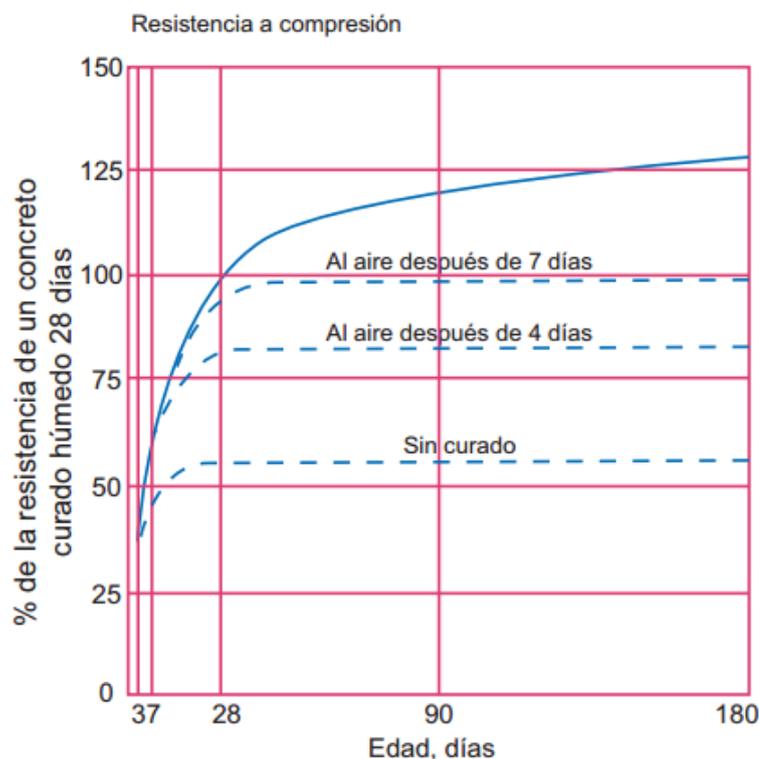


Figura 11: Resistencia del concreto en función del tiempo de curado

Fuente: Sika.

2.2.8. Diseño de mezcla

Según Mayta (2014) indica que: La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica del concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado fresco tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que en el endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o especificaciones de la obra

2.2.9. Control de calidad y aceptación de los ensayos

Los ensayos de los agregados así como los ensayos que miden las variables dependientes, tienen una precisión indicada por las normas que rigen estos ensayos juntamente con la ASTM C670. Para que sean aceptados tienen que estar dentro de los límites propuestos por estas normas, de lo contrario se recomienda que los ensayos sean realizados otra vez. Estas medidas de dispersión son Varianza, Desviación estándar y Coeficiente de variación, los cuales serán explicados a continuación.

b.13.1 Desviación Estándar

Es una medida de dispersión de variables, muy usada en trabajos de investigación. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar es necesario sacar la raíz a la varianza. La fórmula a usar es la siguiente.

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Ecuación 1: Desviación estándar

Donde:

σ^2 = Varianza

b.13.2 Coeficiente de variación

Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. El coeficiente de variación no se basa en unidades, se utiliza en lugar de la desviación estándar como en la ASTM C39, para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias, se representa en porcentaje. La fórmula para cálculo del coeficiente de variación es la siguiente.

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} X 100$$

Ecuación 2: *Coficiente de Variación*

Donde:

DS = Desviación estándar

\bar{x} = Media Aritmética

2.3. Hipótesis

El incremento del porcentaje del polvo de aluminio mantiene la resistencia a la compresión, disminuye la densidad, mantiene el asentamiento, sin embargo aumenta la absorción del concreto.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

1.1.1 Variable Dependiente

a. Variable dependiente: Estado Fresco: Asentamiento (cm).

b. Variable dependiente: Estado Endurecido: Resistencia a la compresión (kg/m^2), absorción (%) y densidad (kg/m^3).

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
COMPRESION	Capacidad para soportar una carga por unidad de área.	- Propiedad Mecánica	- Fuerza axial - Área circular
DENSIDAD	El peso de la unidad de volumen.	-Densidad	- Masa y Volumen al ambiente -Masa y volumen en seco
ABSORCION	Capacidad para llenar de agua los vacíos de su estructura interna.	- Capacidad de absorción	- Porosidad del concreto - Rugosidad del concreto
ASENTAMIENTO	El grado de fluidez durante su colocación.	-Consistencia	-Tamaño máximo de la piedra -Relación agua-cemento

Tabla 11: Operacionalización de variables dependientes

Fuente: Propia

1.1.2 Variable Independiente: Polvo de Aluminio

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR
POLVO DE ALUMINIO	Liviano, inoloro, plateado-blanco a gris. Es un metal ligero.	Físico	-Densidad aparente - Granulometría
		Químico	-Tipo de Aleación química -Actividad puzolanica

Tabla 12: Operacionalización de variable independiente

Fuente: Propia

3.2. Diseño de investigación

Es un diseño experimental con post-prueba únicamente y grupo de control, es decir uno recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control). La manipulación de la variable independiente alcanza solo dos niveles: presencia y ausencia. Cuando concluye la manipulación, a ambos grupos se le administra una medición sobre la variable dependiente de estudio.

3.3. Unidad de estudio

Concreto

3.4. Población

Concreto ligero con aluminio.

3.5. Muestra (muestreo o selección)

Se utilizará 192 probetas de concreto en estado endurecido de 10cm x 20 cm.

Para el cálculo de la muestra se aplicó la siguiente formula:

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

Z = es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador.

S = Desviación estándar de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador. Obtenida por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o distribución de la variable de interés.

E = Porcentaje del estimador o en valor absoluto (unidades). Fijada por el investigador.

n_0 = Tamaño de muestra

Calculando la formula con los siguientes datos obtenemos:

Z=90% confiabilidad = 1.64, debido a que las probetas elaboradas serán de una misma mezcla. Además la confiabilidad del equipo de compresión según ensayos preliminares (Anexo 2) arrojan datos cercanos, por tal motivo se consideró una confianza del 95%.

S= 10 kg/cm² obtenida de ensayos preliminares.

E= 10 kg/cm² estimado por el investigador.

$$n_0 = \frac{1.64^2 10^2}{10^2}$$

$$n_0 = 2.69 = 3 \text{ Replicas}$$

Según la ACI 318-14, solo es necesario 2 probetas de concreto de 15cm x 30 cm o 3 probetas de 10cm x 20cm.

Para esta investigación se realizó un diseño experimental, donde se varía la cantidad de porcentaje de polvo de aluminio en el diseño de la siguiente manera (0%,1.5%,3%,4.5%,6%), representados por los niveles siguientes: b1, b2, b3, b4, b5 y b6. En la tabla N°, se presenta la matriz de diseño.

- **Variables dependientes: (V.D)**

- Resistencia a la compresión-kg/cm²
- Asentamiento (m)
- Absorción (%)
- Densidad- kg/m³

- **Variable independiente: (V.I)**

- Polvo de Aluminio %: 0(b1), 1.5 (b2), 3(b3), 4.5 (b4) y 6(b5).
 - Se empleará 120 probetas de concreto endurecido de 10 cm x 20 cm de longitud de acuerdo a la norma NTP 339.034.De acuerdo a la siguiente formula.

Número de Muestras:

$N = VI \times \text{Subniveles} \times VD \times \text{Replicas}$

$N = 1 \times 5 \times 5 \times 3 = 60$ (con superplastificante)

$N = 1 \times 5 \times 5 \times 3 = 60$ (sin superplastificante)

Con un total de 120 Probetas.

A1b1: 3 Replicas; Un total de 120 Probetas

Variable Dependiente	Variable independiente				
	Polvo de aluminio				
	0%	1.50%	3.00%	4.50%	6%
Resistencia a la compresión	a1b1	a1b2	a1b3	a1b4	a1b5
Asentamiento	a2b1	a2b2	a2b3	a2b4	a2b5
Absorción	a3b1	a3b2	a3b3	a3b5	a3b5
Densidad	a4b1	a4b2	a4b3	a4b4	a4b5

Tabla 13: Tabla de muestra para el cálculo de número de muestras

Fuente: Propia

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

1.1.1 Técnicas de recolección y análisis de datos

- ✓ Observación, consiste en la consulta de distintas fuentes bibliográficas, tanto digitales como en físico (libros), las cuales sirven como antecedentes y bases teóricas. Se hizo uso de la normatividad peruana que establece criterios adaptados de normas extranjeras, en su mayoría de Estados Unidos, para el manejo de criterios y procedimientos necesarios en la elaboración de los ensayos. Sin embargo para la obtención de antecedentes respecto al tema de investigación, colocara la fuente y si es necesario traducir investigaciones científicas de inglés a español.
- ✓ Observación directa, el comportamiento de los participantes se realiza en un laboratorio, donde la ventaja es que el fenómeno puede medirse de manera más inmediata, consiste en captar información válida y confiable de los hechos en función de los objetivos de investigación previamente establecidos. De esta manera observaremos y analizaremos el comportamiento del concreto con polvo de aluminio.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.7.1.1. 1.7.1 Procedimiento Experimental

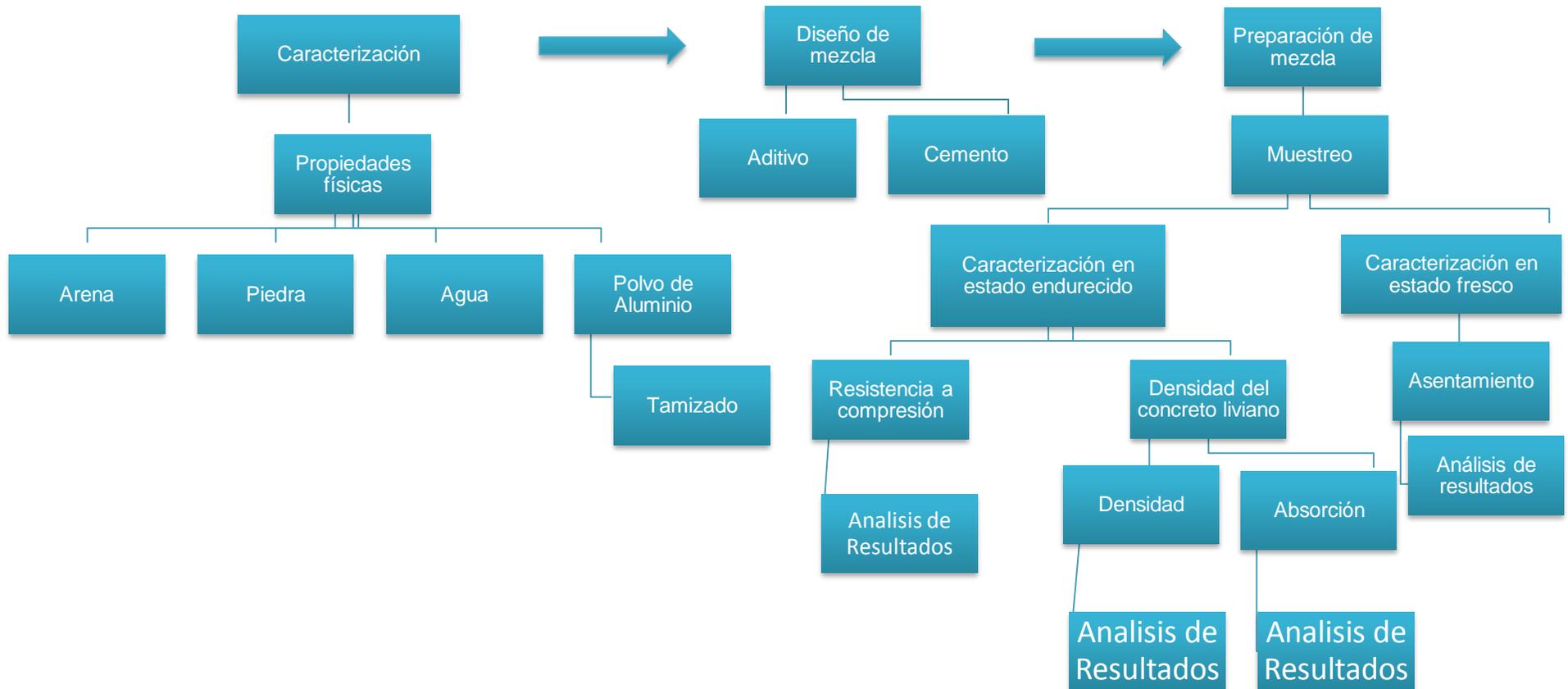


Tabla 14: Procedimiento experimental

Fuente: Propia

3.7.1.2. Obtención de polvo de aluminio

Recolección, Torneado, Molienda y Tamizado

- a) **Recolección:** Se comprara pistones de carros, que está compuesto de aluminio fundido en el emporio Albarracín, ubicado en la urbanización Palermo-Trujillo-La Libertad.
- b) **Torneado:** Se usara una máquina de torneado para convertir en escoria los pistones de aluminio.
- c) **Molienda:** La escoria de polvo de aluminio se pulverizara en la máquina de abrasión de los ángeles, para llegar a polvo de aluminio.
- d) **Tamizado:** Se realizara el tamizado del aluminio, para que pase de la malla N°40, permitiendo obtener un polvo de aluminio apropiado de acuerdo al investigador.



Figura 14: Pistón de carro

Fuente: Propia



Figura 12: Torneado de pistón

Fuente: Propia



Figura 13: Pulverizado de aluminio

Fuente: Propia

3.7.1.3. Caracterización de los agregados

Ensayos del agregado grueso y fino

- **Determinación del Contenido de Humedad del Agregado Grueso y Fino NTP 339.185**

- Se pesó tres muestras de agregado fino y tres de agregado grueso en estado natural (P_h). Luego se colocaron las muestras en el horno a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, y luego se pesaron las muestras secas (P_s).
- Después se determinó el contenido de humedad del agregado grueso y fino usando la siguiente expresión:

$$W\% = \left[\frac{P_h - P_s}{P_s} \right] \times 100$$

P_h : Peso Natural del material

P_s : Peso Seco del material

Tabla 15: Clasificación de los agregados, según su contenido de humedad, **Fuente:** Pasquel

Clasificación	Contenido de humedad (%)
Secado al horno	Humedad = 0
Secado al aire	Humedad < Absorción
Saturados y superficialmente secos	Humedad = Absorción
Húmedos	Humedad > Absorción

- **Determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Fino y Agregado Grueso- NTP 400.017**

- Se pesó el molde vacío. Luego el agua fue vertido en el molde, hasta llenarlo y luego se tomó el peso, esto nos sirvió para calcular el volumen del molde, inmediatamente se vertió la muestra en el molde, de agregado hasta llenarlo (En el caso del peso unitario compactado se hizo en 3 capas iguales de material en el recipiente y cada capa se compactó uniformemente en todo el recipiente con una varilla 25 veces)
- Se enrazó la superficie. Después se pesó el molde con la muestra y mediante esta fórmula se determinó el peso unitario compactado. Los resultados se calcularon con las siguientes formulas:

$$PUSS = \frac{\text{Peso del agregado suelto} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

$$PUCS = \frac{\text{Peso del agregado compactado} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

Tabla 16: Clasificación de los agregados, según su peso unitario, **Fuente:** Abarca

Clasificación	Peso unitario (kg/m ³)
Pesados	> 1900
Normales	1120 - 1900
Livianos	< 1120

- **Peso Específico y Absorción del Agregado Fino-NTP 400.022**

- Se sumergió la muestra en agua por 24 horas. Luego se tomó la muestra y se colocó encima de una cocina pequeña para secarla, moviendo en ocasiones para tener un secado uniforme. En el cono, se rellenó con tres capas compactando con 25 golpes por capa con el pisón. Si al quitar el cono la muestra se derrumba 1/3 de la parte de encima, esto demostrará que el agregado habrá alcanzado su condición saturada superficialmente seca. (A)
- Se pesó la fiola con agua hasta 1000 ml. (B)
- Se colocó la muestra en la fiola antes pesada, y se colocó agua hasta 1000 ml después de colocar el agregado, se hizo rodar la fiola sobre una superficie plana, tratando de eliminar todas las burbujas de aire, durante un minuto.
- Luego se pesó la fiola con el agua y la muestra mezclada. (C)
- Por último se sacó el agua y se secó la muestra en el horno a 100°C hasta peso constante y se obtuvo su peso seco. (S)
- Luego se pasó a calcular con las siguientes formulas.

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

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra secada en la estufa. (gr)

B: Peso de la fiola mas el agua. (gr)

C: Peso de la fiola mas agua mas muestra. (gr)

S: Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca SSS (gr)

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S - A}{A} \times 100 (\%)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra secada en la estufa. (gr)

S: Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca SSS. (gr).

- **Determinación del Peso Específico y Absorción del Agregado grueso-NTP 400.022**

- Se lavó la muestra de grava. Luego se sumergió dentro de agua el material por 24 horas, inmediatamente se sacó la muestra, se extendió y se secó con un paño la superficie. Se pesó en el aire en condición saturada. (B)
- Después se colocó en una cesta de alambre el material y se pesó dentro del agua a una temperatura de 20°C. (C). Finalmente se secó la muestra a peso constante a temperatura de 100°C ± 5°C, luego se dejó enfriar y se determinó su peso seco a temperatura ambiente. (A)
- Se determina el peso específico y la absorción con las siguientes fórmulas.

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

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca al horno. (gr)

B: Peso en el aire de la muestra saturada. (gr)

C: Peso en el agua de la muestra. (gr)

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca al horno. (gr)

B: Peso en el aire de la muestra saturada. (gr)

C: Peso en el agua de la muestra. (gr)

Tabla 17: Clasificación de los agregados, según su peso específico, **Fuente:** Pasquel

Clasificación	Peso específico (g/cm ³)
Pesados	> 2.75
Normales	2.5 a 2.75
Livianos	< 2.5

- **Ensayo granulométrico del agregado fino-NTP 400.012**

- Se pesó tres muestras de agregado fino de 850 gr cada una. Luego se pesó cada tamiz para obtener el peso de cada uno. (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y malla ciega), posteriormente se colocó los tamices de diámetro mayor a menor (desde la N°4 hasta la N°200), para luego ser colocada en la mesa vibratoria.
- Seguido se colocó la muestra en los tamices y luego se prendió la mesa vibratoria por cinco minutos.
- Se pesó cada tamiz con la muestra retenida, así se pudo obtener el peso retenido en cada tamiz.
- El módulo de finura se calculó con las siguiente formula:

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas } N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

Tabla 18: Clasificación de la arena, según su módulo de finura, **Fuente:** Huamán, 2015, p. 16

Clasificación	Módulo de finura
Arenas finas	0.5 – 1.5
Arenas medias	1.5 – 2.5
Arenas gruesas	2.5 – 3.5

- **Evaluación química del agua, arena gruesa y piedra-ASTM C-1602.**

- Se coloca 4 vasos de pírrex de 250 ml en la mesa, hechas 150 ml de agua destilada, 150 ml de agua potable, 50 gramos de arena gruesa y piedra con agua destilada con el doble de volumen de la piedra y arena por separado. Dejar reposar por un día para otra para tomar lectura con el medidor de salinidad (ppm), conductividad (us/cm), solidos suspendidos totales (mg/l).
- Se coloca el electrodo en cada vaso de pírrex y se toma nota el valor de cada parámetro registrado en la pantalla del equipo.

Tabla 19: Análisis químico del agua, arena gruesa y piedra, **Fuente:** Propia

Sector	Salinidad (p.p.m)	Conductividad (uS/cm)	Sólidos en suspensión (p.p.m.)
Agua potable			
Agua destilada			
Agua con arena gruesa			
Agua con piedra			

- **Ensayo granulométrico del agregado grueso-NTP 400.012**

- Se pesó tres muestras de agregado grueso de 800 gr cada una.
- Luego se pesó cada tamiz para obtener el peso de cada uno. (1 1/4", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°6, N°200 y malla ciega).
- Después se colocó los tamices de diámetro mayor a menor (desde la 1" hasta la N°200), para luego ser colocada en la mesa vibratoria.
- Seguido se colocó la muestra en los tamices y luego se prendió la mesa vibratoria por 5 minutos.
- Finalmente cada tamiz fue pesado con la muestra retenida, así se pudo obtener el peso retenido en cada tamiz.

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas } 1/2", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

3.7.1.4. Diseño de mezclas de concreto (ACI 211)

Una vez desarrollada la caracterización de agregado fino y grueso se procede a la realización del diseño de mezcla.

En la presente investigación se desarrollara el diseño de mezclas por el METODO ACI-211, tomando como datos las propiedades determinadas de los agregados fino y grueso.

PASO 1: Cálculo de la resistencia promedio (f'_{cr})

Se determinó empleando los valores de la siguiente tabla:

Tabla 20: Resistencia requerida para definir la desviación estándar, **Fuente:** ACI 318

Resistencia de diseño ($f'c$), kg/cm ²	Resistencia promedio ($f'cr$), kg/cm ²
< 210	$f'c + 70$
210 – 350	$f'c + 84$
> 350	$f'c + 98$

PASO 2: Cálculo de la relación a/c

Se obtuvo a partir del tipo de concreto y la resistencia promedio, indicados a continuación:

Tabla 21: Relación agua/cemento sobre la resistencia promedio, **Fuente:** Laura (2006)

$f'cr$ (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	----
450	0.38	----

Tipos de concreto:

- **Concreto sin aire incorporado:** empleado en climas cálidos.
- **Concreto con aire incorporado:** empleado en climas fríos.
-

PASO 3: Selección del volumen de agua por m³ de concreto

Es la cantidad de agua que se debe incorporar por unidad cúbica de concreto para obtener una consistencia determinada cuando el agregado esté en estado seco. La selección consistió en que una vez elegido el tamaño máximo nominal del confitillo, y el asentamiento deseado se procedió a seleccionar el volumen unitario de agua a partir de la tabla presentada a continuación:

Tabla 22: Cantidades de agua de mezcla en el concreto (l/m³), **Fuente:** ACI 211.1

Asentamiento	Tamaño máximo nominal del agregado grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	8.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

PASO 4: Selección del porcentaje de aire atrapado

En los concretos siempre hay un pequeño porcentaje de aire atrapado, el cual depende del aporte de los materiales, granulometría y tamaño máximo del agregado.

La **Tabla n.º 22** da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas con o sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregados grueso adecuadamente graduado dentro de los requisitos de la NTP 400.011

PASO 5: Cálculo de la cantidad de cemento por m³ de concreto

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen de concreto y la relación a/c, se calculó el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cúbico, entre la relación a/c, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{volumen de agua (l)}}{r \text{ a/c}}$$

PASO 6: Cálculo de la cantidad de confitillo por m³ de concreto

De la **Tabla n.° 23** en base al módulo de fineza de la arena y el tamaño máximo nominal del confitillo se obtuvo el volumen compactado en seco de este último (Vc), que para transformarlo a kilos por unidad cúbica de concreto se tuvo que multiplicar por su peso unitario compactado (PUCS), indicada en la siguiente ecuación:

Tabla 23: Volumen de la piedra compactado en seco por metro cubico de concreto, **Fuente:** ACI 211.1

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

$$Cantidad\ de\ AG = PUCS \times Vc$$

PASO 7: Cálculo de los volúmenes absolutos (agua, cemento, confitillo y aire)

Una vez obtenidas las cantidades de cada material por metro cúbico de concreto y del porcentaje de aire atrapado, es que se dividió a cada peso del material sobre su peso específico en kilogramos por metro cúbico y para el porcentaje de aire sobre 100, para obtener el volumen absoluto de cada uno de ellos, tal como se muestra en las siguientes ecuaciones:

<p>(cemento, confitillo y agua)</p> $Va_{material} = \frac{Cantidad\ del\ material}{Peso\ específico\ del\ material}$	$Va_{aire} = \frac{\% Aire\ Atrapado}{100}$
---	---

PASO 8: Cálculo de la cantidad de arena por m³ de concreto

En primer lugar, se determinó el volumen absoluto de la arena a partir de la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos (agua, cemento, confitillo y aire). Y después para obtener su peso, se multiplicó su volumen absoluto por su peso específico en kilogramos por metro cúbico, explicada en las siguientes ecuaciones:

$V_{a_{AF}} = 1 - (\sum \text{Volúmenes abs. conocidos})$	$\text{Cantidad de AF} = V_{a_{AF}} \times P_{e_{AF}}$
---	--

PASO 9: Corrección por humedad de los agregados

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica del concreto deben ser corregidas en función de las condiciones de humedad de los agregados finos y gruesos, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra, en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad final de agregado} = C_{m_{sc}} \times \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

$C_{m_{sc}}$: Cantidad de material sin corregir

PASO 10: Cálculo de agua efectiva

Se debe recordar que para una correcta hidratación de la pasta es necesario tomar en cuenta el porcentaje de absorción de los agregados, puesto que de no ser así el agua sería insuficiente para poder generar una reacción óptima.

En primer lugar, se determinó la contribución de agua por cada agregado, tal como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$\text{Agua}_{AG} = \left(\frac{\%A_{AG} - \%W_{AG}}{100}\right) \times AG_{SC}$	$\text{Agua}_{AF} = \left(\frac{\%A_{AF} - \%W_{AF}}{100}\right) \times AF_{SC}$
--	--

Agua_{AG, AF}: Agua en los agregados fino y grueso (kg/m³)

%W_{AG, AF}: Humedad de los agregados fino y grueso (%)

%A_{AG, AF}: Absorción de los agregados fino y grueso (%)

%W_{AG, AF}: Humedad de los agregados fino y grueso (%)

A continuación, para hallar la cantidad final de agua de mezcla, se sumaron dichos valores, tal como se especifica en la siguiente ecuación:

$$Agua\ efectiva = A_{SC} + (Agua_{AG} + Agua_{AF})$$

A_{SC} : Cantidad de agua de mezcla sin corregir (l/m^3)

PASO 11: Cálculo de las dosificaciones de los materiales

Para expresar las cantidades en una dosificación por volumen, se dividió lo correspondiente a cada material entre la cantidad de cemento, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Volumen\ del\ cada\ material = \frac{Cantidad\ final\ de\ cada\ material}{Cantidad\ final\ de\ cemento}$$

- **Porcentajes que se añadirá de polvo de aluminio**

En esta investigación se realizaron los siguientes porcentajes de sustitución:

* 0%, 1.5%, 3%, 4.5% y 6%

3.7.1.5. Ensayos del concreto

• **Asentamiento o Slump del concreto fresco-NTP 339.035**

- Se colocó el cono en una base plana, no absorbente. Luego se humedeció todos los aparatos a utilizar.
- Después se mantuvo el cono firme contra la base, parándose sobre las dos aletas.
- La mezcla se llenó en 3 capas de aproximadamente $1/3$ del volumen del cono cada una, posteriormente se compactó con la varilla cada capa con 25 golpes. En seguida se levantó el cono verticalmente.
- Se midió la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior de la mezcla.

Tabla 24: Clasificación del concreto, según su asentamiento, **Fuente:** Ing. Jairo Rene Niño Hernández

Tipos de concreto	Slump
Muy seca	0 a 2 cm
Seca	2.5 a 3.5 cm
Semi-Seca	3.5 a 5 cm
Media	5 a 10 cm
Húmeda	11 a 15 cm
Muy húmeda	Más de 15 cm

- **Cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto-ASTM-C617**

- El azufre se calentó a una temperatura de 140 C°.
- Se aceitó ligeramente el plato para cabecear, con la finalidad de poder retirar la probeta del plato más fácilmente. Luego se verificó que las probetas estén niveladas y de no estarlo se volvieron a cabecear. Enseguida se dejó endurecer por 2 horas como se describe en la ASTM C617.
- Finalmente se realizó el ensayo de resistencia a compresión, que se explica en el siguiente ítem.

- **Resistencia a compresión del concreto-NTP 339.034**

- Se retiró las probetas de la poza de curado de acuerdo a su tiempo de curado 28.
- Después se cabeceó como se indicó en el ítem anterior. Luego se midió el diámetro de la probeta con el micrómetro con la aproximación de 0,1mm, estos diámetros se utilizaron para calcular el área de la sección. Se limpió las superficies planas superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta. Luego se colocó la probeta en la máquina de ensayo a la compresión.
- Finalmente se aplicó la carga en forma continua a una velocidad de 0.26 Mpa/s. La carga se aplicó contante desde el inicio hasta que se produjo la rotura de la probeta
- La resistencia a compresión se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Donde:

R_c = Resistencia de rotura a la compresión, (kg/cm²)

G = Carga máxima de rotura. (Kg.f)

d = Diámetro de la probeta cilíndrica. (cm), 20cm

Para comprobar los límites de la resistencia a la compresión del concreto se tiene la siguiente tabla:

Tabla 25: Clasificación del concreto, según su resistencia a la compresión, **Fuente:** NT E.060

Concreto Estructural	Mayor o igual a 175 kg/cm ²
Concreto no estructural	Menos a 175 kg/cm ²

- **Absorción y densidad del concreto en estado endurecido-ASTM C642**

Para la determinación de este ensayo, se usó una balanza con capacidad de 1 kg de sensibilidad al 0.01 g., una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5°C.

En primera instancia, se retiraron las probetas de la poza de curado y se secaron superficialmente, para determinar su masa saturada (**B**). A continuación, se tomó el peso sumergido bajo el procedimiento de Arquímedes (**C**), bajo la suspensión del espécimen en un recipiente con agua. Posteriormente, se colocó en la estufa a temperatura de 110 ± 5°C durante 24 horas. Por último, se retiró el espécimen de la estufa y se tomó lectura del peso en estado seco (**A**), para luego realizarse el siguiente cálculo.

$$(Density, kg/m^3) = \frac{(A)}{\frac{(B - C)}{(\rho_{H2O})}}$$

$$Absorcion (\%) = \frac{(B - A)}{(A)} * 100$$

Donde:

Om = densidad seca medida, kg/m³

A= masa del cilindro secado en horno, kg

B = masa del cilindro saturado con superficie seca, kg

C = masa sumergida aparente suspendida en agua, kg

ρ_{H2O} = Densidad del agua

Tabla 26: Clasificación del concreto, según su densidad, **Fuente:** Libro “Tecnología del concreto y del mortero”

Concreto ligero	500-2000 kg/m ³
Concreto normal (convencional)	2000-2500 kg/m ³
Concreto pesado	2600-5600 kg/m ³

- **Mezcla, conformación de probetas y curado**

- Se pesó los materiales a utilizar en el concreto.
- Luego se pasó a mezclar los materiales manualmente debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m^3 . El mezclado se realizó de la siguiente manera: El cemento se combinó con el agregado fino, luego se adicionó el agregado grueso, después de que los materiales antes descritos estén completamente mezclados se agregó agua con aditivo, si fuera el caso.
- Después se realizó el asentamiento descrito en el siguiente ítem.
- Seguidamente se conformaron probetas de $100 \times 200 \text{ mm}$ (4x8 in), en dos capas varilladas con 25 golpes y 12 golpes exteriormente con el mazo de hule. La varilla utilizada fue de $3/8$ tal y como se describe en la Norma ASTM C192.
- Se cubrieron las probetas con bolsas para impedir la pérdida de humedad.
- Se retiró los moldes a las 30 horas después de moldeados.
- Luego se introdujeron en la poza de curado, donde se tenía agua potable incorporada con cal.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la materia prima

4.1.1. Contenido de humedad

Material	Muestra	W (%)	Promedio (%)
Arena	m1	0.62	0.60
	m2	0.61	
	m3	0.57	
Piedra	m1	0.4	0.4
	m2	0.41	
	m3	0.4	

Tabla 27: Contenido de humedad promedio, de la arena y piedra

Fuente: Propia

4.1.2. Peso específico y absorción

Material	Muestra	Peso Específico (gr/cm ³)	Absorción (%)
Arena	m1	2.45	1.70
	m2	2.50	1.40
	m3	2.55	1.50
Promedio		2.50	1.50
Piedra	m1	2.70	1.80
	m2	2.70	2.10
	m3	2.75	2.20
Promedio		2.69	2.00

Tabla 28: Peso específico y absorción promedio, de la piedra y arena

Fuente: Propia

4.1.3. Peso unitario

Material	Muestra	PUSS (kg/m ³)	PUCS (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)	
				PUSS	PUCS
Arena	m1	1500	1666	1520	1680
	m2	1573	1699		
	m3	1484	1668		
Piedra	m1	1543	1703	1550	1700
	m2	1552	1700		
	m3	1548	1702		

Tabla 29: Peso unitario suelto, compacto de la piedra y arena

Fuente: Propia

4.1.4. Granulometría

AGREGADO FINO

Material	Muestra	Módulo de finura	Promedio
Arena	M1	2.39	2.40
	M2	2.41	
	M3	2.41	

Tabla 30: Modulo de finura promedio de la arena

Fuente: Propia

AGREGADO GRUESO

Muestra	Piedra
Tamaño máximo	½"
Tamaño máximo nominal	3/8"
Módulo de finura	7.20
Huso granulométrico	N°08

Tabla 31: Tamaño máximo nominal, tamaño máximo y huso granulométrico de la piedra

Fuente: Propia

4.1.5. Ensayo químico del agua, arena gruesa y piedra

Sector	Salinidad (p.p.m)	Conductividad (uS/cm)	Sólidos en suspensión (p.p.m.)
Agua potable	1000.0	1456	978
Agua destilada	0.0	28.68	5
Arena gruesa	200.0	398	199
Piedra	100.0	163	81

Tabla 32: Análisis químico agua, arena gruesa y piedra. Fuente: Propia

4.1.6. Resumen de la caracterización de la materia prima

Propiedades físicas	Arena	Piedra	Polvo de aluminio
Contenido de humedad (%)	0.6	0.4	-
Peso específico (gr/cm ³)	2.5	2.69	2.70 (*)
Absorción (%)	1.5	2.2	-
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1520	1550	-
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1680	1700	-
Módulo de finura	2.4	7.20	Malla N°40 (0.42 mm)
Tamaño máximo (")	-	1/2"	-
Tamaño máximo nominal (")	-	3/8"	-
Tamaño de partículas (mm)	-	-	0.43 (*)

(*) Valor teórico aproximado

Tabla 33: Ficha técnica de la piedra, arena y polvo de aluminio

Fuente: Propia

4.2. Diseños de mezcla y dosificaciones por volumen

- Peso del polvo de aluminio relacionado al peso del cemento a sus diferentes tipos de porcentajes: 0%, 1.5%, 3%, 4.5% y 6%

Tabla 34: Diseño de mezclas con diferentes porcentajes de polvo de aluminio, **Fuente:** Propia

Material	Peso por kg/m ³				
	0%	1.5%	3%	4.5%	6%
Agua	248.30	248.30	248.30	248.30	248.30
Cemento	414.55	414.55	414.55	414.55	414.55
Piedra	854.40	854.40	854.40	854.40	854.40
Arena	714.26	714.26	714.26	714.26	714.26
Polvo de aluminio	0	6.22	12.44	18.65	24.87
Total	2231.51	2237.73	2243.95	2250.16	2256.38

- Además se añadió el aditivo superplastificante al 1% del peso del agua para cada porcentaje de polvo de aluminio, esto para hacer más manejable la mezcla. Por el motivo que el polvo de aluminio seca a la mezcla, la cantidad de superplastificante es en relación al peso del cemento.

4.3. Ensayos en estado fresco y endurecido

4.3.1. Asentamiento

- Polvo de aluminio sin superplastificante

Tabla 35: Asentamiento del concreto con polvo de aluminio sin plastificante, **Fuente:** Propia

Polvo de aluminio (%)	Asentamiento (cm)			Promedio (cm)	Promedio (Pulg.)
0.00	10.3	10.3	10.1	10.23	4"
1.50	8.35	8.3	8.45	8.37	3 1/4"
3.00	6.65	6.9	6.55	6.7	2 3/4"
4.50	5.1	5.1	5.1	5.1	2"
6.00	4.4	4.45	4.45	4.43	1 3/4"

Tabla 36: Coeficiente de variación y desviación estándar para el asentamiento, **Fuente:** Propia

Desviación Estándar (cm)	Coeficiente de Variación (%)
0.12	1.17
0.08	0.96
0.18	2.69
0.03	0.59
0.03	0.68

b) Polvo de aluminio con superplastificante al 1%

Tabla 37: Asentamiento frente a diferentes porcentajes de polvo de aluminio con plastificante, **Fuente:** Propia

Polvo de aluminio (%)	Asentamiento (cm)			Promedio (cm)	Promedio (Pulg.)
0.00	11.4	11.4	11.45	11.42	4 1/2"
1.50	10.5	10.3	10.4	10.4	4"
3.00	9.9	9.9	10	9.93	3 3/4"
4.50	8.5	8.9	8.5	8.63	3 1/4"
6.00	6.65	6.8	6.9	6.78	2 3/4"

Tabla 38: Coeficiente de variación y desviación estándar del asentamiento, **Fuente:** Propia

Desviación Estándar (cm)	Coeficiente de Variación (%)
0.03	0.26
0.1	0.96
0.06	0.6
0.23	2.67
0.13	1.92

4.3.2. Resistencia a la compresión

a) Polvo de aluminio sin superplastificante

Tabla 39: Resistencia a compresión de probetas– curado 28 días, sin superplastificante, **Fuente:** Propia

Aluminio (%)	Probeta	Dimensiones		Área (mm ²)	Fuerza KN	Resistencia Mpa	Resistencia Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²
		L (mm)	D(mm)					
0.00	a1b1	203.3	102.2	8203.36	166.13	21.16	214.56	224
	A1B2	203.2	102.3	8219.42	181.67	23.14	234.64	
	A1B3	203.3	102.5	8251.59	172.9	22.01	223.18	
1.50	a2b1	208.4	104.3	8543.95	150.67	19.18	194.49	195
	a2b2	208.6	104.5	8576.74	146.59	18.66	189.21	
	a2b3	208.3	104.8	8626.06	155.39	19.78	200.57	
3.00	a3b1	207.2	102.3	8219.42	131.67	16.76	169.95	173
	a3b2	207.5	102.5	8251.59	126.72	16.13	163.56	
	a3b3	207.3	102.9	8316.12	142.67	18.16	184.14	
4.50	a4b1	205.4	104.5	8576.74	89.4	11.38	115.39	106
	a4b2	205.6	104.1	8511.21	86.2	10.98	111.34	
	a4b3	205.2	104.3	8543.95	72.2	9.19	93.19	
6.00	a5b1	202.2	103.5	8413.38	70.7	8.99	91.16	91
	a5b2	202.5	103.6	8429.65	72.7	9.26	93.9	
	a5b3	202.6	103.1	8348.48	69.1	8.8	89.23	

Tabla 40: Desviación estándar y coeficiente de variación de compresión, **Fuente:** Propia

Aluminio	Desviación Estándar (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
0.00	10.07	4.5
1.50	5.68	2.91
3.00	10.53	6.09
4.50	11.82	11.15
6.00	2.35	2.58

a) Polvo de aluminio con superplastificante 1%

Tabla 41: Resistencia a compresión de probetas– curado 28 días, **Fuente:** Propia

Aluminio	Probeta	Dimensiones		Area	Fuerza	Resistencia	Resistencia	Promedio
		L (mm)	D(mm)	(mm ²)	KN	Mpa	Kg/cm ²	kg/cm ²
0%+P	a1b1	203.4	102.3	8219.42	165.2	21.03	213	214
	A1B2	203.1	102.5	8251.59	165.7	21.1	214	
	A1B3	203.6	102.6	8267.7	166.17	21.16	215	
1.5%+P	a2b1	204.5	103.5	8413.38	185.8	23.66	240	236
	a2b2	204.1	103.1	8348.48	173.55	22.1	224	
	a2b3	204.6	103.4	8397.13	188.55	24.01	243	
3%+P	a3b1	202.3	102.5	8251.59	131.62	16.76	170	173
	a3b2	202.1	102.3	8219.42	126.67	16.13	164	
	a3b3	202.2	102.4	8235.5	142.61	18.16	184	
4.5%+P	a4b1	203.4	103.5	8413.38	90	11.46	116	109
	a4b2	203.5	103.6	8429.65	78.69	10.02	102	
	a4b3	203.1	103.1	8348.48	83.6	10.64	108	
6%+P	a5b1	202.5	102.5	8251.59	81.8	10.42	106	102
	a5b2	202.6	102.1	8187.31	76.1	9.96	101	
	a5b3	202.2	102.4	8235.5	77.9	9.91	100	

P: SuperPlastificante al 1%

Tabla 42: Desviación estándar y coeficiente de variación de compresión, **Fuente:** Propia

Aluminio	Desviación Estándar (kg/cm ²)	Coeficiente de variación %
0%+P	1	0.47
1.5%+P	10.21	4.33
3%+P	10.26	5.93
4.5%+P	7.02	6.44
6%+P	3.21	3.15

P: Superplastificante al 1%

4.3.3. Absorción y densidad

- a) Polvo de aluminio sin superplastificante

Tabla 43: Densidad y absorción de probetas, **Fuente:** Propia

	%	kg/m ³
Polvo de Aluminio%	Promedio Absorción	Promedio Densidad
0%	2.22	2267.79
1.50%	3.13	1829.97
3%	4.23	1705.01
4.50%	6.95	1642.29
6%	7.43	1551.99

a.1) Absorción: Coeficiente de variación y desviación estándar

Tabla 44: Coeficiente de variación y desviación estándar de absorción, **Fuente:** Propia

%	Coeficiente de variación (%)	Desviación Estándar
0	0.45	0.01
1.50%	5.75	0.18
3%	7.8	0.33
4.50%	5.47	0.38
6%	5.11	0.38

a.2) Densidad Seca: Coeficiente de variación y desviación estándar

Tabla 45: Coeficiente de variación y desviación estándar de densidad, **Fuente:** Propia

%	Coeficiente de variación (%)	Desviación Estándar
0	0.2	4.58
1.50%	0.41	7.47
3%	0.51	8.74
4.50%	0.7	11.42
6%	0.67	10.46

b) Polvo de aluminio con superplastificante al 1%

Tabla 46: Densidad y absorción de probetas, **Fuente:** Propia

	%	kg/m ³
%	Promedio Absorción	Promedio Densidad
0	0.87	2130.24
1.50%	3.37	1757.5
3%	4.05	1719.52
4.50%	4.15	1677.47
6%	5.74	1569.18

b.1) Absorción: Coeficiente de variación y desviación estándar

Tabla 47: Coeficiente de variación y desviación estándar de absorción, **Fuente:** Propia

%	Coeficiente de variación (%)	Desviación Estándar
0	1.15	0.01
1.50%	5.04	0.17
3%	4.69	0.19
4.50%	8.67	0.36
6%	2.96	0.17

b.1) Densidad Seca: Coeficiente de variación y desviación estándar

Tabla 48: Coeficiente de variación y desviación estándar de densidad, **Fuente:** Propia

%	Coeficiente de variación (%)	Desviación Estándar
0	0.56	11.85
1.50%	0.83	14.59
3%	0.43	7.37
4.50%	0.77	12.85
6%	0.57	8.96

4.4. Comparación económica de un concreto convencional y un concreto ligero

Tabla 49: Comparación económica de concretos, **Fuente:** Propia

Tipos de concreto	Precio (s/.)	
	0%	1.5%
Concreto convencional	220.26	-
Concreto ligero con aditivo	-	250.51

4.5 Calculo de carga muerta de una losa aligerada con concreto ligero.

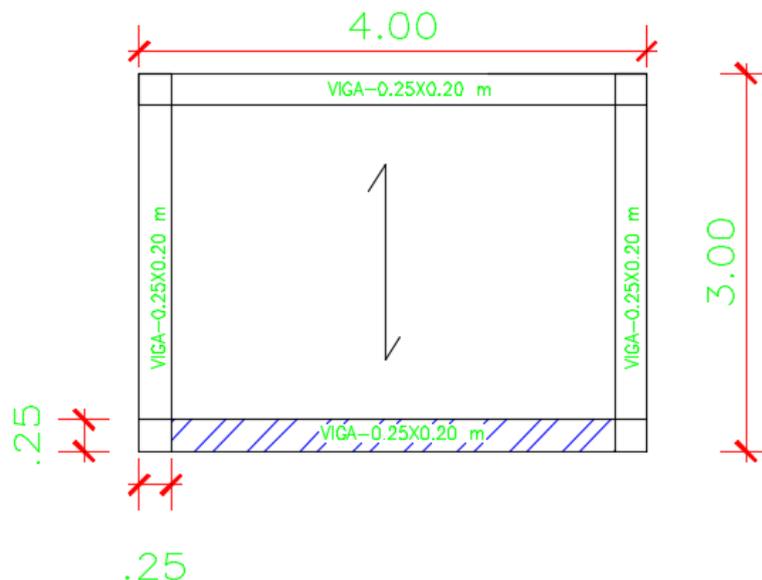
Según el Reglamento Nacional de edificaciones (2017), La norma E.020 de Cargas las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuaran en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su Norma de diseño específico.

A continuación en la figura N°15, se realizó el cálculo de carga muerta en la viga inferior de un paño de losa aligerada de en una sola dirección de concreto armado con vigueta de 0.10 m de ancho y 0.40 m de altura entre ejes, el espesor de la losa aligerada es de 0.17 m con un peso propio de 280 kgf/m².

Los datos usados para comparar la carga muerta, usando un concreto convencional y concreto ligero. Para el cálculo se tuvieron los siguientes datos:

- El peso del acabado por 1 m²: 100 kg /m²
- El peso unitario del concreto simple: 2400 kg /m³
- Dimensiones de la viga: 0.25 x 0.20 m

Figura 15: Losa aligerada Fuente: Propia



- **De acuerdo a la norma E.020-CARGAS:**

- Peso unitario del concreto 2400 kg/m³
- Peso de una losa aligerada de espesor 0.17 m-280 kg/m²
- Peso del acabado espesor 0.05m: 100 kg/m²

- **CARGA MUERTA-CONCRETO LIGERO:**

$$\text{Peso Viga} = 0.25 \times 0.20 \times 1758 \text{ kg /m}^3 = 87.9 \text{ kg /m}$$

$$\text{Peso losa aligerada} = 1.25 \times 280 \text{ kg /m}^2 = 350 \text{ kg /m}$$

$$\text{Peso acabado} = 1.5 \times 100 \text{ kg /m}^2 = 150 \text{ kg /m}$$

$$\text{Peso total de carga muerta} = 587.9 \text{ kg/m}$$

- **CARGA MUERTA-CONCRETO CONVENCIONAL:**

$$\text{Peso Viga} = 0.25 \times 0.20 \times 2400 \text{ kg /m}^3 = 120 \text{ kg /m}$$

$$\text{Peso losa aligerada} = 1.25 \times 280 \text{ kg /m}^2 = 350 \text{ kg /m}$$

$$\text{Peso acabado} = 1.5 \times 100 \text{ kg /m}^2 = 150 \text{ kg /m}$$

$$\text{Peso total de carga muerta} = 620 \text{ kg/m}$$

- En conclusión del cálculo de carga muerta, se obtuvo un menor peso con el uso de concreto de ligero y convencional es de 5.20%.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

- El cemento Tipo Ico tiene clinkers, yeso y microcaliza, que mejora la trabajabilidad y moderado calor de hidratación, teniendo entre sus propiedades físicas un contenido de aire de 4%, densidad 2.92 g/mL, resistencia a la compresión a los 3 días 239 kg /m², 7 días 302 kg /m² ,28 días 374 kg /m², haciéndolo ideal para vigas, columnas, losas y otras obras que no se encuentren en ambientes salitrosos. Cuando se mezcla el polvo de aluminio con el cemento reacciona formando pequeños poros al concreto, esta reacción se debe a que interactúan el aluminato tricálcico y el aluminio, haciendo la mezcla de concreto más seca, por ello se optó por usar el aditivo superplastificante EUCO 37, produciendo una mezcla más trabajable como se observa en las figuras 23 y 24.
- La composición química del aluminio fundido: Silicio (5-12%), magnesio (0.3%), cobre (1%) y aluminio (entre 87.5-93.7%).
- En cuanto a los aditivos plastificantes, existen los aditivos plastificantes de primera generación creados a partir de lignosulfonatos, se obtienen del proceso secundario de la extracción de la celulosa de la madera, el aditivos usado para esta investigación, es un aditivo superplastificante están compuestos de polímeros que permiten la adsorción de los polímeros por parte de las partículas de cemento en la etapa de transición solido-liquido, sus características son: Es líquida, presentando un color marrón oscuro, densidad 1.19 kg/l, soluble en agua y aumenta la resistencia a la compresión entre 125%-135%, según la norma ASTM C494 es calificado este aditivo como uno Tipo F. Como se observa en la **figura N° 16**, la partícula de cemento en su membrana contiene iones de carga positiva y negativas, esta interactúa con las cargas negativas de la partícula del superplastificante.

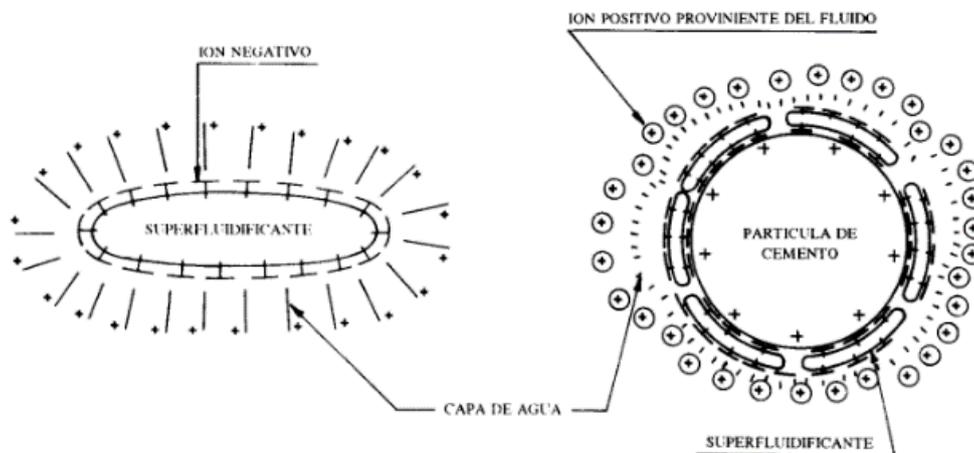


Figura 16: Forma de actuación de una molécula de superplastificante , **Fuente:** Propia

- Los ensayos para la caracterización de los agregados así como los ensayos realizados para obtener los resultados de las variables dependientes, cumplen con las desviaciones estándar propuestas por las normas bajo las que se rigen y complementada con la Norma ASTM C670.
- Las granulometrías de los agregados convencionales están dentro de los límites recomendados por la ASTM C33, esto nos garantiza una conforme gradación, por lo tanto estos agregados son apto para ser utilizados en un concreto. Por otro lado el tamaño de los agregados de la piedra es de Tamaño máximo nominal 3/8". En cuanto al agregado grueso cumple con los requisitos de granulometría especificado en la ASTM C33 con el Huso 8. Además se tuvo un tamaño máximo nominal de 3/8" y tamaño máximo de 1/2".

El agregado fino tiene un módulo de finura de 2.40, lo cual está en el rango de 2.3 y 3.1, por lo cual es óptimo para la elaboración de concreto, según la ASTM C33. Promedio de la granulometría del agregado fino se hizo el tamizado a partir de la malla N°4 ya que se trata de arena, obteniéndose el mayor porcentaje en la malla N°100 con 40,20%.

- El contenido de humedad de los agregados convencionales son: 0.6% y 0.4% correspondientes al agregado fino y al agregado grueso respectivamente, su contenido de humedad de los agregados naturales dependió de las condiciones climatológicas que presentaba el lugar de donde provenían. En este caso, los agregados naturales se encontraron expuestos a temperaturas de 26 a 32° C de la localidad de Huanchaco, zona donde se encontraba la cantera de extracción. Deduciéndose que el confitillo estuvo expuesto durante más tiempo que la arena, por lo que perdió mayor cantidad de agua retenida en su interior.
- El peso de unitario suelto y compactado del agregado fino es de 1519 kg/m³ y 1678 kg/m³ respectivamente, eso quiere decir que 1 m³ de este agregado fino pesa 1519 kg y 1678 kg para cada tipo de peso unitario. Este peso unitario suelto está dentro del rango de 1500 kg/m³ y 1600 kg/m³, su peso unitario compactado se encuentra entre 1600-1900 kg/m³. El peso de unitario suelto y compactado del agregado grueso es de 1548 kg/m³ y 1702 kg/m³ respectivamente, eso quiere decir que 1 m³ de este agregado fino pesa 1548 kg y 1702 kg para cada tipo de peso unitario. Este peso unitario suelto está dentro del rango de 1500 kg/m³ y 1600 kg/m³, su peso unitario compactado se encuentra entre 1600-1900 kg/m³, como se observa en la figura 17. Lo cual fue óptimo para el proyecto.

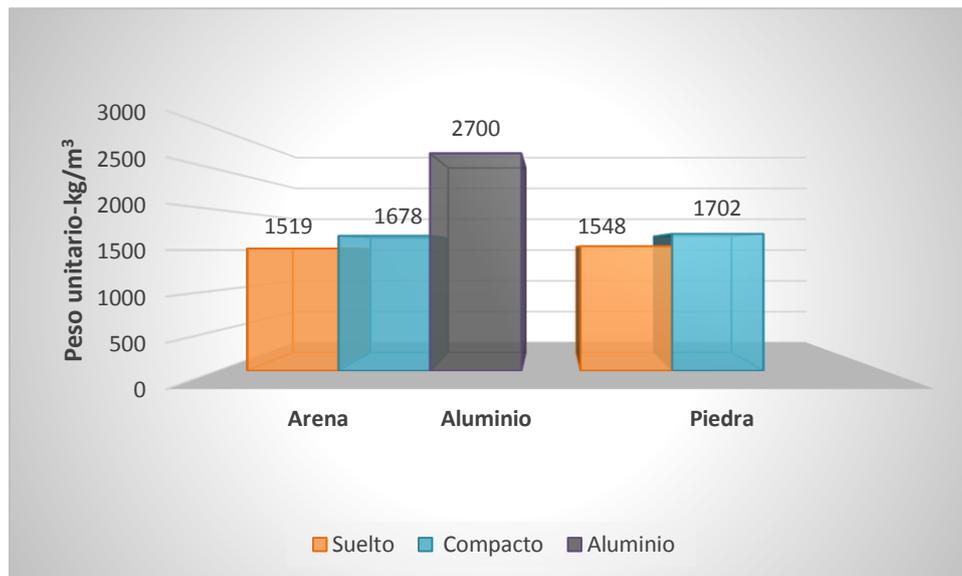


Figura 17: Peso unitario suelto, compacto de la piedra, arena y aluminio

Fuente: Propia

- El uso del peso unitario suelto de un material radica en su manipulación y flete, puesto que un material con bajo peso unitario permitirá un menor costo en su transporte, por ser menos pesado. Mientras que el peso unitario compactado de un material es utilizado en la elaboración del diseño de mezcla, el cual permite hallar la cantidad de material compactado por unidad de volumen durante la preparación del concreto. Los resultados obtenidos por los agregados naturales clasificaron según Abarca (2014), como agregados normales por tener un peso unitario comprendido entre los 1120 y 1900 kg/m³
- El peso específico de la piedra y arena es de 2.69 gr/cm³ y 2.50 gr/cm³, con un porcentaje de absorción de 2.03% y 1.50% respectivamente. Lo cual corresponde con su peso específico y absorción, debido a que estas propiedades son inversamente proporcionales, mientras que el aluminio presenta un peso específico de 0.27 gr/cm³. Los resultados de los agregados naturales se encontraron dentro del intervalo especificado por Pasquel (1998) para agregados normales, con valores comprendidos entre los 2.5 y 2.75 gr/cm³. Relacionando el peso específico y la absorción de cada agregado, podemos deducir que mientras más denso y compacto sea el agregado, menor será su grado de absorción, debido a que tendrá una menor cantidad de poros que permitan la entrada de partículas de agua.
- De acuerdo a la elaboración de diseño de mezcla el resultado para un 1 m³ de concreto F'c=210 kg/cm² de 2231.51 kg, presento un 19 % de cemento, 11% de agua, 38% de piedra, 32% de arena.

- El asentamiento depende en gran medida de la relación a/c, es decir a mayor relación a/c mayor asentamiento, debido a que las partículas del cemento están más dispersas, sin embargo diversos estudios han demostrado que la resistencia a compresión del concreto se ve afectado, debido a que al estar más dispersas las partículas de cemento es más difícil que los cristales de etringita llegue a entrelazarse. El grado de trabajabilidad se clasificó según Pasquel (1993), como Muy bajo de 0 a 1", bajo de 1 a 2", Medio de 2 a 4" y Alto de 4" a más. De acuerdo a estos parámetros se puede dar un uso adecuado al concreto obtenido. Sin embargo el presente estudio tiene como prioridad el diseño de un concreto liviano estructural, por lo que se busca una mezcla con un grado de trabajabilidad media, debido a que la capacidad de acomodo de la mezcla en una estructura minimiza defectos o cangrejeras, además de minimizar costos al no aplicarse un vibrado o compactación
- El asentamiento en la mezcla patrón fue de 4", cumpliendo con lo que se proyectó en el diseño de mezcla, sin embargo debido a la gran absorción presentada por el polvo de aluminio que iba a ocasionar una muestra seca al momento de la adición al concreto, se decidió el uso del superplastificante EUCO 37 al 1% del peso del cemento, dando un asentamiento de 4.50" (Ver figura 18), este aditivo actúa neutralizando las cargas eléctricas que se encuentran sobre la superficie de las partículas de cemento y, por consiguiente, evitando la formación de flóculos. Además la adición de polvo de aluminio funciona como un incorporador de aire, creando burbujas pequeñas en el concreto, haciéndolo un concreto ligero con los resultados antes vistos, se puede observar en las tablas , densidades bajas de un concreto convencional
Además se realizaron dos tipos de mezclas: Polvo de aluminio sin superplastificante y polvo de aluminio con superplastificante al 1% del peso del cemento. Se realizó estas dos comparaciones, porque al momento de realizar las mezclas sin plastificantes las mezclas eran secas, mientras que con plastificante se adecuaba a la norma haciendo la mezcla plástica, como se puede observar en la figura 20, el asentamiento de polvo de aluminio sin superplastificante oscilan entre 4.00" a 1.75", esto se debe al polvo de aluminio hace la mezcla más seca, mientras que en la mezcla de polvo de aluminio con superplastificante al 1% oscilan entre 4.50" a 2.70". Es un buen indicador el asentamiento del polvo de aluminio al 1.50% con plastificante. En la figura 18. Se puede observar que un concreto con asentamiento de 5 a 10 cm es óptima para losas, esto indica que los datos obtenidos de la mezcla polvo de aluminio más superplastificante es óptima para losa. Según la norma ASTM C143, este ensayo es aplicable para una mezcla plástica preparada con piedra de hasta 1 ½" pulgada (37.5mm) de tamaño máximo nominal, si la piedra es mayor a 1 ½" pulgada el método de prueba se aplica a la fracción del hormigón que pasa la malla de 1 ½" de acuerdo con la ASTM C172, en el caso de mezclas no plásticas que tiene un asentamiento menor a ½" (15mm) y no cohesivos con asentamiento mayor a 9" (230mm) este método no es aplicable.

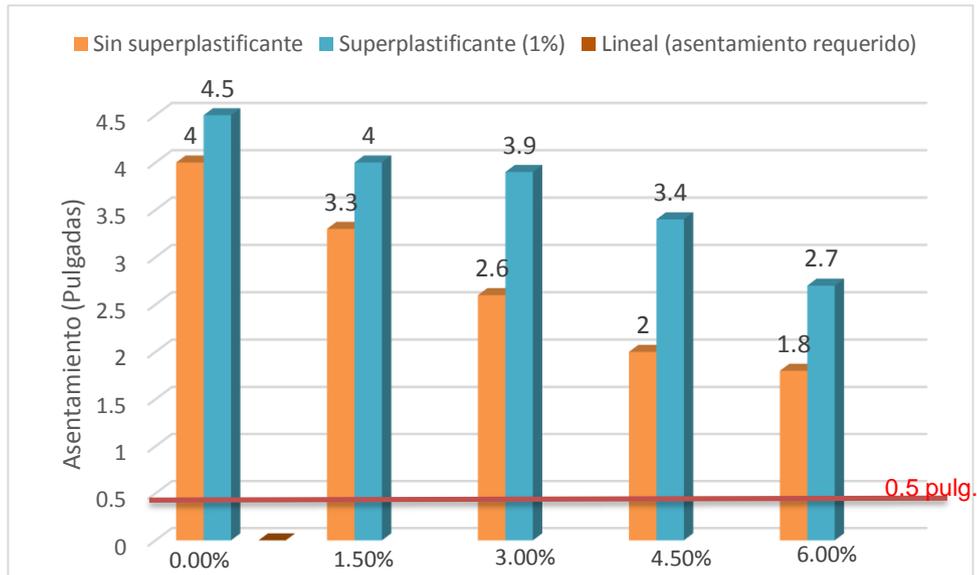


Figura 18: Asentamiento de un concreto con aditivo y sin aditivo **Fuente:** Propia

- Los especímenes para los diferentes ensayos del concreto se realizaron bajo la norma ASTM C192, con unas dimensiones de 100 x 200 mm (4x8 in), cumpliendo con lo especificado en esta norma, donde se indica que el diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Se retiró los moldes a las 25 horas después de moldeados debido que a las 24 horas las probetas aun no presentaban la solidez adecuada debido al uso del plastificante, sin embargo se cumplió con lo estipulado en esta norma estando dentro del rango de 24 ± 8 h.
- En cuanto al ambiente de curado los especímenes de ensayo tuvieron agua libre sobre su superficie completa en todo momento como se indica en la ASTM C192. Además de incorporar al agua cal, buscando subir el PH hasta un rango 13 o 14 como indica la ASTM C31, para evitar la pérdida de cal en el concreto.
- Un concreto convencional tiene las siguientes características: Resistencia a la compresión 210 kg/cm^2 a los 28 días, tamaño máximo de agregado grueso (1", 3/4", 1/2"), asentamiento entre 3"-4", peso unitario $2200\text{-}2400 \text{ kg/m}^3$
- Los cilindros elaborados para ser ensayados a resistencia a compresión fueron capeados con mortero de azufre calentándolo a una temperatura de 140°C y dejándolo endurecer por 2 horas como se describe en la ASTM C617. Los resultados indican que se alcanzó una resistencia de 224 kg/cm^2 a 28 días). Sin embargo esta resistencia vuelven a caer a medida que se va añadiendo el polvo de aluminio al 3% del peso del cemento, esto se puede apreciar en las figuras 19 y 20. A pesar de ello, podemos encontrar resistencias que superan o igualan a la

resistencia para la cual fue diseñada, en las probetas que se añade polvo de aluminio al 1.5% con superplastificante al 1% aumenta en un 5.36 % la probeta patrón, la resistencia promedio a la compresión es de 236 kg/cm². En el caso de concreto con polvo de aluminio sin superplastificante las resistencias a las compresión van disminuyendo: Polvo de aluminio al 1.5%-195 kg/cm², polvo de aluminio al 3%-173 kg/cm², polvo de aluminio al 4.5%-106 kg/cm², polvo de aluminio al 6%-91 kg/cm². Obteniendo resultados en la resistencia a la compresión con polvo de aluminio con superplastificante al 1%: Polvo de aluminio al 1.5%-236 kg/cm², polvo de aluminio al 3%-173 kg/cm², polvo de aluminio al 4.5%-109 kg/cm², polvo de aluminio al 6%-102 kg/cm². Encontrando resultados óptimos a la resistencia a la compresión patrón, polvo de aluminio al 1.5 % sin superplastificante y polvo de aluminio al 1.5% con superplastificante, dado que la Reglamento Nacional de edificaciones los clasifica como un concreto estructural por estar encima de los 175 kg/cm².

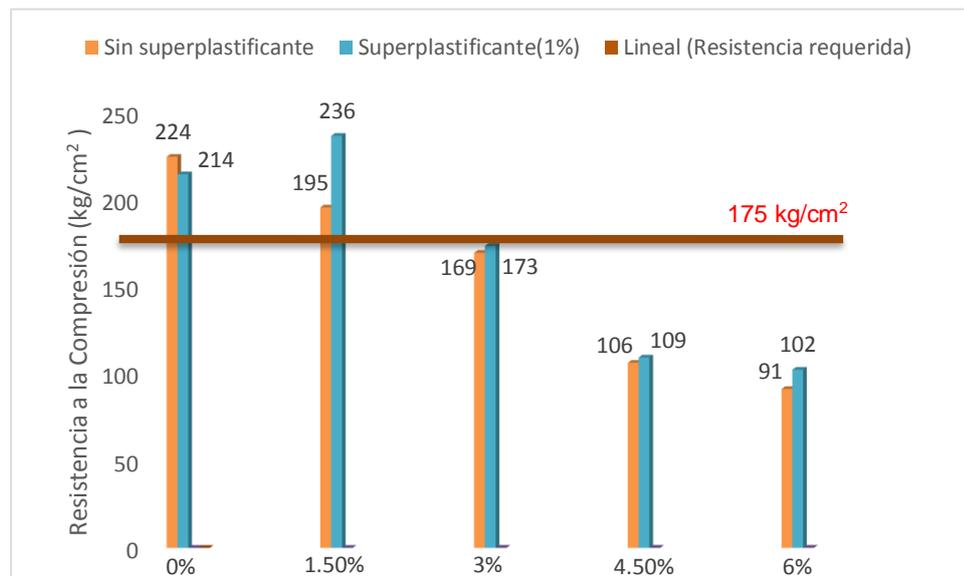


Figura 19: Resistencia a la compresión a los 28 días de curado **Fuente:** Propia

- En cuanto a la densidad seca del concreto fue de 2268 kg/m³ para la mezcla patrón. No obstante la densidad disminuye a medida que se va añadiendo el polvo de aluminio, alcanzando densidades secas de hasta 1643 kg/m³ con polvo de aluminio al 6% sin superplastificante y 1640 kg/m³ con polvo de aluminio al 6% con superplastificante, esto se puede ver en las figuras 20 y 21. Con esto se demuestra que añadiendo polvo de aluminio disminuye la densidad del concreto, ya que al momento de entrar en contacto el aluminio con el cemento se forman burbujas de aire, creando vacíos entre los granos de piedras y arena haciendo más ligero el concreto.

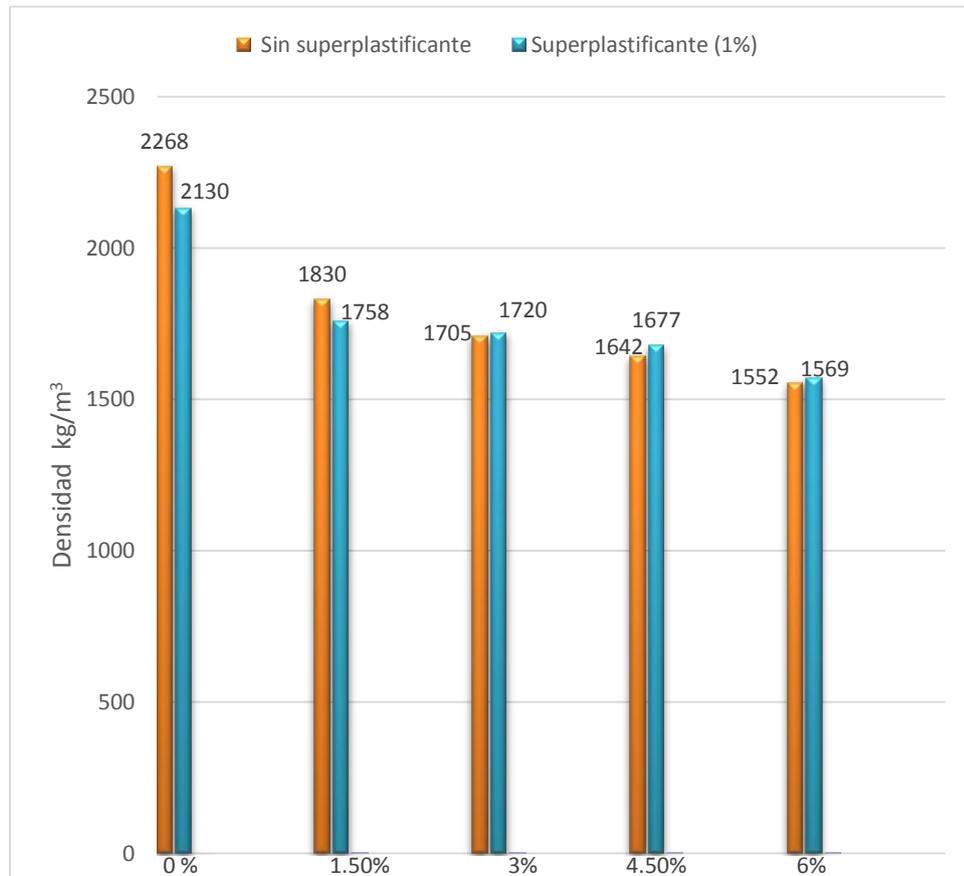


Figura 20: Densidad del concreto con aditivo y sin aditivo. **Fuente:** Propia

- La norma ACI 213R-03 la clasificación de acuerdo a la densidad del concreto ligero, a los concretos con densidad entre 300 a 1120 kg/m³ una resistencia a la compresión 0.7 a 7 MPa, los concretos con densidad entre 1120 a 1680 kg/m³ una resistencia a la compresión 7 a 17 MPa, finalmente los concreto con densidad entre 1680 a 1920 kg/m³ una resistencia a la compresión de 17 MPa en adelante, haciéndolo óptimo para uso estructural.
- En cuanto a la absorción del concreto dio como resultado 2.2 % para la mezcla patrón. Sin embargo a medida que se fue reemplazando agregado convencional por agregado liviano, la absorción de las probetas fueron en aumento, alcanzado así absorciones de 4 % para concreto con polvo de aluminio sin plastificante y 2% para concreto con polvo de aluminio con plastificante. El aumento de la absorción se debe a la adición de polvo de aluminio, que por la porosidad que genera el polvo de aluminio al mezclarse con el cemento, porque al añadir polvo de aluminio funciona como un incorporador de aire. La absorción de un concreto ligero no debería ser un problema en cuanto a la absorción de humedad del medio ambiente, dado que por lo general las estructuras están cubiertas por un recubrimiento que impermeabiliza este concreto. Como era de esperarse, las mezclas con mayor contenido de polvo de aluminio, fueron aquellas que presentaron mayor absorción de agua, incrementando en tres veces la

absorción en el concreto. Este efecto es debido a la presencia de polvo de aluminio que es mucho más rugoso que cualquiera de los otros materiales como el cemento y agregados, por lo que la mezcla que contenga más polvo de aluminio, absorberá una cantidad mayor de agua que aquellos que contengan en menor proporción el material. Relacionado el grado de absorción y el asentamiento del concreto, podemos deducir que mientras menos denso sea el material de sustitución, más seca será la consistencia, generando mayor cantidad de vacíos en su interior. Se podría decir que estas propiedades dependen mucha de la otra, por ser inversamente proporcionales.

- Analizando los resultados obtenidos por la absorción del concreto y la resistencia a la compresión, se deduce que mientras más sea el grado de absorción, menor será su resistencia, puesto que la mezcla al volverse cada vez más seca, produce mayor cantidad de “cangrejeras”, restándole resistencia al concreto ante cargas axiales sometidas sobre su área. Sin embargo cuando se le añade plastificante en el caso de la resistencia a la compresión de polvo de aluminio al 1.50% con superplastificante aumento su resistencia.

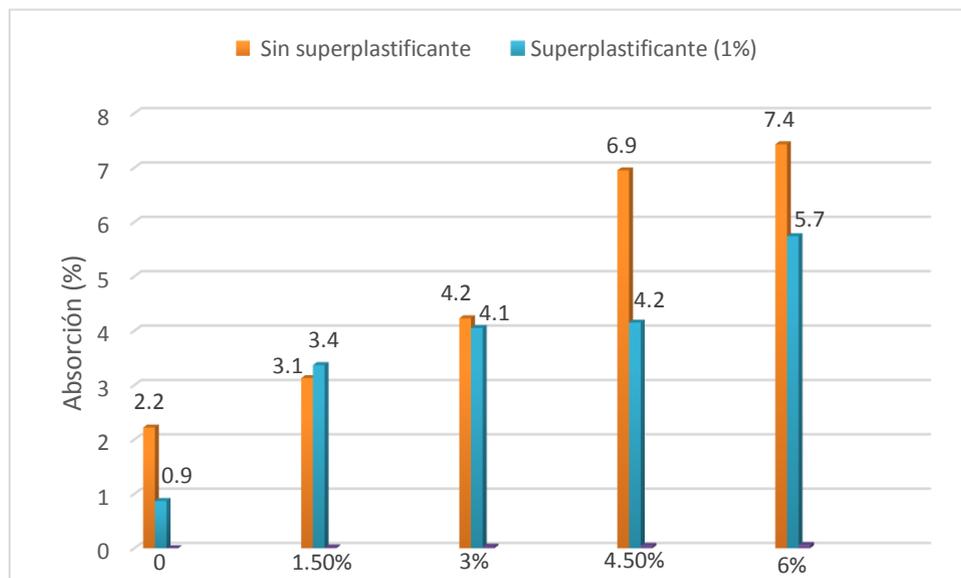


Figura 21: Absorción del concreto con aditivo y sin aditivo. **Fuente:** Propia

- Analizando los resultados del cálculo de carga muerta de una losa aligerada con concreto ligero y otra con concreto convencional; la disminución es de 32.10 kg/m. Eso significando una disminución 5.20 % de peso de carga muerta de un losa aligerada por metro.

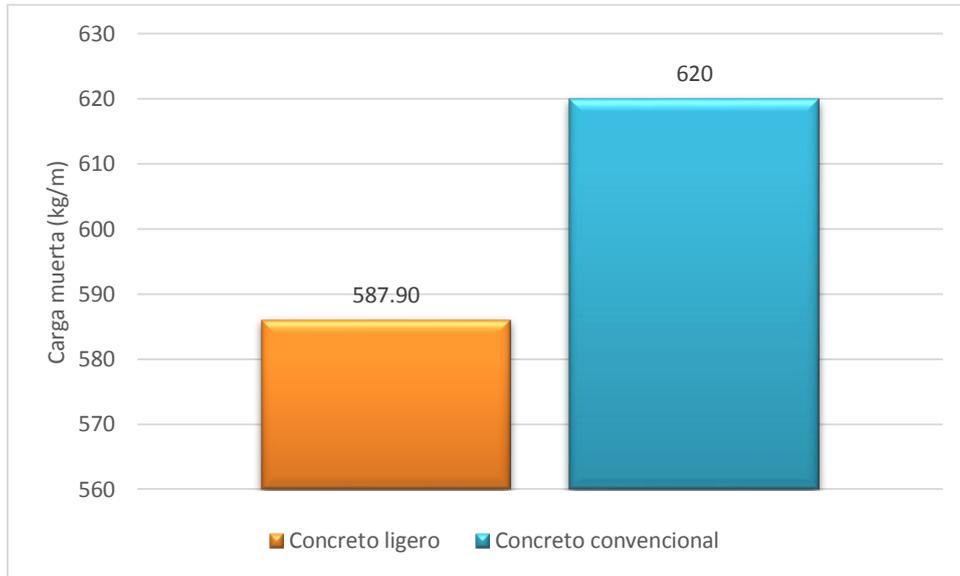


Figura 22: Comparación de carga muerta en una losa aligerada **Fuente:** Propia

- Si comparamos los valores expresados en la **Tabla n.47°**, donde se indican los costos de materiales de un concreto convencional con un concreto ligero con polvo de aluminio más plastificante y los obtenidos a partir de un análisis de costos aproximado, utilizando las mezclas más óptimas aplicadas en esta investigación, podemos concluir que aumenta hasta un 13.58%.



Figura 23: Comparación económica de concretos **Fuente:** Propia

- Finalmente, es importante destacar que al utilizar un concreto liviano se puede reducir la carga estructural de una edificación en hasta un 30%, de acuerdo al cálculo de carga muerta de una losa aligerada en la **figura N°15**. Se realizó el cálculo para carga muerta con concreto ligero y convencional, demostrando así que un concreto ligero es más liviano, utilizando polvo de aluminio hasta un 6%. Sin embargo para el polvo de aluminio óptimo recomendado del 1.5% se reduce en hasta un 18%, eso se demuestra en el ensayo de compresión de acuerdo a la **figura N°19**. Estas disminuciones de carga permitirán la reducción de las dimensiones de columnas, vigas y cimientos, además de emplear menos refuerzos en la estructura, dado que las cargas laterales de la edificación serán menores, por lo tanto los esfuerzos presentes en los refuerzos serán menores, llegando incluso en algunos casos a no depender de placas para dar mayor rigidez a la edificación. Por otro lado, el uso de concreto ligero induce al ahorro de materiales como concreto y acero, también minora los costos de transporte. Por lo tanto el uso de concreto ligero es una solución estructural para edificaciones sismo resistentes, duraderas y seguras.

CONCLUSIONES

Los agregados a utilizar en el concreto, basándose en las normas ASTM, cumplieron con sus características físicas. Los resultados obtenidos para la arena son: Modulo de finura-2.4, Contenido de humedad 0.6%, peso específico-2.5 gr/ cm³, absorcion-1.5 %, peso unitario suelto-1519 kg/m³, peso unitario compacto-1678 kg/m³ y piedra: Contenido de humedad 0.4%, peso específico-2.69 gr/ cm³, absorcion-2.2 %, peso unitario suelto-1548 kg/m³, peso unitario compacto-1702 kg/m³, tamaño maximo-1/2", tamaño máximo nominal-3/8".

Se diseñó y elaboró una mezcla de concreto 210 kg/cm² a partir del método ACI 211, obteniéndose un asentamiento de 4" con una resistencia de 224 kg/cm² a 28 días, con la incorporación del aditivo superplastificante EUCO37 al 1% del peso del cemento se logró un asentamiento de 4.50" con una resistencia de 214 kg/cm² a 28 días. Así mismo una densidad en estado endurecido de 2267.69 kg/m³.

El porcentaje más óptimo de polvo de aluminio en un concreto ligero resulta al añadir 1.5 % con superplastificante al 1% dando como resultado un asentamiento de 4.00" y alcanzando una resistencia a compresión de 236 kg/cm² a 28 días y una densidad seca encontrada a 28 días de 1783.16 kg/m³, lográndose así un concreto ligero.

El porcentaje de disminución del peso de carga muerta de una losa aligerada con concreto ligero y otra con concreto convencional es de 5.2%, de acuerdo al cálculo de carga muerta en una losas aligerada como se observa en la **figura N°15**.

Se concluye que el concreto con 1.5% de polvo de aluminio más superplastificante puede ser utilizado en concretos ligeros aplicados en viviendas unifamiliares, almacenes industriales, hostales y alojamientos. Mientras que el concreto con 1.5% de polvo de aluminio puede utilizarse en concretos de losas aligeradas, deportivas, entre otras.

RECOMENDACIONES

Realizar un control de calidad del polvo de aluminio antes de utilizarlo en un proyecto desde el punto de vista químico como su composición química y mecánico como la dureza, resistencia a la tracción, ductilidad, etc. Analizar el material en el laboratorio, más aún si el objetivo es la fabricación de un concreto ligero.

Investigar sobre el concreto ligero, optando por el uso de otros incorporadores de aire u otra forma de obtener polvo de aluminio, de manera que se pueda construir edificaciones más livianas y por lo tanto más seguras.

Se recomienda el uso de aditivos que permitan un mejor comportamiento del concreto con polvo de aluminio, tales como plastificantes o superplastificantes.

Se recomienda almacenar en bolsas herméticas a los agregados y al cemento, para evitar que las condiciones ambientales afecten sus propiedades físicas, alterando los resultados obtenidos con las mezclas de concreto, como consecuencia a la lluvia por fenómeno del niño.

Se recomienda realizar estudios posteriores, en los que se elabore los bloques de concreto a partir de las mejores mezclas obtenidas en esta investigación, evaluando sus propiedades tanto físicas como la compresión.

Se recomienda realizar estudios a largo plazo del concreto con polvo de aluminio, para descartar deterioro del material, afectando al concreto.

Se recomienda realizar nuevas investigaciones, donde se evalué el mejor tratamiento al polvo de aluminio para permitir un tiempo de fraguado más rápido en el concreto.

Evaluar diversos tipos de aluminio para concreto ligero.

REFERENCIAS

1. Rivva, E. (2013). Diseño de mezclas. Lima: Universidad Nacional de ingeniería. pag.40-44.
2. Absalón V. y Salas R. (2010). Influencia en el diseño de mezcla de agregados de diferente procedencia en el Estado de Mérida. Universidad de los Andes, Mérida. Venezuela.
3. Ninaquispe, Manchego, Y. (2007), Uso del concreto celular en unidades de albañilería no estructural. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería
4. Hou, D., Caicedo, J., Falconí, A. (2007). Hormigones livianos de alto desempeño. En Revista Tecnológica ESPOL.
5. Hernández, A (2011) Comportamiento estructural de elementos flexurales de hormigón
6. Mamlouk, M. y Zaniewski, J., Materiales para Ingeniería Civil, 2009, 2ª edición pág. 521-526; 537-542.
7. Niño Hernández, J., Tecnología del Concreto, 2010, 3ª edición pag.102-106; 125-130.
8. Frederick S. Merrit, M. Kent Loftin y Jonathan T. Ricketts, Manual del Ingeniero Civil, 4ª edición sección 8.2
9. Instituto de la Construcción y Gerencia (2017), Reglamento Nacional de Edificaciones-Estructuras, 8ª edición.
10. Ley N°27314 General de Residuos Sólidos Municipales, Año 2008-Ministerio del Ambiente (MINAM).
11. Control de calidad de concreto, Recuperado el 24 de septiembre de 2017. Consultado en:
www.dino.com.pe/download/?file=100600_Control_de_Calidad_de_Concreto.pdf
12. Norma Técnica Peruana 339.082: Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.

13. Nivel de la construcción a nivel mundial, Recuperado el 24 de agosto de 2017.
Consultado en: <http://www.construccion-pa.com/noticias/panorama-mundial-la-construccion/>
14. Construcción sostenible, Recuperado el 12 de mayo del 2017. Consultado en:
<http://www.portafolio.co/negocios/empresas/construccion-sostenible-ecologica-necesaria-mundo-35448>
15. Instituto mexicano del concreto y el cemento, Recuperado el 02 de junio del 2017.
Consultado en: <http://www.imcyc.com>
16. Influencia de los ciclos hielo–deshielo en la resistencia del concreto (caso Tunja), 2005,
Recuperado el 22 de Junio de 2017. Consultado en:
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
17. Reacción Química cemento-aluminio, Empresa Aircrete Europe, Recuperado el 11 de
Junio del 2016. Consultado en: <http://www.aircrete-europe.com/es/concreto-celular-autoclavado/the-history-of-aac-es.html>
18. Empresa Atmosfera, Hormigón celular, Recuperado el 11 de Junio del 2017, Consultado
en: <http://www.atmosfera.com/articulo1.htm>
19. Concreto convencional-UNICON, Recuperado el 13 de junio del 2017. Consultado en:
http://www.unicon.com.pe/repositorioaps/0/0/jer/concreconve/Ficha%20T%C3%A9cnica%20Concreto%20Convencional%20rev_1.pdf
20. Parque automotor en la ciudad de Trujillo, Recuperado el 22 de julio de 2017.
Consultado en :<http://gestion.pe/empresas/parque-automotor-trujillo-llega-190000-vehiculos-y-crece-6-al-ano-2127550>
21. SENAMHI (2017), Recuperado el 15 de junio de 2017. Consultado en:
[http://www.senamhi.gob.pe/?p=0140.](http://www.senamhi.gob.pe/?p=0140)

22. Tello, A. (2008). Concreto en estado fresco, Recuperado el 17 de Junio del 2017. De http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/96/1/tello_am.pdf
23. Luis Antonio Ayala (2016), Porosidad del Concreto, "Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo", Recuperado el 20 de Junio de 2017. De <https://prezi.com/vxo4gd2o-esi/porosidad-del-concreto/>
24. Plastificantes y superplastificante, Recuperado el 21 de 2017. De <http://bestsupportunderground.com/plastificantes-hormigon/>
25. American Concrete Institute, 211.1-91 (2002), Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de *concreto* de peso normal, pesado y masivo.
26. American Concrete Institute 213R-03 (2003) Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete.
27. American Concrete Institute Committee 308R. (2001) Guide to Curing Concrete.
28. American Society for Testing and Materials (ASTM) Capitulo C. Tema: Concreto. Edición 2000.
29. CENAPRED (s.f) Seguridad en las construcciones Recuperado de: <http://www.cenapred.unam.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo3.html>
30. Chávez, R (2012) Tecnología de los Materiales [en línea] Recuperado el 06 de septiembre de 2015, de: <https://es.scribd.com/doc/113952973/Consistencia-Del-Concreto-Ensayo>
31. Huincho, E., (2011) Concreto del alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsilice y nanocilise con cemento portland Tipo I. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
32. Instituto de la Construcción y Gerencia (2015). Manual de la construcción. Lima: Perú.
33. Kosmatka and Panarese, (1998) "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, Skokie. Ill, 13th Ed, 1988.
34. Mayta J. (2014). Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
35. Neville, A., (1999) Tecnología del Concreto, 1ª edición. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México, D.F.
36. Norma Técnica Peruana E060 (2009). Concreto Armado
37. Oliva, C (2008) Influencia de los superplastificantes en la trabajabilidad y resistencia de los hormigones grado. (Tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

38. Osorio, D (2013) Resistencia Mecánica del concreto y resistencia a compresión [en línea] Recuperado el 06 de septiembre de 2015, de:
<http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>
39. Pasquel (1993) Tecnología del Concreto. Edición 1 Lima – Perú.
40. Segura, J. (2007) Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá. En la Revista Tecnológica ESPOL.
41. Sika (s.f) Curado del concreto, Sika informaciones técnicas.
42. Abarca, R. (2014). Determinación de los pesos unitarios. Recuperado el 02 de mayo de 2017 , de <http://documents.tips/documents/peso-unitario-leshdocx.html>
43. ACI 211.1. Proporciónamiento de materiales para el diseño de mezclas de concreto de peso normal y denso.
44. Huamán, C. (2015). Influencia del porcentaje de agregado fino y módulo de finura sobre la resistencia a la compresión y absorción en morteros para la construcción. (Tesis de licenciatura). UNT, Trujillo, La Libertad, Perú.
45. Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto*. (2ª. ed.). Lima, Perú.
46. Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. (5ª. ed.). Bogotá, Colombia.
47. Laura, S (2006). Diseño de mezclas de concreto.
48. Reacción química del cemento: Recuperado el 16 de Julio de 2017: <https://es.slideshare.net/lilianahernandezalarcon/presentacion-soluteq>.
49. Materiales de construcción : Recuperado el 02 de septiembre del 2017 de <http://www.acerosarequipa.com/manual-para-propietarios/materiales-de-construccion/concreto.html>

APENDICE

Apéndice 1: Nivel de confianza Z

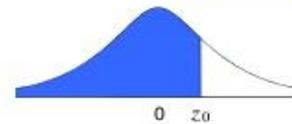
Probabilidad acumulada inferior para distribución normal N(0,1)

www.vaxasoftware.com

μ = Media

σ = Desviación típica

$$P(z \leq z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



Tipificación: $z_0 = \frac{x - \mu}{\sigma}$

z_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	z_0
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359	0,0
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753	0,1
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	0,2
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517	0,3
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	0,4
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224	0,5
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549	0,6
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	0,7
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133	0,8
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389	0,9
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	1,0
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830	1,1
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015	1,2
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	1,3
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	1,4
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441	1,5
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	1,6
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	1,7
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706	1,8
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767	1,9
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	2,0
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857	2,1
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890	2,2
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	2,3
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	2,4
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952	2,5
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964	2,6
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	2,7
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981	2,8
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	2,9
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900	3,0
3,1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929	3,1
3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950	3,2
3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965	3,3
3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976	3,4
3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983	3,5
3,6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989	3,6
3,7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992	3,7
3,8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995	3,8
3,9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997	3,9

$1-\alpha$	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
α	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	1%
$z_{\alpha/2}$	1,645	1,751	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
z_{α}	1,282	1,405	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Siendo:

$1-\alpha$ = Nivel de confianza

α = Nivel de significación

www.vaxasoftware.com

Apéndice 2: Asentamiento del concreto ligero.

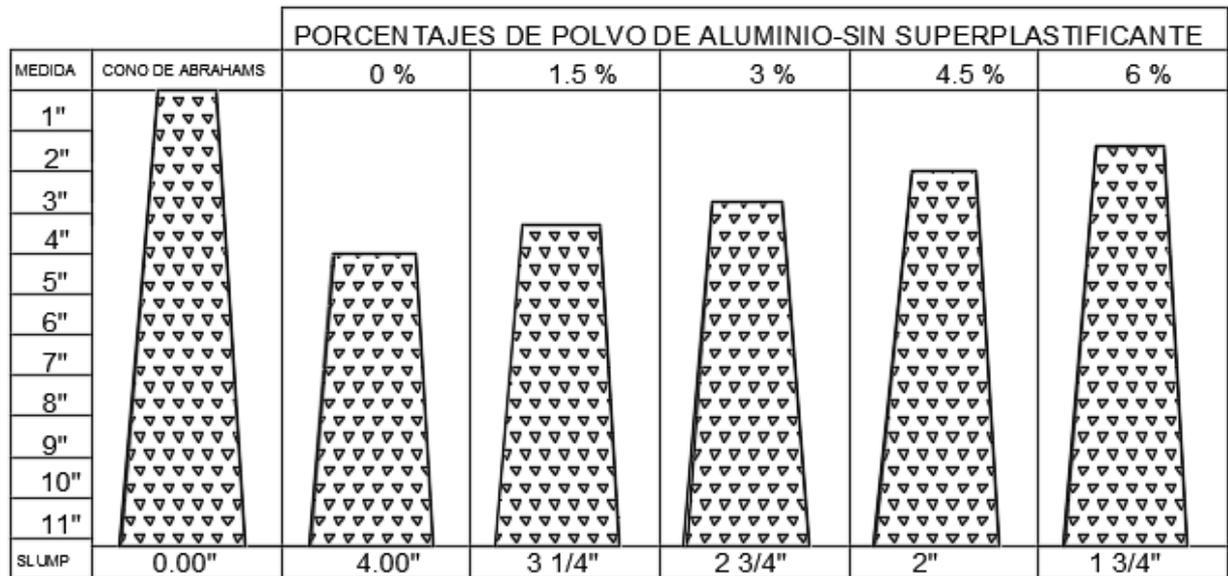


Figura 24: Asentamiento del concreto sin aditivo

Fuente: Propia

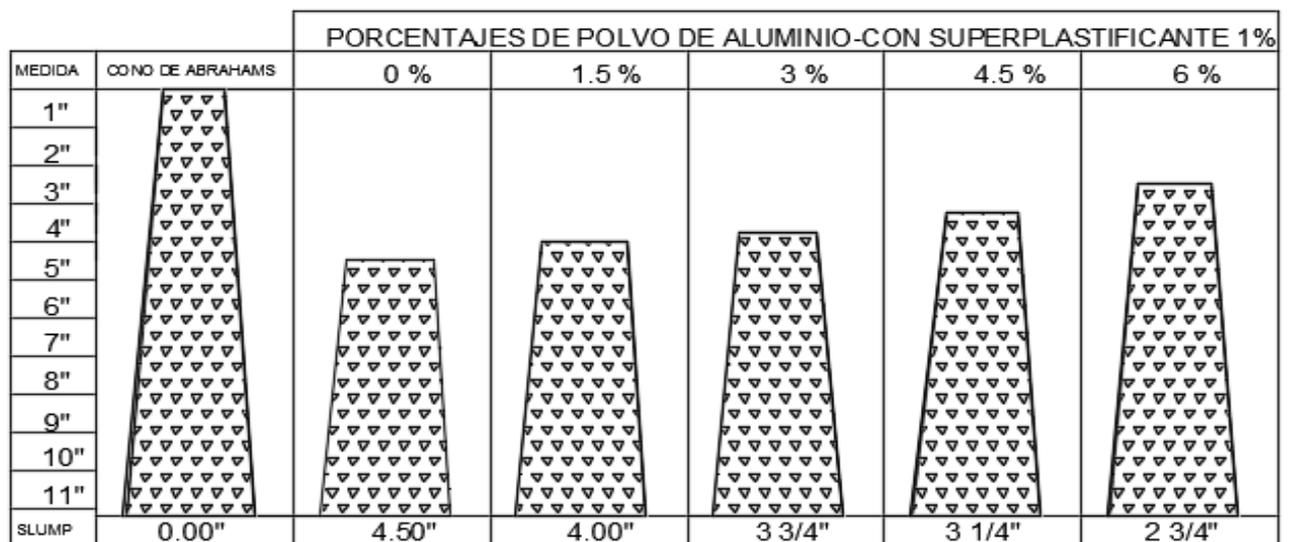


Figura 25: Asentamiento del concreto con aditivo

Fuente: Propia

Apéndice 3: Resistencia a la compresión del concreto ligero.

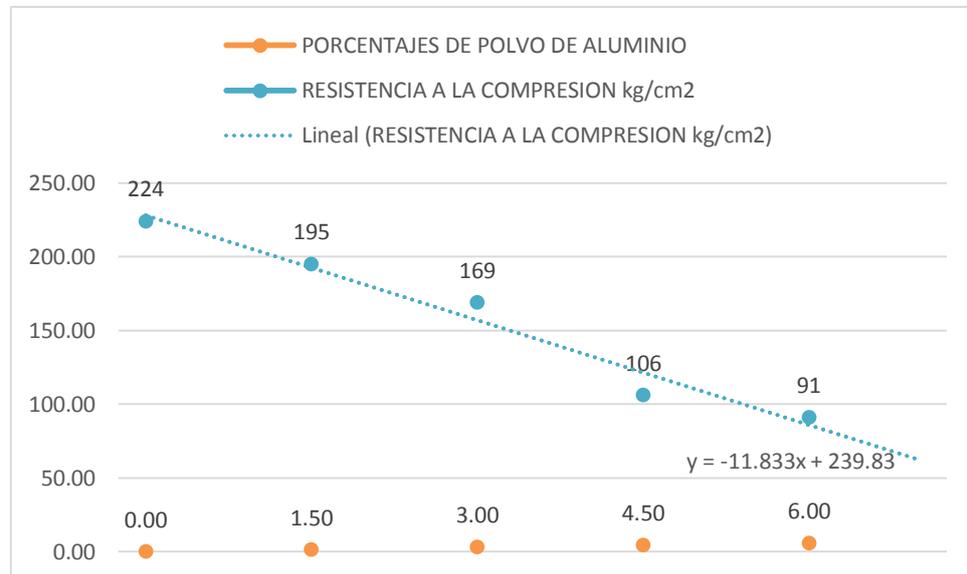


Tabla 50: Resistencia a la compresión-sin superplastificante

Fuente: Propia

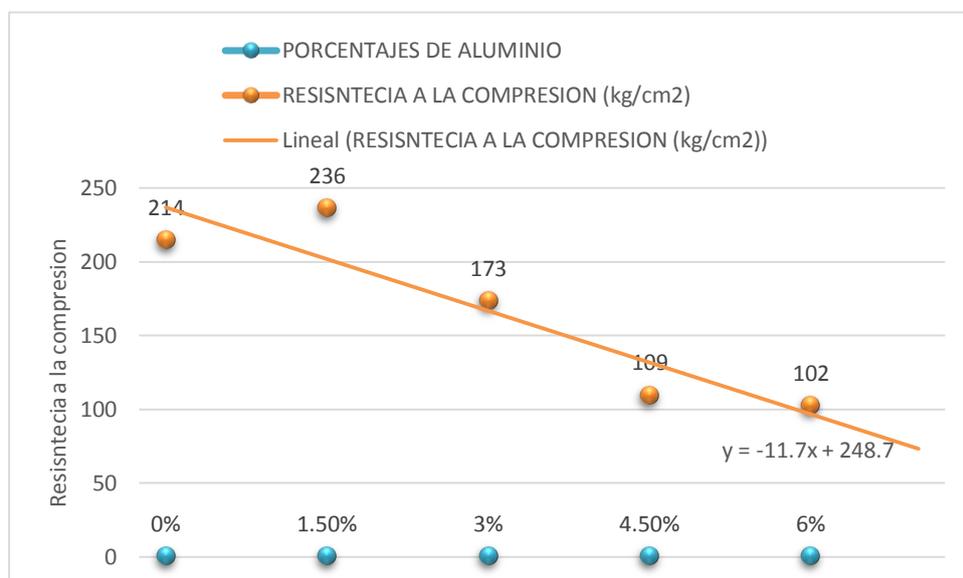


Tabla 51: Resistencia a la compresión- superplastificante 1%

Fuente: Propia

Apéndice 4: Densidad del concreto ligero

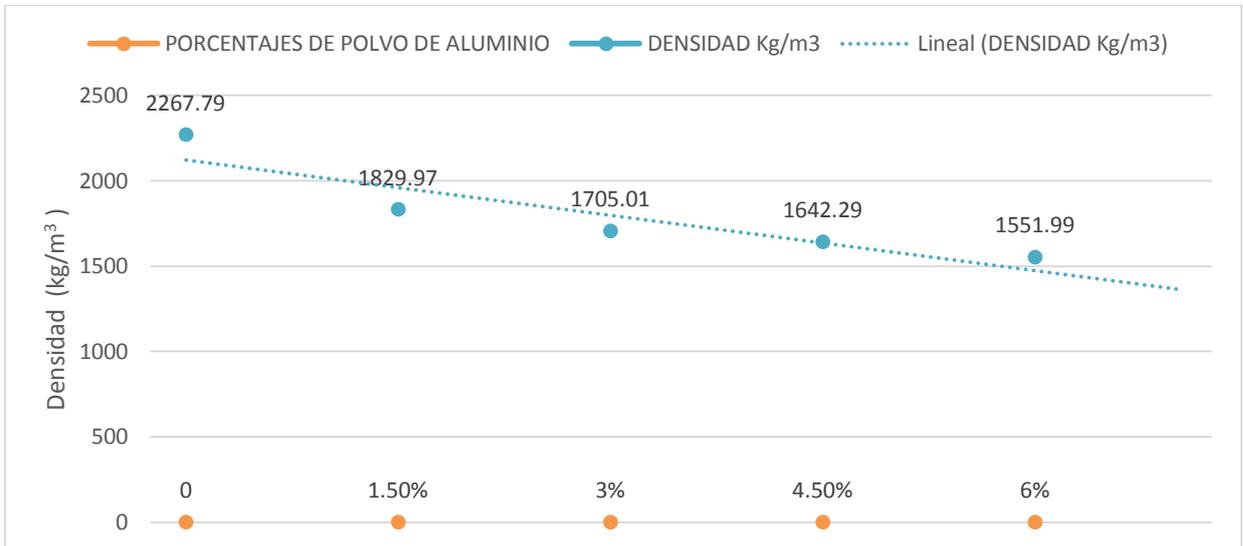


Figura 26: Densidad de concreto sin aditivo

Fuente: Propia

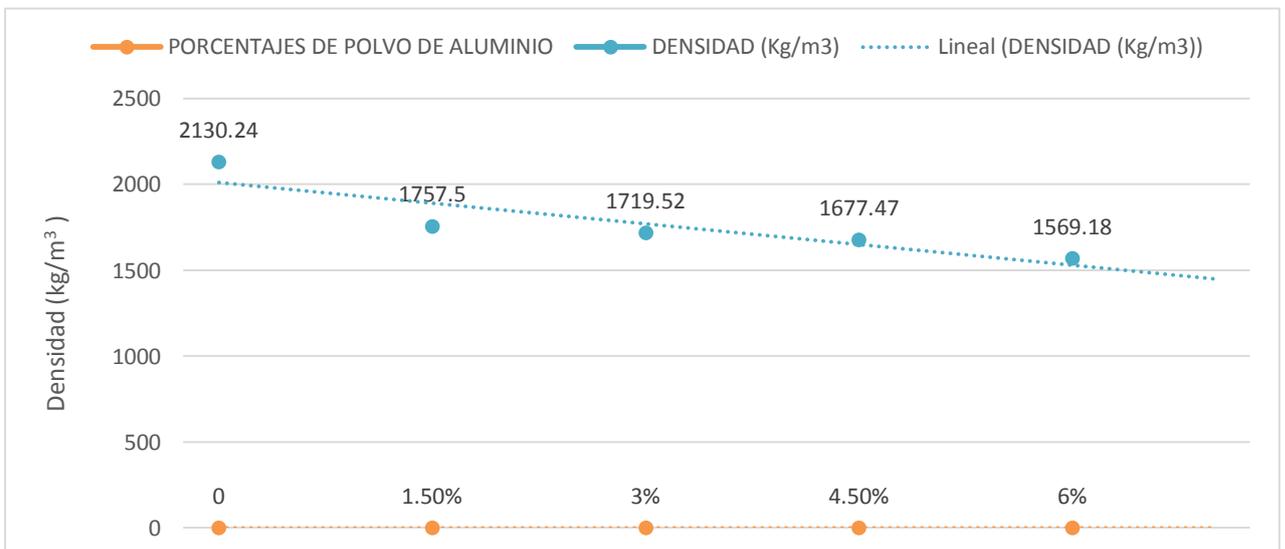


Figura 27: Densidad de concreto con aditivo

Fuente: Propia

Apéndice 5: Absorción del concreto ligero

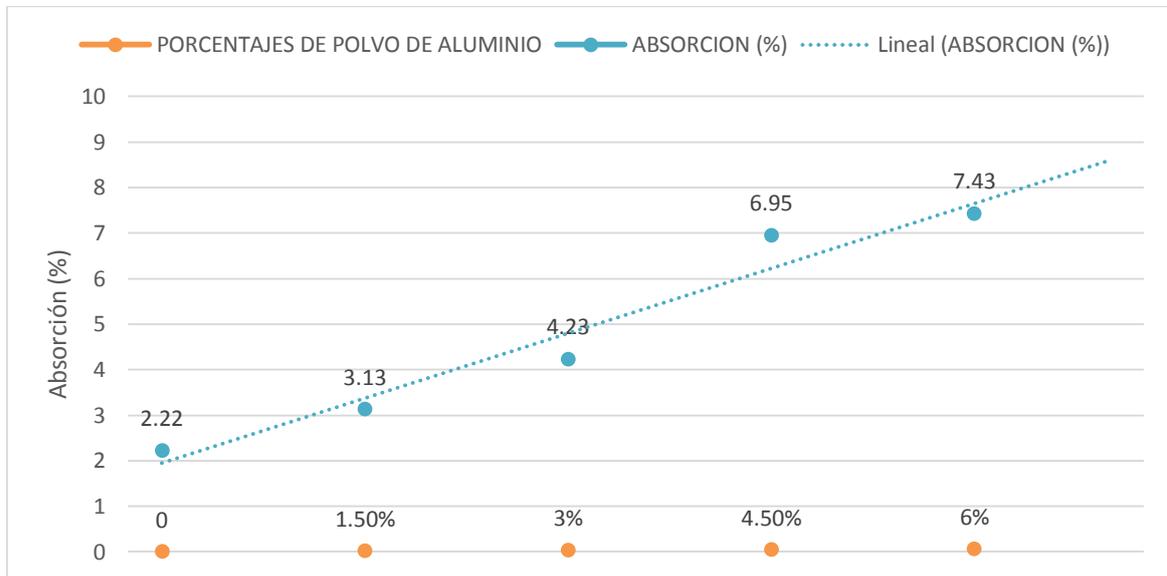


Figura 28: Absorción de concreto sin aditivo

Fuente: Propia

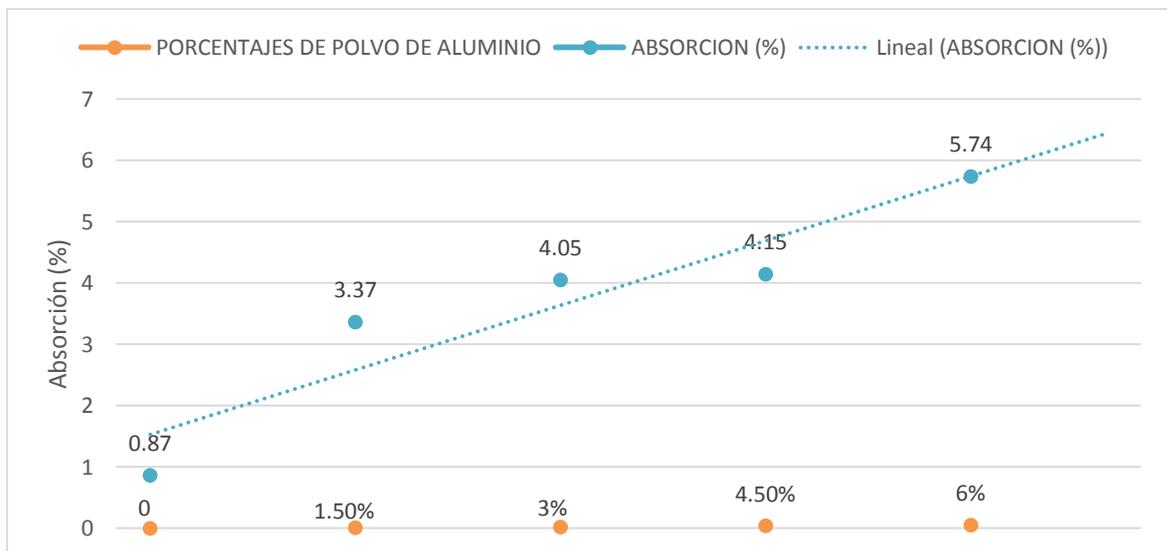


Figura 29: Absorción de concreto con aditivo

Fuente: Propia

ANEXOS

ANEXO n.º 1: Costo aproximado del polvo de aluminio en el sector construcción y su influencia en el costo por m³ concreto ligero con los diseños óptimos aplicados en este estudio, comparándola con un concreto convencional. El cálculo del costo es solo de materiales no incluye mano de obra.

Tabla 52: Costo de materiales de un concreto convencional, **Fuente:** Propia

Concreto convencional					
Costo unitario por m ³					
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Cemento portland tipo ico (42.5 kg)	Bls	8.6755	18.22	158.07
2	Piedra chancada de 3/4"	m ³	0.4112	46.53	19.13
3	Arena	m ³	0.2416	36.95	8.93
4	Agua	m ³	0.215	2.48	0.53
				Subtotal	186.66
				IGV (18%)	33.60
				Total	220.26

Tabla 53: Costo de materiales de un concreto con superplastificante, **Fuente:** Propia

Concreto-aditivo al 1%					
Costo unitario por m ³					
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Cemento portland tipo ico (42.5kg)	Bls	8.6755	18.22	158.07
2	Piedra chancada de 3/4"	m ³	0.4112	46.53	19.13
3	Arena	m ³	0.2416	36.95	8.93
4	Superplastificante	kg	3.6871	4.20	15.49
4	Agua	m ³	0.215	2.48	0.53
				Subtotal	202.15
				IGV (18%)	36.39
				Total	238.537

Tabla 54: Costo de materiales de un concreto con polvo de aluminio y aditivo, **Fuente:** Propia

Concreto-aditivo-polvo de aluminio al 1.5%					
				Costo unitario por m ³	
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Cemento portland tipo ico (42.5kg)	Bls	8.6755	18.22	158.07
2	Piedra chancada de 3/4"	m ³	0.4112	46.53	19.13
3	Arena	m ³	0.2416	36.95	8.93
4	Polvo de aluminio	m ³	0.029	350.00	10.15
5	Superplastificante	kg	3.6871	4.20	15.49
6	Agua	m ³	0.215	2.48	0.53
				Subtotal	212.30
				IGV (18%)	38.21
				Total	250.51

ANEXO n.º 2: Caracterización de agregados

1.1 Desarrollo

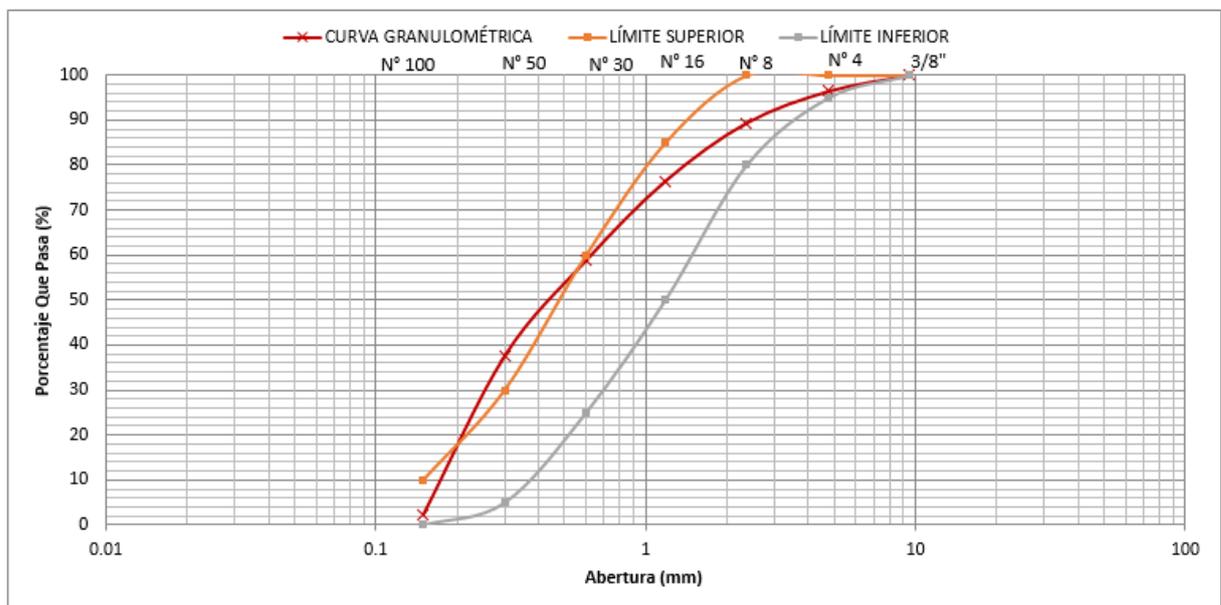
1.1.1 Caracterización de los agregados

							Peso de la muestra (g)	850.00
Tamizado en seco arena gruesa								
Tamiz	Diámetro(mm)	Límite inferior	Límite superior	P. retenido (g)	P. retenido (%)	P.R. acumulado (%)	% Pasa	
3/8"	9.5	100	100	0.00	0.00	0.00	100	
Nº 4	4.76	95	100	30.00	3.53	3.53	96	
Nº 8	2.36	80	100	60.00	7.06	10.59	89	
Nº 16	1.18	50	85	110.00	12.94	23.53	76	
Nº 30	0.6	25	60	150.00	17.65	41.18	59	
Nº 50	0.3	5	30	180.00	21.18	62.35	38	
Nº 100	0.15	0	10	300.00	35.29	97.65	2	
Plato		355	485	20.00	2.35	100.00		
Total				850.00	100.00			

Módulo de Finura: 2.39

Tabla 55: Granulometría de arena gruesa-muestra 1

Fuente: Propia

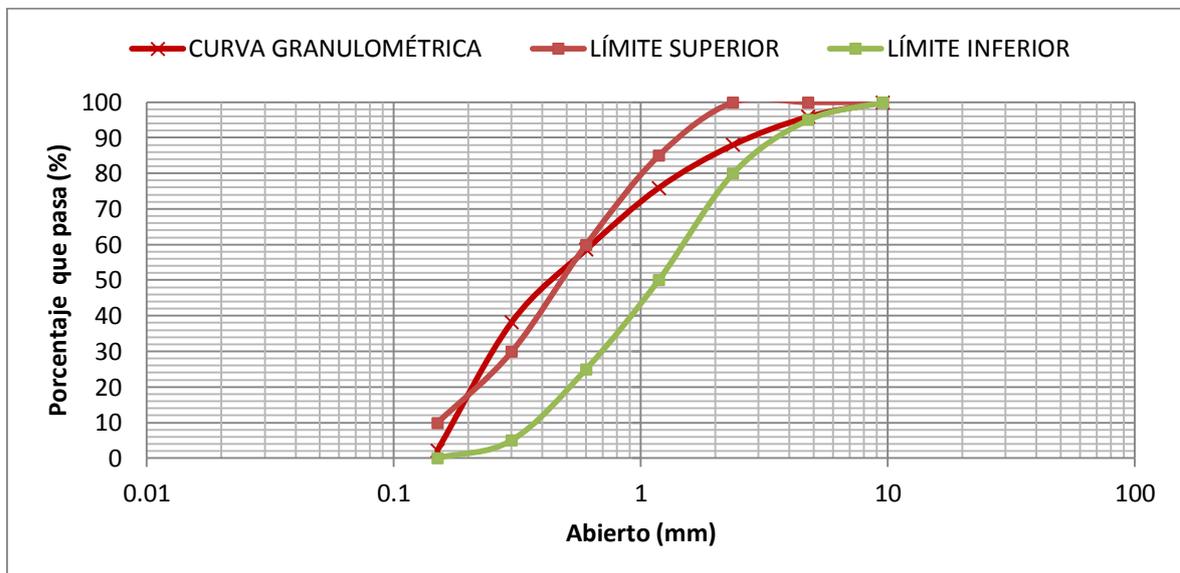


							Peso de la muestra (g)	880.00
Tamizado en seco arena gruesa								
Tamiz	Diámetro(mm)	Límite inferior	Límite superior	P. retenido (g)	P. retenido (%)	P.R. acumulado (%)	% Pasa	
3/8"	9.5	100	100	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	4.76	95	100	35.00	4.07	4.07	95.93	
N° 8	2.36	80	100	68.00	7.91	11.98	88.02	
N° 16	1.18	50	85	104.00	12.09	24.07	75.93	
N° 30	0.6	25	60	149.00	17.33	41.40	58.60	
N° 50	0.3	5	30	175.00	20.35	61.74	38.26	
N° 100	0.15	0	10	310.00	36.05	97.79	2.21	
Plato		355	485	19.00	2.21	100.00		
Total				860.00	100.00			

Pérdida %	2.27
Módulo de Finura	2.41

Tabla 56: Granulometría de arena gruesa-muestra 2

Fuente: Propia



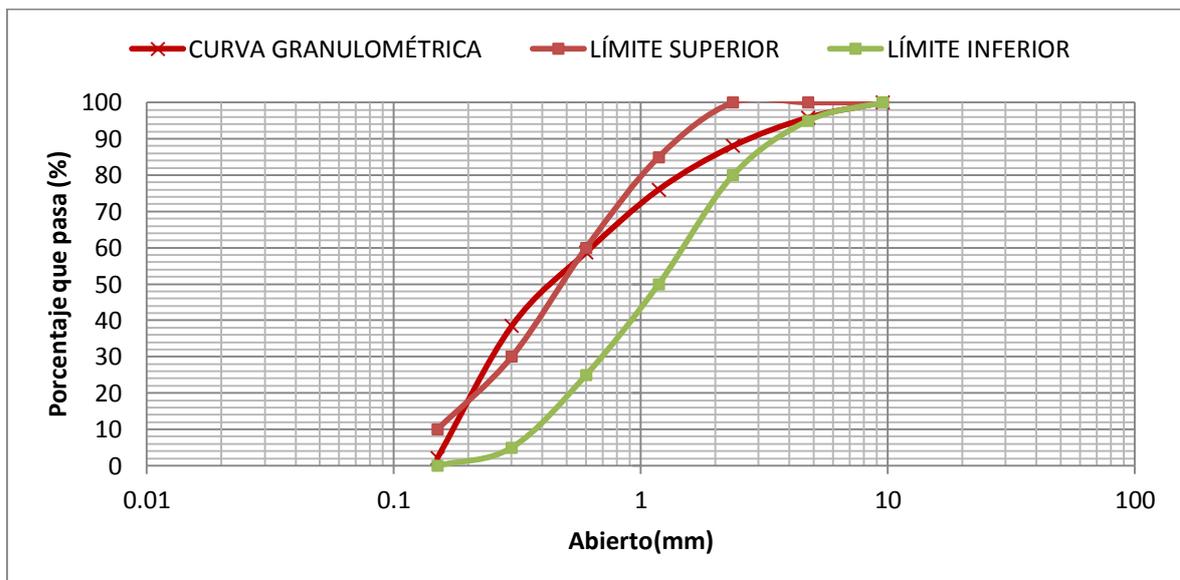
Peso de la muestra (g)	860.00
---------------------------	--------

Tamizado en seco arena gruesa							
Tamiz	Diámetro(mm)	Límite inferior	Límite superior	P. retenido (g)	P. retenido (%)	P.R. acumulado (%)	% Pasa
3/8"	9.5	100	100	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.76	95	100	36.00	4.20	4.20	95.80
N° 8	2.36	80	100	67.00	7.81	12.00	88.00
N° 16	1.18	50	85	103.00	12.00	24.01	75.99
N° 30	0.6	25	60	148.00	17.25	41.26	58.74
N° 50	0.3	5	30	174.00	20.28	61.54	38.46
N° 100	0.15	0	10	312.00	36.36	97.90	2.10
PLATO		355	485	18.00	2.10	100.00	
TOTAL				858.00	100.00		

Pérdida %	0.23
MF	2.41

Tabla 57: Granulometría de la arena gruesa-muestra 3

Fuente: Propia



Tamiz	Promedio (grs)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
3/8"	0	0	0
N° 4	33.67	3.21	9.53
N° 8	65	4.36	6.71
N° 16	105.67	3.79	3.59
N° 30	149	1	0.67
N° 50	176.33	3.21	1.82
N° 100	304	6.93	2.28

Tabla 58: Coeficiente de variación, desviación estándar para la arena gruesa

Fuente: Propia

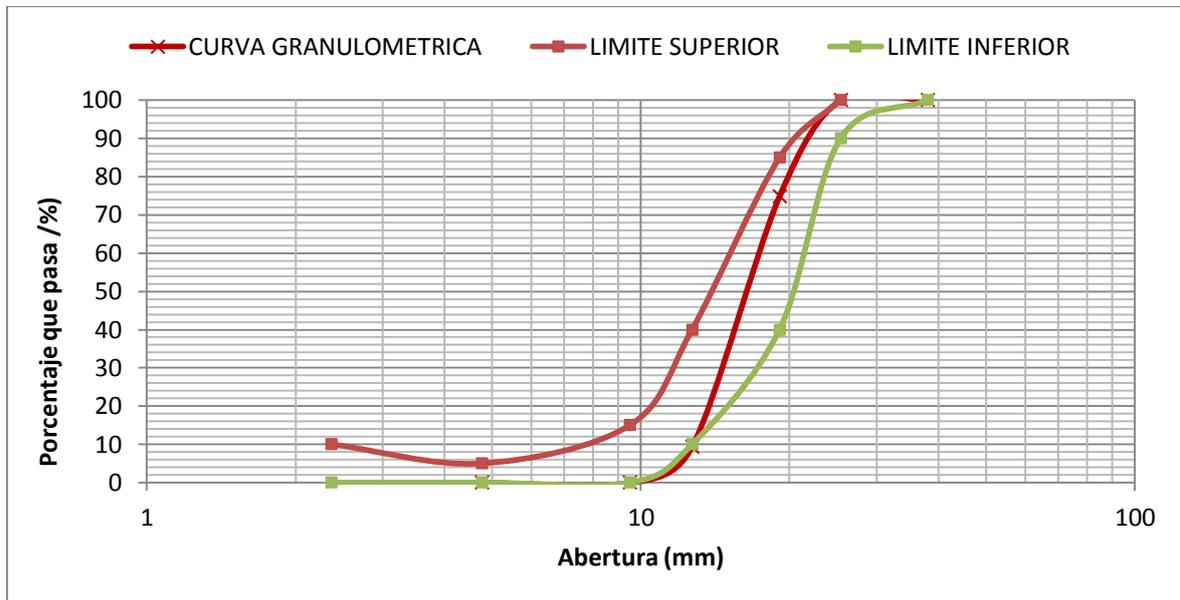
1.1.1.1 Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso

Tamizado en seco piedra 3/8"					
Tamiz (HUSO 08)	Diámetro(mm)	P. retenido (g)	P. retenido (%)	P.R. acumulado (%)	% Pasa
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	250.20	25.04	25.04	74.96
N°4	4.76	655.66	65.63	90.67	9.33
N°8	2.36	93.22	9.33	100.00	0.00
Plato	Menor a 0.08	0.00	0.00	100.00	0.00
Total		999.08	100.00		

Módulo de finura: 7.15

Tabla 59: Granulometría de la piedra-muestra 1

Fuente: Propia

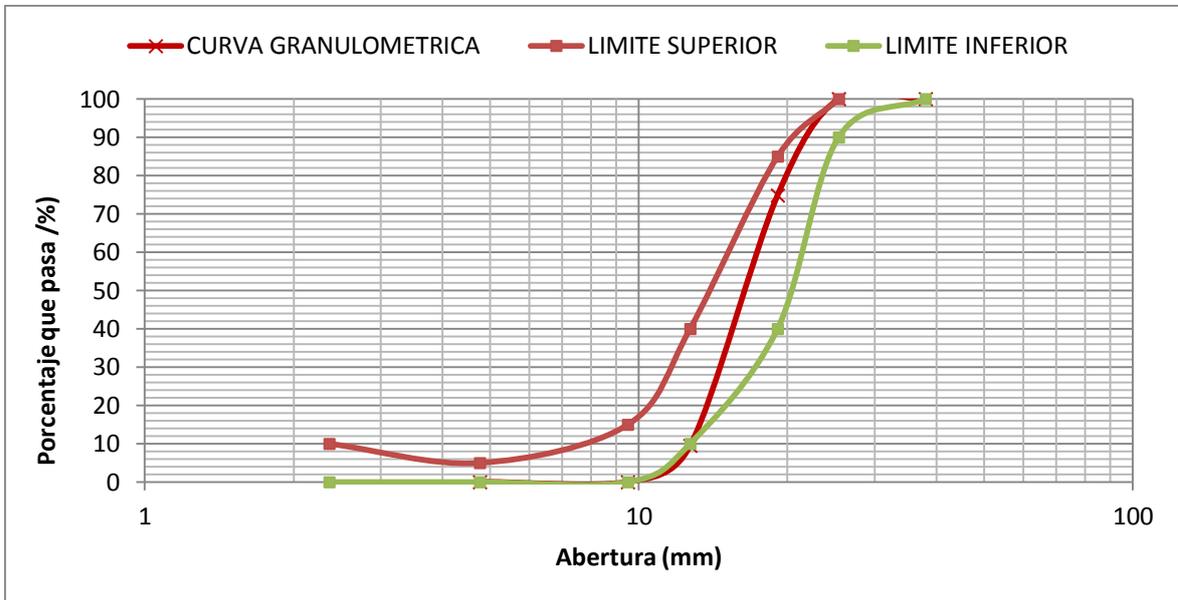


Tamizado en seco piedra 3/8"					
Tamiz (HUSO 08)	Diámetro(mm)	P. retenido (g)	P. retenido (%)	P.R. acumulado (%)	% Pasa
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	251.30	25.14	25.14	74.86
N°4	4.76	654.20	65.44	90.58	9.42
N°8	2.36	94.20	9.42	100.00	0.00
Plato	Menor a 0.08	0.00	0.00	100.00	0.00
Total		999.70	100.00		

Módulo de finura: 7.20

Tabla 60: Granulometría de la piedra-muestra 2

Fuente: Propia

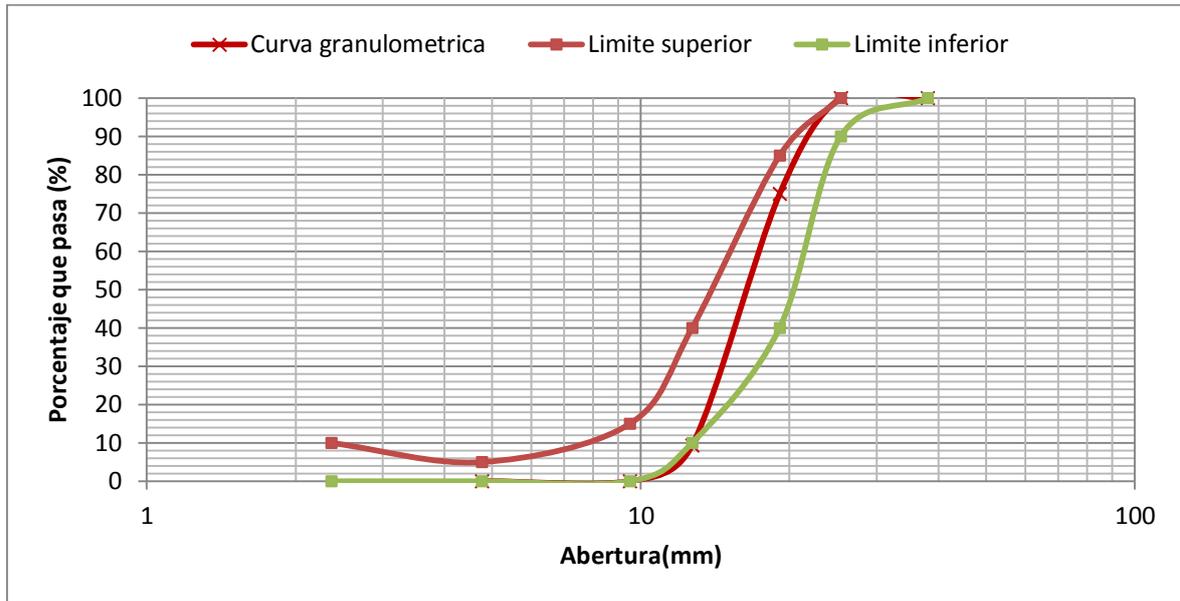


Tamizado en seco piedra 3/8"					
Tamiz (HUSO 08)	Diámetro(mm)	P. retenido (g)	P. retenido (%)	P.R. acumulado (%)	% Pasa
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	250.50	25.05	25.05	74.95
N°4	4.76	656.30	65.64	90.69	9.31
N°8	2.36	93.10	9.31	100.00	0.00
Plato	Menor a 0.08	0.00	0.00	100.00	0.00
Total		999.90	100.00		

Módulo de finura: 7.15

Tabla 61: Granulometría de la piedra-muestra 3

Fuente: Propia



Tamiz (HUSO 08)	Promedio (grs)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
1 1/2"	0	0	0
1"	0	0	0
3/4"	0	0	0
1/2"	0	0	0
3/8"	250.67	0.57	0.23
N°4	655.39	1.08	0.16
N°8	93.51	0.6	0.64

Tabla 62: Coeficiente de variación y desviación del análisis granulométrico de la piedra

Fuente: Propia

1.1.1.2 Contenido de humedad del agregado grueso y fino

Muestra	Código	Tara	Tara +	Tara +	Peso de la	Peso de la	Humedad (%)	Promedio humedad (%)
		(g)	muestra natural (g)	muestra seca (g)	muestra natural (g)	muestra seca (g)		
					(Ph)	(Ps)	W	
Arena gruesa	A1	56.72	138.04	137.54	81.32	80.82	0.62	0.6
	A2	56.72	138.05	137.56	81.33	80.84	0.61	
	A3	65.82	128.91	128.55	63.09	62.73	0.57	
Piedra	m1	155.01	541.48	539.96	386.47	384.95	0.4	0.4
	m2	165.3	549.53	548.06	384.23	382.76	0.4	
	m3	140.28	532.73	531.28	392.45	391	0.4	

Tabla 63: Contenido de humedad de arena gruesa y piedra

Fuente: Propia

Agregados	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
Arena	0.03	5
Piedra	0.01	2.63

Tabla 64: Desviación estándar y coeficiente de variación de arena, piedra

Fuente: Propia

1.1.1.3 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y agregado grueso

Muestra	Código	Peso unitario suelto-PUSS (kg/m ³)	Peso unitario compacto-PUCS (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)	
				PUSS	PUCS
Arena gruesa	P1	1500	1666	1519	1678
	P2	1573	1699		
	P3	1484	1668		
Piedra	M1	1543	1703	1548	1702
	M2	1552	1700		
	M3	1548	1702		

Tabla 65: Peso unitario suelto y compactado promedio de la arena gruesa-piedra

Fuente: Propia

1.1.1.4 Peso específico y absorción de la arena gruesa-piedra

Muestra	Código	Absorción (%)	Peso específico (gr/cm ³)
Arena gruesa	A1	1.66	2.45
	A2	1.43	2.49
	A3	1.42	2.55
Promedio		1.5	2.5
Piedra	B1	1.8	2.68
	B2	2.1	2.66
	B3	2.2	2.73
Promedio		2.03	2.69

Tabla 66: Peso específico y absorción promedio de arena gruesa-piedra

Fuente: Propia

1.1.6 Elaboración del diseño de mezcla según ACI-211

- Resumen de caracterización de agregados

Descripción	Arena gruesa	Piedra
Módulo de finura	2.4	*
Tamaño máximo	*	1/2"
Tamaño máximo nominal	*	3/8"
Humedad (%)	0.6	0.4
Absorción (%)	1.5	2.03
Peso específico (gr/cm ³)	2.5	2.69
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1519	1548
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1678	1702

Peso específico cemento tipo Ico (gr/cm ³)	2.92
---	------

Tabla 67: Resumen caracterización de agregados y cemento

Fuente: Propia

ANEXO n.º 3: Pasos para el diseño de mezcla

a) Pasos para el proporcionamiento

PASO 1: Selección del $f'c$

Se escoge una resistencia de 210 kg/cm^2 debido a que son los más utilizados en estructuras según la revista Arquys.com.

Según ACI – 211.

$f'c$	$f'cr$
Menos de 120	$f'c+70$
210 a 350	$f'c+84$
Sobre 350	$f'c+98$

Tabla 68: Resistencia a la compresión promedio

Fuente: Diseño de mezcla, Laura (2006)

$$210 \text{ kg/cm}^2 \leq f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cr = f'c + 84 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Por lo tanto:

$$f'cr = 210 \text{ kg/cm}^2 + 85 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

PASO 2: Selección del asentamiento

El asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla.

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (00mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
Fluida	Mayor o igual a 5" (125mm)

Tabla 69: Consistencia y asentamientos

Fuente: Diseño de mezcla, Laura (2006)

Se eligió un slump de consistencia plástica y asentamiento entre 3" a 4".

Paso 3: Selección de la relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'_{cr})(kg/cm ²)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.61	0.53
300	0.54	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	----
450	0.38	----

Tabla 70: Relación agua/cemento por resistencia

Fuente: Diseño de mezcla, Laura (2006)

$$\frac{R_a}{c} = 0.54 - \left(\frac{300 - 294}{300 - 250} \right) \times (0.54 - 0.61)$$

$$R_{a/c} = 0.55$$

Paso 4: Cantidad de volumen de agua

CANTIDAD APROXIMADA DE AGUA PARA AMASADO								
SLUMP	Tamaño Máximo de Agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto Sin Aire Incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concreto Con Aire Incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Tabla 71: Volumen de agua para mezcla.

Fuente: ACI 211.1.

$$\text{TMN} = 3/8''$$

$$\text{Asentamiento} = 3'' \text{ a } 4''$$

$$\text{Agua} = 228 \text{ lt}/\text{m}^3$$

Paso 5: Cantidad de cemento

$$R_{a/c} = 0.55$$

$$c = \frac{a}{r} = \frac{228}{0.55}$$

$$c = 414.55 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Paso 6: Volumen de aire atrapado

Concreto sin aire incorporado								
T. Máximo de A°G° (")	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4
Aire atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20

Tabla 72: Volumen de aire atrapado.

Fuente: ACI 211.1.

$$\text{TMN} = 3/8''$$

$$\text{Aire atrapado} = 3\%$$

$$V_{\text{aire}} = 0.03\text{m}^3$$

Paso 7: Cantidad del agregado grueso

Volumen de agregado grueso compactado				
Tamaño Máximo de Agregado	Módulo de Fineza de la Arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 "	0.75	0.73	0.71	0.69
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.82	0.79	0.78	0.75
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 73: Volumen de agregado grueso.

Fuente: ACI 211.1.

$$MF=2.40$$

$$TMN=3/8''$$

$$\text{Factor}=0.50$$

$$PUCS=1702 \text{ kg/m}^3$$

$$A.G= PUCS \times \text{FACTOR}$$

$$A.G=851 \text{ kg/m}^3$$

Paso 7: Cantidad del agregado fino

$$Vol_{AF} = 1 - \sum (V_{AG} + V_C + V_{agua} + V_{aire})$$

Volumen de agregados;

$$\text{Piedra}=851/2690=0.316 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua}=228/1000=0.228 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento}=414.55/2920=0.142 \text{ m}^3$$

$$\% \text{Aire Atrapado}=3/100=0.030 \text{ m}^3$$

$$Vol_{AF} = 1 - (0.316\text{m}^3 + 0.228\text{m}^3 + 0.142\text{m}^3 + 0.030\text{m}^3)$$

$$A.F = 0.284 \times 1000 \times 2.50$$

$$A.F = 710 \text{ kg/m}^3$$

Paso 8: Diseño no corregido

Elemento	Peso por m ³ (kg)
Agua	228
Cemento	414.55
Piedra	851
Arena	710
TOTAL	2203.55

Tabla 74: Diseño de mezcla no corregido.

Fuente: Propia

Paso 9: Corrección absorción y humedad

$$\text{Piedra humeda} = 851 \times 1.004 = 854.40 \text{ kg}$$

$$\text{Arena humeda} = 710 \times 1.006 = 714.26 \text{ kg}$$

Balance de agua en la piedra:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{Piedra húmeda}$$

$$\text{Adición de agua} = (2.03\% - 0.40\%) \times 851 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 1.63\% \times 851 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 13.87 \text{ kg}$$

Balance de agua en la arena:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Absorción} - \% \text{Humedad}) \times \text{Arena húmeda}$$

$$\text{Adición de agua} = (1.5\% - 0.6\%) \times 714.26 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 0.9\% \times 714.26 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = 6.43 \text{ kg}$$

Agua de mezcla corregida:

$$\text{Agua} = 228 \text{ kg} + 6.43 \text{ kg} + 13.87 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 248.30 \text{ kg}$$

Paso 10: Diseño de mezcla

Elemento	Peso por m ³ (kg)
Agua	248.30
Cemento	414.55
Piedra	854.40
Arena	714.26
TOTAL	2231.51

Tabla 75: Diseño de mezcla 210 kg/cm².

Fuente: Propia.

Anexo 4: Panel fotográfico del procedimiento experimental

Materia Prima



Figura 30: Cemento tipo Ico, Lab.de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 31: Piedra de 3/8", Lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 32: Arena gruesa, Lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 33: Pistones de carro fundidos reciclados, Lab. de ing. Mecánica UNT

Fuente: Propia

Obtención de polvo de aluminio



Figura 35: Torneado de pistones de aluminio, lab. de ing. Mecánica UNT

Fuente: Propia



Figura 34: Pistones después del torneado, lab. ing. mecánica UNT

Fuente: Propia



Figura 37: Tamizado del aluminio, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 36: Polvo de aluminio tamizado por la malla N#40

Fuente: Propia

Caracterización de la materia prima



Figura 39: Máquina para el tamizado de los agregados, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 38: Absorción y peso específico de la piedra, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 41: Arena para el contenido de humedad, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia

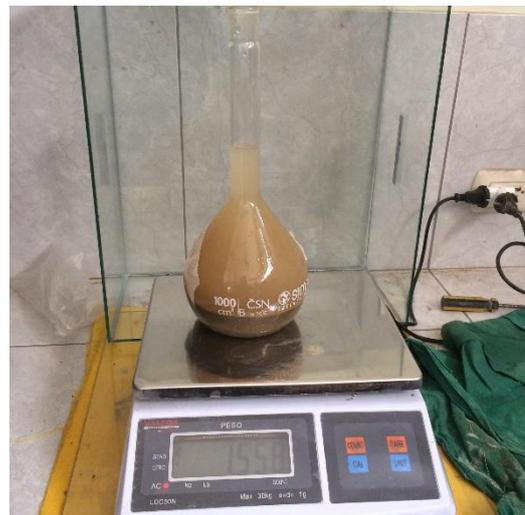


Figura 40: Peso específico de la arena, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 43: Recipientes con muestra para análisis químico

Fuente: Propia



Figura 42: Equipo conductímetro, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 44: Análisis químico del agua, piedra y arena

Fuente: Propia

Mezcla, conformación y codificación y curado:



Figura 45: Conformación de probetas de concreto, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 47: Codificación de probetas de concreto

Fuente: Propia



Figura 46: Poza de curado de probetas, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia

Ensayos en estado fresco y endurecido del concreto:



Figura 48: Asentamiento de mezcla de concreto

Fuente: Propia



Figura 50: Desmolde de probetas, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 49: Capeado de probetas, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 52: Ensayo de resistencia a la compresión, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 51: Reacción del aluminio en probetas de concreto, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 53: Ensayo de densidad para concreto, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia



Figura 54: Ensayo de absorción, lab. de concreto UNT

Fuente: Propia

Anexo 5: Ficha técnica de cementos Pacasmayo tipo Ico



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
Versión 01

CEMENTO EXTRAFORTE
Cemento Portland Compuesto Tipo ICo
Conforme a la NTP 334.090
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.4	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	4	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	5640	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.92	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	23.4 (239)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	29.6 (302)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm ²)	36.7 (374)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	134	Mínimo 45
Fraguado Final	min	290	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016



Ing. Ivanoff V. Rojas Tello

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

Anexo 6: Ficha técnica Superplastificante EUCO 37.



EUCO 37®

REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO - SUPERPLASTIFICANTE

DESCRIPCION

EUCO 37 es un aditivo reductor de agua de alto rango, súper plastificante y optimizador de mezclas de cemento (reducciones altas de cemento/m³).

APLICACIONES PRINCIPALES

Como Súper plastificante

Proporciona a la mezcla del concreto un incremento en el asentamiento (slump) sin necesidad de agregar más agua, facilitando la colocación del mismo haciéndolo apto para el bombeo.

Como Reductor de Agua de Alto Rango

Permite reducir hasta aproximadamente un 30% de agua logrando obtener un concreto con trabajabilidad, impermeabilidad y con altas resistencias en todas las edades (Resistencia a la compresión, flexión y tracción).

Como Ahorrador de Cemento

Al disminuir la cantidad de agua - Relación a/c se consigue un incremento en las resistencias. Al reducir cemento manteniendo la relación a/c inicial se consiguen iguales o superiores resistencias a las diseñadas según patrón reduciendo el costo por metro cúbico de concreto.

CARACTERISTICAS/BENEFICIOS

Como Súper plastificante

Proporciona manejabilidad para bombear las mezclas a largas distancias.

Se puede re dosificar hasta 3 veces el aditivo en la mezcla, sin exceder la dosis máxima. Estas dosificaciones se pueden añadir a pie de obra ante la pérdida de fluidez de la mezcla.

Adicionado en la planta, permite que el concreto sea transportado a largas distancias.

Por el alto asentamiento (slump) que proporciona al concreto permite una buena colocación del mismo evitando la formación de cangrejeras. Incrementa la cohesividad del concreto fluido así también disminuye la segregación.

Como Reductor de Agua de Alto Rango

Reduce la permeabilidad del concreto.

Incrementa la resistencia a la compresión.

Mejora el acabado del concreto (textura).

INFORMACION TECNICA

Apariencia	: Líquido
Color	: Marrón oscuro
Densidad	: 1.19 kg/l
Solubilidad	: Soluble en agua

DOSIFICACION

EUCO 37 se dosifica del 0.5 al 2.0% del peso del cemento, de acuerdo a las características deseadas.

Se recomienda realizar ensayos previos en la obra para determinar la dosificación adecuada, lo cual puede ser diferente a las dosificaciones recomendadas.

Los resultados varían debido a las diversas condiciones de cada obra y tipo de materiales empleados.

Cualquier consulta contacte al departamento de Construcción Química Suiza.

RESULTADOS TIPICOS DE INGENIERIA

Los siguientes resultados fueron obtenidos en condiciones de laboratorio.

The Euclid Chemical Company ISO 9001 - Certificado PE 09/00076

La mejor solución para Concretar sus Obras



Anexo 7: Ficha técnica de pistón de automóvil



Bulletin # PS-03-27-2
March 2017

New Product

2012-2017 Honda TRX500 Foreman 2 Valve 10:1 CR
Standard Compression Piston Kit




Features

- Dedicated forging
- Standard compression
- Superfinish piston pin
- Horizontal slot pin oiling
- Pressure seal groove
- ArmorGlide® skirt coating
- Dedicated rings
- Experience

Benefits

- Light weight and superior strength
- No tuning required
- Reduced friction, improved scuff resistant
- Improved lubrication and better pin oiling, reduced friction
- Maximum ring seal
- Reduced friction, quieter operation, improved scuff resistance
- Maximum compression and oil control
- 75 years as the industry leader in forged piston technology

Piston includes piston, rings, pin, and circlips. Retail pricing (USD): Kit: \$158.00

Model	Years	Compression Ratio	Stock Bore x Stroke	Coatings	Single Piston	Ring Set	Piston Pin	Circlip
TRX500 Foreman	2012-2017	10:1	92	ArmorGlide®	40174M09200	9200XX	S660	CW19
Pioneer 300	2013-2016		x 71.3		40174M09250	9250XX		

Anexo 8: Norma ASTM C143



Designation: C143/C143M – 10

Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C143/C143M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of slump of hydraulic-cement concrete, both in the laboratory and in the field.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

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

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.)*²

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:³

C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C138/C138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete

C172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete

C173/C173M Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method

C231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

3. Summary of Test Method

3.1 A sample of freshly mixed concrete is placed and compacted by rodding in a mold shaped as the frustum of a cone. The mold is raised, and the concrete allowed to subside. The vertical distance between the original and displaced position of the center of the top surface of the concrete is measured and reported as the slump of the concrete.

4. Significance and Use

4.1 This test method is intended to provide the user with a procedure to determine slump of plastic hydraulic-cement concretes.

NOTE 1—This test method was originally developed to provide a technique to monitor the consistency of unhardened concrete. Under laboratory conditions, with strict control of all concrete materials, the slump is generally found to increase proportionally with the water content of a given concrete mixture, and thus to be inversely related to concrete strength. Under field conditions, however, such a strength relationship is not clearly and consistently shown. Care should therefore be taken in relating slump results obtained under field conditions to strength.

4.2 This test method is considered applicable to plastic concrete having coarse aggregate up to 1½ in. [37.5 mm] in size. If the coarse aggregate is larger than 1½ in. [37.5 mm] in size, the test method is applicable when it is performed on the fraction of concrete passing a 1½-in. [37.5-mm] sieve, with the larger aggregate being removed in accordance with the section titled “Additional Procedure for Large Maximum Size Aggregate Concrete” in Practice C172.

4.3 This test method is not considered applicable to non-plastic and non-cohesive concrete.

NOTE 2—Concretes having slumps less than ½ in. [15 mm] may not be adequately plastic and concretes having slumps greater than about 9 in.

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

Copyright. (C) ASTM International, 100 Barr Harbour Dr. PO Box C-700, West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Nov 8 00:27:51 EST 2010 1

Downloaded/printed by

King Mongkut Univ of Tech N. Bangkok pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

Anexo 9: Norma ASTM C642



Designation: C 642 – 06

Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 642; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope*

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

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

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

2. Significance and Use

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

3. Apparatus

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

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

4. Test Specimen

4.1 Whenever possible, the sample shall consist of several individual portions of concrete, each to be tested separately. The individual portions may be pieces of cylinders, cores, or beams of any desired shape or size, except that the volume of each portion shall be not less than 350 cm³ (or for normal weight concrete, approximately 800 g); and each portion shall be free from observable cracks, fissures, or shattered edges.

5. Procedure

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

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

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

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

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

6. Calculation

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

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

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

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

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.69 on Miscellaneous Tests.

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

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

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

Anexo 10: Norma ASTM C39



Designation: C 39/C 39M – 05^{e2}

Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C 39/C 39M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

¹ NOTE—Note 1 was corrected editorially in September 2006.

² NOTE—Removed research report footnote from Section 10 editorially in October 2008.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of compressive strength of cylindrical concrete specimens such as molded cylinders and drilled cores. It is limited to concrete having a unit weight in excess of 50 lb/ft³ [800 kg/m³].

1.2 The values stated in either inch-pound or SI units are to be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Means should be provided to contain concrete fragments during sudden rupture of specimens. Tendency for sudden rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. The safety precautions given in the Manual of Aggregate and Concrete Testing are recommended.)*

1.4 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Nov. 1, 2005. Published November 2005. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2004 as C 39/C 39M – 04a.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C 42/C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

C 873 Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation

C 1231/C 1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines

Manual of Aggregate and Concrete Testing

3. Summary of Test Method

3.1 This test method consists of applying a compressive axial load to molded cylinders or cores at a rate which is within a prescribed range until failure occurs. The compressive strength of the specimen is calculated by dividing the maximum load attained during the test by the cross-sectional area of the specimen.

4. Significance and Use

4.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing

Anexo 11: Certificado de calibración de balanza de 15000 g.

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
		<small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masas</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 201 - 2017
		<small>Página 1 de 4</small>
1. Expediente	17086	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).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.	
3. Dirección	Av. Del Ejército Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD	Los resultados son validos 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.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	15000 g	
División de escala (d)	0,5 g	
Div. de verificación (e)	5,0 g	
Clase de exactitud	III	
Marca	OHAUS	
Modelo	R31P15	
Número de Serie	8336420544	
Capacidad mínima	10,0 g	
Procedencia	U.S.A.	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.
Identificación	1-020409 (*)	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2017-04-26	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2017-04-28		
<p><small>Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá 46 F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf.: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282 RPM: *649272 / 4071439282 / 4942615342</small></p> <p style="text-align: right;"><small>email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicar.com</small></p>		

Anexo 12: Certificado de calibración de balanza de 4100 g

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
		<small>Servicio de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Trujillo</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 203 - 2017
		<small>Página 1 de 4</small>
1. Expediente	17086	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).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
3. Dirección	Av. Del Ejército Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	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.
Capacidad Máxima	4100 g	
División de escala (d)	0,01 g	
Div. de verificación (e)	0,1 g	
Clase de exactitud	II	
Marca	OHAUS	
Modelo	PAJ4102	
Número de Serie	8332050515	
Capacidad mínima	0,50 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	1-011843 (*)	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.
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Fecha de Calibración	2017-04-26	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2017-04-28		
JUAN C. QUISPE MORALES		
<small>Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá 36 FT Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Tel: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282 RPM: 964077 / 4071439282 / 0942618542</small>		<small>email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com</small>