

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**VARIACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
UN CONCRETO F'C=210 KG/CM² AL REEMPLAZAR PARTE DEL AGREGADO
GRUESO POR ARCILLA EXPANDIDA EN DIFERENTES PORCENTAJES**

TESIS

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. CASTRO TORRES, Yohana Nair

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

2023

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a mis queridos padres: Meregildo y Elena, y a mis hermanos: Milser y Alfredo; por el apoyo incondicional que siempre me han brindado. Ser un soporte en los momentos difíciles, formarme con disciplina, buenos hábitos y sentimientos.

Agradecer de manera especial y sincera a mi asesor, el ing. Miguel Mosqueira Moreno, por la oportunidad de brindarme su apoyo, conocimiento y guiarme en todo este proceso, brindando todos los medios suficientes para facilitar el desarrollo de mi tesis.

Agradecer a mis amigos y compañeros por estar en todo este trayecto de mi carrera, por motivarme, apoyarme, por compartir tantas vivencias juntos, principalmente a Silvia y Ana Paula. A mis amigos Leidy, Luis, Brayan e Hilder por su ayuda incondicional. Mi completa admiración, respeto y agradecimiento a Dennis y Leiner por su paciencia, tiempo, colaboración de manera profesional y amical en todo este proceso y desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

A mis padres:

Meregildo y Elena: por su amor infinito, sus sacrificios y esfuerzo para lograr este objetivo. Su coraje, empeño, perseverancia, cariño y sus valores nunca me dejaron desfallecer; son mi fortaleza.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE	III
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Formulación del problema.....	14
1.3 Hipótesis general.....	14
1.3.1 Definición de variables.....	14
1.4 Justificación de la investigación.....	14
1.5 Alcances o delimitaciones de la investigación.....	15
1.6 Limitaciones.....	15
1.7 Objetivos.....	16
1.7.1 Objetivo general.....	16
1.7.2 Objetivos específicos.....	16
1.8 Descripción de los contenidos de los capítulos.....	16
MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes Teóricos.....	18
2.1.1 Antecedentes Internacionales:	18
2.1.2 Antecedentes nacionales:	19
2.1.3 Antecedentes locales:	19
2.2 Bases teóricas	20
2.2.1 Concreto.....	20
2.2.2 Propiedades del concreto fresco.....	20
2.2.3 Propiedades del concreto endurecido.....	21
2.2.4 Tipos de concreto.....	22
2.2.5 Cemento.....	22
2.2.6 Tipos de cemento.....	23
2.2.7 Agregados.....	23
2.2.8 Arcilla expandida.....	25
2.2.9 Agua	26

2.3 Definición de términos básicos	26
MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Ubicación Geográfica de la Investigación.....	28
3.2 Tipo, Nivel y Método de investigación	32
3.3 Población de estudio	32
3.4 Muestra.....	32
3.4 Unidad de Análisis.....	33
3.5 Procedimiento.....	33
3.5.1 Extracción y toma de muestras de agregado fino y agregado grueso en cantera “Chonta” (NTP 400.010)	34
3.5.2 Método de Cuarteo (NTP 400.043 / ASTM C 702)	35
3.5.3 Análisis Granulométrico de Agregado (ASTM C 136 / NTP 400.012 / AASHTO T- 27/ MTC E 202).	35
3.5.4 Material más fino que pasa el Tamiz de 75 μm (N° 200) (ASTM C -117/ NTP 400.018 / MTC E 202)	37
3.5.5 Cálculo del peso específico del agua y factor f en recipientes para Peso Unitario	38
3.5.6 Peso Unitario Suelto o compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -29 / MTC E 203).....	39
3.5.7 Peso específico y absorción (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.02 / NTP 400.021).....	40
3.5.8 Contenido de vacíos en los agregados ((NTP 400.017, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -29 / MTC E 203).....	43
3.5.9 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185	43
3.5.10 Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C131 / NTP 400.019 / MTC E 207).....	44
3.6 Diseño de mezclas para el concreto convencional $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	45
3.6.1 Procedimiento del Diseño de Mezcla:	45
3.7 Ajuste del Diseño de Mezclas para un concreto convencional $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	47
3.7.1 Procedimiento del ajuste de Diseño de Mezclas	47
3.8 Reemplazo del agregado grueso por Arcilla Expandida Argex al ajuste de Diseño de Mezclas para el concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	50
3.8.1 Procedimiento del Diseño de Mezcla $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con Arcilla Expandida Argex.....	50
3.9 Determinación del peso unitario de las probetas de concreto	51

3.9.1 Peso unitario de concreto Fresco.....	51
3.9.2 Peso unitario de concreto Endurecido.....	52
3.10 Determinación de la Resistencia a la compresión del concreto (NTP 339.034)...	52
3.11 Presentación de Resultados	53
3.12.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados de la cantera y arcilla expandida en estudio	53
3.12.2. Resultados de los diseños de mezcla.....	53
3.12.3. Resultados de las propiedades físico - mecánicas del concreto.....	54
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1. CONCLUSIONES.....	64
5.2. RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS	71
ANEXO I: RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA	71
ANEXO II: TABLAS ACI PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO	84
ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS.....	86
ANEXO IV: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	94
ANEXO V: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACAMASYO PORTLAD TIPO I.	108
ANEXO VI: FICHA TÉCNICA DE LA ARCILLA EXPANDIDA ARGEX.....	109
ANEXO VII: REGISTRO INDECOPI - LABORATORIO GUERSAN INGENIEROS... ..	110
ANEXO VIII: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PARA EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES.....	113
ANEXO IX: CONSTANCIA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.....	116
ANEXO X: PANEL FOTOGRÁFICO.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Consistencia y asentamiento.</i>	21
Tabla 2 <i>Tipos de concreto.</i>	22
Tabla 3 <i>Requerimientos de granulometría para agregado fino.</i>	24
Tabla 4 <i>Requerimientos de granulometría para agregado grueso.</i>	25
Tabla 5 <i>Propiedades de la arcilla expandida Argex 3-8.</i>	25
Tabla 6 <i>Coordenadas UTM del Laboratorio de Ensayos y Materiales de la Facultad de Ingeniería.</i>	28
Tabla 7 <i>Coordenadas UTM de Cantera Chonta.</i>	28
Tabla 8 <i>Muestreo de la Investigación: Cantidad de especímenes por diseño de mezcla.</i>	33
Tabla 9 <i>Medida de las muestras requeridas para realizar los ensayos en laboratorio.</i>	35
Tabla 10 <i>Tamaño de muestra de agregado para análisis granulométrico.</i>	36
Tabla 11 <i>Cantidad mínima de muestra para material más fino menores al tamiz N°200.</i>	37
Tabla 12 <i>Cantidad mínima de muestra de agregado grueso para ensayo de peso específico y absorción.</i>	40
Tabla 13 <i>Tamaño de muestra de agregado para contenido de humedad.</i>	43
Tabla 14 <i>Masa de la carga dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo</i>	44
Tabla 15 <i>Resumen de las propiedades de los agregados</i>	53
Tabla 16 <i>Pesos de los materiales corregidos por humedad.</i>	54
Tabla 17 <i>Proporción en volumen de los diferentes diseños de mezcla.</i>	54
Tabla 18 <i>Asentamiento del concreto (Slump), para cada dosificación.</i>	55
Tabla 19 <i>Resultados del peso unitario del concreto fresco.</i>	55
Tabla 20 <i>Resultados del peso unitario del concreto endurecido.</i>	56
Tabla 21 <i>Resultado de la resistencia a compresión uniaxial.</i>	58
Tabla 22 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M1.</i>	71
Tabla 23 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M2.</i>	72
Tabla 24 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M3.</i>	73
Tabla 25 <i>Análisis granulométrico del agregado fino muestra M1.</i>	74

Tabla 26 <i>Análisis granulométrico del agregado fino muestra M2.</i>	75
Tabla 27 <i>Análisis granulométrico del agregado fino muestra M3.</i>	76
Tabla 28 <i>Partículas menores que el tamiz N°200 para el agregado fino.</i>	77
Tabla 29 <i>Partículas menores que el tamiz N°200 para el agregado fino.</i>	78
Tabla 30 <i>Peso específico del agua.</i>	78
Tabla 31 <i>Factor f de molde.</i>	78
Tabla 32 <i>Peso Unitario suelto del agregado grueso.</i>	79
Tabla 33 <i>Peso Unitario compactado del agregado grueso.</i>	79
Tabla 34 <i>Peso específico del agua.</i>	79
Tabla 35 <i>Factor f del molde.</i>	80
Tabla 36 <i>Peso Unitario suelto del agregado fino.</i>	80
Tabla 37 <i>Peso Unitario compactado del agregado fino.</i>	80
Tabla 38 <i>Peso específico del agregado grueso.</i>	81
Tabla 39 <i>Absorción del agregado grueso.</i>	81
Tabla 40 <i>Peso específico del agregado fino.</i>	82
Tabla 41 <i>Absorción del agregado fino.</i>	82
Tabla 42 <i>Contenido de humedad del agregado grueso.</i>	82
Tabla 43 <i>Contenido de humedad del agregado fino.</i>	83
Tabla 44 <i>Abrasión (%) Desgaste promedio del agregado grueso.</i>	83
Tabla 45 <i>Peso unitario suelto de la arcilla expandida Argex.</i>	83
Tabla 46 <i>Volumen unitario de agua.</i>	84
Tabla 47 <i>Contenido de aire.</i>	84
Tabla 48 <i>Relación agua-cemento (a/c) por resistencia.</i>	85
Tabla 49 <i>Módulo de fineza de la combinación de agregados.</i>	85
Tabla 50 <i>Diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210$ Kg/cm².</i>	86
Tabla 51 <i>Ajuste de diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210$ Kg/cm².</i>	88
Tabla 52 <i>Diseño de mezcla con 7.5% de arcilla expandida Argex ($f'c=210$ Kg/cm²).</i>	90
Tabla 53 <i>Diseño de mezcla con 12.5% de arcilla expandida Argex ($f'c=210$ Kg/cm²).</i>	91

Tabla 54 <i>Diseño de mezcla con 22.5% de arcilla expandida Argex ($f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$).</i>	92
Tabla 55 <i>Cálculo del peso específico del agua.</i>	94
Tabla 56 <i>Cálculo del factor F del molde para peso unitario del concreto fresco.</i>	94
Tabla 57 <i>Peso Unitario del concreto fresco.</i>	94
Tabla 58 <i>Peso unitario del concreto endurecido.</i>	95
Tabla 59 <i>Resistencia a Compresión de la muestra patrón a los 7 días.</i>	96
Tabla 60 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 7.5% de arcilla expandida Argex a los 7 días.</i>	97
Tabla 61 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 12.5% de arcilla expandida Argex a los 7 días.</i>	98
Tabla 62 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 22.5% de arcilla expandida Argex a los 7 días.</i>	99
Tabla 63 <i>Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 14 días.</i>	100
Tabla 64 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 7.5% de arcilla expandida Argex a los 14 días.</i>	101
Tabla 65 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 12.5% de arcilla expandida Argex a los 14 días.</i>	102
Tabla 66 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 22.5% de arcilla expandida Argex a los 14 días.</i>	103
Tabla 67 <i>Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 28 días.</i>	104
Tabla 68 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 7.5% de arcilla expandida Argex a los 28 días.</i>	105
Tabla 69 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 12.5% de arcilla expandida Argex a los 28 días.</i>	106
Tabla 70 <i>Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 22.5% de arcilla expandida Argex a los 28 días.</i>	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Macrolocalización geográfica del Laboratorio de Ensayos de Materiales y la Cantera Chonta.</i>	29
Figura 2 <i>Microlocalización geográfica de la Cantera Chonta.</i>	30
Figura 3 <i>Microlocalización geográfica del Laboratorio de Ensayos de Materiales.</i>	31
Figura 4 <i>Relación del peso unitario del concreto fresco respecto al porcentaje de reemplazo por arcilla expandida.</i>	55
Figura 5 <i>Peso unitario del concreto endurecido respecto al porcentaje de reemplazo por arcilla expandida para la edad de 7, 14 y 28 días.</i>	56
Figura 6 <i>Relación del peso unitario del concreto endurecido a los 28 días respecto al porcentaje de reemplazo por arcilla expandida.</i>	57
Figura 7 <i>Peso unitario del concreto fresco y peso unitario promedio del concreto endurecido a los 28 días de los diferentes diseños de mezcla.</i>	57
Figura 8 <i>Resistencia a compresión uniaxial de los especímenes de concreto.</i>	58
Figura 9 <i>Relación de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días respecto al porcentaje de arcilla expandida Argex.</i>	59
Figura 10 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M1.</i>	72
Figura 11 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M2.</i>	73
Figura 12 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M3.</i>	74
Figura 13 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M1.</i>	75
Figura 14 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M2.</i>	76
Figura 15 <i>Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M3.</i>	77
Figura 16 <i>Ensayo de peso unitario suelto de agregado fino.</i>	117
Figura 17 <i>Ensayo de peso unitario compactado de agregado fino.</i>	117
Figura 18 <i>Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.</i>	118
Figura 19 <i>Ensayo de resistencia a la degradación del agregado grueso.</i>	118
Figura 20 <i>Ensayo de resistencia a la degradación del agregado grueso.</i>	119
Figura 21 <i>Elaboración de especímenes de concreto y medición del asentamiento.</i>	119

Figura 22 <i>Especímenes elaborados con las diferentes dosificaciones de arcilla expandida.</i>	120
Figura 23 <i>Desmolde de especímenes de concreto.....</i>	120
Figura 24 <i>Curado de especímenes de concreto.</i>	121
Figura 25 <i>Medición de diámetro de cada espécimen.</i>	121
Figura 26 <i>Medición de altura de cada espécimen.</i>	122
Figura 27 <i>Ensayo a compresión uniaxial de especímenes a los 14 días.....</i>	122
Figura 28 <i>Distribución de los agregados en un espécimen ensayado.....</i>	123
Figura 29 <i>Falla tipo 3 de espécimen con reemplazo de agregado grueso por 12.5% de arcilla expandida a los 7 días.....</i>	123
Figura 30 <i>Falla tipo 6 de espécimen con reemplazo de agregado grueso por 7.5% de arcilla expandida a los 14 días.</i>	124
Figura 31 <i>Ensayo a compresión uniaxial a los 28 días.....</i>	124

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión y el peso volumétrico de un concreto $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ al reemplazar el agregado grueso por 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de arcilla expandida Argex. Para lo cual se elaboraron un total de 72 especímenes, 6 por cada porcentaje de reemplazo y para los 7, 14 y 28 días. En lo referente al peso unitario del concreto no se validó la hipótesis, pues la variación es menor del 5 %, respecto al concreto patrón. Por otro lado, la resistencia a la compresión presentó una variación mayor al 5 %. El peso unitario del concreto fresco patrón es 2326.42 kg/m^3 , y para el concreto con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida se obtuvo 2277.97 kg/m^3 , 2237.56 kg/m^3 , 2200.43 kg/m^3 ; variando manera positiva, pues disminuye el peso al aumentar el porcentaje de reemplazo respecto al concreto patrón en 1.75%, 3.20% y 4.54 %. El peso unitario del concreto endurecido patrón a los 28 días es 2347.13 kg/m^3 , y para el concreto con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida se obtuvo 2279.29 kg/m^3 , 2255.42 kg/m^3 , 2231.98 kg/m^3 ; variando de manera positiva respecto al concreto patrón en 2.89 %, 3.91 % y 4.91 %. La resistencia a compresión promedio obtenida a los 28 días del concreto patrón es 247.30 kg/cm^2 y para el concreto con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida se obtuvo 230.82 Kg/cm^2 , 216.78 Kg/cm^2 y 211.79 Kg/cm^2 ; variando de manera negativa, pues disminuye la resistencia al aumentar el porcentaje de reemplazo, respecto al concreto patrón en 6.66 %, 12.34 % y 14.36 %.

PALABRAS CLAVE: Concreto, arcilla expandida, resistencia a la compresión, peso unitario.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the variation of the compressive strength and volumetric weight of a concrete $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ when replacing the coarse aggregate with 7.5%, 12.5% and 22.5% of Argex expanded clay. For which a total of 72 specimens were made, 6 for each replacement percentage and for 7, 14 and 28 days. Regarding the unit weight of the concrete, the hypothesis was not validated, since the variation is less than 5%, compared to the standard concrete. On the other hand, the compressive strength presented a variation greater than 5%. The unit weight of the fresh standard concrete is 2326.42 kg/m^3 , and for the concrete with replacement of coarse aggregate by expanded clay, 2277.97 kg/m^3 , 2237.56 kg/m^3 , 2200.43 kg/m^3 were obtained; varying positively since the weight decreases by increasing the replacement percentage, with respect to the standard concrete by 1.75%, 3.20% and 4.54%. The unit weight of the standard hardened concrete at 28 days is 2347.13 kg/m^3 , and for the concrete with replacement of coarse aggregate by expanded clay, 2279.29 kg/m^3 , 2255.42 kg/m^3 , 2231.98 kg/m^3 were obtained; varying positively, with respect to the standard concrete in 2.89%, 3.91% and 4.91%. The average compressive strength obtained after 28 days of the pattern concrete is 247.30 kg/cm^2 and for the concrete with replacement of coarse aggregate by expanded clay, 230.82 Kg/cm^2 , 216.78 Kg/cm^2 and 211.79 Kg/cm^2 were obtained; varying negatively since the resistance decreases as the replacement percentage increases, with respect to the standard concrete by 6.66%, 12.34% and 14.36%.

KEY WORDS: *Concrete, expanded clay, compressive strength, unit weight.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El concreto es un aglutinante que tiene una amplia gama de aplicaciones, es decir, es una mezcla con diferentes materiales, principalmente cemento, agua, agregado fino y grueso (Concreto sólido de México, 2020). Los proyectos en desarrollo buscan utilizar concretos de menor peso y mayor resistencia, para esto la ingeniería ha buscado sustituir los agregados naturales por agregados artificiales.

Uno de los agregados usados en las últimas décadas son la arcilla expandida, sin embargo, no se ha realizado estudios de cómo el uso de este agregado artificial en reemplazo del agregado natural podría modificar su resistencia y peso volumétrico, pues recordemos que el agregado forma parte del concreto en un 60 % a 75 % respecto a una unidad cúbica de mezcla, de ahí que sus propiedades físicas, químicas y térmicas contribuyan significativamente a la resistencia y peso volumétrico, ya sea en estado fresco o endurecido (Rivva, 2014, p. 68). Debido a esta influencia, el uso de los agregados naturales en obra se limita, en primer lugar, a su calidad, denotada por el cumplimiento de los requisitos expuestos en las normas ASTM y NTP correspondientes, pero también por condiciones de operatividad de la fuente, como el rendimiento de la cantera y su accesibilidad, los periodos de explotación, el volumen de producción de agregados y los costos de transporte. Estas restricciones conllevan al estudio de materiales que puedan sustituir, parcial o totalmente, a los agregados naturales, buscando mantener o mejorar las propiedades del concreto (Guerrero, 2020).

Los agregados artificiales, al tener su origen en procesos industriales, poseen propiedades significativamente homogéneas y que se ajustan a los requerimientos de calidad. La arcilla expandida, por su baja densidad, permite conseguir buenos resultados para obtener un concreto con un bajo peso volumétrico, además de poseer un aislamiento térmico y acústico representativo, tiene una alta resistencia superficial y notable rigidez (Baquero et al., 2019), añadiendo nuevas e innovadoras funciones al concreto.

Es por ello que, mediante la experimentación, se reemplazó el agregado grueso natural por arcilla expandida Argex, de uso regular en la Ciudad de Cajamarca, evaluando la variación de la resistencia a la compresión y del peso volumétrico del concreto, ya que estas características dependen de las propiedades de los materiales usados en la mezcla.

1.2 Formulación del problema

¿En cuánto varía el peso volumétrico y la resistencia a compresión de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes?

1.3 Hipótesis general

El peso volumétrico y la resistencia a compresión de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ varía en más de un 5 % al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida Argex en diferentes porcentajes respecto al concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con agregado de río.

1.3.1 Definición de variables

1.3.1.1 Variable independiente

- Porcentaje de reemplazo de parte del agregado grueso por arcilla expandida Argex.

1.3.1.2 Variables dependientes

- Variación del peso volumétrico del concreto.
- Variación de la resistencia a la compresión del concreto.

1.4 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica porque aporta nuevos conocimientos respecto a la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida Argex en diferentes porcentajes.

Además, se obtuvo un concreto con peso volumétrico menor al convencional, haciendo posible que las cargas muertas de las estructuras se reduzcan, cumpliendo con la resistencia de diseño y los parámetros requeridos según norma.

La investigación buscó ser innovadora, contribuir con información para optimizar las construcciones futuras, al reducir el peso del concreto y manteniendo su resistencia mayor a la mínima establecida por la NTE 060 2009, gracias a que la arcilla expandida Argex presenta propiedades de aislamiento térmico y acústico.

1.5 Alcances o delimitaciones de la investigación

Esta investigación buscó determinar la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida Argex en diferentes porcentajes (7.5%, 12.5% y 22.5%).

Delimitaciones

Para la investigación se utilizó agregado de la Cantera Chonta, Cemento Pacasmayo Tipo I (ASTM C 150) y arcilla expandida Argex. Los porcentajes de reemplazo del agregado grueso por arcilla expandida Argex se consideraron por criterio personal, debido a los antecedentes encontrados, donde los porcentajes de arcilla expandida menor a 7 % no generan efectos de variación en el peso volumétrico y mayores a 25%; no cumple con la resistencia a la compresión de diseño, disminuyendo notablemente.

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en la Máquina Universal de compresión, en cilindros (probetas) de 6 x 12 pulgadas a la edad de 7, 14 y 28 días.

Esta investigación está dirigida a estudiantes, docentes, técnicos, profesionales de ingeniería, así como a entidades públicas y privadas asociadas al área de estructuras.

1.6 Limitaciones

La principal limitación de la investigación es que no se realizará ensayos de resistencia a la flexión, corte, tensión y durabilidad. Los resultados son válidos solo para agregados de la Cantera "Chonta", Cemento Portland Tipo I y arcilla expandida Argex.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión de un concreto $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida Argex en diferentes porcentajes.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación del peso volumétrico de un concreto $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ al reemplazar parte del agregado grueso por 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de arcilla expandida Argex, respecto a un concreto patrón en estado fresco y endurecido.
- Determinar la variación de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, de un concreto $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$ al reemplazar el 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % del agregado grueso por arcilla expandida Argex, respecto a un concreto patrón.

1.8 Descripción de los contenidos de los capítulos

- Primer capítulo, "*Introducción*", contempla el planteamiento y la formulación del problema, los alcances y las limitaciones de la investigación, así como sus objetivos.
- Segundo capítulo, "*Marco Teórico*", cita los antecedentes internacionales, nacionales y locales, así como las bases teóricas y definición de términos básicos.
- Tercer capítulo, "*Materiales y Métodos*", se describe el procedimiento y los resultados de los ensayos realizados para determinar la resistencia a la compresión y el peso volumétrico del concreto con arcilla expandida Argex.
- Cuarto capítulo, "*Análisis y discusión de los resultados*", se analiza y compara todos los resultados de las propiedades físico-mecánicas de los agregados hechos en laboratorio.
- Quinto capítulo, "*Conclusiones y recomendaciones*".
- Referencias bibliográficas.

- Anexos, se adjunta Resultados de ensayos en laboratorio, Diseño de mezcla, Especificaciones técnicas del cemento y arcilla expandida, Registro Indecopi del Laboratorio Guersan Ingenieros y certificados de calibración de la máquina de los ángeles para la abrasión, Constancia del Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca y Panel fotográfico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

2.1.1 Antecedentes Internacionales:

Baquero et. al. (2019), en su artículo de investigación “Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros” de la Universidad del Norte de Colombia, realizaron pruebas para reemplazar el total de los agregados convencionales en concretos, utilizando arcilla expandida y piedra pómez. Elaboraron especímenes cilíndricos donde obtuvieron densidades entre 1300 a 1500 kg/cm³, logrando una reducción del 37 % en la densidad respecto al concreto convencional y resistencias a la compresión entre 13 y 18 MPa, presentando una reducción de 15 % respecto a la resistencia del concreto convencional con una resistencia de 21 MPa. Por lo tanto, el uso de la arcilla expandida y la piedra pómez juntas sí cumplen los requisitos para ser un concreto ligero, pero por si solas no cumplen, por lo que se debe implementar aditivos que mejoren las propiedades o se deba considerar un reemplazo parcial.

Kanagaraj et. al. (2023), en su artículo “Physical characteristics and mechanical properties of a sustainable lightweight geopolymer based self-compacting concrete with expanded clay aggregates”, evaluaron la variación de la densidad del concreto con reemplazo del agregado natural por arcilla expandida en diferentes porcentajes, obteniendo que para el diseño de mezcla con 0 % de agregado con arcilla expandida (ECA) posee una densidad entre 2365 kg/m³ y 2390 kg/m³, para un 25 % de ECA el rango está entre 2135 kg/m³ y 2220 kg/m³, para un 50 % de ECA el rango está entre 1980 kg/m³ y 2050 kg/m³, para un 75 % de ECA el rango está entre 1630 kg/m³ y 1760 kg/m³ y para una sustitución al 100 % del agregado natural (EC) por ECA el rango se encuentra entre 1075 kg/m³ y 1190 kg/m³. Por lo tanto, para los diseños de mezcla con 75 % y 100 % de ECA se encontró una disminución de la densidad del 52 % al 54 % respecto al 100 % de la mezcla con agregado natural, considerándose concretos livianos.

2.1.2 Antecedentes nacionales:

Vera & Quispe (2018), en su tesis “Evaluación del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano”, de la Universidad San Martín de Porres, evaluaron las propiedades del concreto (peso unitario, resistencia a la compresión y flexión), reemplazando el agregado grueso en su totalidad por arcilla expandida y poder clasificarse como un concreto estructural liviano. Llegando a la conclusión de que el concreto donde el agregado grueso fue reemplazado por arcilla tiene un peso unitario menor a 1850.00 kg/m³, una resistencia a la compresión mayor a 17.00 MPa y una resistencia a la flexión mayor a los 2.42 MPa, por lo tanto, sí se puede utilizar como concreto estructural liviano.

Obregon & Osorio (2022), en su tesis “Influencia de arcilla expandida en diseño de mezcla de concreto liviano alto rendimiento en distrito de Lircay Angaraes-Huancavelica”, de la Universidad Nacional de Huancavelica, realizaron un análisis comparativo entre el concreto convencional y el concreto liviano de alto rendimiento en las resistencias requeridas de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $=280 \text{ kg/cm}^2$, incorporando arcilla expandida en porcentajes de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % en el diseño de mezcla. Sin embargo, presentó una resistencia a los 28 días de edad, 107.89 %, 100.34 %, 96.97 % y 88.44 %, respectivamente, al porcentaje de arcilla expandida añadida al diseño de mezcla, menor a la del concreto patrón con una resistencia del 112.45 %. Así mismo, el asentamiento varió de 6 a 2.5 cm. a medida que se aumenta la arcilla expandida, generando un alto rendimiento en la trabajabilidad y homogeneidad de la mezcla. Es decir, cuando se incorpora un porcentaje mayor a 15 % de arcilla expandida en el diseño mezcla, la resistencia a la compresión obtenida no cumple con la resistencia de diseño.

2.1.3 Antecedentes locales:

Vásquez (2022), en su tesis de postgrado “Influencia sobre la resistencia a compresión de un concreto ligero estructural, al reemplazar un porcentaje de traquita; saturada y seca por el agregado grueso”, de la Universidad Nacional de Cajamarca, buscó determinar la influencia sobre la resistencia a compresión a los 28 días de un concreto ligero estructural elaborado

con arcilla expandida, al reemplazar el agregado grueso por 3 % y 5 % de traquita, saturada y seca, comparando un concreto patrón que contiene 20 % de arcilla expandida como parte del cemento y los cuatro tratamientos que contienen arcilla expandida y un porcentaje de reemplazo de agregado grueso por traquita. Llegando a la conclusión de que la resistencia a compresión para un reemplazo de agregado grueso por 3 % de traquita satura (TS) con arcilla expandida (AE), 5 % de TS con AE, 3 % de traquita seca (TSC) con AE y 5 % de TSC con AE, aumentan en 1.3 %, 6.5 %, 2.6 % y 6.2 % respecto al concreto patrón con una resistencia promedio obtenida de 226.25 kg/cm^2 , por otro lado, el peso volumétrico para un reemplazo de agregado grueso por 3 % de TS con AE y el 5 % de TS con AE influye positivamente, aumentando en 1.48 % y 1.79 % respecto al concreto patrón con un peso volumétrico promedio de 1830.37 kg/m^3 , y los tratamientos con 3 % de TSC y 5 % de TSC disminuyen en 0.36 % y 0.48 % respecto al concreto patrón, influyendo de manera negativa.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Concreto

Material endurecido originado por la mezcla de agregado fino y grueso, de tamaño de partícula nominal, cemento y agua en cantidad proporcional, estando la dosificación sujeta a las características de obra (Medina, 2016).

El concreto se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y su dosificación en cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, una masa volumétrica con el grado requerido de trabajabilidad, que al endurecer en el transcurso del tiempo adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas (Concreto sólido de México, 2020).

2.2.2 Propiedades del concreto fresco

Consistencia y asentamiento. La consistencia es parte de la trabajabilidad de la mezcla, la capacidad de moldearse, dependiendo de la dosificación obtenida de agua, cemento y de la forma y tamaño de los agregados (Medina, 2016).

Se hace la prueba de asentamiento (NTP 339.035, 2015) a través de un instrumento metálico llamado Cono de Abrams (ASTM C143) para evaluar y controlar la consistencia; por lo tanto, se recomienda que el concreto debe estar en un estado plástico y tener una buena relación agua-cemento (a/c) (Montoya, 2017).

Tabla 1

Consistencia y asentamiento.

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0 cm) a 2" (5 cm)
Plástica	3" (7.5 cm) a 4" (10 cm)
Fluida	≥ 5" (12.5 cm)

Nota: Adaptado de Medina, 2016.

Trabajabilidad. La viabilidad del transporte, manipulación del concreto fresco manteniendo una mezcla homogénea y uniforme para una fácil colocación, consolidación y acabado son propiedades que se relacionadas con la trabajabilidad, incluyendo la consistencia, segregación, exudación (Freites, 2013).

Peso unitario del concreto. La ASTM C138 (2014) menciona que es la masa por unidad de volumen. El peso unitario del concreto es un factor determinante de la resistencia que debe de ser considerado, tanto en estado fresco con en endurecido.

2.2.3 Propiedades del concreto endurecido

Resistencia a la compresión. Esta propiedad de los materiales se puede delimitar como su destreza para repeler esfuerzos sin fallar; es decir, el nivel de esfuerzo necesario para causar la fractura, lo que hace deficiente al material para tolerar una carga mayor (Cemex, 2022).

Mendoza et al. (2019) mencionan que el estudio de resistencia a la compresión uniaxial de moldes cilíndricos estandarizados forzado a cambios en el volumen a causa de fuerzas que la inducen a deformarse sirve para encontrar rangos de límites permisibles antes de que ocurra la fractura.

La capacidad de esfuerzo a la compresión uniaxial es la mejor de las características del concreto y su característica mecánica más importante (Moreno et. al., 2016).

2.2.4 Tipos de concreto

Tabla 2

Tipos de concreto

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Concreto Simple	Cemento + A. fino + A. Grueso + Agua.
Concreto Armado	Concreto Simple + Armadura.
Concreto Estructural	Tiene especificaciones precisas, resistencia mínima pre- establecida en diseño y durabilidad adecuada.
Concreto Liviano	Son preparados con agregados livianos y su peso unitario varía desde 400 kg/m ³ a 1700 Kg/m ³ .
Concreto Normal	Su peso unitario varía desde 2300 kg/m ³ a 2500 Kg/m ³ , según su tamaño máximo del agregado. El peso promedio es de 2400 Kg/m ³ .
Concreto Pesados	Son preparados con agregados pesados y su peso unitario varía desde 2800 kg/m ³ a 6000 Kg/m ³ .
Concreto bombeado	Impulsado por bombeo a través de tuberías hacia su ubicación final.

Fuente: (Abanto, 2018)

2.2.5 Cemento

Es un conglomerado hidráulico de estado pulverulento, compuesto por la mezcla homogénea de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro que, en reacción con agua y después de un proceso de fraguado, conducen a la formación de un material que en estado endurecido brinda estabilidad y durabilidad, además de tener propiedades ligantes, con adecuada resistencia y rigidez (Instituto del Cemento Portland Argentino [ICPA], 2021, p, 1).

El cemento tiene propiedades hidráulicas, por ejemplo, el cemento hidratado se endurece aún bajo el agua; además, es estético porque tiene un comportamiento plástico y puede ser moldeable; finalmente tiene durabilidad gracias a las buenas prácticas de diseño

de mezcla de concreto soporta cambios climáticos extremos y agresión de agentes químicos y excelente aislamiento acústico (Cemex, 2022).

2.2.6 Tipos de cemento

Según la norma ASTM C 150-99a existe 5 tipos de cemento:

Tipo I, de uso general y sin propiedades especiales.

Tipo II, de moderado calor de hidratación y alguna resistencia al ataque de sulfatos.

Tipo III, de resistencia temprana y elevado calor de hidratación.

Tipo IV, de bajo calor de hidratación.

Tipo V, de alta resistencia al ataque de sulfatos.

2.2.7 Agregados

El agregado compone el 70 % del material en un metro cúbico de concreto, son obtenidos de arenas naturales y depósitos de gravas. Su tamaño, forma y textura son factores que tienen un efecto en el comportamiento del concreto (ICPA, 2021).

Agregado fino, no debe tener más del 5 % de arcilla o limos y menos del 1.5 % de materia orgánica y estar libre de impurezas (Harmsen, 2015).

La gradación debe cumplir los requisitos estipulados en la norma ASTM C-33-99/NTP 400.037, las cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Requerimientos de granulometría para agregado fino.

Tamiz estándar	% en peso del material que pasa el tamiz
3/8" (9.5 mm)	100
N° 4 (4.75 mm)	95 a 100
N° 8 (2.36 mm)	80 a 100
N° 16 (1.18 mm)	50 a 85
N° 30 (600 µm)	25 a 60
N° 50 (300 µm)	5 a 30
N° 100 (150 µm)	0 a 10
N° 200 (75 µm)	0 a 3.0 ^{A,B}

Fuente: Adaptado de Norma Técnica Peruana: NTP 400.037, p,13.

^A Para concreto no sujeto a la abrasión el límite para el material más fino que es el tamiz 75 µm (No. 200) debe ser máximo 5 %.

^B Para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material es más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos, este límite debe ser 5 % para concreto sujeto a abrasión y máximo 7 % para concreto no sujeto a abrasión.

Agregado grueso, pueden ser piedras con perfil redondeado, angular o semiangular y consistir en piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado o una combinación de ellos (Guillen y Llerena, 2020).

El agregado debe ser limpio, esto es, libre de materia orgánica y otras sustancias dañinas, duras, compactas, resistentes y textura rugosa (Norma Técnica de Edificaciones E. 060 [NTE], 2009).

La gradación debe cumplir los requisitos estipulados en la norma ASTM C-33/NTP 400.037, para el Huso N° 67 y TMN 3/4" a N°4, las cuales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Requerimientos de granulometría para agregado grueso.

Tamiz estándar	% en peso del material que pasa el tamiz
1 1/2" (37.5 mm)	-
1" (25.0 mm)	100
3/4" (19.0 mm)	90 a 100
1/2" (12.5 mm)	-
3/8" (9.5 mm)	20 a 55
N° 4 (4.75 mm)	0 a 10
N° 8 (2.36 mm)	0 a 5

Fuente: Adaptado de Norma Técnica Peruana (NTP 400.037, p,13).

2.2.8 Arcilla expandida

Es una arcilla con forma redondeada, natural, no inflamable, incombustible e inalterable en el transcurso del tiempo. Está compuesta por espuma cerámica de microporos internos que permite una buena absorción de agua. Tiene un peso ligero, baja densidad, conectividad eléctrica y un pH neutro. Se caracteriza principalmente por su alta resistencia superficial y rígida (Argex, 2015). Las características se muestran en la tabla 5:

Tabla 5

Propiedades de la arcilla expandida Argex 3-8.

Características	Valor Declarado	Unidad
Granulometría real	8.0 – 12.5	mm
Densidad aparente seca	287	(± 15%) kg/m ³
Partículas machacadas	7	(% masa)
Resistencia a compresión (± 10%)	1.8	MPa
Conductividad térmica	0.11	(W/m.°C)
Absorción de agua	22.7	(% masa seca)
Resistencia al fuego	Incombustible euro Clase A1	-

Fuente: Adaptado de Ficha Técnica Arcilla Expandida Argex.

La arcilla expandida es un material considerado en el grupo de cerámicos, en su elaboración se utilizan arcillas puras seleccionadas, las cuales se ingresan en estado húmedo a hornos rotatorios a temperaturas de 1200 °C hasta que el agua interna se evapore, este procedimiento genera una arcilla de baja densidad y elevada resistencia superficial. (AEFA, 2022).

La arcilla se considera un agregado ligero, con una estructura microporosa de celdas cerradas, dentro de una superficie clinkerizada que optimiza la relación peso – resistencia, generando un aislamiento térmico y resistencia al fuego (Laterlite, 2023).

Es un material estable, duradero, no contiene materia orgánica, es natural y ecológico. Además, sirve como aislante acústico y tiene una resistencia a la compresión a los 28 días hasta de 35 MPa. (Laterlite, 2023).

En la actualidad, la arcilla expandida es utilizada para cubiertas planas e inclinadas, áticos, aislamiento y ligereza en recrecidos de forjado, rehabilitaciones, concreto ligero y ligero estructural, aislamiento sobre el terreno, principalmente en pavimentos, relleno de jardines y aplicaciones geotécnicas (Laterlite, 2023).

2.2.9 Agua

El agua forma parte de los materiales para la formación del concreto, cumple la función de hidratante de las partículas del cemento para que desarrollen sus propiedades aglutinantes, formando la pasta; esta puede ser más o menos fluida, según la cantidad de agua que se agregue. Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua permanece en la estructura rígida de la pasta (agua de hidratación), y el resto es agua evaporable (Grijalva, 2020).

2.3 Definición de términos básicos

- **Peso Volumétrico.** Definido como el peso unitario, es decir, es el peso (masa) por unidad de volumen, su unidad de medida es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3). (NTP 400.017, 2011).

- **Resistencia a la compresión.** Capacidad de soportar una carga axial máxima; aplicada durante el ensayo hasta llegar a una falla, respecto al área de la sección transversal del espécimen (NTP 338.034, 2021).
- **Agregado grueso.** Material que proviene de la degradación natural o artificial de la roca, retenido por el tamiz normalizado N° 4 y cumple los requerimientos establecidos, según norma (NTP 400.037, 2002).
- **Arcilla Expandida.** Material aislante de origen cerámico, cuenta con una estructura muy porosa, es ligera y resistente, tiene un diámetro granular variable (Laterlite, 2023).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica de la Investigación

La ubicación geográfica donde se realizó los ensayos de la investigación es el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad Nacional de Cajamarca, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, con las siguientes coordenadas UTM – DATUM WGS 84 – ZONA 17S:

Tabla 6

Coordenadas UTM del Laboratorio de Ensayos y Materiales de la Facultad de Ingeniería

COORDENADAS UTM	
ESTE:	776619.32 E
NORTE:	9206995.84 N

Fuente: (Google Earth)

La ubicación de la cantera Chonta está en la localidad de Tartar Chico, en el distrito de Los Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca, con las siguientes coordenadas UTM – DATUM WGS 84 – ZONA 17S:

Tabla 7

Coordenadas UTM de Cantera Chonta

COORDENADAS UTM	
ESTE:	779925.60 E
NORTE:	9208939.70 N

Fuente: (Google Earth)

Figura 1

Macrolocalización geográfica del Laboratorio de Ensayos de Materiales y la Cantera Chonta.

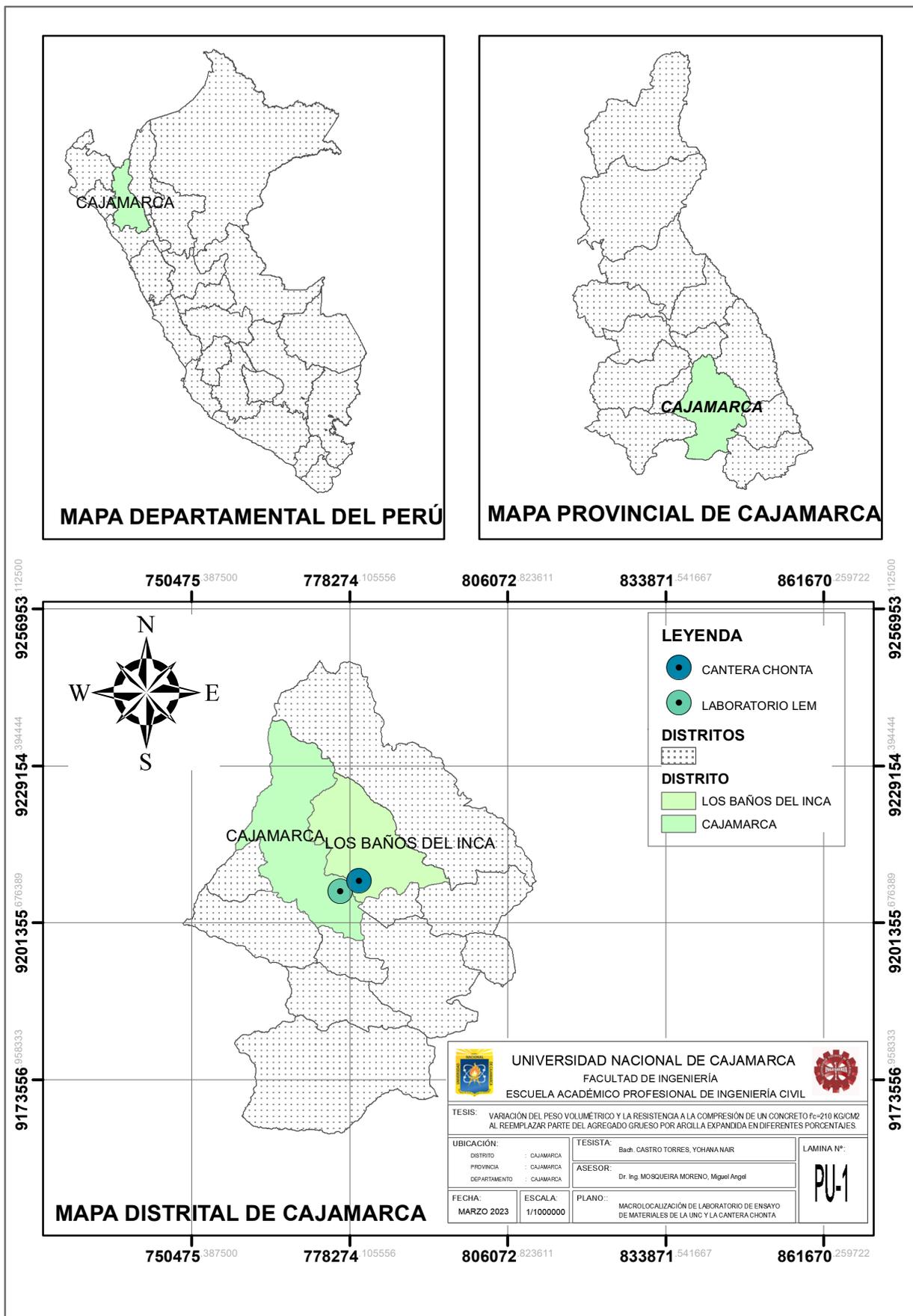


Figura 2

Microlocalización geográfica de la Cantera Chonta.

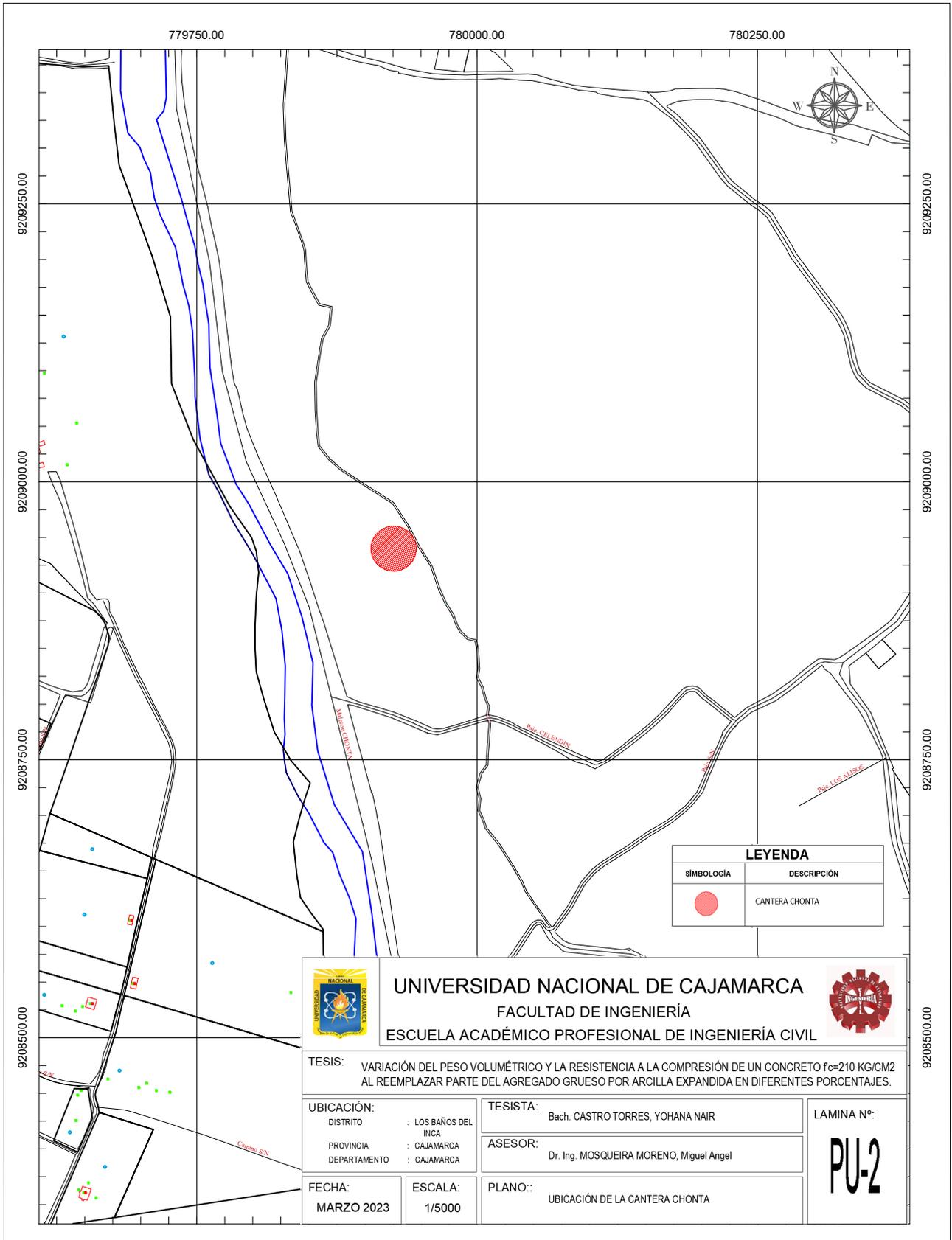
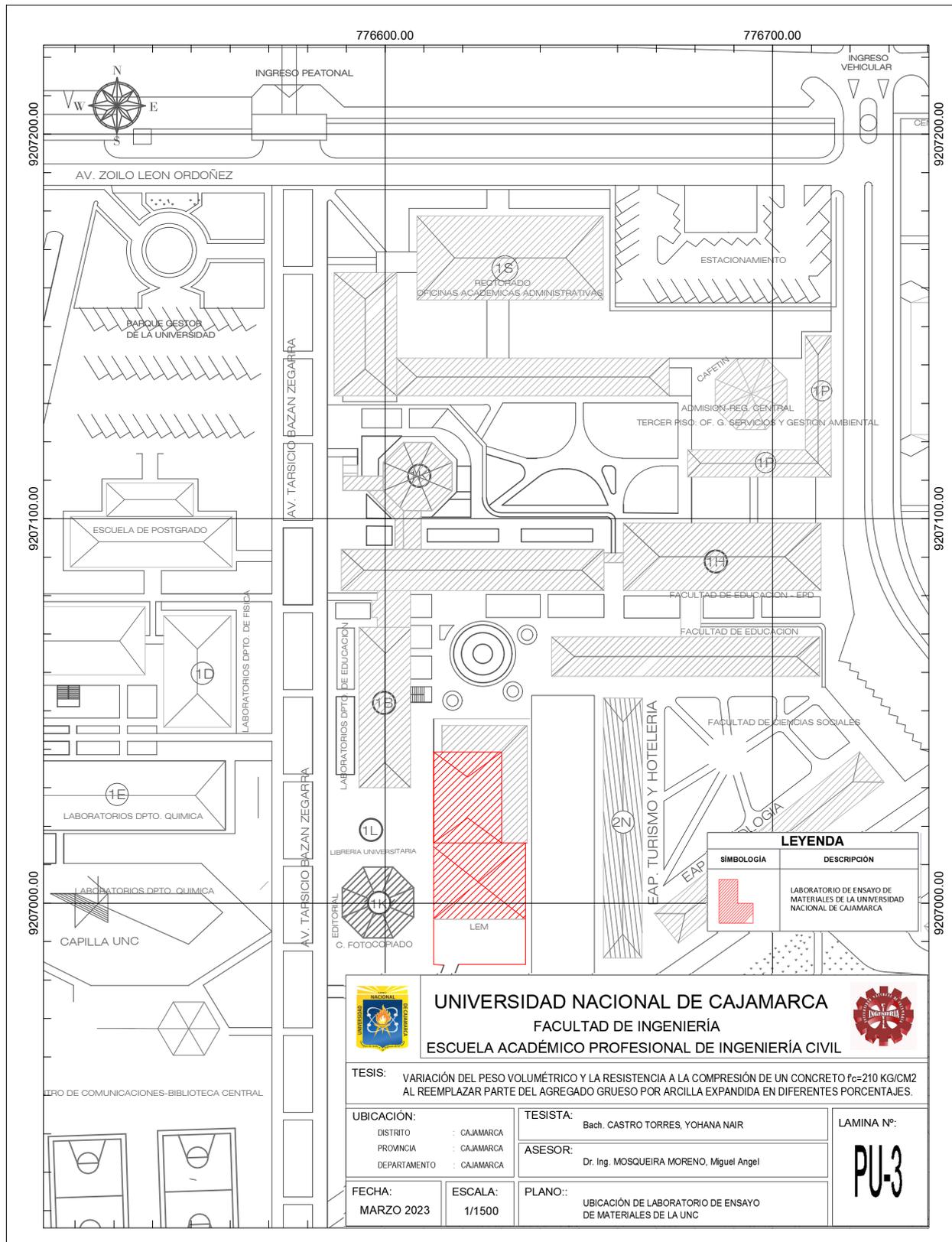


Figura 3

Microlocalización geográfica del Laboratorio de Ensayos de Materiales.



Así mismo, la investigación se realizó entre los meses de noviembre del 2022 a marzo del 2023. Los ensayos de Laboratorio de realizaron entre el mes de enero y febrero del 2023 en la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2 Tipo, Nivel y Método de investigación

- **Tipo.** La investigación realizada es de tipo aplicada, debido a que tuvo por finalidad; resolver un determinado problema, enfocándose en evaluar la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión de un concreto.
- **Nivel.** La investigación realizada es de nivel correlacional, su finalidad fue buscar la relación de interdependencia entre dos variables específicas.
- **Método.** La metodología utilizada es el método experimental, porque comparó la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión del concreto patrón y los concretos con arcilla expandida.

3.3 Población de estudio

La población de estudio fueron las mezclas de un concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con agregado de río y las mezclas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con arcilla expandida Argex.

3.4 Muestra

Se consideró un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a consideraciones de cantidad, variación de resultados y costos de inversión.

La muestra se determinó a través de la tabla 8.

Tabla 8

Muestreo de la Investigación: Cantidad de especímenes por diseño de mezcla.

Edad (Días)	Concreto patrón f'c=210 Kg/cm ² con agregado grueso convencional	Concreto f'c=210 kg/cm ² con agregado grueso y (%) de arcilla expandida			Subtotal
		7.5 %	12.5%	22.5%	
7	6	6	6	6	24
14	6	6	6	6	24
28	6	6	6	6	24
Total					72

3.4 Unidad de Análisis

Las unidades de análisis fueron el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del concreto.

3.5 Procedimiento

Para cumplir con los objetivos planteados, se consideró las siguientes etapas:

Etapa 01 – Elección de los agregados:

Se eligió la cantera Chonta, ubicada en Baños del Inca, por criterio técnico personal, presentando un agregado libre de impurezas orgánicas y que cumple con los requerimientos de la NTP para la elaboración de concretos. Considerándose la más óptima para esta investigación.

Así mismo, la arcilla expandida Argex, fue considerada por tener mejores características; principalmente de resistencia y densidad.

Etapa 02 – Propiedades de los agregados:

Se realizaron los ensayos necesarios para el diseño de mezcla y comprobar que cumple con los requerimientos de la NTP 400.037. Las propiedades de la arcilla expandida Argex y cemento Pacasmayo tipo I, fueron consideradas de sus Fichas Técnicas.

Etapa 03 – Diseño de mezclas del concreto:

El diseño de mezcla se elaboró utilizando el método de la combinación de agregados, para una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se verificó la consistencia midiendo el asentamiento y se registró el peso del concreto fresco en cada tanda (1° tanda; concreto patrón, 2°, 3° y 4° tanda; concreto al reemplazar el agregado grueso por 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de arcilla expandida Argex, respectivamente), obteniendo un total de 72 especímenes de concreto.

Etapa 04 – Curado y ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de especímenes de concreto:

El curado se realizó de acuerdo a norma, utilizando el método de sumersión. Se tomaron 6 testigos de cada mezcla; registrando su diámetro, altura y peso, después fueron ensayados para encontrar la resistencia a la compresión a la edad de 7, 14 y 28 días.

A continuación, se presenta a detalle el procedimiento para realizar la investigación:

3.5.1 Extracción y toma de muestras de agregado fino y agregado grueso en cantera "Chonta" (NTP 400.010)

Para realizar los ensayos en laboratorio se extrajo una muestra mínima requerida de acuerdo a la tabla 9. Considerando 10 Kg para el agregado fino y para un TMN de 3/4", una muestra mínima de 25 Kg de agregado grueso.

Tabla 9

Medida de las muestras requeridas para realizar los ensayos en laboratorio.

Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima aproximada para la muestra de campo Kg
Agregado Fino	
N° 8 (2.36 mm)	10
N° 4 (4.75 mm)	10
Agregado Grueso	
3/8" (9.5 mm)	10
1/2" (12.5 mm)	15
3/4" (19.0 mm)	25
1" (25.0 mm)	50
1 1/2" (37.5 mm)	75
2" (50.0 mm)	100
2" (63.0 mm)	125
2 1/2" (75.0 mm)	150
3" (90.0 mm)	175

Fuente: Adaptado de la NTP 400.010, p,5.

3.5.2 Método de Cuarteo (NTP 400.043 / ASTM C 702)

Se utilizó como procedimiento el Método B – Cuarteo, según describe la norma para la reducción de muestra requerida.

- Procedimiento:

El material puesto en laboratorio se colocó en una superficie libre de impurezas y nivelada; mezclando tres veces por volteo completo de la muestra, y al final se apiló de manera cónica por depósito de material sobre la parte superior del cono en formación. Después con la pala plana presionamos el cono hasta formar un diámetro uniforme y dividimos en cuatro partes iguales. Retiramos los cuartos opuestos diagonalmente, y sucesivamente; mezclamos y cuarteamos hasta reducir al tamaño de muestra deseado y analizando sus propiedades de acuerdo con la normativa.

3.5.3 Análisis Granulométrico de Agregado (ASTM C 136 / NTP 400.012 / AASHTO T-27/ MTC E 202).

Para el agregado fino, la cantidad de muestra mínima, se consideró 300 g, y para el agregado grueso, se consideró mínimo 5 kg, de acuerdo a la tabla 10:

Tabla 10

Tamaño de muestra de agregado para análisis granulométrico

Tamaño máximo nominal del agregado pulg (mm)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo Kg (lb)
3/8" (9.5 mm)	1 (2)
1/2" (12.5 mm)	2 (4)
3/4" (19.0 mm)	5 (11)
1" (25.0 mm)	10 (22)
1 1/2" (37.5 mm)	15 (33)
2" (50.0 mm)	20 (44)
2 1/2" (63.0 mm)	35 (77)
3" (75.0 mm)	60 (130)
3 1/2" (90 mm)	100 (220)
4" (100.0 mm)	150 (330)
5" (125.0 mm)	300 (660)

Fuente: Adaptado de la NTP 400.012, p,5.

- Procedimiento:

Una vez seleccionada la muestra, se secó a temperatura constante de 110°C ±5°C y realizar el tamizado mecánico por las mallas correspondientes, se procede a pesar los pesos retenidos en cada tamiz, incluida la cazoleta y se determinó el porcentaje retenido de cada muestra; a través de la siguiente fórmula:

$$\%Retenido x = \frac{Wx}{W}$$

Donde:

$\%Retenido x$ = Porcentaje de muestra retenido en cada tamiz.

Wx = Peso retenido en cada tamiz.

W = Peso total de muestra.

Según los requerimientos del agregado para concreto (NTP 400.037), con la distribución granulométrica se tiene:

- Tamaño Máximo (TM) y Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado:
- Módulo de Fineza del agregado grueso (mg):

$$mg = \frac{\sum \%Retenido\ acumulado\ (N^{\circ}4, 3/8", 3/4", 1\ 1/2") + 500}{100}$$

c) Módulo de Fineza del agregado fino (m_f):

$$m_f = \left(\frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (N}^\circ 100, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 4)}{100} \right)$$

3.5.4 Material más fino que pasa el Tamiz de 75 μm (N° 200) (ASTM C -117/ NTP 400.018 / MTC E 202)

El muestreo se efectuó de acuerdo a la tabla 11:

Tabla 11

Cantidad mínima de muestra para material más fino menores al tamiz N°200.

Tamaño máximo nominal del agregado pulg (mm)	Masa mínima, g
N° 4 (4.75 mm) o más pequeña	300
3/8" (9.5 mm)	1000
3/4" (19.0 mm)	2500
1 1/2" (37.5 mm) o más grande	5000

Fuente: Adaptado de la NTP 400.018, p,4.

- Procedimiento:

El método utilizado será a través del Procedimiento A: Lavado con Agua.

La muestra de ensayo fue el resultado final de la reducción según norma. Considerando que la reducción a una cantidad exacta predeterminada no es permitida.

La muestra fue seleccionada después de pasar por un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal, separando la muestra y colocándola a secar a peso constante a una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, se registró el peso seco de la muestra original (P_1), después se procedió a colocar la muestra en un recipiente y cubrir con agua, se agitó la muestra enérgicamente para separar todas las partículas y lograr suspender los materiales finos, después se vertió el agua con los partículas finas suspendidas, evitando la decantación de las partículas gruesas. Repitiendo este procedimiento hasta alcanzar un agua de lavado bastante clara. A continuación, se lavó con un chorro de agua lento y constante hasta que el agua pase completamente clara por el tamiz N° 200 (75 μm). Finalmente se colocó a secar

en el horno por 24 horas y se registró el peso seco de la muestra ensayada después del lavado (P_2).

La cantidad de material que pasa el tamiz normalizado N° 200 por la vía húmeda, se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75 μm (N° 200) por vía húmeda.

P_1 = Peso seco de la muestra original (g)

P_2 = Peso seco de la muestra ensayada (g)

3.5.5 Cálculo del peso específico del agua y factor f en recipientes para Peso

Unitario

- Procedimiento:

Para determinar el peso específico del agua, se registró el peso de la fiola y su volumen. A continuación, se llenó la fiola con agua, de forma tal para eliminar las burbujas y el exceso de agua; calculamos el peso de la fiola más el agua y finalmente se utilizó la siguiente fórmula:

- Cálculo del peso específico del agua:

$$Pe_{agua} = \frac{(W_{f+a} - W_f)}{V_f} \times 1000$$

Donde:

Pe_{agua} = Peso Específico del agua (Kg/m^3)

W_f = Peso de fiola (g)

W_{f+a} = Peso de fiola más agua (g)

V_f = Volumen de fiola (cm^3)

Para determinar el factor F, se registra el peso del recipiente. A continuación, se llena el recipiente con agua, de forma tal de eliminar las burbujas y el exceso de agua; calculamos el peso del recipiente más el agua y finalmente se utilizó la siguiente fórmula:

- Cálculo del factor F

$$F = \frac{(W_{r+a} - W_r)}{Pe_{agua}}$$

Donde:

F = Factor del recipiente de medida ($1/m^3$)

W_r = Peso del recipiente (g)

W_{r+a} = Peso del recipiente más agua (g)

Pe_{agua} = Peso Específico del agua (Kg/m^3)

3.5.6 Peso Unitario Suelto o compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 203).

- **Procedimiento:**

Para determinar el peso unitario suelto, se registró el peso del recipiente, luego a una altura no mayor de 5 cm. del borde superior se descarga el agregado con ayuda de una pala o cucharón, nivelando la superficie del agregado con una espátula, para eliminar los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Finalmente, se registró el peso del recipiente más el agregado.

Para determinar el peso unitario compactado, se registró el peso del recipiente, luego a se llenó el recipiente a un tercio del total y apisonó el agregado con 25 golpes de manera uniforme con la varilla de compactación desde la parte externa hasta terminar en el centro. Se repitió el procedimiento en las dos siguientes capas, considerando que la última capa se llena a sobre – volumen con las manos o espátula para eliminar los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Finalmente, se registró el peso del recipiente más el agregado.

$$P_U = \frac{W_{m+r} - W_r}{1000} * F$$

Donde:

P_U = Peso unitario del agregado (Kg/m^3)

W_{m+r} = Peso de muestra suelta o compactada más recipiente (g)

W_r = Peso de recipiente (g)

F = Factor del recipiente de medida ($1/\text{m}^3$)

3.5.7 **Peso específico y absorción (ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.02 / NTP 400.021)**

- **Procedimiento:**

Para el agregado grueso, el muestreo se efectuó como muestra la tabla 12.

Tabla 12

Cantidad mínima de muestra de agregado grueso para ensayo de peso específico y absorción.

Tamaño máximo nominal del agregado pulg (mm)	Masa mínima de muestra de ensayo Kg (lb)
1/2" (12.5 mm)	2 (4.4)
3/4" (19.0 mm)	3 (6.6)
1" (25.0 mm)	4 (8.8)
1 1/2" (37.5 mm)	5 (11)
2" (50.0 mm)	8 (18)
2 1/2" (63.0 mm)	12 (26)
3" (75.0 mm)	18(40)
3 1/2" (90 mm)	25 (55)
4" (100.0 mm)	40 (88)
5" (125.0 mm)	75 (165)

Fuente: Adaptado de la NTP 400.021, p,9.

Una vez seleccionada la muestra; se rechazó todo el material que pasa el tamiz 4.75 mm (N°4) por tamizado, luego se lavó la muestra para eliminar el polvo y otras impurezas. A continuación, se sumergió el agregado en agua a temperatura ambiente, durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$,

luego, se extrajo la muestra y se rodó sobre un paño absorbente hasta eliminar la película de agua visible y registrar el peso de la muestra en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) (B). Posteriormente, se llena un recipiente con un volumen de agua considerable y se adecua una balanza con un gancho para suspender la canastilla dentro del recipiente, se registró el peso de la canastilla sumergida con la muestra de ensayo (C). Finalmente, la muestra de ensayo se colocó en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y después de enfriar a temperatura ambiente durante 1 h a 3 h se registró el peso (A).

Peso específico de masa (Pe_m):

$$Pe_m = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa.

A = Peso de la muestra secada en el horno (g)

B = Peso de la muestra de superficie saturada seca en el aire (g)

C = Peso aparente de la muestra saturada en agua (g)

Peso Específico de Masa Saturado con Superficie Seca (Pe_{sss}):

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)}$$

Peso específico Aparente (Pe_a):

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)}$$

Absorción (%):

$$A_b = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Para el agregado fino, a través del método de cuarteo se seleccionó una muestra y se colocó a secar en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, después enfriar a temperatura apropiada de manipulación; cubriendo con agua y dejando reposar durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$. A continuación, se decantó el exceso de agua y se evitó la pérdida de finos, secando sobre una

superficie plana no absorbente y removiendo de manera homogénea y con frecuencia hasta que la muestra llegue a un estado de superficie seca.

Para evitar que la muestra se haya secado completamente, se realizó una prueba de humedad superficial. Se colocó la muestra en el troncónico, con una varilla de compactación se golpea 25 veces distribuidos sobre la superficie, levantar el molde verticalmente, conservando su forma, y humedad de superficie, se repitió la prueba hasta que la muestra se desmorone indicando que se ha llegado a un estado de superficie seca.

Consecuentemente, se colocó 500 gramos de muestra en la fiola y llenar de agua hasta la marca de 500 cm³, eliminar las burbujas de aire y dejar reposar por una hora, determinando el peso para finalmente extraer la muestra y colocar a secar al horno a una temperatura de 110°C ± 5°C y registrar el peso seco de la muestra.

Peso Específico de Masa (Pe_m):

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa.

W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g)

V = Volumen del fiola (cm³)

V_a = Volumen de fiola más agua (g)

Peso Específico de Masa Saturado con Superficie Seca (Pe_{sss}):

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

Peso Específico Aparente (Pe_a):

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

Absorción (%):

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

3.5.8 Contenido de vacíos en los agregados ((NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C - 29 / MTC E 203)

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{(P_{ea} \times P_{e_{agua}}) - P_U}{P_{ea} \times P_{e_{agua}}}$$

Donde:

$P_{e_{agua}}$ = Peso específico del agua (Kg/m³)

P_{ea} = Peso específico aparente (Kg/m³)

P_U = Peso unitario del agregado (Kg/m³)

3.5.9 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185

- Procedimiento:

La muestra representativa fue protegida contra la pérdida de humedad antes de determinar su masa, utilizando un recipiente impermeable. El muestreo se efectuará de acuerdo con la NTP 400.010, con excepción del tamaño de la muestra, como se indica en la tabla 13.

Tabla 13

Tamaño de muestra de agregado para contenido de humedad.

Tamaño máximo nominal del agregado pulg (mm)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en Kg
N° 4 (4.75 mm)	0.5
3/8" (9.5 mm)	1.5
1/2" (12.5 mm)	2.0
3/4" (19.0 mm)	3.0
1" (25.0 mm)	4.0
1 1/2" (37.5 mm)	6.0
2" (50.0 mm)	8.0
2 1/2" (63.0 mm)	10.0
3" (75.0 mm)	13.0
3 1/2" (90 mm)	16.0
4" (100.0 mm)	25.0

Fuente: Adaptado de la NTP 339.185, p,5.

Después de tomar una muestra en estado natural, se registra el peso, luego se coloca a secar al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, se extrajo la muestra y se registró el peso seco de la muestra.

Se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100$$

Donde:

P = Contenido total de humedad de la muestra (%)

W = Peso de la muestra húmeda (g)

D = Peso de la muestra seca (g)

3.5.10 Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C131 / NTP 400.019 / MTC E 207).

- Procedimiento:

Según la tabla N° 1 de la norma NTP.019, p,6; la gradación será de tipo A. La muestra representativa se lava y secar al horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, separar cada fracción individual y recombinar. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g. Se selecciona el número de esferas (carga abrasiva) de acuerdo con la tabla 14.

Tabla 14

Masa de la carga dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Adaptado de la NTP 400.019, p,5.

A continuación, se colocó la muestra de agregado grueso y las esferas de acuerdo con el tipo de gradación a la máquina de los Ángeles para que gire el número de revoluciones

prescritas (500 revoluciones) y velocidad de 30 a 33 r.p.m. Luego, se extrajo las esferas y la muestra para realizar una separación preliminar de la muestra que pasa por el tamiz N° 12 (1.70 mm). Asimismo, se lavó el material retenido en el tamiz para eliminar los finos adheridos a las partículas. Finalmente, se colocó a secar al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, se extrajo la muestra y se registró el peso seco de la muestra.

Se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

Donde:

W_o = Peso original de la muestra antes de ensayar (g)

W_f = Peso final de la muestra después de ensayar (g)

3.6 Diseño de mezclas para el concreto convencional $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

El diseño de mezclas para un concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, se realizó con agregado de la Cantera "Chonta", Cemento Portland Pacasmayo tipo I y agua potable del suministro de la Universidad Nacional de Cajamarca.

El método de diseño de mezclas utilizado para la investigación es el Módulo de finura de la combinación de los Agregados y las tablas ACI- Comité 211. Además, el diseño se realizó por resistencia.

3.6.1 Procedimiento del Diseño de Mezcla:

- 1° *Se seleccionó la resistencia a compresión requerida ($f'cr$), para alcanzar la resistencia mínima especificada ($f'c$) por condiciones intermedias de obra considerando un factor de 1.2.*
- 2° *Se seleccionó el tamaño máximo nominal del agregado grueso.*
- 3° *Se seleccionó el asentamiento (Tabla 1), considerando una consistencia plástica.*
- 4° *Se determinó el Volumen Unitario de agua de diseño para concreto sin aire incorporado (Tabla 46).*
- 5° *Se determinó el Contenido de aire atrapado (Tabla 47).*

6° Se determinó la relación Agua – Cemento (A/C) por resistencia (Tabla 48).

7° Se determinó el factor cemento y calcular el número de bolsas de cemento a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Volumen unitario de agua de diseño}}{42.5 * A/C}$$

8° Se calculó los volúmenes absolutos de la pasta (Cemento, agua de diseño y aire).

$$\text{Volumen Absoluto} = \text{Peso por } m^3 C^{\circ} \times \text{Peso Especifico}$$

9° Se calculó el volumen absoluto de los agregados total.

$$\text{Vol. Abs. Ag.} = 1 m^3 - \sum \text{Volumenes Absolutos de la pasta}$$

10° Se calculó el porcentaje de vacíos teórico.

11° Se calculó el módulo de fineza de la combinación de agregados (mc) (Tabla 49).

12° Se calculó el porcentaje de agregado fino (r_f), a través de las siguientes fórmulas:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100$$

Donde:

m_c = Módulo de fineza de la combinación de agregados (Tabla 49).

m_f = Módulo de fineza del agregado fino.

m_g = Módulo de fineza del agregado grueso.

r_f = % de Ag. Fino en relación con el volumen absoluto del agregado.

13° Se determinó el volumen absoluto de los agregados

$$\text{Vol. Ag. Fino} = \text{Vol. Agregados} \times \% \text{ Ag. Fino}$$

$$\text{Vol. Ag. Grueso} = \text{Vol. Agregados} - \% \text{ Ag. Fino}$$

14° Se determinó los pesos secos de los agregados fino y grueso

$$\text{Peso Seco Agregado (Kg/m}^3\text{C}^{\circ}) = \text{Vol. Agregado} \times \text{Peso Especifico del Agregado}$$

15° Se corrigió los valores por humedad del agregado

- Pesos Húmedos de agregados:

$$\text{Peso Agregado húmedo (Kg/m}^3\text{C}^\circ) = \text{Peso seco} \times \text{Contenido de Humedad}$$

- Humedad superficial:

$$\text{Humedad Superficial (\%)} = \text{Contenido de Humedad} - \text{Absorción}$$

- Aporte de Humedad de agregados:

$$\text{Aporte de Humedad de los agregados (l/m}^3\text{C}^\circ)$$

$$= \sum \text{Peso seco} \times \text{Humedad Superficial}$$

- Agua Efectiva:

$$\text{Agua Efectiva (l/m}^3\text{C}^\circ)$$

$$= \text{Agua de Diseño} - \text{Aporte de Humedad de los agregados}$$

16° Se determinó la *proporción en peso en obra*.

$$\text{Proporción en peso} = \frac{\text{Material corregido por humedad/m}^3\text{C}^\circ}{\text{Peso del Cemento/m}^3\text{C}^\circ}$$

Cemento: Agregado Fino: Agregado Grueso / Agua

17° Se determinó la *proporción en volumen en obra*.

$$\text{Proporción en volumen} = \frac{\text{Proporción en peso} \times 42.5 \text{ Kg} \times 35.3147 \text{ pie}^3}{\left(1 + \frac{\text{Contenido de humedad}}{100}\right) \times \text{Peso Unitario Suelto}}$$

18° Se determinó la *proporción en por tanda para 0.020 m³*.

3.7 Ajuste del Diseño de Mezclas para un concreto convencional f'c=210 Kg/cm²

3.7.1 Procedimiento del ajuste de Diseño de Mezclas

El ajuste de diseño de mezcla se realizó por las características obtenidas en Laboratorio:

1° *Volúmenes absolutos de la pasta y agregados (datos del diseño de mezcla original).*

2° *Peso seco de los materiales de diseño por m³(datos del diseño de mezcla original).*

3° *Peso de materiales corregidos por humedad por m³(datos del diseño de mezcla original).*

4° *Características del diseño de mezcla obtenidas en laboratorio.*

- Apariencia.
- Trabajabilidad.
- Asentamiento.
- Agua Adicional o Sobrante.
- Peso Unitario del Concreto Fresco.

5° *Se calculó la tanda total de mezclado para 0.020 m³ (Tres (03) especímenes de concreto en moldes de 12" x 6").*

$$\text{Cemento (Kg/tanda)} = \text{Cemento (Kg/cm}^3) \times \text{tanda (0.02 m}^3)$$

$$\text{Agregados (kg/tanda)} = \text{Agregados Humedos (Kg/cm}^3) \times \text{tanda (0.02 m}^3)$$

$$\underline{\text{Agua Añadida (l/tanda)} = \text{Agua Efectiva} \times \text{tanda (0.02 m}^3) + \text{Agua Adicional}}$$

$$\text{Peso total de la tanda} = \sum \text{Materiales por tanda}$$

6° *Se calculó del rendimiento de la tanda.*

$$\text{Rendimiento} = \frac{\sum \text{Peso total de tanda}}{\text{Peso Unitario del Concreto Fresco}}$$

7° *Se calculó el agua en el diseño de mezcla por tanda.*

Se Considera los siguientes casos:

a. Agua añadida por metro Cúbico:

$$\begin{aligned} & \text{Aporte de Humedad Agregado} \\ & = \text{Agregado por tanda (kg/tanda)} \left(\frac{\%W - \%Abs}{100} \right) \end{aligned}$$

Agua de la tanda

$$= \sum \text{Agua Efectiva (Diseño original)} + \text{Agua Añadida} + \text{Aportes}$$

$$\text{Agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de la tanda}}{\text{Rendimiento}}$$

b. Agua de mezcla por corrección por Asentamiento:

Si el asentamiento obtenido no es el correcto, incrementar o disminuir el agua estimada cada 2 l/m³ por cada 10 mm en el asentamiento deseado. (Rivva, 2010).

8° Se calculó el agua de mezcla en el diseño por metro cúbico.

Por lo tanto, el agua de mezcla (m³) es:

$$\text{Agua de mezcla (m}^3\text{)} = \text{Agua (m}^3\text{)} + \text{Agua por Corrección de Asentamiento}$$

9° Se calculó la nueva cantidad de Cemento.

$$\text{Cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de mezcla (m}^3\text{)}}{a/c}$$

10° Se determinó la cantidad de agregado grueso.

Se Consideró los siguientes casos:

a. Mezcla sobre arenosa

Se aumenta el 10% del Peso Unitario Compactado Seco del agregado grueso.

$$\text{Peso (A. Grueso}_{\text{seco}}\text{)} = 1.10 \times \text{PUCS (A. Grueso)} \times \frac{b}{b_0}$$

b. Mezcla sobre gravosa

Se disminuye el 10% del Peso Unitario Compactado Seco del agregado grueso.

$$\text{Peso (A. Grueso}_{\text{seco}}) = 0.90 \times \text{PUCS (A. Grueso)} \times \frac{b}{b_0}$$

El valor $\frac{b}{b_0}$, se encuentra en la tabla: "Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto" del Comité 211 del ACI.

c. Mezcla con Trabajabilidad satisfactoria

$$\text{Agregado Grueso Húmedo (kg/m}^3) = \frac{\text{Agregado grueso húmedo por tanda}}{\text{Rendimiento}}$$

$$\text{Agregado Grueso seco (kg/m}^3) = \frac{\text{Agregado Grueso húmedo}}{\left(1 + \frac{\% \text{Humedad}}{100}\right)}$$

$$\text{Agregado Grueso SSS (kg/m}^3) = \frac{\text{Agregado Grueso húmedo}}{\left(1 + \frac{\% \text{Absorción}}{100}\right)}$$

11° Se calculó los nuevos volúmenes de materiales en el diseño de mezclas.

12° Se calculó los pesos secos de los materiales del nuevo diseño.

13° Se hizo la corrección por humedad de los agregados.

14° Se calculó la proporción en peso del diseño de mezcla.

15° Se calculó la proporción en volumen del diseño de mezcla.

16° Se calculó la proporción por tanda del diseño de mezcla.

3.8 Reemplazo del agregado grueso por Arcilla Expandida Argex al ajuste de Diseño de Mezclas para el concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

3.8.1 Procedimiento del Diseño de Mezcla $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con Arcilla Expandida Argex.

La siguiente investigación, realizó un reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida en 7.5 %, 12.5 % y 22.5 %. Estos porcentajes se consideraron de acuerdo con las

investigaciones ya realizadas y dosificaciones óptimas para una variación respecto al concreto patrón. Por lo tanto:

- 1° Se consideró los *volúmenes absolutos de diseño (datos del ajuste de diseño de mezclas)*.
- 2° Se *calculó los pesos secos de los materiales, reemplazando el agregado grueso con (7.5%, 12.5% y 22.5%) de arcilla expandida, respectivamente.*
- 3° Se *corrigió los valores por humedad de los agregados.*
- 4° Se *calculó la proporción en peso del diseño de mezcla.*
- 5° Se *calculó la proporción en volumen del diseño de mezcla.*
- 6° Se *calculó la proporción por tanda del diseño de mezcla.*

3.9 Determinación del peso unitario de las probetas de concreto

3.9.1 Peso unitario de concreto Fresco

- Procedimiento:

Para determinar el peso unitario del concreto fresco, se registró el peso del recipiente, luego se llena el recipiente a un tercio del total con la mezcla de concreto y se apisona con la varilla de compactación con 25 golpes de manera uniforme desde la parte externa hasta terminar en el centro. Se repitió el procedimiento en las dos siguientes capas. La última capa se llenó a sobre – volumen con ayuda de la espátula eliminamos los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Finalmente, se registró el peso del recipiente más la muestra de concreto compactada.

$$P_U = (W_{m+r} - W_r) \times F$$

Donde:

P_U = Peso unitario del agregado (Kg/m³)

W_{m+r} = Peso de muestra compactada más recipiente (Kg)

W_r = Peso de recipiente (Kg)

F = Factor del recipiente de medida ($1/m^3$)

3.9.2 **Peso unitario de concreto Endurecido**

- **Procedimiento:**

Para realizar los cálculos se midió 2 veces el diámetro de los especímenes cilíndricos por cada cara en forma diagonal y 2 veces la altura con una aproximación de 0.01 mm. Además, se pesó los especímenes antes del ensayo a la resistencia a compresión.

Se calculó el peso unitario de concreto endurecido a través de la siguiente fórmula:

$$PU \text{ } ^\circ C \text{ Endurecido} = \frac{W}{\frac{\pi D^2}{4} * H} * 1000$$

Donde:

$PU \text{ } ^\circ C \text{ Endurecido}$ = Peso unitario del concreto endurecido (Kg/m^3).

W = Peso del espécimen de concreto (g)

D = Diámetro promedio del espécimen (cm)

H = Altura promedio del espécimen (cm)

3.10 **Determinación de la Resistencia a la compresión del concreto (NTP 339.034)**

- **Procedimiento:**

Para realizar el ensayo a compresión se registró el diámetro, altura y peso de los especímenes de concreto a ensayar, para finalmente ser ensayados en la Máquina Universal a Compresión, donde se aplicó la carga axial a los especímenes de concreto a una velocidad prescrita, sin detenimiento o tiempos intermitentes, hasta alcanzar la falla.

Se calculó la resistencia a compresión a través de la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{\pi D^2} * 1000$$

Donde:

f'_c = Resistencia del espécimen de concreto (Kg/cm^2).

P = Carga máxima aplicada hasta la rotura (Tn).

D = Diámetro promedio medido (cm).

3.11 Presentación de Resultados

3.12.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados de la cantera y arcilla expandida en estudio

Las propiedades de los agregados de la cantera y la arcilla expandida se muestran en la Tabla 15, siendo el promedio de tres ensayos para cada propiedad (Ver Anexo I) y la ficha técnica de la Arcilla Expandida Argex 3-8 (Ver Anexo VI). Los siguientes valores han sido utilizados en el diseño de mezcla de esta investigación:

Tabla 15

Resumen de las propiedades de los agregados

Descripción	Agregado Grueso	Agregado Fino	Arcilla Expandida	Unidad
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	-		Pulg
Módulo de Finura	6.817	3.090		
Peso Unitario Suelto Seco	1456	1606	228.8	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1594	1803		Kg/m ³
Peso Específico de Masa	2600	2610	287	kg/m ³
Peso Específico Saturado Superficialmente seco	2640	2640		kg/m ³
Peso Específico Aparente	2710	2710		kg/m ³
Absorción	1.5	1.8	22.7	%
Contenido de Humedad	0.44	1.02	-	%
Partículas menores que pasa el tamiz N° 200	0.30	1.90		%
Abrasión	25	-		%
Vacíos	38.69	-		%

3.12.2. Resultados de los diseños de mezcla.

En la Tabla 16 se muestra las dosificaciones por metro cúbico del concreto patrón y los diseños de mezcla con arcilla expandida (Ver Anexo III).

Tabla 16

Pesos de los materiales corregidos por humedad.

MATERIALES	UNIDAD	DISEÑO			
		PATRÓN	7.5 % A.E.	12.5 % A.E.	22.5 % A.E.
Cemento Portland Tipo I	kg/m ³	323.23	323.23	323.23	323.23
Agua Efectiva	Lt/m ³	215.81	215.08	214.60	213.62
Agregado Fino Húmedo	kg/m ³	852.81	852.81	852.81	852.81
Agregado Grueso Húmedo	kg/m ³	922.16	853.00	806.89	714.68
Arcilla Expandida Argex	kg/m ³	-	7.60	12,67	22.80

En la Tabla 17 se muestra las proporciones en Volumen de los materiales. Se ha utilizado el método de los volúmenes absolutos del Comité 211 del ACI, y las propiedades de los agregados obtenidos en el Tabla 15. (*Ver Anexo III*).

Tabla 17

Proporción en volumen de los diferentes diseños de mezcla.

DISEÑO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN				
	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua Efectiva	Arcilla Expandida
Patrón	1	2.45	2.90	28.38	-
Con 7.5% AE	1	2.45	2.70	28.28	0.150
Con 7.5% AE	1	2.45	2.55	28.23	0.250
Con 7.5% AE	1	2.45	2.25	28.10	0.475

3.12.3. Resultados de las propiedades físico - mecánicas del concreto.

3.12.3.1. Resultados del peso unitario del concreto fresco (PU^oCF)

Los especímenes de concreto fueron elaborados considerando la norma ASTM C 192 y NTP 339.183 (*Ver Anexo IV*), obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 18 y Tabla 19).

Tabla 18

Asentamiento del concreto (Slump), para cada dosificación.

Diseño	Slump
Patrón	3"
7.5% A.E.	3.5"
12.5% A.E.	3"
22.5% A.E.	3.5"

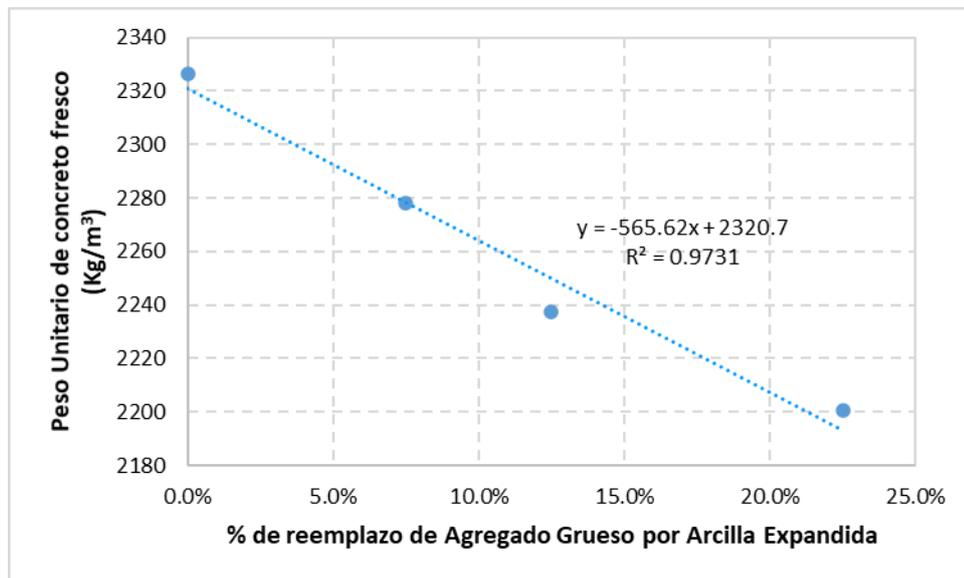
Tabla 19

Resultados del peso unitario del concreto fresco.

Diseño	Peso Unitario de concreto fresco	
	PU °CF (Kg/m ³)	% del peso del concreto Patrón
Patrón	2326.42	100.00%
7.5% A.E.	2277.97	98.25%
12.5% A.E.	2237.56	96.80%
22.5% A.E.	2200.43	95.46%

Figura 4

Relación del peso unitario del concreto fresco respecto al porcentaje de reemplazo por arcilla expandida.



3.12.3.2. Resultados del peso unitario del concreto endurecido (PU°CE)

En la tabla 20 se presenta el promedio de 06 ensayos de peso unitario en estado endurecido por cada grupo de diseño, obteniéndose los siguientes resultados a los 7, 14 y 28 días. (Ver Anexo IV).

Tabla 20

Resultados del peso unitario del concreto endurecido.

Diseño	Resultados del peso unitario del concreto endurecido (Kg/m ³)					
	Edad (Días)					
	7		14		28	
	PU°CE	% PU respecto a °C Patrón	PU°CE	% PU respecto a °C Patrón	PU°CE	% PU respecto a °C Patrón
Patrón	2331.24	100.00%	2338.83	100.00%	2347.13	100.00%
7.5% A.E.	2285.49	98.04%	2284.25	97.67%	2279.29	97.11%
12.5% A.E.	2259.81	96.94%	2263.23	96.77%	2255.42	96.09%
22.5% A.E.	2225.05	95.45%	2236.43	95.62%	2231.98	95.09%

Figura 5

Peso unitario del concreto endurecido respecto al porcentaje de reemplazo por arcilla expandida para la edad de 7, 14 y 28 días.

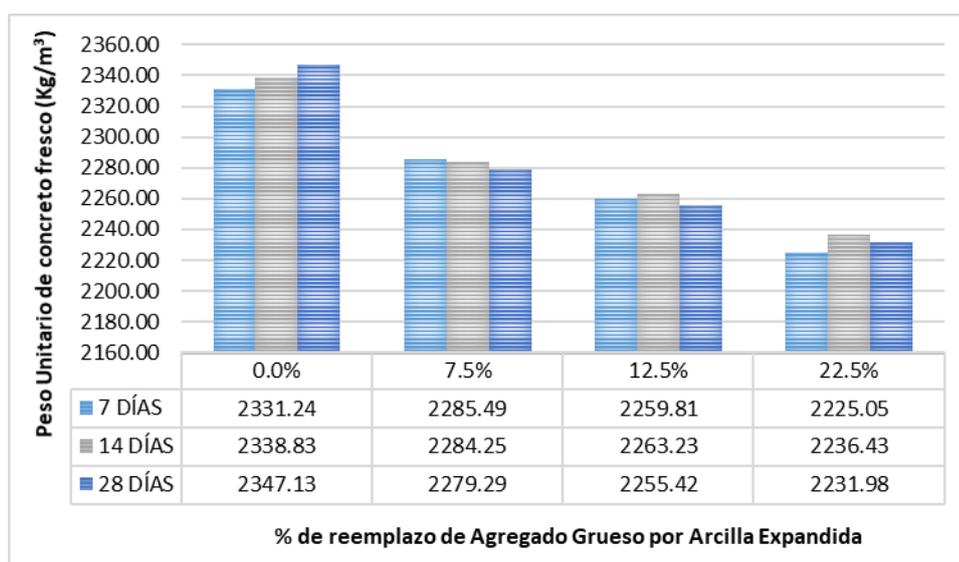


Figura 6

Relación del peso unitario del concreto endurecido a los 28 días respecto al porcentaje de reemplazo por arcilla expandida.

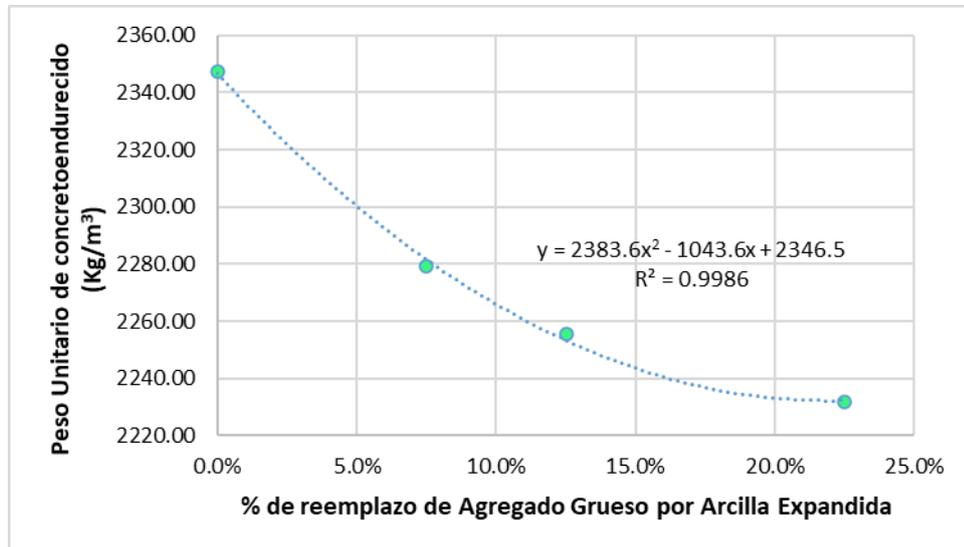
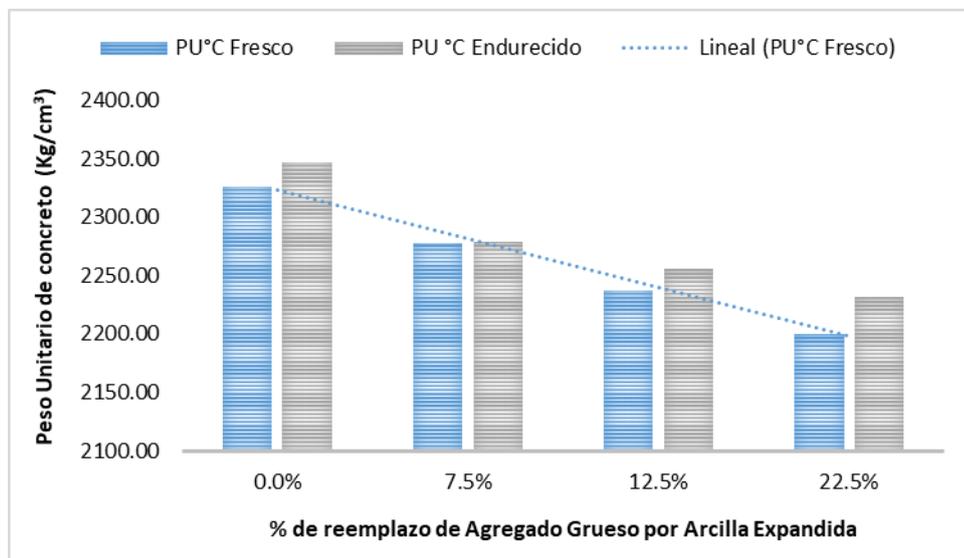


Figura 7

Peso unitario del concreto fresco y peso unitario promedio del concreto endurecido a los 28 días de los diferentes diseños de mezcla.



3.12.3.3. Resultados de la resistencia a compresión uniaxial del concreto

Los especímenes de concreto fueron ensayados considerando la norma ASTM C 39 y NTP 339.034, a las edades de 7, 14 y 28 días. Los valores presentados en la Tabla 21 son el promedio de seis especímenes por cada grupo de diseños. (Ver Anexo IV).

Tabla 21

Resultado de la resistencia a compresión uniaxial.

Diseño	Resistencia a compresión uniaxial f'_c (Kg/cm ²)					
	Edad (Días)					
	7		14		28	
	f'_c promedio (Kg/cm ²)	f'_c obtenido (%)	f'_c promedio (Kg/cm ²)	f'_c obtenido (%)	f'_c promedio (Kg/cm ²)	f'_c obtenido (%)
Patrón	189.67	100.00	203.40	100.00	251.89	100.00
7.5% A.E.	177.39	91.10	193.95	92.85	229.70	93.34
12.5% A.E.	170.74	89.68	180.49	88.47	220.08	87.66
22.5% A.E.	159.10	81.09	168.72	83.96	211.51	85.64

Figura 8

Resistencia a compresión uniaxial de los especímenes de concreto.

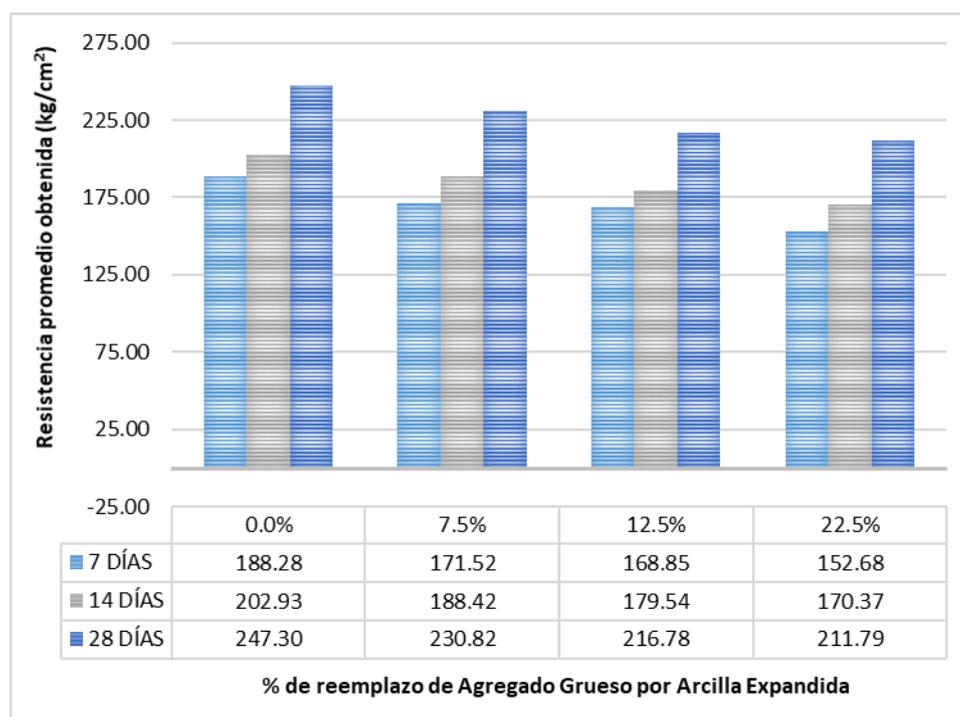
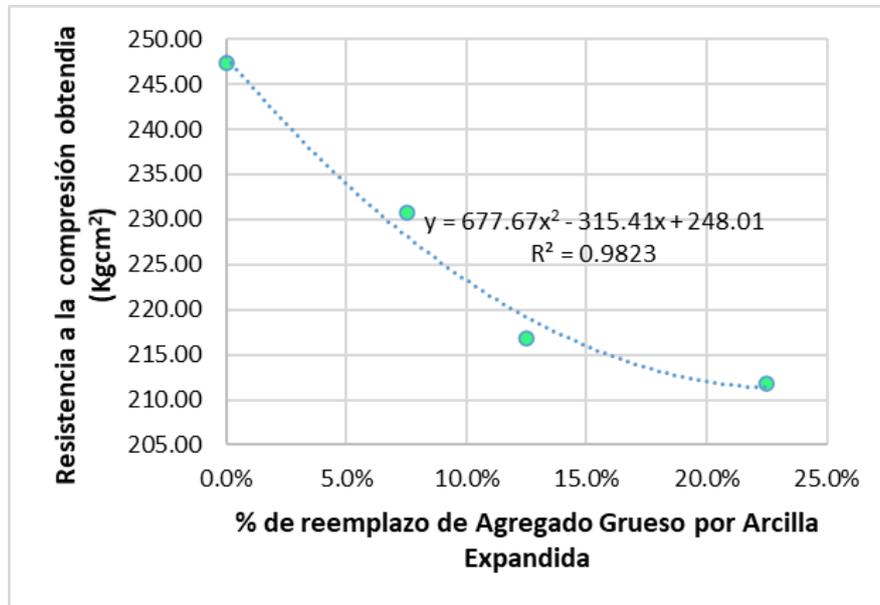


Figura 9

Relación de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días respecto al porcentaje de arcilla expandida Argex.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 15 y los requerimientos de la Norma NTP 400.037, se presenta que:

- La curva granulométrica del agregado grueso de TMN 3/4" está dentro del límite inferior y superior del huso granulométrico N° 67, además, el agregado fino también está dentro de los límites permisibles del huso granulométrico. Por lo tanto, se consideró que los agregados eran óptimos para diseño de mezcla.
- El módulo de fineza del agregado fino es 3.09 y está dentro del rango recomendable de 2.30 a 3.10.
- El porcentaje promedio de partículas menores que pasa el tamiz N°200 del agregado fino es de 1.90 %, por lo que cumple lo estipulado, siendo el máximo de 5 %.
- El porcentaje promedio de partículas menores que pasa el tamiz N°200 del agregado grueso es de 0.30 %, por lo que cumple lo estipulado, siendo el máximo de 1 %.

La Tabla 15, muestra que el porcentaje de Abrasión del agregado grueso es de 25 %, y según los requerimientos de la Norma NTP 400.019 / ASTM C 131 / NTP 400.037, el porcentaje de pérdida permitido es menor a 50 %. Por lo tanto, cumple con lo estipulado.

La arcilla expandida tiene un peso específico de masa de 287 kg/m³, según la especificación estándar ASTM C 330 / C330-14 para agregados livianos para concreto estructural, nos indica que el peso específico de masa debe ser máximo de 880 kg/m³, por lo que cumple con los requerimientos establecidos en la normativa.

El asentamiento (Tabla 18), cumple con las características deseadas en el diseño de mezcla, el valor del Slump se encuentra entre el rango entre 3" a 4", considerándose una consistencia plástica y una trabajabilidad favorable, según la NTP 339.035 y ASTM C 143.

Considerando la Tabla 19 y Figura 4, respecto al peso unitario de concreto fresco, indicamos que:

- La ecuación representativa para el peso unitario de concreto fresco, donde la variable “y” es el peso unitario fresco y la variable “x” es el porcentaje de reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida es: $y = -565.62x + 2320.7$. Además, el coeficiente de determinación $R^2=0.9731$, por su aproximación a la unidad indicamos que la ecuación se ajusta a los valores de los pesos obtenidos en el laboratorio.
- Se ha obtenido un peso unitario promedio mínimo de 2200.43 kg/m^3 con un máximo reemplazo de agregado grueso por 22.5 % de arcilla expandida, sin embargo, según la Tabla 2 (Tipos de concreto), para un concreto liviano su peso unitario varía entre 400 kg/m^3 y 1700 kg/m^3 , por lo que este concreto no es considerado un concreto liviano.

De acuerdo a la Figura 5, se observa que:

- El peso unitario del concreto endurecido de la muestra patrón varía en un rango de 2331.24 kg/cm^3 y 2347.13 kg/cm^3 , y para un reemplazo de agregado grueso por 7.5 %, 12.5 y 22.5 % de arcilla expandida varían en un rango de 2285.49 kg/cm^3 y 2279.29 kg/cm^3 ; 2259.81 kg/cm^3 y 2255.42 kg/cm^3 ; 2225.05 kg/cm^3 y 2231.98 kg/cm^3 , respectivamente. Por lo tanto, a mayor porcentaje de reemplazo del agregado grueso por arcilla expandida, el peso unitario del concreto disminuye.

La Tabla 20 y Figura 6, muestran que:

- La ecuación representativa para el peso unitario de concreto fresco, donde la variable “y” es el peso unitario endurecido y la variable “x” es el porcentaje de reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida es: $y = 2383.6x^2 - 1043.6x + 2346.5$. Además, el coeficiente de determinación $R^2=0.9986$, indica un buen ajuste, respecto a los valores obtenidos en laboratorio.

- Se ha obtenido un peso unitario promedio mínimo de 2231.98 kg/m^3 con el reemplazo máximo de agregado grueso por 22.5 % de arcilla expandida, sin embargo, es mayor a 1700 kg/m^3 , por lo que no se considera un concreto liviano.

Tomando en cuenta la Figura 7, nos indica que:

- El peso unitario del concreto fresco fue menor al peso unitario de concreto endurecido a los 28 días de edad en menos del 2%, tanto para el diseño patrón como para los diseños con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida Argex.

La resistencia a la compresión del concreto patrón $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Tabla 21 y Figura 8), respecto al porcentaje de resistencia referida, se muestra lo siguiente:

- La resistencia obtenida a los 7 días; varía entre 185.56 kg/cm^2 y 189.92 kg/cm^2 , a los 14 días; se obtuvo valores entre 200.55 kg/cm^2 y 205.66 kg/cm^2 y para los 28 días su resistencia alcanzó valores entre 244.28 kg/cm^2 y 250.40 kg/cm^2 . Sus porcentajes de resistencia promedio fueron de 89.66 %, 96.63 % y 117.76 %, respecto a la resistencia de diseño referida, respectivamente.

La resistencia a la compresión a los 28 días, para los concretos con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida Argex, respecto a la resistencia obtenida y el porcentaje de resistencia referida (Tabla 21 y Figura 8), se observa que:

- La resistencia a la compresión obtenida para un reemplazo de agregado grueso por 7.5%, 12.5 % y 22.5 % de arcilla expandida; varía entre 227.66 kg/cm^2 y 233.24 kg/cm^2 ; 213.54 kg/cm^2 y 218.23 kg/cm^2 y 213.54 kg/cm^2 y 218.23 kg/cm^2 . Además, sus porcentajes de resistencia promedio fueron de 109.82 %, 103.23 % y 100.85 %, respecto a la resistencia de diseño referida.

La figura 9, respecto a la resistencia a la compresión, presenta:

- La resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo por arcilla expandida Argex (7.5 %, 12.5 % y 22.5 %).
- La ecuación representativa para la resistencia a la compresión uniaxial obtenida, donde la variable “y” es la resistencia a la compresión uniaxial obtenida y la variable “x” es el porcentaje de reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida es: $y = 677.67x^2 - 315.41x + 248.01$ y su coeficiente de determinación es $R^2 = 0.9823$.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La hipótesis respecto al peso volumétrico no es válida; puesto que, al reemplazar el agregado grueso por arcilla expandida en 7.5%, 12.5% y 22.5%, varió en menos del 5% respecto al concreto patrón. En cambio, la resistencia a la compresión si varia en más del 5% para los porcentajes de reemplazo en comparación con el concreto patrón.
- El peso unitario del concreto fresco con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida Argex varió; disminuyó en 1.75 %, 3.20 % y 4.54 % para los reemplazos de 7.5%, 12.5% y 22.5% respecto al concreto patrón. El peso unitario del concreto patrón es 2326.42 kg/m³ y para concreto los concretos con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida es 2277.97 kg/m³, 2237.56 kg/m³ y 2200.43 kg/m³, respectivamente.
- El peso unitario del concreto endurecido a los 28 días al reemplazar el agregado grueso por 7.5%, 12.5% y 22.5% de arcilla expandida Argex varió; disminuyendo el peso en 2.89 %, 3.91 % y 4.91 % respecto al concreto patrón. Su valor en promedio es de 2347.13 kg/m³ para el concreto patrón y de 2279.29 kg/m³, 2255.42 kg/m³ y 2231.98 kg/m³ para cada porcentaje de reemplazo.
- La resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días del concreto f'c=210 kg/cm² con reemplazo de agregado grueso por 7.5%, 12.5% y 22.5% de arcilla expandida Argex, presentó una disminución de 6.66 %, 12.34 % y 14.36 % respecto a la resistencia obtenida por el concreto patrón. La resistencia promedio del concreto patrón es 247.30 kg/cm² y de 230.82 kg/cm²; 216.78 kg/cm² y 211.79 kg/cm², para cada porcentaje de reemplazo.

-

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar los diseños de mezcla de concreto con arcilla expandida Argex con porcentajes mayores a 22.5 % y así determinar si la variación del peso volumétrico y su resistencia a la compresión es positiva hasta llegar a considerarse un concreto liviano.
- En esta investigación solo se evaluó la resistencia a compresión y el peso unitario del concreto fresco y endurecido, se recomienda evaluar otras propiedades importantes como la resistencia a flexión, tracción, análisis químico, exposición a temperaturas bajas o altas, resistencia al desgaste.
- Para este proyecto de investigación solo se ha utilizado arcilla expandida Argex, se recomienda que en futuros estudios se use otro tipo de arcilla expandida con diferentes características para obtener variaciones significativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2018). *Tecnología del Concreto*. [Archivo PDF].
<https://www.udocz.com/apuntes/21543/tecnologia-del-concreto-teoria-y-problemas-ing-flavio-abanto-castillo>
- AEFA. (2022). *AEFA - Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes*. Obtenido de
<https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/arcilla-expandida>
- Argex 3-8 (s.f.). *ARGEX – Argila Expandida*, S.A. [Archivo PDF].
https://argex.pt/es/documentos/FichaTecnica_Argex_3_8.pdf
- ARGOX 360 (2023). *Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión*.
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion/>
- ASTM C33 (2013). *Standard specifications for aggregates*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C138 (2014). *Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*.
- ASTM C143 (2020). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*.
- ASTM C150 (2003). *Standard Specification for Portland Cement*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C330 (2014). *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*.
- Baquero, B., Güiza, R. y García, F. (2019). *Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros*. Fundación Universidad del Norte. <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.1624>

- CEMEX. (2022). *El Cemento*. [Archivo PDF]. <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>.
- Concreto Sólido de México (2020). *La importancia del concreto en los proyectos de construcción*. <https://www.concretosolido.mx/la-importancia-del-concreto-en-los-proyectos-de-construccion>
- Freites, a., osuna, m., & rodrigues, h. (2013). *Estudio de la resistencia a compresión en mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de las hojas secas de la palma chaguaramo como material puzolánico*. [Universidad central de Venezuela]. <https://xdoc.mx/preview/descargando-5f5699d111ad04>
- Grijalva, C. (2020). *Concreto armado I*. [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://ingenieria.cunoc.usac.edu.gt/portal/articulos/f5fbdbe34a43844054e9e738c18b143f6361b1a7.pdf>
- Guerrero, A. (2020). *Estudio de las propiedades de los agregados de las Canteras: Río Yuracyacu, Naranjillo y San Francisco, y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles en el Distrito de Nueva Cajamarca*. [Tesis de Titulación, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/990>
- Guillen, L. y Llerena, I. (2020). *Influencia de forma, tamaño y textura de los agregados gruesos en las propiedades mecánicas del concreto*. [Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3711>
- Harmsen, T. (2015). *Diseño de estructuras de concreto armado*. (3° Edición). Pontificia Universidad Católica del Perú. [Archivo PDF]. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenodeestructurasdeconcreto-harmsen.pdf>

- Instituto del Cemento Portland Argentino [ICPA] (2021). *Hormigones y sus materiales componentes*. [Archivo PDF]. <https://web1.icpa.org.ar/index.php/hormigones-y-sus-materiales-componentes/>
- Kanagaraj, B., Anand, N., Praveen, B., Kandasami, S., Lubloy, E. y Naser, M. (2023). *Physical characteristics and mechanical properties of a sustainable lightweight geopolymer based self-compacting concrete with expanded clay aggregates*. <https://www.sciencedirect.com/journal/developments-in-the-built-environment>
- LATERLITE, (2023). Arcilla Expandida Laterlite: árido ligero, aislante y resistente. [Archivo PDF]. <https://www.laterlite.es/productos/>
- Medina, R. (2016). *Conociendo las propiedades del concreto-Boletín N°30*. [Archivo PDF]. <https://www.acerosarequipa.com/>
- Mendoza Anzola, C. A., Torres Doria, D. A., Campo Barrio, R. A., Jiménez Wilches, J. E., Contreras Garcés, Á. S., & Ballesteros Ballesteros., C. A. (2019). *Compresión de probetas de concreto*. [Universidad Tecnológica de Bolívar]. https://www.researchgate.net/publication/331474004_compresion_de_probetas_de_concreto
- Montoya, C. (2017). *Incidencias del contenido de agua en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad del concreto*. Revista de Arquitectura e Ingeniería. Vol. 11 No.1 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125 [Archivo PDF]. <https://dialnet.unirioja.es>
- Moreno, E. I., Solís Carcaño, R. G., Varela Rivera, J., & Gómez López, M. A. (2016). *Resistencia a tensión del concreto elaborado con agregado calizo de alta absorción. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo, 35 – 45*.
- NTE E.060 (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

NTP 339.034 (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.* Norma Técnica Peruana.

NTP 339.035 (2009). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland.* Norma Técnica Peruana.

NTP 339.185 (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.010 (2001). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.012 (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.017 (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.018 (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (Nº 200) por lavado en agregados.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.019 (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.021 (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.* Norma Técnica Peruana.

NTP 400.022 (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.037 (2014). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)*. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.043 (2015). *AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo*. Norma Técnica Peruana.

Obregon, M., & Osorio, A., (2022). *Influencia de arcilla expandida en diseño de mezcla de concreto liviano alto rendimiento en distrito de Lircay Angaraes-Huancavelica*. Revista Científica Ciencias Ingenieriles, *Universidad Nacional de Huancavelica*.
<https://doi.org/10.54943/ricci.v2i1.214>

Rivva, E. (2014). *Diseño de Mezclas*. Capitulo peruano ACI. Lima-Perú.

Vásquez, A. (2022). *Influencia sobre la resistencia a compresión de un concreto ligero estructural, al reemplazar un porcentaje de traquita; saturada y seca por el agregado grueso*. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/5287>

Vera, J., & Quispe, G. (2018). *Evaluación del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano*. [Tesis de Titulación, Universidad San Martín de Porres]. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/4197>

ANEXOS

**ANEXO I: RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS
AGREGADOS DE LA CANTERA**

1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

1.1. Módulo de Fineza del agregado grueso (mg):

Tabla 22

Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M1.

Peso Seco Inicial =		8000.00 g			
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	734.30	9.18	9.18	90.82
1/2"	12.70	2685.10	33.56	42.74	57.26
3/8"	9.53	2682.70	33.53	76.28	23.72
N°4	4.75	1735.20	21.69	97.97	2.03
N°8	3.36	65.40	0.82	98.78	1.22
N 16	1.18	81.70	1.02	99.81	0.20
N 30	0.60	2.34	0.03	99.83	0.17
N 50	0.30	1.03	0.01	99.85	0.15
N 100	0.15	0.96	0.01	99.86	0.14
N 200	0.075	2.16	0.03	99.89	0.11
Cazoleta	--	9.11	0.11	100.00	0.00
Módulo de Finura =		6.816			

Figura 10

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M1.

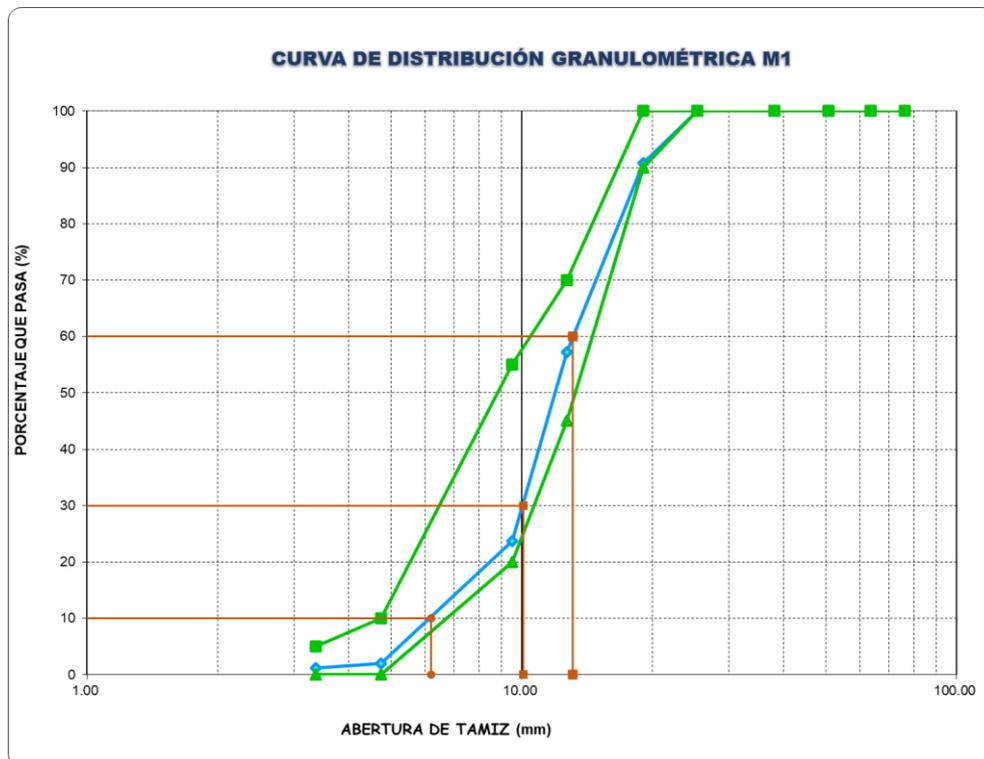


Tabla 23

Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M2.

Peso Seco Inicial =		8000.00			
Nº	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	691.30	8.64	8.64	91.36
1/2"	12.70	2810.60	35.13	43.77	56.23
3/8"	9.53	2685.70	33.57	77.35	22.66
Nº4	4.75	1620.20	20.25	97.60	2.40
Nº8	3.36	105.60	1.32	98.92	1.08
N 16	1.18	70.40	0.88	99.80	0.20
N 30	0.60	3.21	0.04	99.84	0.16
N 50	0.30	1.15	0.01	99.85	0.15
N 100	0.15	2.25	0.03	99.88	0.12
N 200	0.075	1.23	0.02	99.90	0.10
Cazoleta	--	8.36	0.10	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA =		6.819			

Figura 11

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M2.

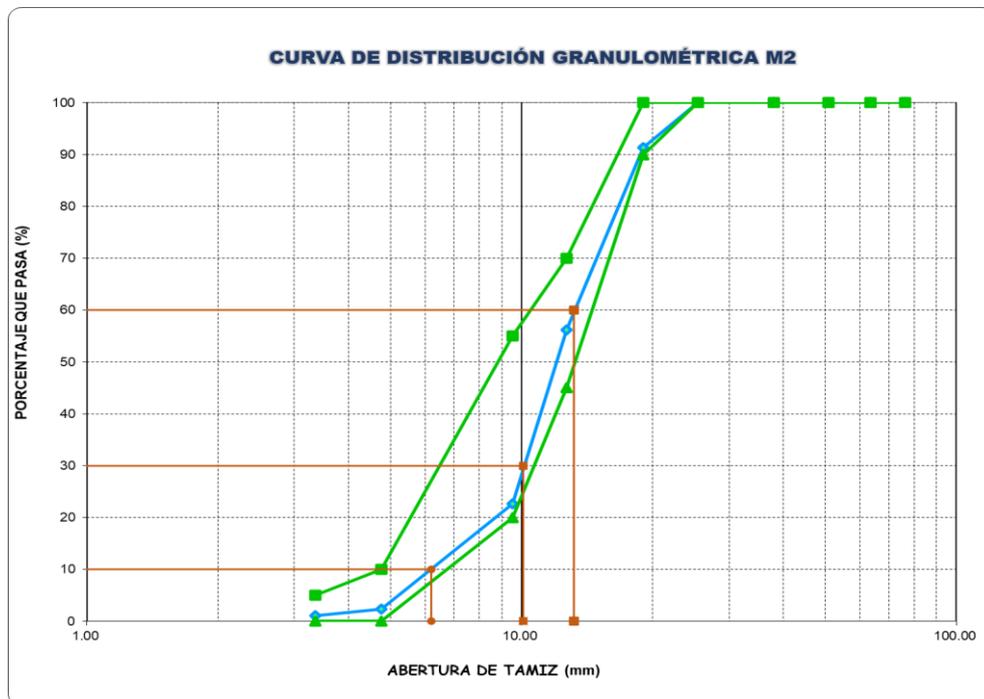


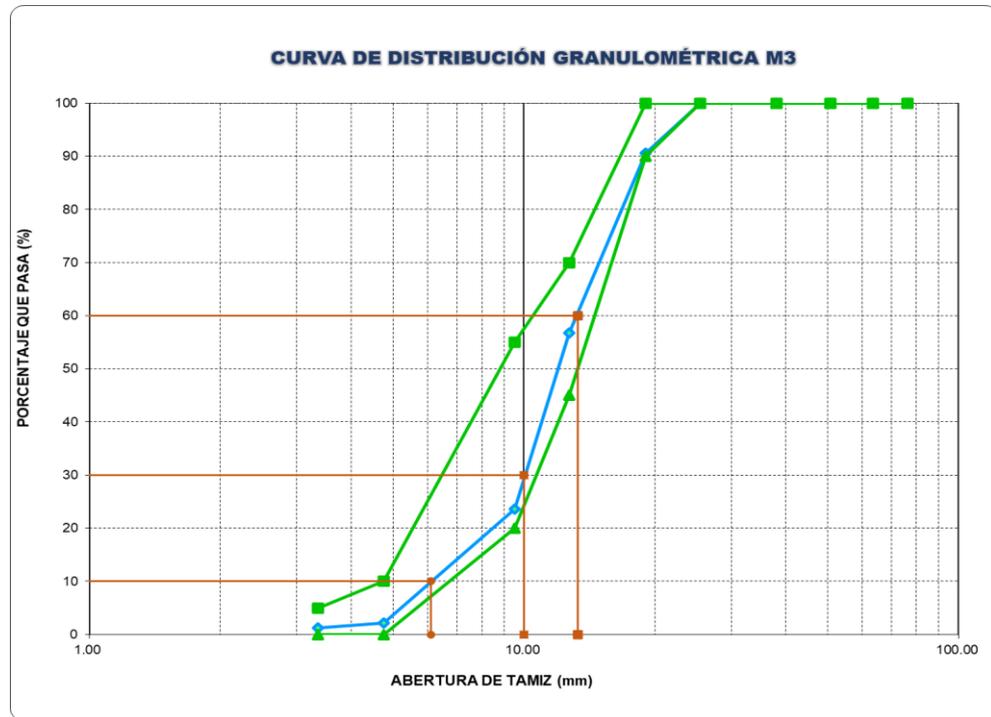
Tabla 24

Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M3.

Peso Seco Inicial =		8000.00			
Nº	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	754.00	9.43	9.43	90.58
1/2"	12.70	2709.00	33.86	43.29	56.71
3/8"	9.53	2650.00	33.13	76.41	23.59
Nº4	4.75	1715.00	21.44	97.85	2.15
Nº8	3.36	69.00	0.86	98.71	1.29
N 16	1.18	88.00	1.10	99.81	0.19
N 30	0.60	1.15	0.01	99.83	0.17
N 50	0.30	0.74	0.01	99.84	0.16
N 100	0.15	1.22	0.02	99.85	0.15
N 200	0.075	2.13	0.03	99.88	0.12
Cazoleta	--	9.76	0.12	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA =		6.817			

Figura 12

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M3.



1.2. Módulo de Fineza del agregado fino (mf):

Tabla 25

Análisis granulométrico del agregado fino muestra M1.

Peso Seco Inicial =		1400.00 g			
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	98.40	7.03	7.03	92.97
N°8	3.36	236.50	16.89	23.92	76.08
N 16	1.18	321.40	22.96	46.88	53.12
N 30	0.60	195.30	13.95	60.83	39.17
N 50	0.30	211.60	15.11	75.94	24.06
N 100	0.15	241.90	17.28	93.22	6.78
N 200	0.075	82.30	5.88	99.10	0.90
Cazoleta	--	12.6	0.90	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA =				3.08	

Figura 13

Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M1.

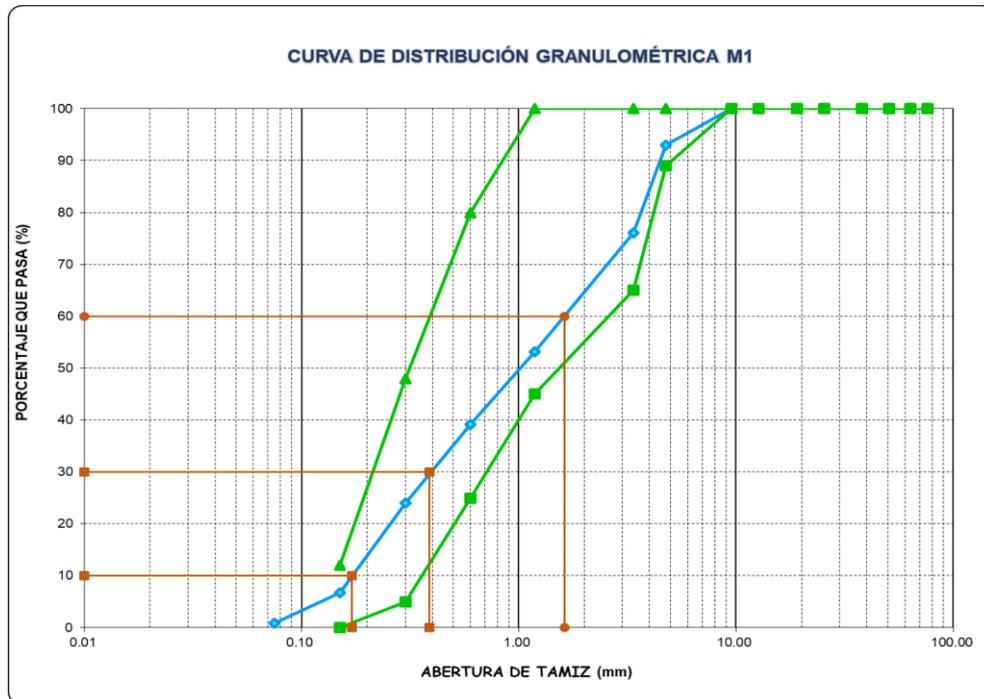


Tabla 26

Análisis granulométrico del agregado fino muestra M2.

Peso Seco Inicial =		1468.00			
Nº	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	122.00	8.31	8.31	91.69
Nº8	3.36	282.00	19.21	27.52	72.48
N 16	1.18	255.00	17.37	44.89	55.11
N 30	0.60	206.00	14.03	58.92	41.08
N 50	0.30	266.00	18.12	77.04	22.96
N 100	0.15	219.00	14.92	91.96	8.04
N 200	0.075	103.00	7.02	98.98	1.02
Cazoleta	--	15	1.02	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA =				3.09	

Figura 14

Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M2.

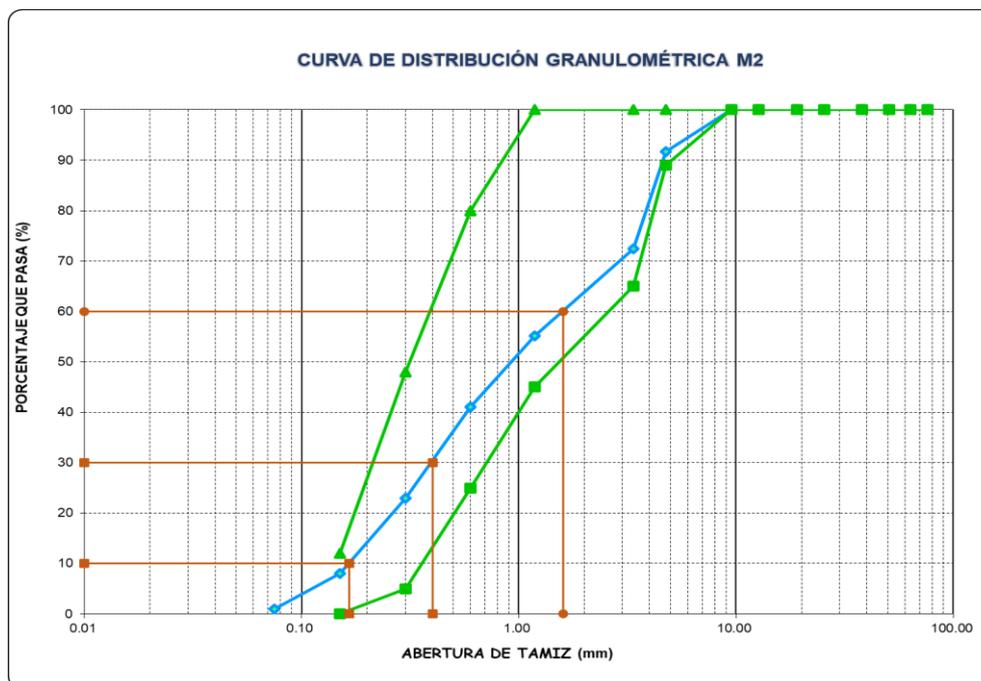


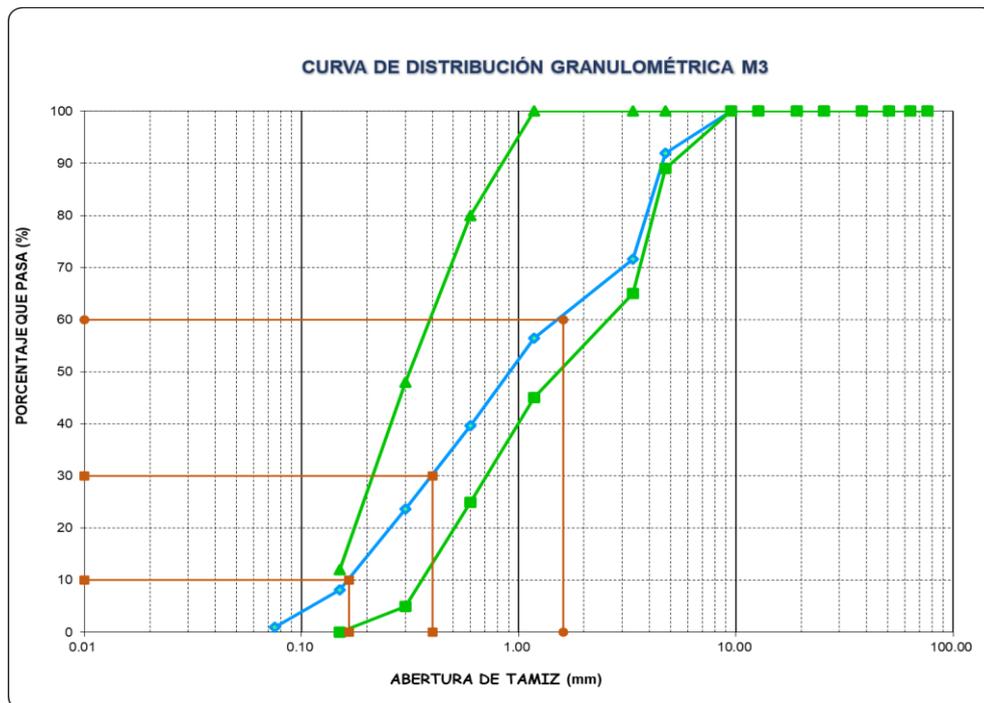
Tabla 27

Análisis granulométrico del agregado fino muestra M3.

Peso Seco Inicial =		1343.00			
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	107.80	8.03	8.03	91.97
N°8	3.36	273.20	20.34	28.37	71.63
N 16	1.18	203.40	15.15	43.51	56.49
N 30	0.60	225.90	16.82	60.34	39.66
N 50	0.30	215.70	16.06	76.40	23.60
N 100	0.15	208.30	15.51	91.91	8.09
N 200	0.075	95.60	7.12	99.02	0.98
Cazoleta	--	13.1	0.98	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA =		3.09			

Figura 15

Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M3.



2. MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ NORMALIZADO 75 μ m (N°200) POR LAVADO DE AGREGADOS.

2.1. Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado grueso.

Tabla 28

Partículas menores que el tamiz N°200 para el agregado fino.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2991.50	2991.20	2991.40	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	8.50	8.80	8.60	
Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.283%	0.293%	0.287%	0.30%

2.2. Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado fino.

Tabla 29

Partículas menores que el tamiz N°200 para el agregado fino.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	490.40	490.30	490.20	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	9.60	9.70	9.80	
Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	1.92%	1.94%	1.96%	1.90%

3. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS.

3.1. Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado grueso.

Tabla 30

Peso específico del agua.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola	g	192.74	192.69	192.73	
Peso de la fiola +agua	g	690.36	690.35	690.34	
Volumen de la fiola	cm ³	500.00	500.00	500.00	
Peso específico	g/cm³	0.99524	0.99532	0.99522	0.99526
Peso específico (P.e)	Kg/cm³	995.24	995.32	995.22	995.26

Tabla 31

Factor f de molde.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Molde	g	4222.00	4221.00	4222.50	
Peso del Molde +Agua	g	13769.00	13768.00	13769.50	
Peso Agua	Kg	9.5470	9.5470	9.5470	
Factor f	1/m³	104.246	104.255	104.244	104.248

Tabla 32*Peso Unitario suelto del agregado grueso.*

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	4226.50	4225.00	4226.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	18132.00	18170.00	18283.00	
Peso de la muestra suelta	g	13905.50	13945.00	14057.00	
Factor (f)	1/m ³	104.248	104.248	104.248	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.450	1.454	1.465	1.456
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	1450	1454	1465	1456

Tabla 33*Peso Unitario compactado del agregado grueso.*

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	4225.50	4225.00	4225.50	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	19321.00	19630.00	19604.00	
Peso de la muestra suelta	g	15095.50	15405.00	15378.50	
Factor (f)		104.248	104.248	104.248	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.574	1.606	1.603	1.594
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	1574	1606	1603	1594

3.2. Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado fino.**Tabla 34***Peso específico del agua.*

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola	g	192.74	192.71	192.76	
Peso de la fiola + agua	g	690.32	690.37	690.38	
Volumen de la fiola	cm ³	500	500.00	500.00	
Peso específico	g/cm³	0.99516	0.99532	0.99524	0.99524
Peso específico (P.e)	Kg/cm³	995.16	995.32	995.24	995.24

Tabla 35*Factor f del molde.*

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Molde	g	1995	1994.00	1995.00	
Peso del Molde +Agua	g	4868	4871.00	4867.00	
Peso Agua	Kg	2.873	2.8770	2.8720	
Factor f	1/m3	346.384	345.958	346.532	346.29

Tabla 36*Peso Unitario suelto del agregado fino.*

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	1996.00	1995.00	1996.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	6605.00	6583.00	6714.00	
Peso de la muestra suelta	g	4609.00	4588.00	4718.00	
Factor (f)	1/m3	346.291	346.291	346.291	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.596	1.589	1.634	1.606
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	1596.06	1588.78	1633.80	1606

Tabla 37*Peso Unitario compactado del agregado fino.*

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	1996.00	1996.00	1996.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	7203.00	7237.00	7170.00	
Peso de la muestra suelta	g	5207.00	5241.00	5174.00	
Factor (f)		346.291	346.291	346.291	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.803	1.815	1.792	1.803
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	1803.14	1814.91	1791.71	1803

4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

4.1. Peso Específico y Absorción del agregado grueso.

Tabla 38

Peso específico del agregado grueso.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2649.00	2644.00	2645.00	
Peso de canastilla sumergida	g	783.00	783.00	783.00	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2956.00	2955.00	2956.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1866.00	1861.00	1862.00	
Peso Específico de Masa	g/cm³	2.607	2.594	2.598	2.600
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm³	2.646	2.634	2.636	2.640
Peso Específico de Aparente	g/cm³	2.712	2.701	2.702	2.710

Tabla 39

Absorción del agregado grueso.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2956.00	2955.00	2956.00	
Absorción (%)	%	1.488	1.523	1.488	1.500

4.2. Peso Específico y Absorción del agregado fino.

Tabla 40

Peso específico del agregado fino.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de fiola	g	192.0	192.0	192.0	
Peso de la fiola +agua hasta menisco	g	690.3	690.3	690.3	
peso de la fiola +agua + muestra	g	1003.3	1004.1	1004.6	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	491.10	491.18	491.30	
volumen de agua añadida al frasco	g	311.34	312.10	312.62	
Peso Específico de Masa	g/m³	2.603	2.614	2.622	2.610
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	2.650	2.661	2.668	2.660
Peso Específico de Aparente	g/m³	2.732	2.743	2.750	2.740

Tabla 41

Absorción del agregado fino.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	491.10	491.18	491.30	
Absorción (%)	%	1.812	1.796	1.771	1.800

5. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Tabla 42

Contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	112.00	132.00	357.00	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	2228.00	2271.00	3114.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	2218.00	2262.00	3102.00	
Contenido de Humedad	W %	0.47	0.42	0.44	0.44

Tabla 43

Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	112.00	112.00	450.00	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	2745.00	2679.00	5373.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	2718.00	2654.00	5323.00	
Contenido de Humedad	W %	1.04	0.98	1.03	1.02

6. ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Tabla 44

Abrasión (%) Desgaste promedio del agregado grueso.

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g.)
A	Máquina de los Ángeles	12	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				M1	M2	M3
Peso Inicial de la muestra seca al horno (g.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3711	3755	3744
$\% \text{ Desg.} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100$				25.78	24.90	25.12
Abrasión % Desgaste Promedio					25.00	

7. PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARCILLA EXPANDIDA

Tabla 45

Peso unitario suelto de la arcilla expandida Argex.

Descripción	Und.	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	4226.00	4225.50	4225.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	6420.70	6419.50	6420.30	
Peso de la muestra suelta	g	2194.70	2194.00	2195.30	
Factor (f)	1/m ³	104.248	104.248	104.248	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	0.229	0.229	0.229	0.229
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	228.8	228.7	228.9	228.8

ANEXO II: TABLAS ACI PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

Tabla 46

Volumen unitario de agua.

Tipo de concreto	Asentamiento	Agua en l/m ³ para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados							
		TMN del Agregado Grueso							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
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	-
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	-

Fuente: Adaptado de Rivva, 2013 (p,82). Tabla Confeccionada por el Comité 211 del ACI.

Tabla 47

Contenido de aire.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%

Fuente: Adaptado de Rivva, 2013 (p,89).

Tabla 48

Relación agua-cemento (a/c) por resistencia.

Resistencia a la compresión a los 28 días, f'c (kg/cm ²)	Relación a/c de diseño en Peso	
	Concreto sin Aire Incorporado	Concreto con Aire Incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Adaptado de Rivva, 2013 (p,95). Tabla confeccionada por el Comité 211 del ACI.

Tabla 49

Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Agregado grueso (TMN)	Módulo de fineza de la combinación de agregados, el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en saco / m3 indicados.			
	6.00	7.00	8.00	9.00
3 / 8 "	3.96	4.04	4.11	4.19
1 / 2 "	4.46	4.54	4.61	4.69
3 / 4 "	4.96	5.04	5.11	5.19
1 "	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2 "	5.56	5.64	5.71	5.79
2 "	5.86	5.94	6.01	6.09
3 "	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Adaptado de Rivva, 2013 (p,123).

ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS

Tabla 50

Diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

1. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN		
Cemento Pacasmayo Tipo I (ASTM C – 150)		
Peso Específico		3.11 g/cm ³
1. Resistencia a compresión requerida.		
- Resistencia a la compresión especificada del concreto ($f'c$)	=	210.00 kg/cm ²
- Resistencia a la compresión requerida del concreto ($f'cr$)= $f'c*1.2$	=	252.00 kg/cm ²
* El valor 1.2 se ha considerado por condiciones intermedias en obra		
2. Tamaño máximo nominal del agregado grueso.		
TMN	=	3/4"
3. Asentamiento.		
Slump (Tabla 1)	=	3" – 4"
4. Volumen unitario de agua.		
Agua de Diseño (Tabla 46)	=	205 l/m ³
5. Contenido de aire.		
% Aire atrapado (Tabla 47)	=	2.0 %
6. Relación Agua – Cemento (a/c).		
Por resistencia (Tabla 48) a/c	=	0.617
7. Peso y Factor del Cemento.		
Cemento	=	332.15 kg/m ³
Factor Cemento	=	7.8 bls/m ³
8. Volúmenes absolutos de la Pasta.		
Cemento	=	0.106799 m ³
Agua de Diseño	=	0.205000 m ³
Aire	=	0.002000 m ³
9. Volúmenes absolutos de los agregados.		
Agregado grueso y fino	=	0.686201 m ³
10. Corrección de vacíos.		
Vacíos por corregir	=	3.69 %
11. Módulo de fineza de la combinación de agregados.		
Mc sin corregir por vacíos (Tabla 49)	=	5.10
mc corregido por vacíos	=	5.03
12. Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto.		
% agregado fino	=	48.01 %
% agregado grueso	=	51.99 %

Continúa...

13. Volúmenes absolutos.

<i>Pasta</i>	=	0.313799 m ³
Cemento	=	0.106799 m ³
Agua de Diseño	=	0.205000 m ³
Aire	=	0.002000 m ³
<i>Agregados</i>	=	0.686201 m ³
Agregado fino	=	0.329461 m ³
Agregado grueso	=	0.356740 m ³

14. Peso seco de los materiales de diseño por m³.

Cemento	=	332.15 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.00 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	859.89 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	927.52 kg/m ³

15. Corrección de humedad de los agregados.

<i>Humedad Superficial de los agregados:</i>	Agregado Fino	=	-0.78 %
	Agregado Grueso	=	-1.06 %

<i>Aporte de humedad de los agregados:</i>	Agregado Fino	=	-6.71
	Agregado Grueso	=	-9.83
	Aporte Total	=	-16.54

<i>Materiales corregidos por Humedad:</i>	Cemento	=	332.15 kg/m ³
	Agua Efectiva	=	221.54 l/m ³
	Agregado Fino Húmedo	=	868.66 kg/m ³
	Agregado Grueso Húmedo	=	931.60 kg/m ³

16. Proporción en peso.

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.60
Agregado grueso:	=	2.80
Agua	=	28.35 l/bolsa

17. Proporción en volumen.

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.40
Agregado grueso:	=	2.85
Agua	=	28.35 l/bolsa

18. Proporción por tanda (0.020 m³).

Cemento:	=	6642.9 g/tanda
Agregado fino:	=	17373.3 g/tanda
Agregado grueso:	=	18632.1 g/tanda
Agua	=	4430.8 g/tanda

Tabla 51

Ajuste de diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

2. AJUSTE POR LAS CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA DEL DISEÑO PATRÓN			
1. Volúmenes Absolutos (Diseño de Mezcla)			
	<i>Pasta</i>	=	0.313799 m ³
	Cemento	=	0.106799 m ³
	Agua de Diseño	=	0.205000 m ³
	Aire	=	0.002000 m ³
	<i>Agregados</i>	=	0.686201 m ³
	Agregado fino	=	0.329461 m ³
	Agregado grueso	=	0.356740 m ³
2. Peso seco de los materiales de diseño por m³			
	Cemento	=	332.15 kg/m ³
	Agua de Diseño	=	205.00 l/m ³
	Agregado Fino Seco	=	859.89 kg/m ³
	Agregado Grueso Seco	=	927.52 kg/m ³
3. Corrección de humedad de los agregados			
<i>Humedad Superficial de los agregados:</i>	Agregado Fino	=	-0.78 %
	Agregado Grueso	=	-1.06 %
<i>Aporte de humedad de los agregados:</i>	Agregado Fino	=	-6.71
	Agregado Grueso	=	-9.83
	Aporte Total	=	-16.54
<i>Materiales corregidos por Humedad:</i>	Cemento	=	332.15 kg/m ³
	Agua Efectiva	=	221.54 l/m ³
	Agregado Fino Húmedo	=	868.66 kg/m ³
	Agregado Grueso Húmedo	=	931.60 kg/m ³
4. Datos obtenidos en laboratorio			
	Apariencia	=	Buena
	Trabajabilidad	=	Satisfactoria
	Asentamiento	=	7.75 cm
	Agua Sobrante	=	0.067 l
	Peso Unitario del Concreto Fresco	=	2330.10 kg/m ³
5. Tanda Total (0.020 m³)			
	Cemento:	=	6.64 kg/tanda
	Agregado Fino:	=	17.37 kg/tanda
	Agregado Grueso:	=	18.63 kg/tanda
	Agua Efectiva	=	4.43 l/tanda
	Total de tanda	=	47.08 kg/tanda
6. Rendimiento			
	Σ tanda/PU del Concreto Fresco	=	0.02020 m ³ /tanda

Continúa...

7. Agua de mezcla por tanda

Aporte Agregado fino	=	-0.14 l/tanda
Aporte Agregado grueso	=	-0.20 l/tanda
Agua Efectiva (Diseño Original)	=	4.43 l/tanda
Agua sobrante	=	-0.07 l/tanda
<hr/>		
Agua de mezclado por tanda	=	4.03 l/tanda

8. Agua de mezcla por m³

Agua de mezcla	=	199.50 m ³
----------------	---	-----------------------

9. Cálculo del cemento (nueva cantidad)

Cemento	=	323.23 kg/m ³
---------	---	--------------------------

10. Determinación del agregado grueso

Agregado Grueso Húmedo	=	922.16 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	918.13 kg/m ³
Agregado grueso SSS	=	931.90 kg/m ³

11. Determinación del agregado fino (Métodos de los Volúmenes)

<i>Pasta</i>	=	0.323428 m ³
Cemento	=	0.103932 m ³
Agua de Diseño	=	0.199496 m ³
Aire	=	0.020000 m ³
<hr/>		
<i>Agregados</i>	=	0.676572 m ³
Agregado Grueso Seco	=	0.353125 m ³
Agregado Fino Seco	=	0.323447 m ³

12. Peso seco de los materiales de diseño por m³

Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua de Diseño	=	199.50 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	844.20 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	918.13 kg/m ³

13. Corrección por humedad de los agregados

<i>Humedad Superficial de los agregados:</i>	Agregado Fino	=	-0.78 %
	Agregado Grueso	=	-1.06 %

<i>Aporte de humedad de los agregados:</i>	Agregado Fino	=	-6.58
	Agregado Grueso	=	-9.73
	<hr/>		
	Aporte Total	=	-16.32

<i>Materiales corregidos por Humedad:</i>	Cemento	=	323.23 kg/m ³
	Agua Efectiva	=	215.81 l/m ³
	Agregado Fino Húmedo	=	852.81 kg/m ³
	Agregado Grueso Húmedo	=	922.16 kg/m ³

Continúa...

14. Proporción en peso

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.65
Agregado grueso:	=	2.85
Agua	=	28.38 l/bolsa

15. Proporción en volumen

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.45
Agregado grueso:	=	2.90
Agua	=	28.38 l/bolsa

16. Proporción por tanda (0.020 m³)

Cemento:	=	6464.6 g/tanda
Agregado fino:	=	17056.2 g/tanda
Agregado grueso:	=	18443.3 g/tanda
Agua	=	4316.3 g/tanda

Tabla 52

Diseño de mezcla con 7.5% de arcilla expandida Argex ($f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$).

3. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON 7.5% DE ARCILLA EXPANDIDA.**1. Volúmenes Absolutos.**

<i>Pasta</i>	=	0.323428 m ³
Cemento	=	0.103932 m ³
Agua de Diseño	=	0.199496 m ³
Aire	=	0.020000 m ³
<i>Agregados</i>	=	0.676572 m ³
Agregado fino	=	0.323447 m ³
Agregado grueso	=	0.326641 m ³
Arcilla Expandida al 7.50 %	=	0.026484 m ³

2. Peso seco de los materiales de diseño por m³.

Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua de Diseño	=	199.50 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	844.20 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	849.27 kg/m ³
Arcilla Expandida al 7.50 %	=	7.60 kg/m ³

Continúa...

3. Corrección de humedad de los agregados.

Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua Efectiva	=	215.08 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	852.81 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	853.00 kg/m ³
Arcilla Expandida al 7.50 %	=	7.60 kg/m ³

4. Proporción en peso.

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.65
Agregado grueso:	=	2.65
Arcilla Expandida al 7.50 %	=	0.02
Agua Efectiva	=	28.28 l/bolsa

5. Proporción en volumen.

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.45
Agregado grueso:	=	2.70
Arcilla Expandida al 7.50 %	=	0.150
Agua Efectiva	=	28.28 l/bolsa

6. Proporción por tanda (0.020 m³).

Cemento:	=	6464.6 g/tanda
Agregado fino:	=	17056.2 g/tanda
Agregado grueso:	=	17060.0 g/tanda
Arcilla Expandida al 7.50 %	=	152.0 g/tanda
Agua Efectiva	=	4301.7 g/tanda

Tabla 53

Diseño de mezcla con 12.5% de arcilla expandida Argex ($f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$).

4. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON 12.5% DE ARCILLA EXPANDIDA ARGEX.**1. Volúmenes Absolutos.**

<i>Pasta</i>	=	0.323428 m ³
Cemento	=	0.103932 m ³
Agua de Diseño	=	0.199496 m ³
Aire	=	0.020000 m ³
<i>Agregados</i>	=	0.676572 m ³
Agregado fino	=	0.323447 m ³
Agregado grueso	=	0.308984 m ³
Arcilla Expandida al 12.50 %	=	0.044141 m ³

Continúa...

2. Peso seco de los materiales de diseño por m³.

Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua de Diseño	=	199.50 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	844.20 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	803.36 kg/m ³
Arcilla Expandida al 12.50 %	=	12.67 kg/m ³

3. Corrección de humedad de los agregados.

Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua Efectiva	=	214.60 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	852.81 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	806.89 kg/m ³
Arcilla Expandida al 12.50 %	=	12.67 kg/m ³

4. Proporción en peso.

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.65
Agregado grueso:	=	2.50
Arcilla Expandida al 12.50 %	=	0.04
Agua Efectiva	=	28.23 l/bolsa

5. Proporción en Volumen.

Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.45
Agregado grueso:	=	2.55
Arcilla Expandida al 12.50 %	=	0.250
Agua Efectiva	=	28.23 l/bolsa

6. Proporción por tanda (0.020 m³).

Cemento:	=	6464.6 g/tanda
Agregado fino:	=	17056.2 g/tanda
Agregado grueso:	=	16137.9 g/tanda
Arcilla Expandida al 12.50 %	=	253.4 g/tanda
Agua Efectiva	=	4291.9 g/tanda

Tabla 54

Diseño de mezcla con 22.5% de arcilla expandida Argex ($f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$).

5. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON 22.5% DE ARCILLA EXPANDIDA ARGEX.**1. Volúmenes Absolutos.**

<i>Pasta</i>	=	0.323428 m ³
Cemento	=	0.103932 m ³
Agua de Diseño	=	0.199496 m ³
Aire	=	0.020000 m ³

Continúa...

<i>Agregados</i>	=	0.676572 m ³
Agregado fino	=	0.323447 m ³
Agregado grueso	=	0.273672 m ³
Arcilla Expandida al 22.50 %	=	0.079453 m ³
2. Peso seco de los materiales de diseño por m³.		
Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua de Diseño	=	199.50 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	844.20 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	711.55 kg/m ³
Arcilla Expandida al 22.50 %	=	22.80 kg/m ³
3. Corrección de humedad de los agregados.		
Cemento	=	323.23 kg/m ³
Agua Efectiva	=	213.62 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	852.81 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	714.68 kg/m ³
Arcilla Expandida al 22.50 %	=	22.80 kg/m ³
4. Proporción en peso.		
Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.65
Agregado grueso:	=	2.20
Arcilla Expandida al 22.50 %	=	0.07
Agua efectiva	=	28.10 l/bolsa
5. Proporción en Volumen.		
Cemento:	=	1.00
Agregado fino:	=	2.45
Agregado grueso:	=	2.25
Arcilla Expandida al 22.50 %	=	0.475
Agua Efectiva	=	28.10 l/bolsa
6. Proporción por tanda (0.020 m³).		
Cemento:	=	6464.6 g/tanda
Agregado fino:	=	17056.2 g/tanda
Agregado grueso:	=	14293.6 g/tanda
Arcilla Expandida al 22.50 %	=	456.1 g/tanda
Agua Efectiva	=	4272.5 g/tanda

ANEXO IV: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

1. RESULTADOS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO.

Tabla 55

Cálculo del peso específico del agua.

Descripción	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola seca:	193.00 g	193.00 g	193.00 g	
Peso de fiola más agua:	690.50 g	690.60 g	690.40 g	
Volumen de fiola:	500.00 cm ³	500.00 cm ³	500.00 cm ³	
Peso específico del agua:	995.0 Kg/m³	995.2 Kg/m³	994.8 Kg/m³	995.0 Kg/m³

Tabla 56

Cálculo del factor F del molde para peso unitario del concreto fresco.

Descripción	M1	M2	M3	Promedio
Peso del molde seco:	4224.00 g	4223.00 g	4224.00 g	
Peso del molde más agua:	13628.00 g	13630.00 g	13632.00 g	
Volumen del molde:	0.009 cm ³	0.009 cm ³	0.009 cm ³	
Factor f:	105.81 (1/m³)	105.77 (1/m³)	105.76 (1/m³)	105.78 (1/m³)

Tabla 57

Peso Unitario del concreto fresco.

DESCRIPCIÓN	PATRON	7.5%	12.5%	22.5%
Peso del recipiente:	4.224 kg	4.224 kg	4.224 kg	4.224 kg
Peso del recipiente más muestra compactada:	26.217 kg	25.759 kg	25.377 kg	25.026 kg
Peso de muestra compactada:	21.993 kg	21.535 kg	21.153 kg	20.802 kg
Factor f	105.8 (1/m ³)			
Peso Unitario Concreto Freso:	2326.4 Kg/m ³	2278.0 Kg/m ³	2237.6 Kg/m ³	2200.4 Kg/m ³
Peso Unitario Concreto Freso:	100.00%	98.25%	96.80%	95.46%

2. RESULTADOS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO ENDURECIDO.

Tabla 58

Peso unitario del concreto endurecido.

Diseño	Resultados del peso unitario del concreto endurecido (Kg/cm ³)								
	Edad (Días)								
	7		14		28				
	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)			
Patrón	2342.77		2327.31		2338.10				
	2332.22		2328.05		2345.59				
	2321.46	2331.24	2343.83	2338.83	2352.43	2347.13			
	2341.35		2353.86		2348.96				
	2322.62		2339.30		2349.16				
	2327.02		2340.66		2348.56				
2286.81			2276.45				2287.28		
2285.89			2292.88				2287.26		
7.5% A.E.	2285.98	2285.49	2289.97	2284.25	2280.58	2279.29			
	2276.06		2294.30		2278.71				
	2289.36		2286.83		2265.67				
	2288.87		2265.04		2276.25				
	2273.13				2271.46			2259.76	
	2257.16				2251.08			2250.77	
12.5% A.E.	2253.45	2259.81	2249.03	2263.23	2247.56	2255.42			
	2266.73		2271.84		2266.54				
	2253.76		2261.66		2247.92				
	2254.67		2274.32		2259.98				
	2226.39				2242.55			2234.41	
	2217.21				2232.59			2226.39	
22.5% A.E.	2228.15	2225.05	2229.51	2236.43	2232.75	2231.98			
	2233.65		2237.33		2223.98				
	2218.83		2242.76		2231.16				
	2226.10		2233.86		2243.17				

3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN UNIAXIAL.

Tabla 62

Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 22.5% de arcilla expandida Argex a los 7 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra con reemplazo de Agregado Grueso por 22.5% de Arcilla Expandida			EDAD (DÍAS DE CURADO):	7		
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023			FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	04/02/2023		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210			TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico		

N.º DE TESTIGO	19	20	21	22	23	24	PROMEDIO
Identificación	Muestra con A.E =22.5% - M1	Muestra con A.E =22.5% - M2	Muestra con A.E =22.5% - M3	Muestra con A.E =22.5% - M4	Muestra con A.E =22.5% - M5	Muestra con A.E =22.5% - M6	
Diámetro (cm)	15.21	15.21	15.22	15.20	15.22	15.22	15.21
Altura (cm)	30.92	30.74	30.48	30.31	30.40	30.35	30.53
Peso (g)	12506	12388	12356	12279	12264	12290	12347.17
Volumen (cm ³)	5617.2	5587.2	5545.4	5497.3	5527.2	5520.9	5549.19
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	3	3	3	3	3	3	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.23	2.22	2.23	2.23	2.22	2.23	2.23
Carga Máxima (Tn) 31.00	28.20	27.50	27.30	28.00	28.00	27.50	27.75
Carga Máxima (kg) 31000.00	28200.00	27500.00	27300.00	28000.00	28000.00	27500.00	27750.00
Sección Transversal (cm ²)	181.70	181.76	181.94	181.40	181.82	181.94	181.76
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	155.20	151.30	150.05	154.36	154.00	151.15	152.68
Porcentaje Obtenido (%)	73.91%	72.05%	71.45%	73.50%	73.33%	71.98%	72.70%
Desviación Estándar (σ)							2.10

Tabla 63

Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 14 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra Patrón (Concreto Convencional)	EDAD (DÍAS DE CURADO):	14
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023	FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	11/02/2023
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210	TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico

N.º DE TESTIGO	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO
Identificación	Muestra Patrón - M1	Muestra Patrón - M2	Muestra Patrón - M3	Muestra Patrón - M4	Muestra Patrón - M5	Muestra Patrón - M6	
Diámetro (cm)	15.03	15.00	14.98	15.01	14.98	14.97	14.99
Altura (cm)	30.34	30.56	30.04	29.72	29.94	30.48	30.18
Peso (g)	12530	12564	12407	12383	12334	12557	12462.50
Volumen (cm ³)	5383.9	5396.8	5293.5	5260.7	5272.5	5364.7	5328.69
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	2	3	2	3	2	3	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.33	2.33	2.34	2.35	2.34	2.34	2.34
Carga Máxima (Tn)	36.50	36.00	35.50	35.50	35.50	36.00	35.83
Carga Máxima (kg)	36500.00	36000.00	35500.00	35500.00	35500.00	36000.00	35833.33
Sección Trasversal (cm ²)	177.48	176.60	176.24	177.01	176.13	176.01	176.58
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	205.66	203.85	201.43	200.55	201.56	204.54	202.93
Porcentaje Obtenido (%)	97.93%	97.07%	95.92%	95.50%	95.98%	97.40%	96.63%
Desviación Estándar (σ)							2.03

Tabla 65

Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 12.5% de arcilla expandida Argex a los 14 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra con reemplazo de Agregado Grueso por 12.5% de Arcilla Expandida			EDAD (DÍAS DE CURADO):	14		
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023			FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	11/02/2023		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210			TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico		

N.º DE TESTIGO	13	14	15	16	17	18	PROMEDIO
	Muestra con A.E =12.5% - M1	Muestra con A.E =12.5% - M2	Muestra con A.E =12.5% - M3	Muestra con A.E =12.5% - M4	Muestra con A.E =12.5% - M5	Muestra con A.E =12.5% - M6	
Identificación							
Diámetro (cm)	15.01	15.06	15.07	15.00	15.04	14.97	15.03
Altura (cm)	29.98	30.37	30.34	29.98	29.96	30.00	30.10
Peso (g)	12040	12178	12165	12038	12040	12011	12078.67
Volumen (cm ³)	5300.6	5409.8	5409.0	5298.8	5323.5	5281.1	5337.14
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	5	2	6	2	6	3	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.27	2.25	2.25	2.27	2.26	2.27	2.26
Carga Máxima (Tn) 32.00	32.00	32.50	31.70	31.50	31.80	31.50	31.83
Carga Máxima (kg) 32000.00	32000.00	32500.00	31700.00	31500.00	31800.00	31500.00	31833.33
Sección Transversal (cm ²)	176.83	178.13	178.31	176.77	177.72	176.07	177.31
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	180.96	182.45	177.78	178.19	178.94	178.91	179.54
Porcentaje Obtenido (%)	86.17%	86.88%	84.66%	84.85%	85.21%	85.19%	85.49%
Desviación Estándar (σ)							1.80

Tabla 66

Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 22.5% de arcilla expandida Argex a los 14 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra con reemplazo de Agregado Grueso por 22.5% de Arcilla Expandida			EDAD (DÍAS DE CURADO):	14		
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023			FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	11/02/2023		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210			TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico		
N.º DE TESTIGO	19	20	21	22	23	24	PROMEDIO
Identificación	Muestra con A.E =22.5% - M1	Muestra con A.E =22.5% - M2	Muestra con A.E =22.5% - M3	Muestra con A.E =22.5% - M4	Muestra con A.E =22.5% - M5	Muestra con A.E =22.5% - M6	
Diámetro (cm)	15.20	15.15	15.16	15.15	15.18	15.17	15.17
Altura (cm)	30.62	30.46	30.35	30.46	30.37	30.38	30.44
Peso (g)	12452	12263	12216	12285	12321	12262	12299.83
Volumen (cm ³)	5552.6	5492.7	5479.2	5490.9	5493.7	5489.2	5499.72
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	6	5	5	6	5	5	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.24	2.23	2.23	2.24	2.24	2.23	2.24
Carga Máxima (Tn) 30.00	30.80	31.00	30.70	31.20	30.30	30.70	30.78
Carga Máxima (kg) 30000.00	30800.00	31000.00	30700.00	31200.00	30300.00	30700.00	30783.33
Sección Trasversal (cm ²)	181.34	180.33	180.56	180.27	180.92	180.68	180.68
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	169.85	171.91	170.02	173.08	167.48	169.91	170.37
Porcentaje Obtenido (%)	80.88%	81.86%	80.96%	82.42%	79.75%	80.91%	81.13%
Desviación Estándar (σ)							1.93

Tabla 67

Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 28 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra Patrón (Concreto Convencional)	EDAD (DÍAS DE CURADO):	28
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023	FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	25/02/2023
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210	TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico

N.º DE TESTIGO	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO
Identificación	Muestra Patrón - M1	Muestra Patrón - M2	Muestra Patrón - M3	Muestra Patrón - M4	Muestra Patrón - M5	Muestra Patrón - M6	
Diámetro (cm)	15.04	15.06	15.05	15.04	15.05	15.09	15.05
Altura (cm)	30.48	30.88	30.09	30.04	30.58	30.35	30.40
Peso (g)	12663	12896	12588	12534	12771	12751	12700.50
Volumen (cm ³)	5415.9	5498.0	5351.1	5336.0	5436.4	5429.3	5411.11
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	2	3	2	3	2	3	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.34	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Carga Máxima (Tn)	44.50	43.50	44.10	44.20	43.50	44.30	44.02
Carga Máxima (kg)	44500.00	43500.00	44100.00	44200.00	43500.00	44300.00	44016.67
Sección Trasversal (cm ²)	177.72	178.07	177.84	177.66	177.78	178.89	177.99
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	250.40	244.28	247.98	248.79	244.69	247.64	247.30
Porcentaje Obtenido (%)	119.24%	116.33%	118.09%	118.47%	116.52%	117.92%	117.76%
Desviación Estándar (σ)							2.38

Tabla 69

Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 12.5% de arcilla expandida Argex a los 28 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra con reemplazo de Agregado Grueso por 12.5% de Arcilla Expandida			EDAD (DÍAS DE CURADO):	28		
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023			FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	25/02/2023		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210			TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico		

N.º DE TESTIGO	13	14	15	16	17	18	PROMEDIO
	Muestra con A.E =12.5% - M1	Muestra con A.E =12.5% - M2	Muestra con A.E =12.5% - M3	Muestra con A.E =12.5% - M4	Muestra con A.E =12.5% - M5	Muestra con A.E =12.5% - M6	
Identificación							
Diámetro (cm)	14.96	15.04	15.09	15.05	14.99	15.06	15.03
Altura (cm)	30.06	30.40	30.14	29.95	30.69	29.93	30.19
Peso (g)	11932	12156	12119	12080	12169	12047	12083.83
Volumen (cm ³)	5280.2	5400.8	5392.1	5329.7	5413.5	5330.6	5357.81
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	5	2	6	2	6	3	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.26	2.25	2.25	2.27	2.25	2.26	2.26
Carga Máxima (Tn) 38.50	38.30	39.00	38.40	38.00	38.50	38.60	38.47
Carga Máxima (kg) 38500.00	38300.00	39000.00	38400.00	38000.00	38500.00	38600.00	38466.67
Sección Trasversal (cm ²)	175.66	177.66	178.90	177.95	176.42	178.13	177.45
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	218.04	219.52	214.64	213.54	218.23	216.69	216.78
Porcentaje Obtenido (%)	103.83%	104.53%	102.21%	101.69%	103.92%	103.19%	103.23%
Desviación Estándar (σ)							2.29

Tabla 70

Resistencia a compresión de la muestra con reemplazo por 22.5% de arcilla expandida Argex a los 28 días.

TIPO DE CONCRETO:	Muestra con reemplazo de Agregado Grueso por 22.5% de Arcilla Expandida			EDAD (DÍAS DE CURADO):	28		
FECHA DE VACIADO:	28/01/2023			FECHA DE ENSAYO DE ROTURA:	25/02/2023		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²):	210			TIPO DE ESPECÍMEN:	Cilíndrico		

N.º DE TESTIGO	19	20	21	22	23	24	PROMEDIO
Identificación	Muestra con A.E =22.5% - M1	Muestra con A.E =22.5% - M2	Muestra con A.E =22.5% - M3	Muestra con A.E =22.5% - M4	Muestra con A.E =22.5% - M5	Muestra con A.E =22.5% - M6	
Diámetro (cm)	15.18	15.20	15.24	15.22	15.19	15.13	15.19
Altura (cm)	30.54	30.52	30.49	30.30	30.51	30.32	30.44
Peso (g)	12354	12330	12408	12250	12328	12218	12314.67
Volumen (cm ³)	5529.0	5538.1	5557.3	5508.1	5525.4	5446.8	5517.44
Esbeltez	2	2	2	2	2	2	-
Factor de Corrección	1	1	1	1	1	1	-
Tipo de Falla	6	5	5	6	5	5	-
Peso Específico (g/cm ³)	2.23	2.23	2.23	2.22	2.23	2.24	2.23
Carga Máxima (Tn) 39.00	38.40	38.50	39.00	38.00	38.50	37.90	38.38
Carga Máxima (kg) 39000.00	38400.00	38500.00	39000.00	38000.00	38500.00	37900.00	38383.33
Sección Transversal (cm ²)	181.04	181.46	182.30	181.82	181.10	179.67	181.23
Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	212.11	212.17	213.94	209.00	212.59	210.94	211.79
Porcentaje Obtenido (%)	101.00%	101.03%	101.88%	99.52%	101.23%	100.45%	100.85%
Desviación Estándar (σ)							1.67

ANEXO V: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACAMASYO PORTLAND TIPO I.



Pacasmayo

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



G-CC-F-04
Versión 04

Planta: Pacasmayo

Cemento Pórtland Tipo I

13 de enero de 2023

Periodo de despacho 01 de diciembre de 2022 - 31 de diciembre de 2022

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.4
SO3 (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	3.0
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.5

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	9
Superficie específica (cm ² /g)	2600 mín.	3960
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.10
Densidad (g/cm ³)	A	3.11
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	A	14.6
3 días	12.0 mín.	27.7
7 días	19.0 mín.	33.7
28 días *	28.0 mín.	42.0
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	145
Final	375 máx.	260

A No especifica

* Requisito opcional

El (la) RC 28 días corresponde al mes de noviembre del 2022

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2020.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

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

ANEXO VI: FICHA TÉCNICA DE LA ARCILLA EXPANDIDA ARGEX.



ARGEX® 3-8

DOC 04.01.04\00

Ficha Técnica

DESCRIPCIÓN

ARGEX® 3-8 es un árido ligero de arcilla que se expande en un horno rotatorio a 1200°C. Es un producto natural, ligero, resistente, incombustible, no inflamable e inalterable con el tiempo.

CAMPOS DE APLICACIÓN

Rellenos con un buen comportamiento tanto térmico como acústico, tales como, soleras, recrecidos y aislamiento de forjados en edificios, relleno y formación de pendientes en cubiertas y relleno de cámaras de aire. Las propiedades mecánicas y físicas del árido, hace que sea indicado en obras de geotecnia, agricultura y paisajismo, drenaje y aislamiento de soleras sobre el terreno, muros de contención, jardineras y cubiertas ajardinadas.

CARACTERÍSTICAS

ARGEX® 3-8	Valor declarado	Unidades
Granulometría real	8,0 – 12,5	mm
Densidad aparente seca	287	(±15%) kg/m ³
Partículas machacadas	7	(% masa)
Resistencia a compresión (± 10%)	1,8	MPa
Conductividad térmica	0,11	(W/m.°C)
Absorción de agua	22,7	(% masa seca)
Resistencia al fuego	Incombustible Euro Clase A1	-

RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN

ARGEX® puede ser utilizada suelta, regada con lechada de cemento o como árido para la confección de hormigones ligeros. En la aplicación como morteros y hormigones, hacer la mezcla con 2/3 del agua prevista, echando el resto al final, para evitar el exceso de agua y la fluctuación de ARGEX®.

MODO DE SUMINISTRO

ARGEX® 3-8 se encuentra disponible en sacos de 50 litros, y sacas de 1,5 m³ y de 3,0 m³. También puede ser suministrada a granel o camiones cisternas.

El volumen considerado en fábrica es el aparente y no el del material compactado.

TRANSPORTE Y ALMACENAJE

Durante el transporte y almacenamiento, puede existir una segregación de los áridos más finos, alteraciones en el contenido de humedad, y disminución del volumen aparente debido a la compactación del material, similar a la de otros áridos como arena y grava.

HIGIENE Y SEGURIDAD

Producto inerte, no representa riesgo para la salud ni el medio ambiente. En algunas aplicaciones se puede dar la formación de polvo, por lo que es conveniente la utilización de máscaras de protección.

ARGEX – Argila Expandida, S.A.
Zona Industrial, Azurveira, 3770-011 Bustos, Aveiro - Portugal
T (+351) 234 751 533 F (+351) 234 751 534 @ argex@argex.pt W www.argex.pt



ANEXO VII: REGISTRO INDECOPI - LABORATORIO GUERSAN INGENIEROS.

	PERÚ	Presidencia del Consejo de Ministros	INDECOPI
---	-------------	---	-----------------

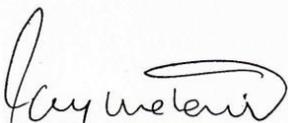
Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00102926

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 020280-2017/DSD - INDECOPI de fecha 29 de septiembre de 2017, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo	:	La denominación GUERSAN INGENIEROS SRL y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo adjunto
Distingue	:	Servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software
Clase	:	42 de la Clasificación Internacional.
Solicitud	:	0713930-2017
Titular	:	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
País	:	Perú
Vigencia	:	29 de septiembre de 2027
Tomo	:	0515
Folio	:	140

 RAY MELONI GARCIA Director Dirección de Signos Distintivos INDECOPI	 GUERSAN INGENIEROS SRL
--	---

Estimado Usuario,

Para cuidar el registro obtenido, le recomendamos tener en cuenta, entre otros aspectos, la siguiente información:

a) Uso de la marca

- ✓ Cualquier persona interesada puede solicitar la **cancelación por falta de uso** del registro otorgado, si han transcurrido tres (03) años durante los cuales **la marca no ha sido utilizada**.
- ✓ Frente a una solicitud de cancelación de registro, **usted deberá demostrar** que viene usando la marca; de lo contrario, el registro será cancelado y perderá el derecho sobre la marca.
- ✓ **El uso** de la marca **debe ser demostrado** de conformidad con lo establecido en el artículo 165 y siguientes de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, Régimen Común Sobre Propiedad Industrial.

b) Actualización de datos del titular

- ✓ En caso exista algún cambio respecto de su domicilio procesal durante el plazo de vigencia del registro otorgado, deberá informarlo a la Dirección de Signos Distintivos.
- ✓ Es importante que informe respecto del cambio de su **domicilio procesal** toda vez que, en caso algún tercero solicitara la cancelación o nulidad del registro otorgado, se le notificará al último domicilio procesal consignado por usted, y esta notificación se tendrá por válida.

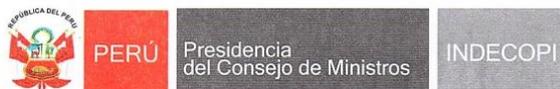
c) Renovación del registro

- ✓ La vigencia del registro otorgado es de diez (10) años **renovables**.
- ✓ Si desea renovar su registro, debe hacerlo dentro de los seis (06) meses anteriores o dentro de los seis (06) meses posteriores al vencimiento del registro.
- ✓ Si no solicita la renovación de su registro, éste **caducará** y usted perderá el derecho sobre el mismo.

d) Lemas Comerciales

- ✓ La cancelación, nulidad o caducidad del registro de una marca a la que se vincule un lema comercial, determinará también la cancelación, nulidad o caducidad, respectivamente, del registro del lema comercial, aun cuando no haya vencido el plazo de diez (10) años de vigencia del mismo.

Recuerde que en INDECOPI trabajamos para proteger los derechos de propiedad intelectual de todos nuestros usuarios.



DIRECCIÓN DE SIGNOS DISTINTIVOS

RESOLUCIÓN N° 020280-2017/DSD-INDECOPI

EXPEDIENTE: 713930-2017
 SOLICITANTE: GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
 Lima, 29 de septiembre de 2017

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 24 de julio de 2017, GUERSAN INGENIEROS S.R.L., de Perú, solicita el registro de marca de servicio constituida por null, para distinguir servicios de la Clase 42 de la Clasificación Internacional.

2. EXAMEN DE REGISTRABILIDAD:

Realizado el examen de registrabilidad del signo solicitado con relación a los servicios que pretende distinguir, y habiendo tenido a la vista la totalidad de antecedentes fonéticos y figurativos en la clase solicitada, se concluye que cumple con los requisitos previstos en el artículo 134 de la Decisión 486, Régimen Común sobre Propiedad Industrial, y no se encuentra comprendido en las prohibiciones señaladas en los artículos 135 y 136 del dispositivo legal referido.

La presente Resolución se emite en aplicación de las normas legales antes mencionadas y en uso de las facultades conferidas por los artículos 36, 40 y 41 de la Ley de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI sancionada por Decreto Legislativo N° 1033, concordante con el artículo 4 del Decreto Legislativo N° 1075.

3. DECISIÓN DE LA DIRECCIÓN DE SIGNOS DISTINTIVOS:

INSCRIBIR en el Registro de Marcas de servicio de la Propiedad Industrial, a favor de GUERSAN INGENIEROS S.R.L., de Perú, la marca de servicio constituida por null que se consignará en el certificado correspondiente; para distinguir servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software, de la Clase 42 de la Clasificación Internacional.

El presente registro queda bajo el amparo de ley por el plazo de diez años, contado a partir de la fecha de la presente Resolución.

Regístrese y Comuníquese

CARLOS CAMPOS FRANCO
 DIRECCIÓN DE SIGNOS DISTINTIVOS
 INDECOPI

Pág. 1 de 1

ANEXO VIII: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PARA EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES.



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INDUSTRIALES,
 DE LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL

RUC: 20607978892

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC007 - TF - 2022

Metrología & calibración

Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 1 de 3

1. Expediente	220108	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son 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.</p> <p>METROLOGÍA & CALIBRACIÓN 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 aqui declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.	
3. Dirección	Pj. Diego Ferre N° 295 Br. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	
4. Instrumento de medición	MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES	
Fabricante	A&A INSTRUMENTS	
Número de Serie	120952	
Modelo	STMH-3	
Alcance de Indicación	0 a 9999 Vueltas	
Div. de escala / Resolución	1 Vuelta	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	CHINA	
Tipo de indicación	DIGITAL	
5. Fecha de Calibración	2022-08-03	
6. Fecha de Emisión	2022-08-15	
7. Lugar de calibración	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS. Pj. Diego Ferre N° 295 Br. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	

Sello

JEFE DE LABORATORIO

Firmado digitalmente por
 Angel Perez
 Fecha: 2022.08.15
 09:28:58 -05'00'



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
 AV. PALMERAS 5535 - LOS OLIVOS - LIMA
 TEL.: 955 730 951; 913 190 274

EMAIL: VENTAS@METCAL.PE
ADMINISTRACION@METCAL.PE

WEB: WWW.METCAL.PE


CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC007 - TF - 2022
Metrología & calibración
Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 2 de 3

8. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al DM / INACAL tomado como referencia la norma internacional ASTM C131 "Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine".

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,3 °C	20,3 °C
Presión Atmosférica	58 %	58 %


10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Tacómetro LTF-C-006-2022	TACÓMETRO ÓPTICO Incertidumbre del orden de 0,8 rpm	1AFR-0022-2022
Anillo Patrón INACAL DM	Pie de rey 300 mm con incertidumbre de 11 um	1AD-0250-2022
Cilindro Patrón INACAL DM / LLA-371-2019		
Bloques Patrón (grado 0) INACAL DM		
Cinta Métrica clase I LLA-176-2021 Magnificador Óptico LLA-031-2021	CINTA MÉTRICA con incertidumbre de medición de 0,9 mm.	1AD-0251-2022

11. Resultados

Características de las esferas

Nº	MEDICIÓN DE LAS ESFERAS	
	Diámetro (mm)	Peso (g)
1	46,78	418,0
2	46,79	417,7
3	46,79	418,0
4	46,78	417,9
5	46,77	418,0
6	46,80	417,9

Nº	MEDICIÓN DE LAS ESFERAS	
	Diámetro (mm)	Peso (g)
7	46,79	417,9
8	46,78	418,0
9	46,77	417,9
10	46,76	418,0
11	46,80	418,0
12	46,81	418,0



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
 CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INDUSTRIALES,
 DE LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL

RUC: 20607978892

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC007 - TF - 2022

Metrología & calibración
Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 3 de 3

Determinación del vuelta/tiempo

Tiempo (seg)	INDICACIÓN DEL PATRÓN			Giro de la Máquina (rpm)
	NÚMERO DE VUELTAS	NÚMERO DE VUELTAS	NÚMERO DE VUELTAS	
60	32	32	32	32,0
120	64	64	64	32,0
180	96	96	96	32,0
240	128	128	128	32,0
300	160	160	160	32,0
360	192	192	192	32,0
420	224	224	224	32,0
480	256	256	256	32,0
540	288	288	288	32,0
600	320	320	320	32,0
660	352	352	352	32,0
720	384	384	384	32,0
780	416	416	416	32,0
840	448	448	448	32,0
900	480	480	480	32,0

Nota 1.- El peso adecuado para las esferas debe ser de entre 390 g y 445 g. el diámetro debe estar entre 46,38 mm y 47,63 mm.

Nota 2.- El cilindro del equipo debe girar a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm.

Nota 3.- El rango admisible para el diámetro interior del tambor del equipo es de 711 ± 5 mm.

Nota 4.- El rango admisible para la longitud interior del tambor del equipo es de 508 ± 5 mm.

12. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.



Fin del documento

METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
 AV. PALMERAS 5535 - LOS OLIVOS - LIMA
 CEL.: 955 730 951; 913 190 274

EMAIL: VENTAS@METCAL.PE
 ADMINISTRACION@METCAL.PE

WEB: WWW.METCAL.PE

ANEXO IX: CONSTANCIA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Consta por el presente que la **Bach. CASTRO TORRES, YOHANA NAIR**, Exalumna de la Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca ha realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo normalizado resistencia a compresión del concreto, muestras cilíndricas.
02	Contenido de humedad
03	Análisis granulométrico
04	Peso unitario suelto y compactado
05	Peso específico
06	Ensayo material más fino que pasa malla N° 200
07	Elaboración especímenes de concreto
08	Ensayo resistencia a la compresión muestras cilíndricas.

Para la Tesis Titulada: "**VARIACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO $f'_c=210$ Kg/cm² AL REEMPLAZAR PARTE DEL AGREGADO GRUESO POR ARCILLA EXPANDIDA EN DIFERENTES PORCENTAJES**". Dichas actividades se desarrolló del 16/01/2023 al 25/02/2023.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 26 de julio de 2023.

Atentamente:

c.c. a:
 _Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA

 Ing. Mauro Centurión Vargas
 JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO X: PANEL FOTOGRÁFICO.

Figura 16

Ensayo de peso unitario suelto de agregado fino.



Figura 17

Ensayo de peso unitario compactado de agregado fino



Figura 18

Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.



Figura 19

Ensayo de resistencia a la degradación del agregado grueso.

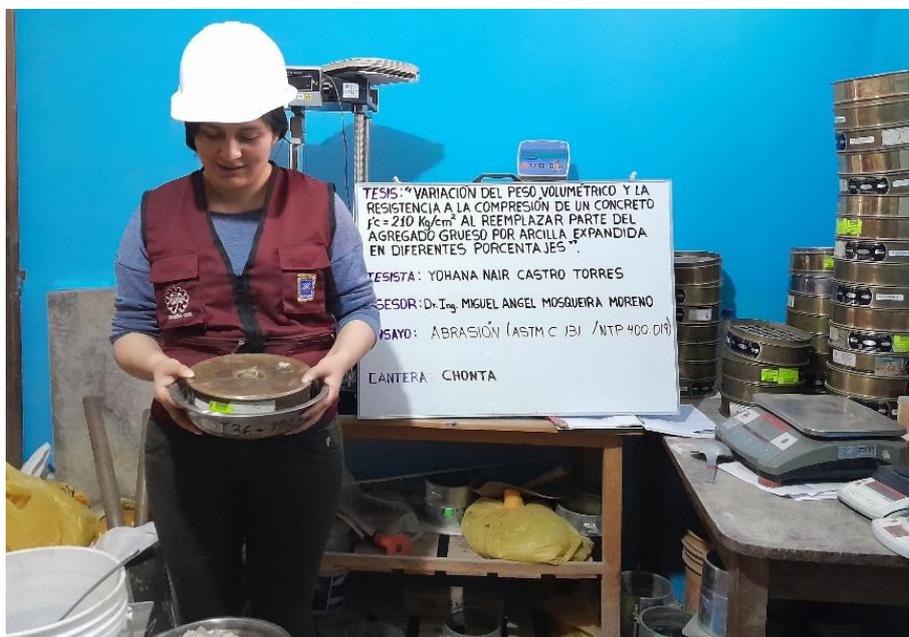


Figura 20

Ensayo de resistencia a la degradación del agregado grueso.



Figura 21

Elaboración de especímenes de concreto y medición del asentamiento.



Figura 22

Especímenes elaborados con las diferentes dosificaciones de arcilla expandida.

**Figura 23**

Desmolde de especímenes de concreto.



Figura 24

Curado de especímenes de concreto.

**Figura 25**

Medición de diámetro de cada espécimen.



Figura 26

Medición de altura de cada espécimen.

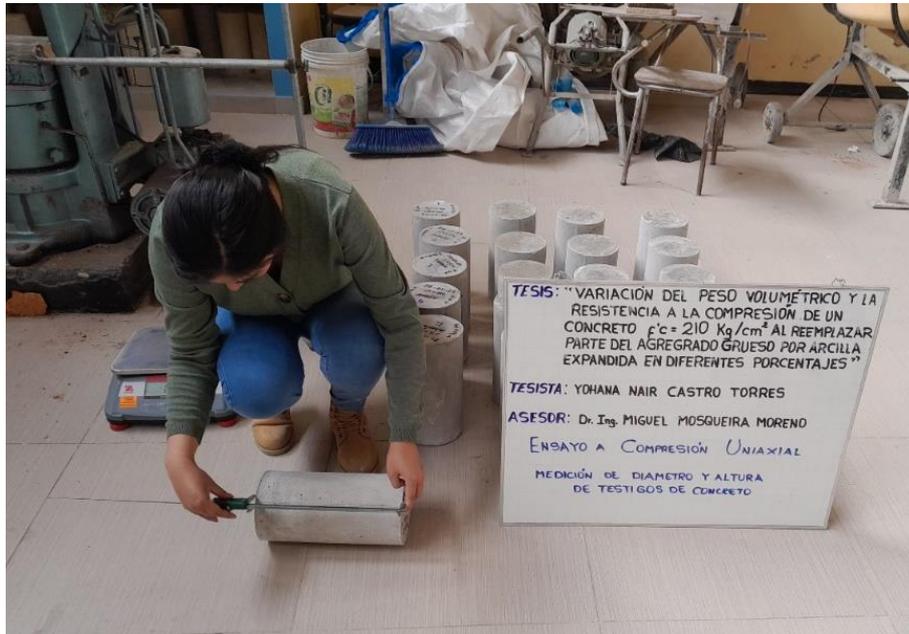


Figura 27

Ensayo a compresión uniaxial de especímenes a los 14 días.



Figura 28

Distribución de los agregados en un espécimen ensayado.

**Figura 29**

Falla tipo 3 de espécimen con reemplazo de agregado grueso por 12.5% de arcilla expandida a los 7 días.

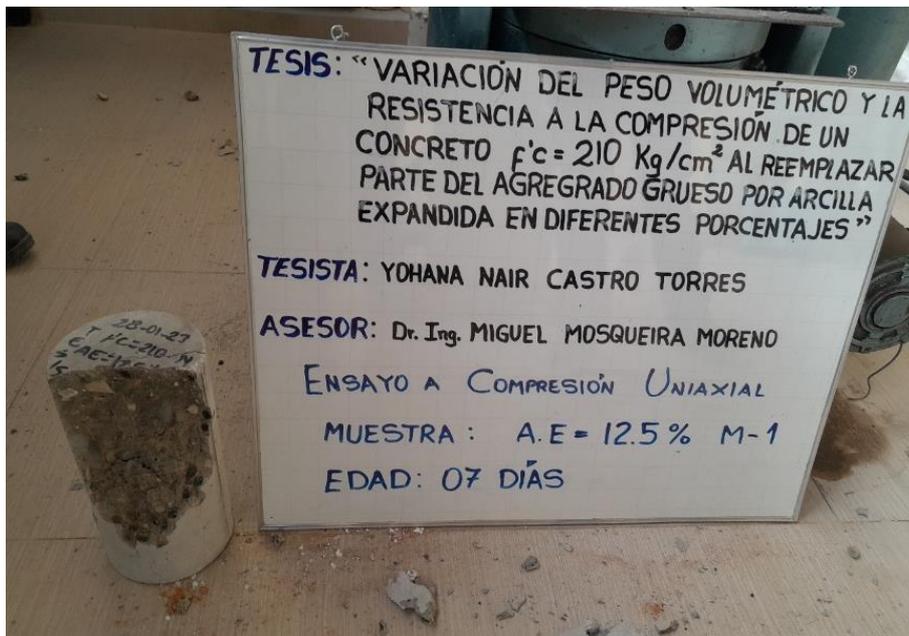


Figura 30

Falla tipo 6 de espécimen con reemplazo de agregado grueso por 7.5% de arcilla expandida a los 14 días.



Figura 31

Ensayo a compresión uniaxial a los 28 días.

