

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS
DEL CONCRETO $f'c=210\text{kg/cm}^2$, SUSTITUYENDO
PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE
LLANTAS DE CAUCHO”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. REVILLA LÓPEZ ALEX NIXON

ASESOR:

Ing. SIFUENTES INOSTROZA LUCIO MARCIAL

CAJAMARCA – PERÚ



2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Alex Nixon Revilla López
DNI: 71196340
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
- Asesor:** Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza
Facultad: Ingeniería Civil
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL CONCRETO $f'c=210\text{kg/cm}^2$, SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE LLANTAS DE CAUCHO
- Fecha de evaluación:** 04/03/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22% (veintidós por ciento)
- Código Documento:** oid:3117:337184797
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/03/2024

 FIRMA DEL ASESOR Lucio Marcial Sifuentes Inostroza DNI: 26617505	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  Dra. Yvonne Katherine Fernández León DIRECTORA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
---	---

AGRADECIMIENTO

A Dios por haber guiado e iluminado este camino lleno de metas y sueños trazados en mi vida. A mi familia por haber sido mi apoyo y compañía en todo momento.

A mi casa de estudios la Universidad Nacional de Cajamarca por la formación académica para ser profesional.

A mis amigos que estuvieron desde antes y los que encontré en el camino para convertirme en la persona que soy.

A mi asesor el Ing. Lucio Sifuentes Inostroza, por sus recomendaciones y apoyo para la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi Abuela María, por haber sido la mejor persona que conocí en la vida y todo lo que me dio y enseñó durante su vida.

A mis padres, Rosa y Octavio, a quien les debo la vida, por sus consejos, su apoyo, su compañía, sus valores y sus sacrificios para que hoy sea quien soy.

A mi hermana y sobrina, que su apoyo, compañía y risas, me han hecho sobrellevar todo con más alegría.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.3. HIPÓTESIS	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.5. ALCANCES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.7. OBJETIVOS	18
1.7.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS.....	21
2.2.1. CONCRETO	21
2.2.2. MATERIALES PARA FABRICACIÓN DEL CONCRETO	22
2.2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO	29
2.2.4. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO.....	36
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	47
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.2. METODOLOGÍA	50
3.2.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	50

3.2.2.	VARIABLES.....	50
3.2.3.	POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	50
3.2.4.	MUESTRA.....	50
3.2.5.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	51
3.3.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.3.1.	Determinación de las características físicas y mecánicas del agregado fino y grueso.....	51
3.3.2.	Diseño de mezclas, para concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	56
3.3.3.	Proporciones de diseño de mezclas, para concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con sustitución de residuos de llantas de caucho.....	59
3.3.4.	Determinación del peso unitario del concreto.....	60
3.3.5.	Determinación de la resistencia a compresión (NTP 339.034).....	60
3.3.6.	Determinación de la resistencia a flexión (NTP 339.078).....	61
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		62
4.1.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	62
4.1.1.	Caracterización de agregados.....	62
4.1.2.	Diseños de mezcla.....	62
4.1.3.	Densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco.....	64
4.1.4.	Densidad (peso unitario) del concreto en estado endurecido.....	65
4.1.5.	Resistencia a compresión del concreto.....	65
4.1.6.	Resistencia a flexión del concreto.....	69
4.2.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	71
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS.....	74
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		75
5.1.	CONCLUSIONES.....	75
5.2.	RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		77
ANEXOS.....		79
APÉNDICE.....		83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consistencia del concreto	29
Tabla 2: Requisitos para condiciones especiales de exposición	31
Tabla 3: Contenido total de aire para concreto resistente al congelamiento	31
Tabla 4: Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes	32
Tabla 5: Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos	32
Tabla 6: Resistencia a ensayo a compresión a diferentes edades.....	34
Tabla 7: Factores de corrección	38
Tabla 8: Resistencia a la compresión promedio.....	39
Tabla 9: Consistencia y asentamiento del concreto	39
Tabla 10: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción....	40
Tabla 11: Estimación de agua y contenido de aire para diversos valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.	41
Tabla 12: Contenido de agua para mezcla.....	42
Tabla 13: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto. 43	
Tabla 14: Máxima relación agua/cemento permitido para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.....	43
Tabla 15: Módulo de finura de la combinación de agregados	44
Tabla 16: Coordenadas UTM del laboratorio de ensayos de materiales de la UNC	48
Tabla 17: Coordenadas UTM de cantera Margarita	48
Tabla 18: Cantidad de probetas de concreto utilizadas en la investigación	51
Tabla 19: Características de los agregados de la cantera Margarita.	62
Tabla 20: Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$	62
Tabla 21: Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 5\%$ caucho	63
Tabla 22: Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 10\%$ caucho	63
Tabla 23: Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 20\%$ caucho	63
Tabla 24: Asentamiento del concreto (slump), para cada tipo de diseño.	64

Tabla 25: Promedios de peso unitario del concreto fresco, $f'c= 210\text{kg/cm}^2$	64
Tabla 26: Promedios de peso unitario del concreto endurecido, $f'c= 210\text{kg/cm}^2$	65
Tabla 27: Resistencia promedio a compresión del concreto a diferentes edades	65
Tabla 28: Resistencia promedio a la flexión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, a edad de 28 días.	69
Tabla 29: Resistencia promedio en porcentaje a flexión del concreto.....	69
Tabla 30: Cálculo de tamaño de muestra.....	83
Tabla 31: Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 01.....	84
Tabla 32: Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 02.....	85
Tabla 33: Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 03.....	86
Tabla 34: Peso específico y absorción del agregado grueso.	87
Tabla 35: Peso específico del agua	87
Tabla 36: Cálculo del factor "f"	88
Tabla 37: Peso unitario suelto seco	88
Tabla 38: Peso unitario suelto compactado	88
Tabla 39: Contenido de humedad del agregado grueso	89
Tabla 40: Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso ...	89
Tabla 41: Abrasión del agregado grueso	89
Tabla 42: Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 01.....	90
Tabla 43: Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 02.....	91
Tabla 44: Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 03.....	92
Tabla 45: Peso específico y absorción del agregado fino	93
Tabla 46: Peso específico del agua	93
Tabla 47: Cálculo del factor "f"	93
Tabla 48: Peso unitario suelto seco	94
Tabla 49: Peso unitario suelto compactado	94
Tabla 50: Contenido de humedad del agregado fino.....	94
Tabla 51: Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino.....	95
Tabla 52: Peso específico del caucho.....	95
Tabla 53: Absorción del caucho	95

Tabla 54: Contenido de humedad del caucho	95
Tabla 55: Calculo de peso unitario del concreto en estado fresco $f'c=210\text{kg/cm}^2$	100
Tabla 56: Calculo de peso unitario del concreto en estado endurecido $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a edad de 7 días	101
Tabla 57: Calculo de peso unitario del concreto en estado endurecido $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a edad de 14 días	102
Tabla 58: Calculo de peso unitario del concreto en estado endurecido $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a edad de 28 días	103
Tabla 59: Resultados de ensayo a la compresión a edad de 7 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	104
Tabla 60: Resultados de ensayo a la compresión a edad de 14 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	105
Tabla 61: Resultados de ensayo a la compresión a edad de 28 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	106
Tabla 62: Desviación estándar de ensayos a edad de 7 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	107
Tabla 63: Desviación estándar de ensayos a edad de 14 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	108
Tabla 64: Desviación estándar de ensayos a edad de 28 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	109
Tabla 65: Resistencia promedio a la compresión $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, a edad de 7 días, sin valores atípicos.	110
Tabla 66: Resistencia promedio a la compresión $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, a edad de 14 días, sin valores atípicos.	110
Tabla 67: Resistencia promedio a la compresión $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, a edad de 28 días, sin valores atípicos.	111
Tabla 68: Resultados de ensayo a la flexión a edad de 28 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes del concreto	22
Figura 2: Componentes del cemento	23
Figura 3: Tipos de cemento.....	24
Figura 4: Granulometría del agregado fino.....	25
Figura 5: Requisitos granulométricos ASTM C-33 para agregado grueso	26
Figura 6: Componentes de un neumático	28
Figura 7: Relación entre la resistencia a compresión y curado.	33
Figura 8: Esquema de los patrones de tipos de fractura.	34
Figura 9: Ensayos de resistencia a flexión del concreto.....	35
Figura 10: Ubicación de laboratorio de ensayo de materiales de la UNC	49
Figura 11: Relación peso unitario del concreto fresco respecto al porcentaje de sustitución de caucho.....	64
Figura 12: Relación peso unitario vs % de sustitución de caucho.....	65
Figura 13: Comparación de resistencias a 7 días para diferentes porcentajes de sustitución de caucho.....	66
Figura 14: Comparación de resistencias a 14 días para diferentes porcentajes de sustitución de caucho.....	66
Figura 15: Comparación de resistencias a 28 días para diferentes porcentajes de sustitución de caucho.....	67
Figura 16: Resistencia a compresión en función del porcentaje sustituido de caucho.....	67
Figura 17: Porcentaje alcanzado de la resistencia de diseño, de concretos con caucho.....	68
Figura 18: Desarrollo de resistencias en función del tiempo para diferentes porcentajes de sustitución de caucho	68
Figura 19: Relación módulo de rotura vs % de sustitución de caucho	69
Figura 20: Promedio de módulos de rotura vs % de sustitución de caucho	70
Figura 21: Relación de % módulo de rotura respecto a la resistencia de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	70

Figura 22: Relación % módulo de rotura alcanzado de la resistencia de diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$	71
Figura 23: Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 01.....	84
Figura 24: Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 02.....	85
Figura 25: Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 03.....	86
Figura 26: Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 01.....	90
Figura 27: Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 02.....	91
Figura 28: Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 03.....	92
Figura 29: Diseño de mezcla $f'c=210\text{ kg/cm}^2$	96
Figura 30: Diseño de mezcla $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ + sustitución 5% de caucho.....	97
Figura 31: Diseño de mezcla $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ + sustitución 10% de caucho.....	98
Figura 32: Diseño de mezcla $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ + sustitución 20% de caucho.....	99
Figura 33: Ensayo de granulometría del agregado	113
Figura 34: Ensayos de peso específico de agregados.....	113
Figura 35: Ensayo de peso unitario suelto y compactado de agregados	114
Figura 36: Fabricación de probetas de concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$	114
Figura 37: Ensayo de slump del concreto	115
Figura 38: Peso de probetas para cálculo de peso unitario del concreto	115
Figura 39: Ensayo a compresión de probetas de concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$...	116
Figura 40: Ensayo de probetas a compresión	116
Figura 41: Fractura tipo 4, en probeta ensayada a compresión	117
Figura 42: Rotura de probeta tipo viga, ensayo a flexión de concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Constancia del laboratorio de ensayo de materiales de la UNC	79
Anexo 2: Ficha técnica del cemento tipo I Pacasmayo	80

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1: Cálculo de número de muestras.....	83
Apéndice 2: Propiedades de los agregados.....	84
Apéndice 3: Diseño de mezclas	96
Apéndice 4: Resultados de ensayos de peso unitario.....	100
Apéndice 5: Resultados de ensayos a resistencia a la compresión	104
Apéndice 6: Desviación estándar de la resistencia a la compresión	107
Apéndice 7: Resultados de ensayos de resistencia a la flexión	112
Apéndice 8: Panel fotográfico.....	113

RESUMEN

El Perú, al encontrarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico, presenta riesgo sísmico. Por lo tanto, el auge del uso de concretos ligeros, utilizando materiales reciclados en la fabricación del concreto sin afectar la resistencia, se hace fundamental para obtener un concreto ligero, logrando así una estructura más flexible con menor vulnerabilidad sísmica. Frente a esta problemática la presente investigación tiene como objetivo determinar las propiedades físico mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir parcialmente agregado fino por residuos de llantas de caucho. Fundamentado en la hipótesis de que estas propiedades varían en más de un 10%, entre un concreto normal y un concreto con sustitución parcial de agregado fino por residuos de llantas de caucho. Para lo cual se elaboró un concreto patrón y concretos con sustitución parcial de agregado fino por residuos de llantas de caucho al 5%, 10% y 20%. Respecto a la densidad del concreto se registró una disminución de hasta un 10%, para concretos con hasta un 20% de sustitución de residuos de llantas de caucho, en comparación al concreto patrón. Los ensayos de resistencia a flexión a 28 días de edad muestran que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de residuos de llantas de caucho hasta un 20%, esta disminuye hasta un 55% respecto al concreto patrón. Mientras que, para la resistencia a compresión a 28 días de edad, hasta un 5% de sustitución parcial de agregado fino por residuos de llantas de caucho se tiene un aumento del 14% en la resistencia, pero una disminución hasta del 40% en su resistencia cuando se llega hasta el 20% de sustitución parcial de caucho respecto al concreto patrón. Concluyendo que solo hasta un porcentaje de 5% de sustitución de agregado fino por residuos de caucho varía positivamente la resistencia a compresión en más de un 14% y en las demás propiedades disminuyen conforme se aumenta el porcentaje de sustitución.

Palabras clave: Concreto, caucho reciclado, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, densidad del concreto.

ABSTRACT

Peru, being in the Pacific Ring of Fire, presents seismic risk. Therefore, the rise in the use of lightweight concrete, using recycled materials in the manufacture of concrete without affecting resistance, becomes essential to obtain a lightweight concrete, thus achieving a more flexible structure with less seismic vulnerability. Faced with this problem, the present research aims to determine the physical-mechanical properties of a concrete $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ by partially replacing fine aggregate with waste rubber tires. Based on the hypothesis that these properties vary by more than 10% between normal concrete and concrete with partial replacement of fine aggregate by rubber tire waste. For which a pattern concrete and concrete were prepared with partial replacement of fine aggregate with rubber tire waste at 5%, 10% and 20%. Regarding the density of the concrete, a decrease of up to 10% was recorded, for concrete with up to 20% replacement of rubber tire waste, compared to the standard concrete. Flexural strength tests at 28 days of age show that as the percentage of replacement of rubber tire waste increases up to 20%, it decreases up to 55% compared to the standard concrete. While, for the compressive strength at 28 days of age, up to a 5% partial replacement of fine aggregate by rubber tire waste results in a 14% increase in resistance, but a decrease of up to 40% in its resistance when up to 20% partial replacement of rubber is reached with respect to the standard concrete. Concluding that only up to a percentage of 5% substitution of fine aggregate by rubber waste does the compressive strength positively vary by more than 14% and the other properties decrease as the substitution percentage increases.

Keywords: Concrete, recycled rubber, compressive strength, flexural strength, concrete density.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Silvestre (2019), en Pereira, Colombia. Los sismos presentan una amenaza por estar ubicada en una zona sísmica alta, por lo que generan daños en las estructuras y pérdida económicas, en la zona ha ocurrido más de 28 mil sismos desde el último gran sismo ocurrido en enero del 1999, por lo que aligerar el concreto con material reciclado, sin afectar la resistencia se hace fundamental por dos motivos: el reciclaje que preserva el medio ambiente y al obtener un concreto liviano resulta en una estructura más flexible con menor vulnerabilidad sísmica dado que se reduce la masa de la estructura y ayuda a mitigar los efectos de las fuerzas sísmicas y mejorar la seguridad estructural.

El Perú, al encontrarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico, presenta riesgo sísmico, por lo que el auge del uso de concretos ligeros, con la introducción de otros materiales en su fabricación, con menor peso que los concretos normales usados en los proyectos, sirve para que el peso unitario disminuya y la resistencia se mantenga, y a su vez cumpla con los objetivos de desempeño sísmico y tenga mejor respuesta dinámica en comparación con la de un concreto normal. (Oliveros, 2019)

El concreto es el material artificial más utilizado en el mundo debido a su versatilidad, durabilidad y asequibilidad. Se utiliza en prácticamente todos los tipos de proyectos de construcción, desde edificios, puentes, carreteras, etc. Sus propiedades únicas lo convierten en un componente esencial de la civilización moderna. (Zambrano, 2020). En la actualidad los proyectos buscan utilizar concretos con menor peso unitario y mayor resistencia, por lo que, en este escenario, el uso de materiales reciclados en la mezcla surge como alternativa, utilizando residuos de caucho en sustitución de los agregados.

Desde la década de 1970, los residuos de caucho se vienen utilizando en diferentes tipos de aplicaciones: modificación de betunes para el sellado de fisuras de pavimentos, ligantes para tratamientos superficiales, riegos y

membranas. En Estados Unidos, se ha empleado el polvo de neumáticos en mezclas asfálticas con contenidos que entre el 5% y 30%, en mezclas densas y porosas, especialmente en tratamientos superficiales. (Soler, 2015).

Las recientes investigaciones sobre el uso de materiales reciclados, como el caucho, abren una ventana para su uso en la fabricación de concreto, pero aún existe carencia de información respecto a las propiedades físico mecánicas del concreto al sustituir parte de los agregados por este material, y que su uso sea viable y eficiente en la práctica.

Frente a esta problemática la presente investigación, pretende determinar la propiedades físico mecánicas del concreto al sustituir parcialmente el agregado fino por caucho, contribuyendo con información para el uso de residuos de llantas de caucho en la fabricación de concreto, buscando mantener sus características de diseño de acuerdo a normas vigentes, y así afianzar el uso de agregados reciclados en la producción de concreto en la ciudad de Cajamarca.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En cuánto varían las propiedades físico mecánicas de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, al sustituir parcialmente el agregado fino por residuos de caucho de llantas en diferentes porcentajes?

1.3. HIPÓTESIS

Las propiedades físico mecánicas de un concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, varían en más de un 10% al sustituir parcialmente el agregado fino por residuos de llantas de caucho en diferentes porcentajes, en comparación con un concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ convencional.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La justificación radica en la generación de nueva información sobre cómo varían las propiedades físico mecánicas de un concreto con resistencia $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ cuando se sustituye parcialmente el agregado fino por residuos de llantas de caucho en distintos porcentajes. En la que se pueda obtener una la resistencia de diseño igual o mayor a la especificada y su peso unitario al

disminuir pueda considerarse un concreto ligero, sin afectar otras características del concreto de acuerdo a normativas pertinentes.

La investigación busca también proporcionar información que respalde y fomente el uso del concreto con materiales reciclados en proyectos futuros, al reducir el peso unitario del concreto y manteniendo una resistencia mayor o igual a la de diseño. Por otro lado, el empleo de materiales reciclados se justifica como una alternativa que puede ayudar a reducir la dependencia de los agregados naturales y su explotación.

1.5. ALCANCES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación determinó la resistencia a compresión, flexión y densidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm², al sustituir parcialmente el agregado fino por residuos de llantas de caucho en diferentes porcentajes.

Se utilizó agregado de río de la cantera Margarita, cemento Pacasmayo portland tipo I y caucho reciclado proveniente de llantas en desuso.

Se diseñó la mezcla de concreto $f'c=210$ kg/cm² por el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, así también se utilizó el mismo diseño de mezcla para los concretos con sustitución de agregado fino por caucho reciclado, los porcentajes de sustitución fueron de 5%, 10% y 20%.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNC, con probetas cilíndricas de 6 x 12 pulgadas para ensayos a compresión y probetas prismáticas de concreto de 6 x 6 pulgadas de sección transversal y longitud de 50 cm.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La principal limitación de la investigación radica en que no se estudiará otras propiedades del concreto como fraguado, endurecimiento, finura, fluidez expansión, durabilidad, resistencia al corte y tensión. Los resultados son válidos solo para agregados de la cantera "Margarita", cemento portland tipo I y caucho reciclado triturado mecánicamente.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las propiedades físico mecánicas de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, sustituyendo parcialmente el agregado fino por residuos de llantas de caucho.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la resistencia a compresión de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a los 7, 14 y 28 días, al sustituir el 5%, 10% y 20% del agregado fino por caucho, respecto a un concreto convencional.
- Determinar la resistencia a flexión de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a los 28 días, al sustituir el 5%, 10% y 20% del agregado fino por caucho, respecto a un concreto convencional.
- Determinar la densidad (peso unitario) de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, al sustituir el 5%, 10% y 20% del agregado fino por caucho, respecto a un concreto convencional.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Silvestre A. (2019) en su investigación “Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales”, en su investigación elabora concreto con adición de caucho en porcentajes de 3%, 5%, 7% y 10% para mejorar la resistencia y aligeramiento de mezcla. De la investigación se obtuvo resultados que el peso volumétrico del concreto se aligero a medida que se aumentó el porcentaje llegando a reducir hasta un 6.32% a los 28 días con respecto al concreto patrón, además que la resistencia a compresión de los concretos con adición superó la de diseño. Concluyendo que se puede utilizar el caucho para aligerar el peso del concreto sin afectar su resistencia.

Pérez J. y Arrieta Y. (2017) en su investigación “Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 PSI.”, realizaron su investigación para un concreto de 3500 PSI, y otra mezcla en la que se adiciono 5% de caucho en peso, de los resultados concluyen que la resistencia a compresión disminuye con respecto al concreto tradicional, la mejor resistencia que se obtuvo del concreto con adición fue de 2244 PSI, que representa un 39% menos que la mezcla tradicional, así mismo la resistencia a tracción indirecta disminuyo con respecto a la tradicional, y recomiendan realizar ensayos de laboratorio a más de 28 días de curado para observar si se desarrolla mejor los esfuerzos.

Hernández J. (2018) en su investigación “Diseño de un material ecológico para construcción mediante la adición de caucho de llanta al concreto”, se adiciono caucho en la fabricación de concreto, en forma de polvo, fibras y fibras cilíndricas, agregando el caucho en porcentaje de 5, 10, 15, 20 y 25% sin variar proporciones de los demás materiales y realizados ensayos a compresión a los 28 días de edad. De los resultados obtenidos muestra que a medida que se agrega caucho la resistencia disminuye y la que mayor resistencia presenta son las que usa fibras cilíndricas, concluyendo que la mezcla con adición del 5% de

caucho puede utilizarse en recubrimientos o donde no se requiera una alta resistencia. Se concluye también que la densidad del concreto disminuye a medida que el porcentaje de caucho se aumenta siendo el concreto con adición en forma de polvo el que menor densidad presento, el concreto con adición de fibras de caucho fue el que presento mayor resistencia a compresión y mayor densidad en comparación que los otros diseños.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Alata J. (2019) en su investigación “Diseño de bloquetas de concreto con caucho reciclado de neumáticos para uso en muros de albañilería confinada, Lima-2019”, tiene como finalidad la fabricación de bloques de concreto con adición de caucho reciclado con respecto al agregado fino en porcentajes de 5%, 10% y 15%, analizando sus propiedades según RNE E-070 de albañilería, de la investigación se tuvo que los resultados de ensayos a compresión de bloques de concreto a 7 días ya cumplen con el RNE E-070 de albañilería, teniendo los bloques de concreto una resistencia mayor a la requerida en el RNE para ser usados en muros de albañilería no portantes y a los 28 días alcanzan resistencias superiores a la resistencia mínima requerida de 50 kg/cm² según RNE E-070, para muros portantes.

Contreras R. (2018) en su investigación “Influencia del tamaño y porcentaje de caucho reciclado en un concreto estructural sobre su compresión, asentamiento, peso unitario y deformación”, realiza ensayos para determinar el porcentaje y tamaño de caucho proveniente de neumáticos que se puede usar en la fabricación de un concreto estructural, para ello la investigación usa un diseño de mezcla según método ACI, para una resistencia de concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$, los resultados de la investigación indican que agregar caucho al 1% a una edad de 28 días el concreto disminuye su resistencia a 243 kg/cm² y a los 56 días esta solo alcanza 268 kg/cm², así también el peso unitario del concreto decrece a medida que se adiciona mayor cantidad de caucho. Concluye que el concreto con adición de caucho no cumple con las características considerarse un concreto estructural.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Valdez K. (2018) en su investigación “Resistencia a la compresión axial del adobe compactado con la incorporación de porcentajes de caucho triturado de neumáticos”, evalúa la resistencia axial del adobe al incorporar caucho triturado de neumáticos en porcentajes de 1%, 2.50% y 5.00%, elaborando muestras de adobe compactados, sus resultados indican que a medida que se aumenta la incorporación de caucho la compresión axial disminuye, cuando se adiciona un 5% de caucho la resistencia decae en un 22.99%, las resistencias obtenidas para porcentajes de 1%, 2.50% y 5.00% de adición son en promedio 22.42 kg/cm², 20.34 kg/cm² y 16.62 kg/cm² respectivamente, pero que a pesar de esto supera el valor de resistencia que establece el RNE E-080 en donde se establece una resistencia mínima de 12.00 kg/cm².

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCRETO

El concreto es un material producto de una mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua. Maleable en su forma líquida y altamente resistente a la compresión en su estado sólido. (Argos, 2021).

Los materiales que lo componen principalmente en la fabricación tradicional tenemos los agregados, agua, aire, aditivos y cementos, cada uno de ellos cumple un papel fundamental en la mezcla. El cemento posee propiedades de cohesión y adhesión que permite el agrupamiento de los agregados. Existen muchos tipos de cemento dependiendo de su composición química, grado de hidratación, velocidad de fraguado, finura de las partículas, en el Perú existe cementos de Tipo I, II, III, IV y V, y sus variaciones y determinadas resistencias mecánicas que pueda llegar a desarrollar.

De los materiales con los que se fabrican y que componen el concreto son los agregados, que pueden ser finos o gruesos según sea su granulometría y se definen como materiales inertes que poseen una resistencia propia, provenientes de canteras de ríos o cerros, siendo la principal razón de su uso que actúan como material de relleno y proporcionan parte de la resistencia a compresión del concreto (Holcim, 2013).

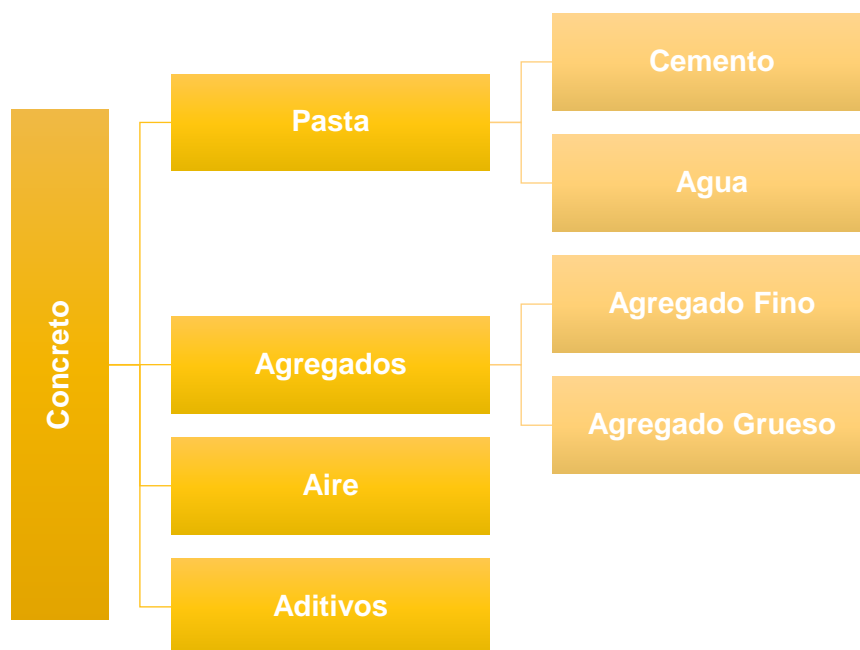
La resistencia potencial del concreto varía según las propiedades y el de las proporciones de cada elemento que lo componen. En el país las especificaciones técnicas empleadas son las Normas Técnicas Peruanas (NTP), que son traducciones adaptadas de las normas ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials), desarrolladas para regular los requisitos y procedimientos de diseño, en la fabricación y asegurar la calidad del concreto. (Zambrano, 2020)

2.2.2. MATERIALES PARA FABRICACIÓN DEL CONCRETO

Los principales materiales para la fabricación del concreto, se componen de cemento, agua y agregados.

El concreto, es una mezcla de dos principales componentes: pasta (cemento y agua) y agregados (fino y grueso). La pasta de concreto se compone de cemento, agua, aditivos y aire que se retiene al realizar la mezcla de los componentes, o es incluido por medio de aditivos. (Pérez, 2015).

*Figura 1:
Componentes del concreto*



Fuente: Pérez, 2015

2.2.2.1. Cemento

Puede ser descrito como un material con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para constituir un conjunto compacto. (Hernández, 2001)

El cemento actúa como un “aglutinante” en la fabricación del concreto que une y fija las partículas de los agregados a través de la matriz. El cemento se encuentra en polvo y la finura de su molido es determinante en sus propiedades, influyendo decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas de su fraguado. Al estar contacto con el agua las partículas de cemento se hidratan hasta una profundidad de 0.01 mm, por lo que si las partículas fueran muy gruesas el rendimiento de la hidratación sería menor al quedar en el interior un núcleo inerte. Sin embargo, una finura excesiva provoca una retracción y provoca que el calor de hidratación se eleve. Además, dado que la resistencia aumenta de acuerdo a su finura hay que llegar a una gradación equilibrada. (Gallegos, 2020).

El cemento más común usado es el portland tipo I, el cual deberá cumplir lo especificado en la Norma Técnica Peruana NTP334.009, Norma AASHTO M85 o la Norma ASTM-C150.

Figura 2:
Componentes del cemento

COMPUESTO	COMPOSICIÓN DEL ÓXIDO	NOMENCLATURA SIMPLIFICADA	PORCENTAJE APROXIMADO
Silicato tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S	60-65%
Silicato dicálcico	2CaOSiO_2	C_2S	10-20%
Aluminio Tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A	<8%
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_4AF	10-15%

Fuente: Pérez, 2015

En el caso de nuestro país contamos con las NTP (Normativa Técnica Peruana) NTP 334.009 (Cementos Portland. Requisitos), basada en la ASTM C-150 contemplando 5 tipos de cementos:

*Figura 3:
Tipos de cemento*

TIPO I	Cemento de uso general.
TIPO II	Genera menor calor de hidratación que el tipo I y es más resistivo al ataque por sulfatos. Se utiliza en grandes estructuras en las que el calor de hidratación puede provocar agrietamientos.
TIPO III	Cemento de alta resistencia a temprana edad y rápido fraguado. Es usado cuando se requiere alcanzar una elevada resistencia en pocos días.
TIPO IV	Presenta un calor de hidratación más bajo que el tipo III, se utiliza en construcciones de concreto masivo.
TIPO V	Cemento de alta resistencia a la acción de los sulfatos, se utiliza en estructuras que están en contacto con suelos de aguas freáticas de alto contenido de sulfatos y en hormigones con aguas negras domésticas concentradas.

Fuente: Pérez, 2015

2.2.2.2. Agregados

Los agregados, son un material para fabricación del concreto, estos son partículas que pueden tener una gradación que van desde el polvo y casi invisibles hasta trozos de piedra, estos pueden ser de origen natural o artificial.

Comúnmente el componente de los agregados puede clasificarse por su tamaño en finos y gruesos, existen distintos tipos como: Clasificación por origen, por color, por tamaño de partícula, por forma de fragmentación, por peso específico, agregados reciclados. La clasificación más común se realiza de acuerdo al tamaño de sus partículas. Se usa una malla del número 4 (4.75 milímetros), lo que queda retenido en el tamiz son agregados gruesos; lo que pasa esta malla (pero que es retenido en una malla o tamiz #200) corresponde a los agregados finos. (Suárez, 2019).

- **Agregado Fino**

Del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma E.060: lo define como el agregado que proviene la desintegración natural o artificial que pasa el tamiz 9.5mm (3/8") y queda retenido en el tamiz N° 200.

*Figura 4:
Granulometría del agregado fino*

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	05 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037

El módulo de fineza del agregado fino no deberá ser menor de 2.30 ni mayor que 3.10

Para elaboraciones de concreto se permite el uso de agregados que no cumplen con gradaciones específicas, siempre que existan estudios que aseguren que el material a usar producirá un concreto con las resistencias requeridas.

- **Agregado Grueso**

Del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma E.060: lo define como el agregado que proviene la desintegración natural o artificial de las rocas, que queda retenido en el tamiz 4.75mm (malla 4).

El agregado grueso deberá cumplir con requisitos para usos especificados según Figura 5:

Figura 5:
Requisitos granulométricos ASTM C-33 para agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C-33

El tamaño máximo nominal del agregado grueso para una estructura no debe ser superior a:

- 1/5 de la menor separación entre lados del encofrado
- 1/3 de la altura de losa
- ¾ del espaciamiento entre aceros de refuerzo de una estructura.

• **Ensayos para caracterización de agregados:**

1. Muestreo para materiales de construcción
2. Peso unitario de los agregados.
3. Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 µm (n° 200) por lavado
4. Análisis granulométrico de agregados.
5. Peso específico y absorción de agregados finos
6. Peso específico y absorción de agregados gruesos

7. Ensayo de abrasión en máquina de Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm

2.2.2.3. Agua

Según RNE, Norma E.060, el agua que debe emplearse para la fabricación del concreto debe ser preferentemente agua potable.

Además, se da lineamientos para uso de aguas no potables:

- Esten limpias y libres de cantidades que sean perjudiciales ya sean aceites, álcalis, sales, ácidos, no contenga materia orgánica u otra sustancia que pueda afectar al concreto.
- Los porcentajes de los materiales en la fabricación del concreto correspondiente al agua, debe basarse en estudios en los que se ha utilizado el agua de la fuente escogida.
- Los especímenes fabricados con agua no potable, deben alcanzar una resistencia a ensayo de compresión del 90% a los 7 días de edad.

2.2.2.4. Caucho

Es un polímero que exhibe propiedades elásticas, lo que significa que puede experimentar una deformación considerable y recuperar su forma original cuando cesa la carga a la que está sometido. Este se puede obtener sintéticamente de manera artificial o con el látex extraído de diversas plantas tropicales. (Pérez, 2014).

- **Neumáticos**

Los neumáticos, están compuestos por más de 200 materiales, el principal componente es el caucho, que de acuerdo al uso que se destina, presenta sus características especiales para su fin, como resistencia a la carga, presión, tipo de ruta, adherencia, entre otros. (Martínez, 2016).

Figura 6:
Componentes de un neumático

Material	composición (%)	
	Automoviles	Camiones
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Rellenos Reforzantes	28	28
Acero	14	15
Antioxidantes y rellenos	17	16

Fuente: Lancheros, 2016

- **Caucho Reciclado**

El caucho reciclado, proviene de los neumáticos fuera de uso (NFU), cuando estos llegan al fin de su vida útil, el uso de caucho reciclado proveniente de esos puede producir residuos sólidos que se aprovechan en distintas áreas hoy como son: asfaltos modificados, rellenos de capa asfáltica, insonorizante de autopistas, relleno de campos de césped artificial, suelos parques infantiles, fabricación de suelas de calzados. (Olivares, 2016)

- **Procedimientos de manejo de NFU**

Apilamiento: Procedimiento de almacenaje de neumáticos en espacios abiertos o cerrados, es el método más común para almacenamiento y posterior manejo de neumáticos en desuso. (Gómez, 2018).

Trituración Mecánica: Procedimiento netamente mecánico, en el que se obtiene producto de la trituración de neumáticos componentes de caucho, acero, nylon. Libres de impurezas lo que facilita la utilización de estos materiales en otros procesos de producción. El proceso inicia con la limpieza de los neumáticos, pasan al área de trituración en los que son sometidos a varias series de trituración hasta conseguir el tamaño de partículas deseados de acuerdo a su uso posterior. Con este proceso se obtiene el caucho granulado, acero y fibras. Su costo de implementación y mantenimiento es menor a los otros métodos por lo que es más rentable al tener materiales libres de impurezas que se usaran en otros productos. En el presente proyecto se utilizó caucho granulado proveniente de la trituración mecánica de neumáticos en desuso. (Miranda et. al., 2017).

2.2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Las propiedades de un concreto son sus características o cualidades básicas. Las principales propiedades del concreto son: Resistencia, durabilidad, trabajabilidad y cohesividad. (Kosmatka, 2014).

Estas características del concreto, pueden variar considerablemente, de acuerdo al control de sus materiales en su fabricación. Por lo tanto, las características de los concretos varían de acuerdo al uso específico que se le dará, buscando que sea económico utilizar un concreto con características exactas y necesarias de acuerdo a la estructura en la que será usado. (Kosmatka, 2014).

2.2.3.1. *Trabajabilidad o Manejabilidad*

Es la capacidad que tiene el concreto de ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación. La propiedad de la trabajabilidad viene dada por el grado de cohesividad, compacidad, plasticidad y la consistencia. La trabajabilidad se puede ver afectada directamente por el contenido de agua en el mezclado, las propiedades de los agregados, contenido de aire, distancia de transporte, las condiciones climáticas y la relación pasta/agregados. (Masías, 2018).

La trabajabilidad se mide mediante el ensayo de slump o asentamiento, este ensayo proporciona una medida cuantitativa de la consistencia del concreto fresco. Según la consistencia del concreto se clasifica:

*Tabla 1:
Consistencia del concreto*

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" - 2"	Poca
Plástica	3" - 4"	Optima
Fluida	>5"	Excesiva

Fuente: ACI (2019)

2.2.3.2. Segregación

La segregación en el concreto se refiere a la separación de los componentes constituyentes del concreto durante el proceso de mezcla, transporte o colocación. Puede ocurrir cuando los agregados más grandes se separan del mortero de cemento, lo que resulta en una distribución no uniforme de los materiales en la mezcla. (Catanzaro, 2023)

2.2.3.3. Exudación

La exudación es la separación de los materiales líquidos y sólidos de la mezcla de concreto, durante el proceso de colocación y compactación. Este fenómeno ocurre cuando la compactación del concreto fresco no es suficiente, lo que resulta en la separación y filtración de los componentes líquidos hacia la superficie del material. La exudación puede ocasionar una reducción de la densidad y la resistencia del concreto. (Catanzaro, 2023)

2.2.3.4. Impermeabilidad

La impermeabilidad del concreto es una propiedad importante que se refiere a su capacidad para resistir la penetración del agua y otros líquidos. Un concreto impermeable es aquel que puede prevenir o minimizar la infiltración de agua a través de su matriz y evitar posibles problemas asociados, como la corrosión de las armaduras o el deterioro del concreto. (Bernardo, 2022)

2.2.3.5. Durabilidad

El Comité ACI 201 (2001), define la durabilidad del concreto como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Y establece que el concreto duradero debe conservar su forma original, calidad y propiedades de servicio cuando se expone a dicho entorno.

De acuerdo al RNE E.060, se debe cumplir con requisitos mínimos establecidos de acuerdo a:

- Relación agua – material cementante: se calculan usando el peso del cemento que cumpla con la NTP 334.009, especificadas en las Tabla 2 y Tabla 5.

Tabla 2:
Requisitos para condiciones especiales de exposición

Condición de la exposición	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal *	f'_c mínimo (MPa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros*
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0,50	28
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0,45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0,40	35

Fuente: RNE, Norma E.060

- Exposición a ciclos de congelación y descongelación: Concretos expuestos a ciclos de congelación y deshielo deben tener aire incorporado de acuerdo a la Tabla 3:

Tabla 3:
Contenido total de aire para concreto resistente al congelamiento

Tamaño máximo nominal del agregado* (mm)	Contenido de aire (en porcentaje)	
	Exposición severa	Exposición moderada
9,5	7,5	6,0
12,5	7,0	5,5
19,0	6,0	5,0
25,0	6,0	4,5
37,5	5,5	4,5
50,0**	5,0	4,0
75,0**	4,5	3,5

Fuente: RNE, Norma E.060

- Para concretos expuesto a químicos descongelantes peso máximo de cenizas volantes, puzolanas, micro sílice o escorias, no debe exceder de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4:
Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes

Materiales cementantes	Porcentaje Máximo del total de materiales cementantes en peso*
Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen la NTP 334.104	25
Escoria que cumple ASTM C 989	50
Microsílice que cumple la NTP 334.087	10
Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y microsíllice.	50**
Total de cenizas volantes u otras puzolanas y microsíllice	35**

Fuente: RNE, Norma E.060

- Para concretos expuestos a soluciones o suelos que presenten sulfatos se debe cumplir con los requisitos de Tabla 5:

Tabla 5:
Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	f'c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	0,0 ≤ SO ₄ < 0,1	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderada**	0,1 ≤ SO ₄ < 0,2	150 ≤ SO ₄ < 1500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	0,2 ≤ SO ₄ < 2,0	1500 ≤ SO ₄ < 10000	V	0,45	31
Muy severa	2,0 < SO ₄	10000 < SO ₄	Tipo V más puzolana***	0,45	31

Fuente: RNE, Norma E.060

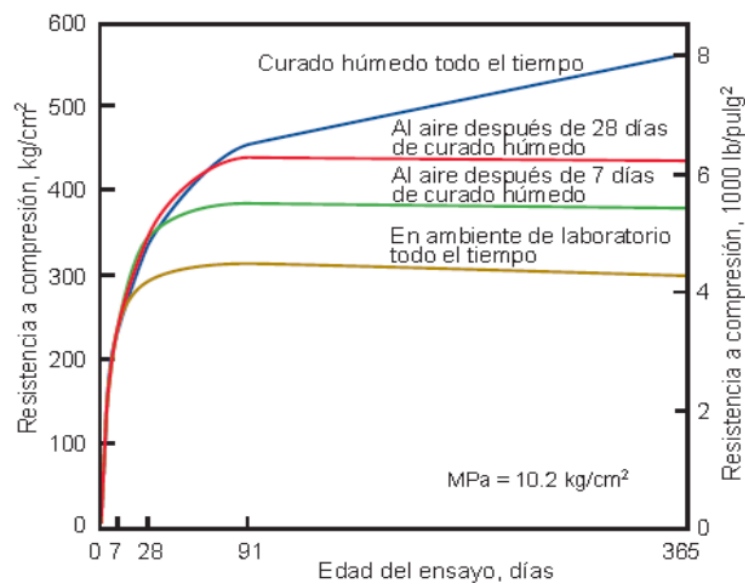
2.2.3.6. Resistencia

La resistencia del concreto es una de las propiedades más importantes y se refiere a su capacidad para soportar cargas y resistir fuerzas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas o fallas. (Zambrano, 2020)

- **La resistencia a compresión del concreto:** es la característica mecánica principal del concreto. Definida como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, generalmente se expresa en unidades: kg/cm², MPa. (Zambrano, 2019).

La resistencia del concreto se designa con una unidad de medida llamada "fuerza característica" o "f_c", que indica la resistencia promedio esperada a los 28 días de curado.

Figura 7:
Relación entre la resistencia a compresión y curado.



Fuente: Kosmatka, 2014

El ACI 209, indica que para determinar la resistencia de un concreto se realiza un ensayo de compresión simple, a diferentes edades en las que se debe llegar a un porcentaje de la resistencia de diseño, como se muestra en la tabla siguiente:

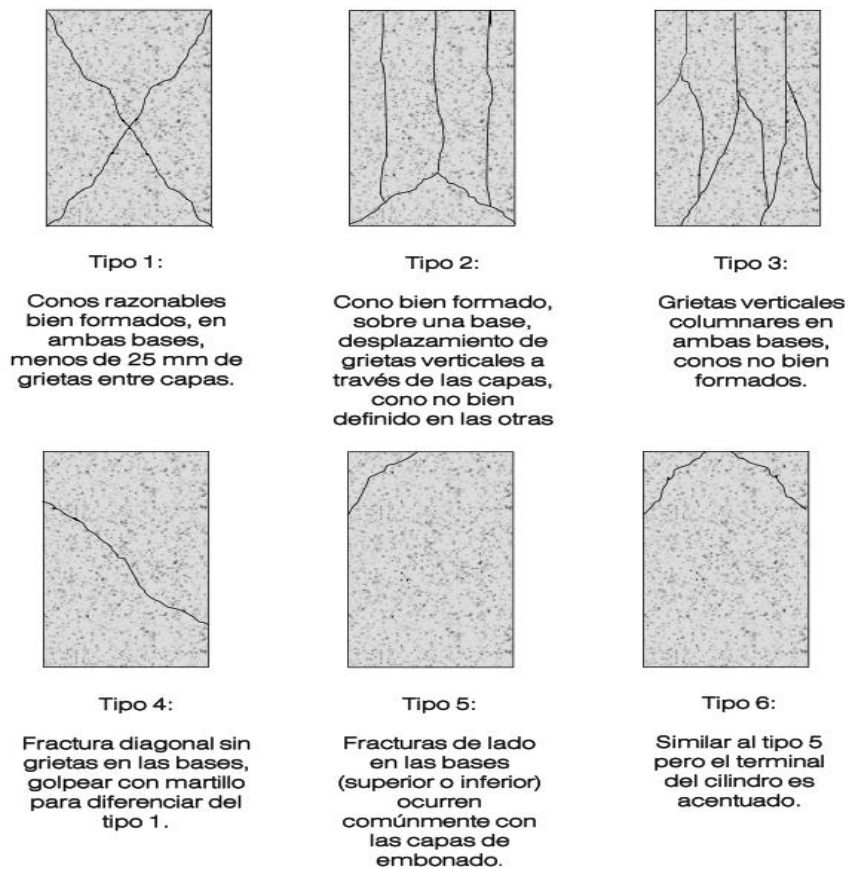
Tabla 6:
Resistencia a ensayo a compresión a diferentes edades

Edad del concreto	Resistencia estimada en porcentaje
1 día	16%
3 días	40%
7 días	65%
14 días	85%
28 días	100%

Fuente: Comité ACI 209

Según la NTP 339.034, el ensayo a compresión simple del concreto produce diferentes tipos de fallas, en la figura siguiente se muestra los tipos de falla:

Figura 8:
Esquema de los patrones de tipos de fractura.

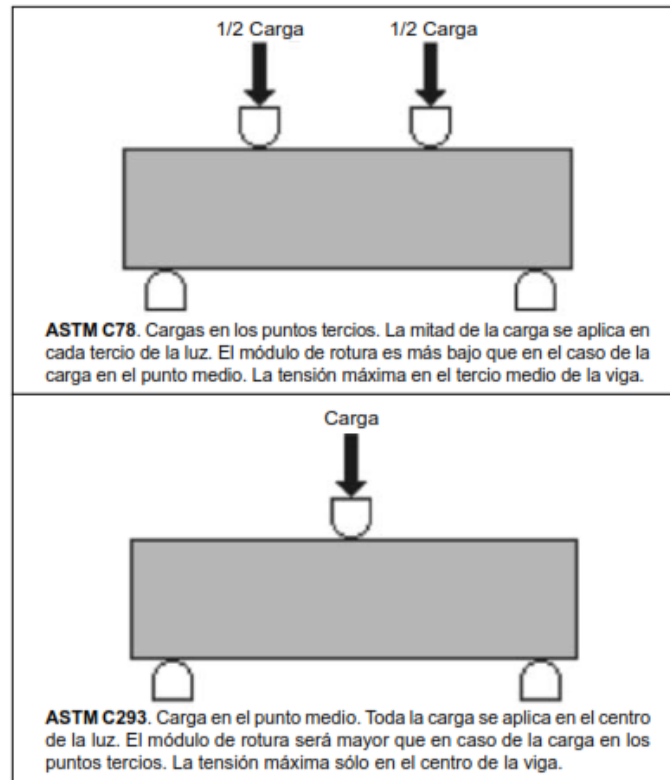


Fuente: NTP 339.034

- **La resistencia a flexión del concreto:** La resistencia a la flexión es una evaluación de la capacidad del concreto para resistir la tracción. Representa la resistencia a la falla bajo momentos aplicados en una viga o losa de concreto no reforzada. (NRMCA, 2017).

La ASTM, indica que la resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C293 (carga en el punto medio).

Figura 9:
Ensayos de resistencia a flexión del concreto.



Fuente: ASTM C293-C78

2.2.3.7. **Módulo de elasticidad del concreto**

El módulo de elasticidad del concreto indica su capacidad para deformarse elásticamente. Se determina aplicando cargas conocidas a un espécimen de concreto para evaluar la deformación del material. (Serrano-Guzmán, 2010).

De acuerdo a la norma E0.60 del Reglamento Nacional de Edificaciones, el módulo de elasticidad teórico para concreto está dada por dos fórmulas de acuerdo al peso unitario del concreto. Si el peso unitario (w_c) está comprendido entre 1450 y 2500 kg/m³, se puede usar la siguiente fórmula:

$$E_c = (w_c)^{1.5} * 0.043\sqrt{f'_c} \quad (\text{en MPa})$$

$$E_c = (w_c)^{1.5} * 0.136\sqrt{f'_c} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

Para concretos con peso unitario ($w_c \approx 2300 \text{ kg/cm}^3$), E_c , puede calcularse:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (\text{en MPa})$$

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

2.2.3.8. Densidad (Peso unitario) del concreto

El peso unitario del concreto usado comúnmente en estructuras en el Perú, varía de los 2200 kg/m³ a 2400 kg/m³, teniendo un diseño bien graduado de acuerdo a sus componentes como son el peso de los agregados, cantidad de agua y cemento. (NRMCA, 2022).

2.2.4. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

La dosificación de las mezclas para la fabricación de concreto implica un balance entre lo económico y las características requeridas del uso del concreto. (Abanto, 2009).

Rivva (2009), menciona que un diseño de concreto adecuadamente dosificado debe lograr:

- La trabajabilidad requerida para una estructura específica
- Lograr las propiedades requeridas
- Tener un diseño de concreto que sea económicamente rentable

2.2.4.1. Datos requeridos para el diseño de mezcla

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado del agregado fino y grueso

- Peso específico de los agregados fino y grueso
- Contenido de humedad y absorción de los agregados (fino y grueso)
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Relación entre resistencia y relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

2.2.4.2. Procedimiento para diseño de mezclas

1. Elección de la resistencia promedio (f'_{cr})

De acuerdo con el RNE E.060, podemos elegir la resistencia promedio de acuerdo a la desviación estándar teniendo:

- **Cálculo de la desviación estándar**

Método 1

El RNE E.060, indica que si se posee registro de ensayos anteriores podrá calcularse la desviación estándar. Este registro debe contener:

- a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad, condiciones similares a aquellos que se espera en el proyecto a utilizar.
- b) Representar concretos para alcanzar resistencias a compresión f'_{c} que estén dentro de un rango ± 70 kg/cm², de la resistencia requerida en el nuevo proyecto.

La desviación estándar se calculará según fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

S = Desviación estándar, en kg/cm²

X_i = Resistencia del testigo de concreto (kg/cm²)

\bar{x} = Resistencia promedio de n probetas (kg/cm²)

n = Cantidad de ensayos sucesivos de resistencia

- c) Tener por lo menos 30 ensayos sucesivos o dos grupos de ensayos con un total de por lo menos 30 ensayos. De esta manera la desviación estándar promedia se podrá calcular con la siguiente fórmula:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(S_1)^2 + (n_2 - 1)(S_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

\bar{S} = Desviación estándar promedio (kg/cm²)

S_1, S_2 = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2, en kg/cm²

n_1, n_2 = Número de ensayos en cada grupo.

Método 2

De acuerdo al RNE E.060, si solo se cuenta con 15 a 29 ensayos sucesivos, se calcula la desviación estándar para dichos ensayos y se multiplica por el factor de corrección indicado en la Tabla 7 para obtener el valor de la desviación.

El registro de ensayos deberá cumplir con los requisitos a y b del método 1, estos ensayos deben ser consecutivos y comprender un periodo de no menos de 45 días.

*Tabla 7:
Factores de corrección*

Número de ensayos (*)	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra (+)
Menos de 15	(emplear Tabla 5.3)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 o más	1,00

Fuente: RNE, Norma E.060

- **Cálculo de la resistencia promedio requerida**

De acuerdo con el RNE E.060, calculada la desviación estándar, la resistencia promedio requerida (f'_{cr}), se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones 1 y 2.

a) La resistencia promedio usando la desviación estándar será el mayor valor obtenido de las siguientes ecuaciones:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34S \dots \dots \dots (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33S - 35 \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

S = Desviación estándar, en kg/cm²

b) Si no se cuenta con valores de desviación estándar, se utilizará la Tabla 8, para determinar la resistencia promedio requerida:

*Tabla 8:
Resistencia a la compresión promedio*

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,1 f'_c + 5,0$

Fuente: RNE, Norma E.060

2. Elección del asentamiento (Slump)

- Siguiendo el procedimiento de diseño de mezclas de Abanto (2009), se puede elegir el asentamiento de acuerdo a la siguiente tabla:

*Tabla 9:
Consistencia y asentamiento del concreto*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" - 2"
Plástica	3" - 4"
Fluida	>5"

Fuente: ACI (2019)

- Si no se especifica la consistencia, ni asentamiento requerido para la mezcla a ser diseñada, podemos seleccionar el asentamiento de acuerdo al tipo de estructura, de acuerdo a la siguiente tabla:

*Tabla 10:
Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.*

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: Comité ACI 211

3. Selección de tamaño máximo del agregado

De acuerdo a las normas de diseño estructural, se recomiendan que el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso debería ser el que mejor económicamente esté disponible, además que sea compatible con las dimensiones y características del proyecto. (Abanto, 2009).

En el RNE, norma E.060, indica que el agregado grueso su TMN no debe ser superior de acuerdo a:

- $1/5$ de la dimensión menor entre lados de encofrados; o
- $1/3$ del espesor de la losa; o
- $3/4$ del espacio libre entre aceros de refuerzo, paquetes de acero o ductos de presfuerzo.

Así se tiene, que el incremento en el tamaño máximo del agregado, reduce el requerimiento de agua en el concreto, incrementando así la resistencia del concreto. (Abanto, 2009).

4. Valor estimado del agua de la mezcla y contenido de aire

De acuerdo a la Tabla 11, realizada por el Comité ACI 211, se estima la cantidad de agua para mezcla, para diferentes tamaños de agregados con o sin aire incorporado.

*Tabla 11:
Estimación de agua y contenido de aire para diversos valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.*

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en lit/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037).

* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

** Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Fuente: Comité ACI 211

Podemos usar la Tabla 12 para elegir la primera estimación del agua de la mezcla teniendo en cuenta el además el perfil del agregado, los valores corresponden a mezclas sin aire incorporado.

Tabla 12:
Contenido de agua para mezcla

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en lt/m^3 , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150mm a 175mm (6"-7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1½"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Comité ACI 211

De la Tabla 11, se puede obtener el porcentaje de aire atrapado, a ser esperado en concreto sin aire incorporado y promedios recomendados del contenido total de aire.

De los valores obtenido de agua y aire, se procede a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$V_{h_2o}(m^3) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico del agua (1000kg/m}^3\text{)}}$$

5. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Abanto (2009), menciona que se puede elegir la relación agua-cemento, teniendo en consideración la resistencia o factores como la durabilidad.

- **Por Resistencia**

Para concretos fabricados con cemento portland tipo I, o cementos comunes se puede escoger la relación de acuerdo a la Tabla 13:

Tabla 13:
Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'cr) (kg/cm2)*	RELACION AGUA/CEMENTO 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: Comité ACI 211

- **Por Durabilidad**

El RNE, en la norma E.060, de acuerdo a su durabilidad, se debe adoptar la relación a/c, de acuerdo a la Tabla 14:

Tabla 14:
Máxima relación agua/cemento permitido para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

(*) La resistencia f'c no deberá ser menor de 245 kg/cm2 por razones de durabilidad.

Fuente: Comité ACI 211

6. Cálculo del contenido de cemento

De los pasos anteriores hemos obtenido la cantidad de agua y la relación de agua/cemento estimadas, podremos calcular la cantidad de cemento por metro cubico de concreto. (Abanto, 2019).

$$\text{Cemento}(Kg / m^3) = \frac{\text{Contenido de Agua}(lts / m^3)}{\text{Relación a/c}}$$

$$\text{Volumen de Cemento}(m^3) = \frac{\text{Contenido de Cemento}(Kg)}{\text{Pespecifico Cemento}(Kg / m^3)}$$

7. Estimación de la cantidad de agregado grueso y agregado fino

MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS:

Método basado en investigaciones de la Universidad de Maryland, que establece que cuando las granulometrías de los agregados están dentro de los límites de la norma ASTM C-33, se produce un concreto trabajable en condiciones normales, el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a valores indicados en la Tabla 15:

Tabla 15:
Módulo de finura de la combinación de agregados

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados.				
mm.	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 1/2	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Abanto (2009)

De la Tabla 15, se obtiene el módulo de finura de la combinación de agregados (mc), desde el inicio, es necesario disponer de los cálculos de los módulos de finura de los agregados fino (mf) y grueso (mg). Utilizaremos la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de agregado fino con respecto al volumen total de agregados:

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

Donde:

r_f = % de volumen de agregado fino del volumen total de agregados.

Calculado el r_f , obtenemos los volúmenes de cada agregado mediante:

$$V_{total\ de\ agregados} = 1 - (V_{h20} + V_{aire} + V_{cemento})$$

$$V_{a.fino}(m^3) = \frac{r_f}{100} \times V_{total\ de\ agregados}$$

$$V_{a.grueso}(m^3) = V_{total\ de\ agregados} - V_{a.fino}$$

Ahora, el cálculo de los pesos de agregados se obtiene por:

$$P_{a.fino}(kg) = V_{a.fino} * P_{especifico_{a.fino}}$$

$$P_{a.grueso}(kg) = V_{a.grueso} * P_{especifico_{a.grueso}}$$

8. Ajustes por humedad y absorción

El contenido de agua en la mezcla es afectado por el contenido de humedad de los agregados. Si están secos absorberán agua, y disminuirá la trabajabilidad y la relación a/c. Por el contrario, si tienen humedad en su superficie aportarán agua a la pasta aumentando la relación a/c y disminuyendo la resistencia. Por ello se debe ajustar las proporciones en base a contenido de humedad y absorción. (Abanto, 2009).

Tenemos:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \text{Absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \text{Absorción} = \%a_f \end{cases}$$

- **Pesos de agregados húmedos:**

$$\text{Pesohumedo}_{a.grueso} (\text{kg}) = (\text{Pesoseco}_{a.grueso}) * \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Pesohumedo}_{a.fino} (\text{kg}) = (\text{Pesoseco}_{a.fino}) * \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

- **Agua Efectiva:**

$$\text{Agua}_{a.grueso} = (\text{Peso}_{a.grueso \text{ seco}}) * \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua}_{a.fino} = (\text{Peso}_{a.fino \text{ seco}}) * \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$\text{Aguaefectiva}(\text{lbs}) = \text{Aguadiseño} - (X + Y)$$

9. Cálculo de las proporciones en peso

Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A fino Húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

10. Cálculo de las proporciones en volumen

- **Datos necesarios:**

- Peso unitario del cemento: 3100 kg/m³
- Peso unitario suelto de agregados (húmedo)

- **Volúmenes en estado suelto:**

- Cemento $: V_{\text{cemento}} (\text{m}^3) = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}} (\text{Kg})}{\text{Pesounitario}_{\text{cemento}} (\text{kg/m}^3)}$

- Agregado Fino $: V_{a.fino} (\text{m}^3) = \frac{\text{Peso}_{a.fino \text{ húmedo}} (\text{Kg})}{\text{Pesounitario}_{a.fino \text{ húmedo}} (\text{kg/m}^3)}$

- Agregado Grueso $: V_{a.grueso} (\text{m}^3) = \frac{\text{Peso}_{a.grueso \text{ húmedo}} (\text{Kg})}{\text{Pesounitario}_{a.grueso \text{ húmedo}} (\text{kg/m}^3)}$

○ Agua
$$: \text{Agua (lts/bls)} = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3 \text{ de C}^\circ}{\frac{\text{Peso}_{\text{cemento por m}^3 \text{ de C}^\circ}}{\text{Peso de cemento por bolsa (42.5 kg)}}}$$

● **Proporciones en Volumen:**

Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua

$$\frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol. A fino}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol. A. grueso}}{\text{Vol. cemento}} / \text{Agua (lts/bls)}$$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Agregado Fino:** Agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa por el tamiz 3/8 pulg. y queda retenido en el tamiz N° 200, el agregado fino puede provenir de canteras de rio o cerro.
- **Residuos de llantas de caucho:** Material con propiedades elásticas, que puede deformarse considerablemente y volver a la forma inicial al cesar la carga a la que está sometido. Obtenido de neumáticos en desuso triturados mecánicamente.
- **Concreto:** El concreto es un material producto de una mezcla de cemento, grava, arena, y agua. Maleable en su forma fresca y altamente resistente a la compresión en su estado sólido.
- **Propiedades físico mecánicas del concreto:** Referido a las características que describen su comportamiento bajo condiciones de carga y entorno. Esto incluye su resistencia a la compresión, flexión y tracción, densidad, porosidad, fraguado, durabilidad.
- **Resistencia a la compresión:** Capacidad de soportar una carga axial máxima, respecto al área de la sección transversal del espécimen.
- **Resistencia a la flexión:** Es una evaluación de la capacidad del concreto para resistir la fractura bajo momentos aplicados en una viga o losa de concreto sin refuerzo.
- **Densidad del concreto:** Definido como el peso unitario, es el peso (masa) por unidad de volumen del concreto, generalmente se expresa en kilos por metro cubico (kg/cm³).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

- La ubicación geográfica de la presente investigación, se desarrolló en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNC, distrito, provincia y departamento de Cajamarca, con coordenadas UTM-DATUM WGS84:

Tabla 16:

Coordenadas UTM del laboratorio de ensayos de materiales de la UNC

COORDENADAS UTM	
ESTE:	776623.29 E
NORTE:	9206996.57 N

Fuente: Google Earth

- La ubicación de la cantera Margarita se encuentra en el distrito de Chilete, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca, de donde se extrajeron los agregados que se usaron para la fabricación de probetas de concreto, con coordenadas UTM-DATUM WGS84:

Tabla 17:

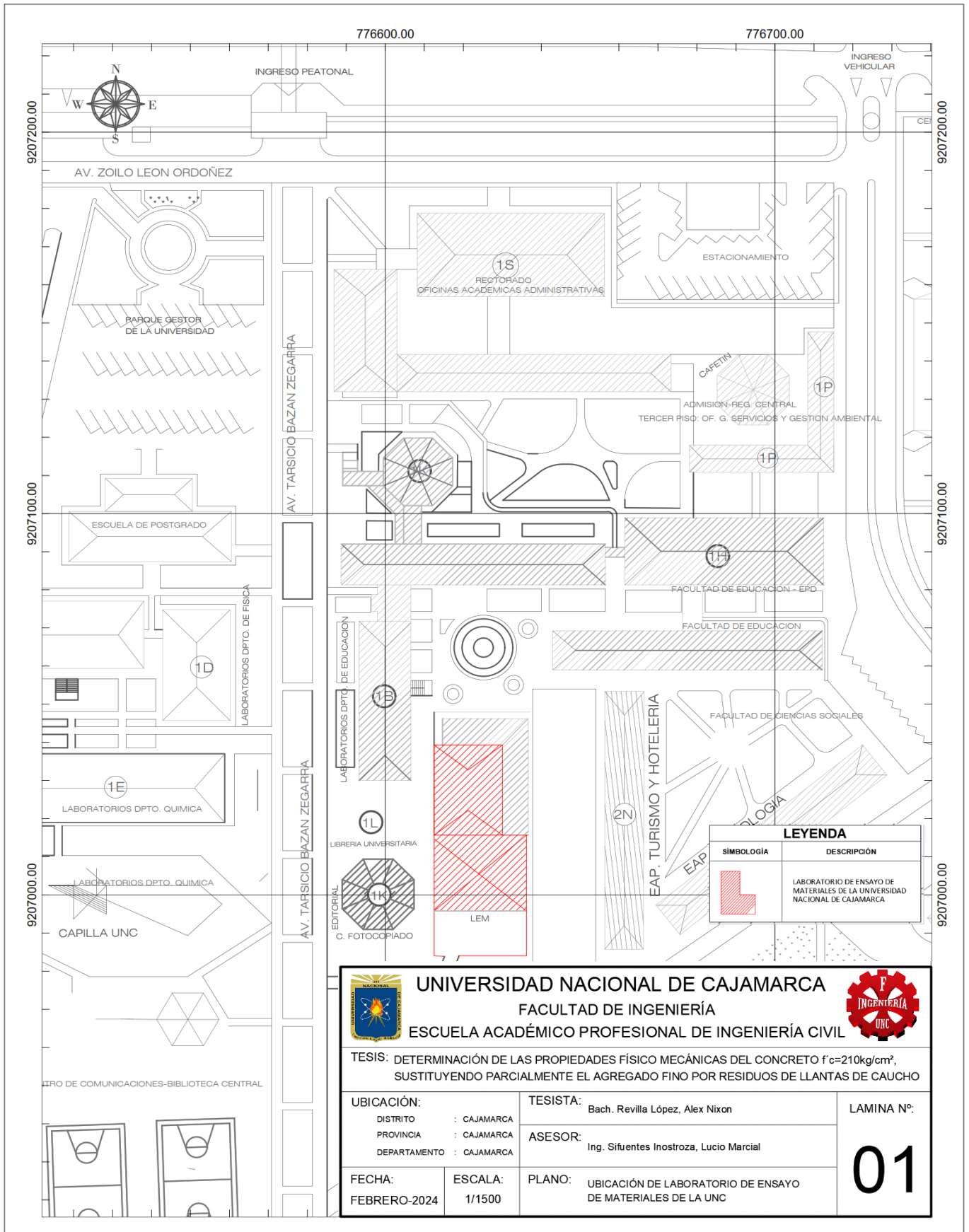
Coordenadas UTM de cantera Margarita


COORDENADAS UTM	
ESTE:	739069.65 E
NORTE:	9200785.82 N

Fuente: Google Earth

- Así mismo, la investigación se realizó entre los meses de junio a diciembre del 2023. Los ensayos de laboratorio se realizaron entre el mes de agosto y octubre del 2023 en la Universidad Nacional de Cajamarca.

Figura 10:
Ubicación de laboratorio de ensayo de materiales de la UNC



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL CONCRETO $f'c=210\text{kg/cm}^2$, SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE LLANTAS DE CAUCHO		
UBICACIÓN: DISTRITO : CAJAMARCA PROVINCIA : CAJAMARCA DEPARTAMENTO : CAJAMARCA		TESISTA: Bach. Revilla López, Alex Nixon ASESOR: Ing. Sifuentes Inostroza, Lucio Marcial
FECHA: FEBRERO-2024 ESCALA: 1/1500		PLANO: UBICACIÓN DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNC LAMINA N°: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">01</div>

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

- **Tipo:** La investigación realizada es de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a resolver un determinado problema, con enfoque en la determinación de las propiedades físico mecánicas del concreto.
- **Nivel:** La investigación realizada es de nivel correlacional, su finalidad fue buscar la relación de interdependencia entre variables.
- **Diseño:** El diseño utilizado es experimental, pues implica la manipulación de variables para observar efectos y establecer relaciones entre las variables independientes y dependientes.
- **Método:** Se usó el método experimental, porque se manipuló la variable de sustitución de caucho para medir los efectos que tiene en las propiedades del concreto. Basado en una hipótesis deductiva, porque en la investigación se tiene una hipótesis para deducir los resultados de la experimentación.

3.2.2. VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Porcentaje de residuos de llantas de caucho.

VARIABLES DEPENDIENTES

- Resistencia a la compresión del concreto.
- Resistencia a la flexión del concreto.
- Densidad del concreto.

3.2.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio se ha definido como las mezclas de concretos fabricados con agregados de río, de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ sin sustitución de caucho y los concretos $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con sustitución de caucho reciclado.

3.2.4. MUESTRA

Se consideró un muestreo probabilístico, con un cálculo del tamaño de muestra, para un nivel de confianza "Z" del 95%, estimando así la cantidad de muestras para las variables cuantitativas.

Tabla 18:
Cantidad de probetas de concreto utilizadas en la investigación

MUESTRAS DE PROBETAS DE CONCRETO					
Tipo	Resistencia a Compresión	7 días	14 días	28 días	Total
Patrón	210 kg/cm ²	10	10	10	30
5% caucho	210 kg/cm ²	10	10	10	30
10% caucho	210 kg/cm ²	10	10	10	30
20% caucho	210 kg/cm ²	10	10	10	30
Ensayos a flexión				12	12
Probetas Totales=					132

3.2.5. UNIDAD DE ANÁLISIS

Las propiedades de resistencia a compresión, flexión y densidad del concreto.

3.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Determinación de las características físicas y mecánicas del agregado fino y grueso.

- Se realizó el acopio de material en el laboratorio de ensayos de materiales “Carlos Esparza Diaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca, provenientes de la cantera Margarita.
- **Método de Cuarteo (NTP 400.043):**
 - El material se mezcló sobre una superficie nivelada, se apiló de forma cónica, y con la pala se apisonó hasta formar un disco de diámetro uniforme, se dividió en cuatro partes iguales, se eliminó cuartos opuestos diagonalmente y el material restante se usó como muestras para los ensayos requeridos.
- **Análisis Granulométrico de Agregado (NTP 400.012):**
 - De acuerdo a norma, se seleccionó una cantidad para agregado fino de 1.5 Kg y para el agregado grueso de 8 kg.
 - Se secó la muestra de los agregados.

- Se realizó el tamizado por las mallas correspondientes.
- Se pesó las cantidades retenidas en cada tamiz, incluida la cazoleta.
- Se determinó los porcentajes retenidos, porcentajes que pasa y porcentajes acumulados de los agregados por cada tamiz.
- Se determinó Tamaño Máximo (TM) y Tamaño Máximo Nominal (TMN).
- Se determinó el módulo de fineza del agregado grueso (mg) y agregado fino (mf)

$$mfineza = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado (N}^\circ 100, N^\circ 50, N^\circ 30, N^\circ 16, N^\circ 8, N^\circ 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3")}{100}$$

- **Material más fino que pasa el tamiz N° 200 (NTP 400.018):**

- Se colocó la muestra seca en un recipiente, se cubrió con agua y agitó para lograr la suspensión de los materiales más finos.
- Se vertió el agua y se repite el procedimiento hasta alcanzar un agua bastante clara, libre de finos.
- Con un chorro de agua constante se lavó el material a través del tamiz N° 200.
- Se secó la muestra lavada y se registra el peso 24h después.
- Se calculó la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200, con la siguiente fórmula:

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

Donde:

A= Porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz N° 200.

P₁= Peso seco de la muestra inicial (g)

P₂= Peso seco de la muestra ensayada (g)

- **Cálculo del peso específico del agua y factor f en recipientes para Peso Unitario.**

- Se determinó el peso específico del agua con una fiola de 500 cm³ de volumen, mediante la fórmula:

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

Donde:

Pe_{agua} = Peso específico del agua (Kg/m³)

W_f = Peso de fiola (g)

W_{f+a} = Peso de fiola más agua (g)

V_f = Volumen de fiola (cm³)

- Se determinó el factor F, dividiendo el peso específico del agua entre el peso del agua para llenar el recipiente usado:

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

Donde:

F = Factor de calibración del recipiente (1/m³)

Pe_{agua} = Peso específico del agua (Kg/m³)

W_r = Peso del recipiente (kg)

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

- **Peso específico y absorción (NTP 400.021 / NTP 400.022)**

Para el agregado grueso:

- Se seleccionó una muestra de acuerdo a norma.
- Se sumergió la muestra en agua durante 24h ± 4h.
- Se rodó la muestra sobre un paño absorbente para eliminar la película de agua superficial.
- Se registró el peso en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) (B).
- Se pesó el material en una canastilla sumergida en agua con la muestra de ensayo (C).
- La muestra se secó en el horno y se enfrió a temperatura ambiente durante 1h a 3 h y se registró el peso (A).

Peso específico de masa (P_{em}):

$$P_{em} = \frac{A}{B - C}$$

Peso específico de masa saturado con superficie seca (P_{esss}):

$$P_{esss} = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente (P_{ea}):

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (%):

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

Donde:

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)

Para el agregado fino:

- Se seleccionó una muestra de acuerdo a norma NTP 400.022.
- Se sumergió la muestra en agua, durante $24h \pm 4h$.
- La muestra se colocó sobre una superficie y se removió hasta llegar a un estado de superficie seca, la cual es medida con un molde tronco cónico y una varilla de compactación, el cual es llenado y al ser retirado la muestra se desmorona para indicar que se encuentra en un estado de superficie seca.
- En una fiola de 500 cm^3 , se colocó la muestra de 500 g de agregado y se procedió a llenar de agua hasta la marca de los 500 cm^3 .
- Se registró el peso, luego se extrajo la muestra y se secó en el horno.
- Se registró el peso seco de la muestra.

Peso específico de masa (P_{em}):

$$P_{em} = \frac{W_0}{V - V_a}$$

Peso específico de masa saturado con superficie seca (P_{esss}):

$$P_{esss} = \frac{500}{V - V_a}$$

Peso específico aparente (P_{ea}):

$$P_{ea} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)}$$

Absorción (%):

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

Donde:

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

V = Volumen de la fiola (cm^3)

V_a = Peso del agua añadida a la fiola (g)

• **Contenido de humedad (NTP 339.185)**

- Se seleccionó un tamaño de muestra representativo de agregados en estado natural, se registró su peso.
- Se secó en el horno durante 24 h, se extrajo la muestra y se registró el peso seco de la muestra.

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

Donde:

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

W = Peso de la muestra húmeda (g)

D = Peso de la muestra seca (g)

- **Resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (NTP 400.019).**
 - Se lavó y secó la muestra en el horno, se separó cada fracción individual y recombino. Se registró la masa de la muestra previamente al ensayo.
 - Se colocó la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y se rotó a velocidad que oscila de 30 rpm a 33 rpm, por 500 revoluciones.
 - Se descargó el material de la máquina y se realizó una separación preliminar de la muestra sobre el tamiz de 1,70 mm (No. 12).
 - Se tamizó la porción fina por el tamiz 1,70 mm. Se lavó el material más grueso que la malla de 1,70 mm y se secó al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, y se registró el peso de esta.

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

Donde:

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

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

3.3.2. Diseño de mezclas, para concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

El diseño de mezclas para el concreto, se realizó con agregados de la cantera Margarita y cemento Pacasmayo portland tipo I.

El método de diseño de mezcla, utilizado para la investigación, fue el del método del módulo de fineza de la combinación de agregados. El diseño se realizó por resistencia.

- **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 9), considerando una consistencia plástica.

4° Se determinó el volumen unitario de agua de diseño para concreto sin aire incorporado (Tabla 12).

5° Se determinó el contenido de aire atrapado (Tabla 11).

6° Se determinó la relación agua/cemento (a/c) por resistencia (Tabla 13).

7° Se calculó el contenido de cemento: de los pasos anteriores hemos obtenido la cantidad de agua y la relación de agua/cemento.

$$\text{Cemento}(\text{Kg} / \text{m}^3) = \frac{\text{Contenido de Agua}(\text{lbs} / \text{m}^3)}{\text{Relación a/c}}$$

$$\text{Volumen de Cemento}(\text{m}^3) = \frac{\text{Contenido de Cemento}(\text{Kg})}{\text{Peso específico Cemento}(\text{Kg} / \text{m}^3)}$$

8° Se calculó el contenido de agregado grueso y fino. De la Tabla 15, se encontró el módulo de fineza de la combinación de agregados y con la siguiente fórmula se obtuvo el porcentaje de a. fino respecto al volumen total de agregados:

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

Donde:

r_f = % de volumen de a. fino en relación al volumen total de agregados.

- Calculado el r_f , se obtuvo los volúmenes de cada agregado mediante:

$$V_{\text{total de agregados}} = 1 - (V_{h20} + V_{\text{aire}} + V_{\text{cemento}})$$

$$V_{a.\text{fino}}(\text{m}^3) = \frac{r_f}{100} \times V_{\text{total de agregados}}$$

$$V_{a.\text{grueso}}(\text{m}^3) = V_{\text{total de agregados}} - V_{a.\text{fino}}$$

- Se calculó los pesos de agregados mediante:

$$P_{a.fino}(kg) = V_{a.fino} * Pesoespecifico_{a.fino}$$

$$P_{a.grueso}(kg) = V_{a.grueso} * Pesoespecifico_{a.grueso}$$

9° Se realizó los ajustes por humedad y absorción:

Tenemos:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \text{Absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \text{Absorción} = \%a_f \end{cases}$$

- Pesos de agregados húmedos:

$$Pesohumedo_{a.grueso}(kg) = (Pesoseco_{a.grueso}) * (1 + \frac{\%W_g}{100})$$

$$Pesohumedo_{a.fino}(kg) = (Pesoseco_{a.fino}) * (1 + \frac{\%W_f}{100})$$

- Agua Efectiva:

$$Agua_{a.grueso} = (Peso_{a.grueso} seco) * \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100} \right) = X$$

$$Agua_{a.fino} = (Peso_{a.fino} seco) * \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100} \right) = Y$$

$$Aguaefectiva(lts) = Aguardiseño - (X + Y)$$

10° Se realizó los cálculos de las proporciones en peso.

Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso/ Agua

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A fino Húmedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

11° Se calculó las proporciones en volumen.

- **Datos necesarios:**

- Peso específico del cemento: 3100 kg/m³
- Peso unitario suelto de agregados (húmedo)

- **Volúmenes en estado suelto:**

- Cemento : $V_{\text{cemento}}(m^3) = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}(Kg)}{\text{Pesounitario}_{\text{cemento}}(kg/m^3)}$
- Agregado Fino : $V_{\text{a.fino}}(m^3) = \frac{\text{Peso}_{\text{a.fino humedo}}(Kg)}{\text{Pesounitario}_{\text{a.fino humedo}}(kg/m^3)}$
- Agregado Grueso : $V_{\text{a.grueso}}(m^3) = \frac{\text{Peso}_{\text{a.grueso humedo}}(Kg)}{\text{Pesounitario}_{\text{a.grueso humedo}}(kg/m^3)}$
- Agua : $\text{Agua}(lts/bls) = \frac{\text{Cantidad de agua por } m^3 \text{ de } C^\circ}{\frac{\text{Peso}_{\text{cemento por } m^3 \text{ de } C^\circ}}{\text{Peso de cemento por bolsa (42.5 kg)}}}$

- **Proporciones en Volumen:**

Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua

$$\frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol. A fino}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol. A. grueso}}{\text{Vol. cemento}} / \text{Agua (lts/bls)}$$

3.3.3. Proporciones de diseño de mezclas, para concreto f'c=210 kg/cm², con sustitución de residuos de llantas de caucho.

En la investigación, se realizó la sustitución parcial de agregado fino por residuos de caucho en porcentajes de 5%, 10% y 20%.

1° Se tomó los volúmenes absolutos del diseño de mezcla patrón.

2° Se reemplazó el volumen de agregado fino por residuos de caucho en porcentajes 5%, 10% y 20%.

3° Se calculó los pesos de los materiales.

4° Se corrigió los valores por humedad y absorción de los agregados.

5° Se calculó la proporción en peso de los diseños de mezcla.

3.3.4. Determinación del peso unitario del concreto

- **Determinación del peso unitario del concreto en estado fresco:**
 - Se pesó los moldes de las probetas cilíndricas.
 - Se depositó el concreto en 3 capas apisonadas con 25 golpes cada una.
 - Se registró los pesos del recipiente más el concreto
 - Se calculó el volumen del recipiente y con la fórmula siguiente se obtuvo la densidad (peso unitario) del concreto.

$$P_u = \frac{(W_{m+r} - W_r)}{V}$$

Donde:

P_u = Densidad del concreto (Kg/m^3)

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

W_r = Peso de recipiente (Kg)

V = Volumen del recipiente (m^3)

- **Determinación del peso unitario del concreto en estado endurecido:**
 - Se pesó las probetas cilíndricas de concreto.
 - De cada probeta de concreto se tomó la medida de su diámetro y altura, y se calculó mediante la fórmula el peso unitario:

$$P_u = \frac{W}{V}$$

Donde:

P_u = Peso unitario del concreto endurecido (kg/m^3).

W = Peso del testigo de concreto (kg)

V = Volumen del espécimen de concreto (m^3)

3.3.5. Determinación de la resistencia a compresión (NTP 339.034).

- Se registró las medidas del diámetro y altura de los especímenes de concreto.

- Se ensayó las probetas en la máquina universal a compresión. Para la investigación se realizaron roturas de probetas a 7, 14 y 28 días, donde se aplica una carga axial hasta alcanzar la falla.
- Se registró la carga última y mediante la siguiente fórmula se calculó la resistencia a compresión.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia del espécimen de concreto (Kg/cm²).

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

A = Área del espécimen de concreto (cm²).

3.3.6. Determinación de la resistencia a flexión (NTP 339.078).

- Se registró las medidas de las probetas prismáticas de concreto, sección transversal y longitud de las probetas.
- Se ensayó las probetas prismáticas, de acuerdo a la norma NTP 339.078, para vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.
- Se registró la última carga (kg) a la que falla la viga y el tercio en donde ocurre la falla de la probeta, se calculó mediante la siguiente fórmula la resistencia a flexión:

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

M_r = Módulo de rotura (kg/cm²)

P = Carga máxima de rotura (kg)

L = Luz libre entre apoyos (cm)

b = Ancho de la viga en la sección de falla (cm)

h = Altura de la viga en la sección de falla (cm)

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Caracterización de agregados

Tabla 19:

Características de los agregados de la cantera Margarita.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	Und	A. Fino	A. Grueso
Tamaño máximo nominal	Pulg.	-	3/4"
Peso específico de masa	g/m ³	2.623	2.635
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/m ³	2.656	2.665
Peso específico de aparente	g/m ³	2.712	2.717
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1603.089	1461.542
Peso unitario compactado	Kg/m ³	1731.350	1585.997
Contenido de humedad	%	1.850	0.252
Absorción (%)	%	1.255	1.158
% de material que pasa el tamiz N° 200	%	3.00	0.40
Abrasión	%	-	26.35
Módulo de finura		3.701	6.879

4.1.2. Diseños de mezcla

Tabla 20:

Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$

DISEÑO F'C=210KG/CM2		
Materiales	Und	Cantidad
Cemento	Kg	299.71
Agua efectiva	Lt	204.90
Agregado fino húmedo	Kg	1104.00
Agregado grueso húmedo	Kg	701.00
Aire total	%	2.00

Tabla 21:

Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 5\%$ caucho

DISEÑO CON 5% CAUCHO F'C=210KG/CM2		
Materiales	Und	Cantidad
Cemento	Kg	299.71
Agua efectiva	Lt	205.29
Agregado fino húmedo	Kg	1049.00
Caucho reciclado	Kg	24.42
Agregado grueso húmedo	Kg	701.00
Aire total	%	2.00

Tabla 22:

Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 10\%$ caucho

DISEÑO CON 10% CAUCHO F'C=210KG/CM2		
Materiales	Und	Cantidad
Cemento	Kg	299.71
Agua efectiva	Lt	205.67
Agregado fino húmedo	Kg	994.00
Caucho reciclado	Kg	48.85
Agregado grueso húmedo	Kg	701.00
Aire total	%	2.00

Tabla 23:

Dosificación de materiales para diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 20\%$ caucho

DISEÑO CON 20% CAUCHO F'C=210KG/CM2		
Materiales	Und	Cantidad
Cemento	Kg	299.71
Agua efectiva	Lt	206.45
Agregado fino húmedo	Kg	883.00
Caucho reciclado	Kg	97.70
Agregado grueso húmedo	Kg	701.00
Aire total	%	2.00

4.1.3. Densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco

Se muestra resultados de los asentamientos y la Tabla 25 muestra el peso unitario del concreto fresco:

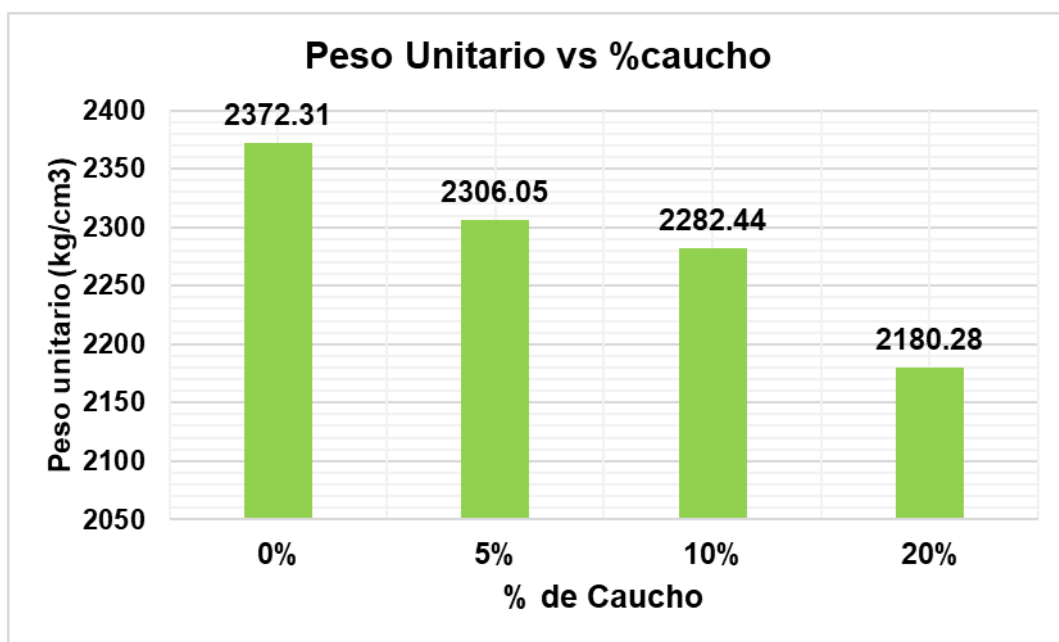
Tabla 24:
Asentamiento del concreto (slump), para cada tipo de diseño.

Diseño	Slump
Concreto patrón	3.5"
Concreto + 5% caucho	3.5"
Concreto + 10% caucho	4"
Concreto + 20% caucho	4"

Tabla 25:
Promedios de peso unitario del concreto fresco, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Densidad promedio (kg/m ³)
Concreto patrón	2372.31
Concreto + 5% caucho	2306.05
Concreto + 10% caucho	2282.44
Concreto + 20% caucho	2180.28

Figura 11:
Relación peso unitario del concreto fresco respecto al porcentaje de sustitución de caucho.



4.1.4. Densidad (peso unitario) del concreto en estado endurecido

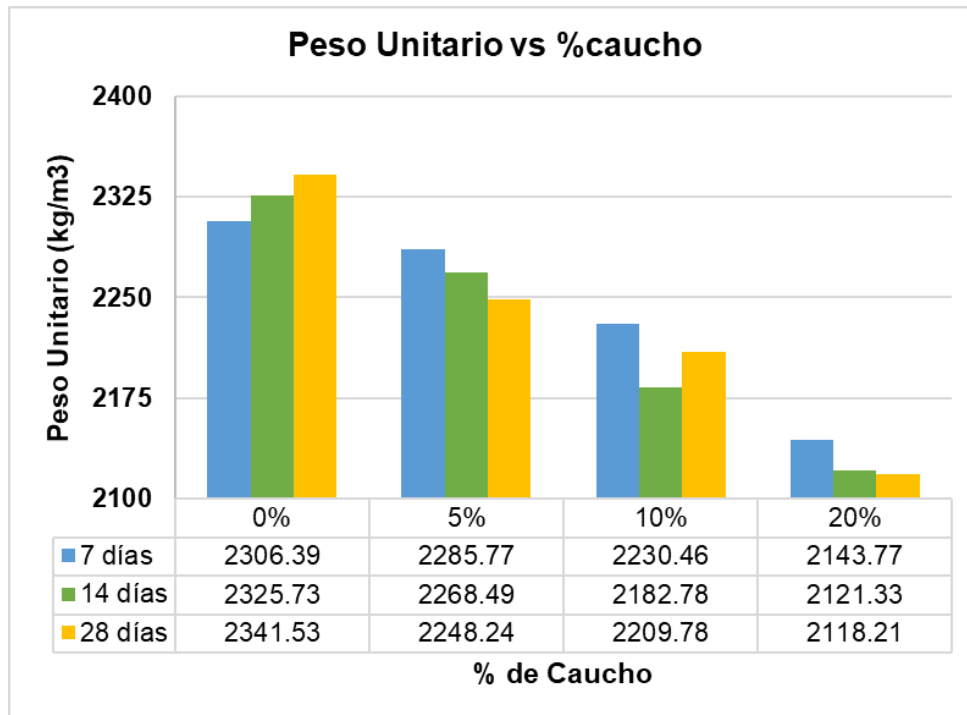
Tabla 26:

Promedios de peso unitario del concreto endurecido, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

%Caucho	Densidad (kg/m ³)		
	7 días	14 días	28 días
0%	2306.39	2325.73	2341.53
5%	2285.77	2268.49	2248.24
10%	2230.46	2182.78	2209.78
20%	2143.77	2121.33	2118.21

Figura 12:

Relación peso unitario vs % de sustitución de caucho



4.1.5. Resistencia a compresión del concreto

Tabla 27:

Resistencia promedio a compresión del concreto a diferentes edades

%Caucho	F'c (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
0%	212.39	246.91	291.09
5%	168.99	217.91	239.19
10%	90.00	149.98	192.31
20%	73.34	111.59	123.05

Figura 13:
Comparación de resistencias a 7 días para diferentes porcentajes de sustitución de caucho

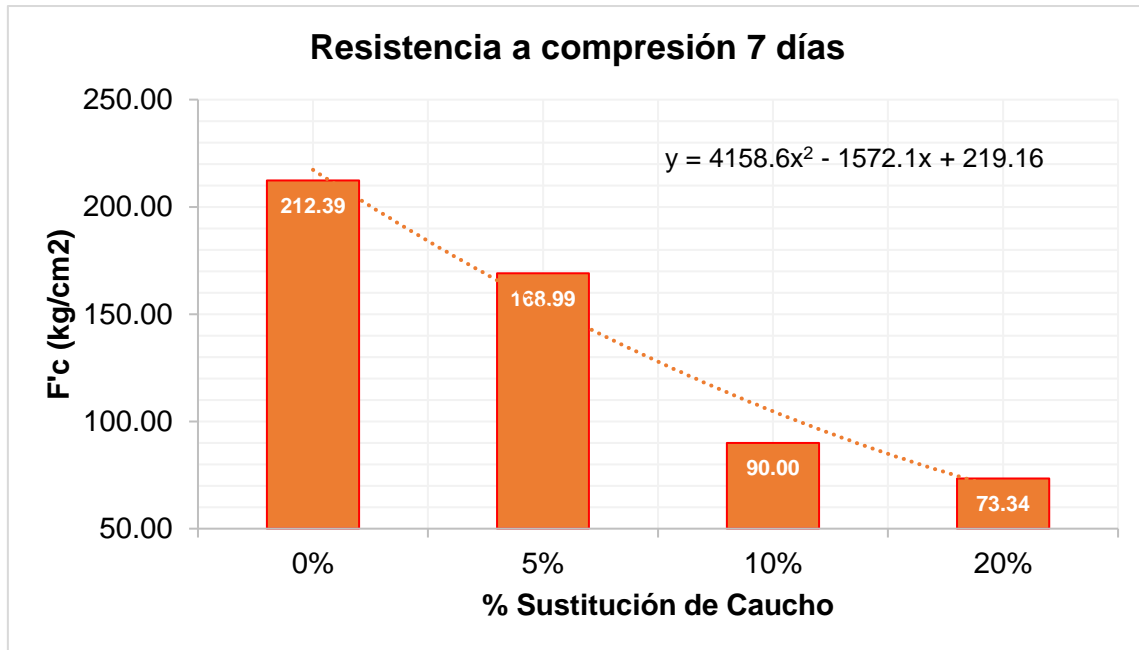


Figura 14:
Comparación de resistencias a 14 días para diferentes porcentajes de sustitución de caucho

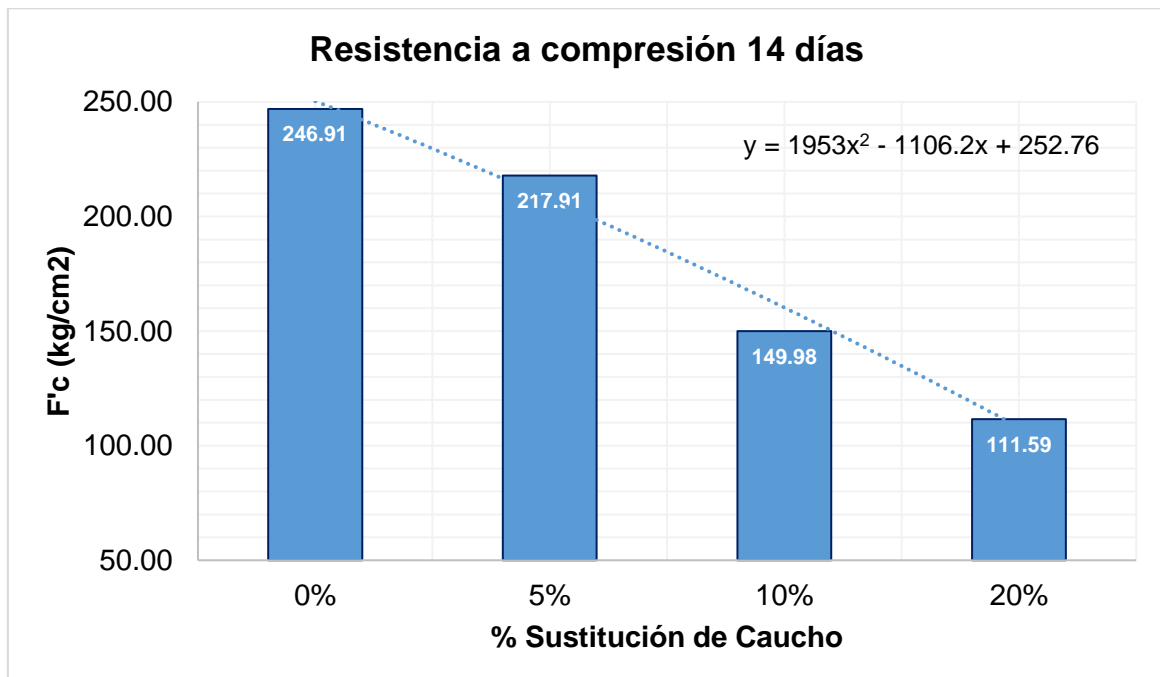
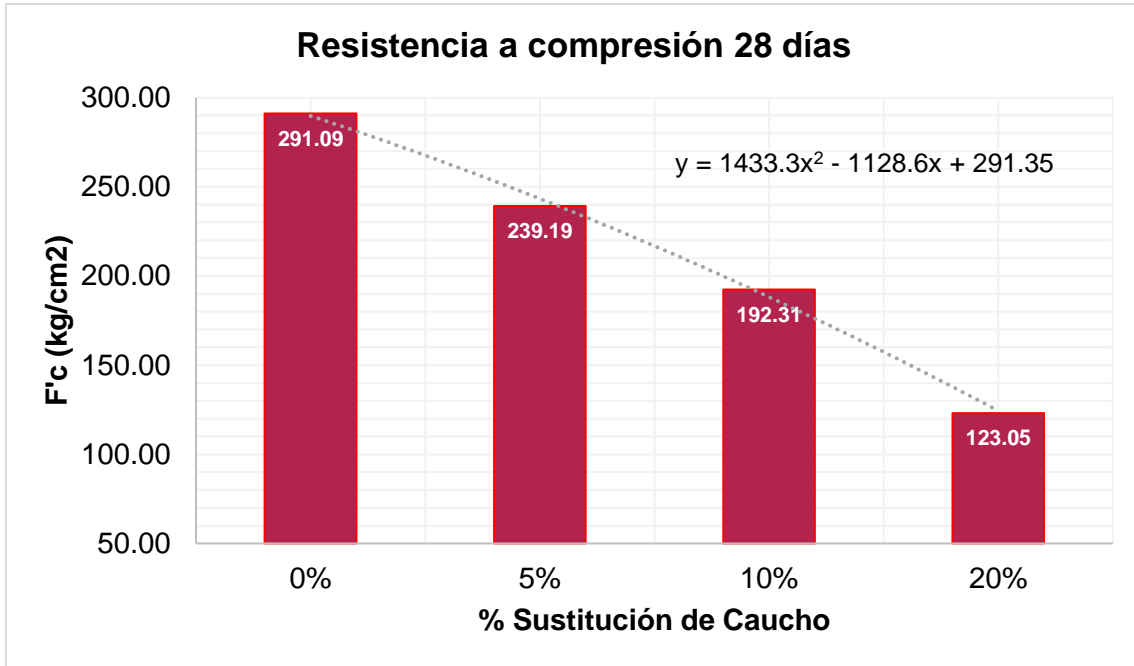


Figura 15:
Comparación de resistencias a 28 días para diferentes porcentajes de sustitución de caucho



En la Figura 16, se muestra la relación entre resistencia versus la sustitución de caucho para diferentes edades del concreto.

Figura 16:
Resistencia a compresión en función del porcentaje sustituido de caucho

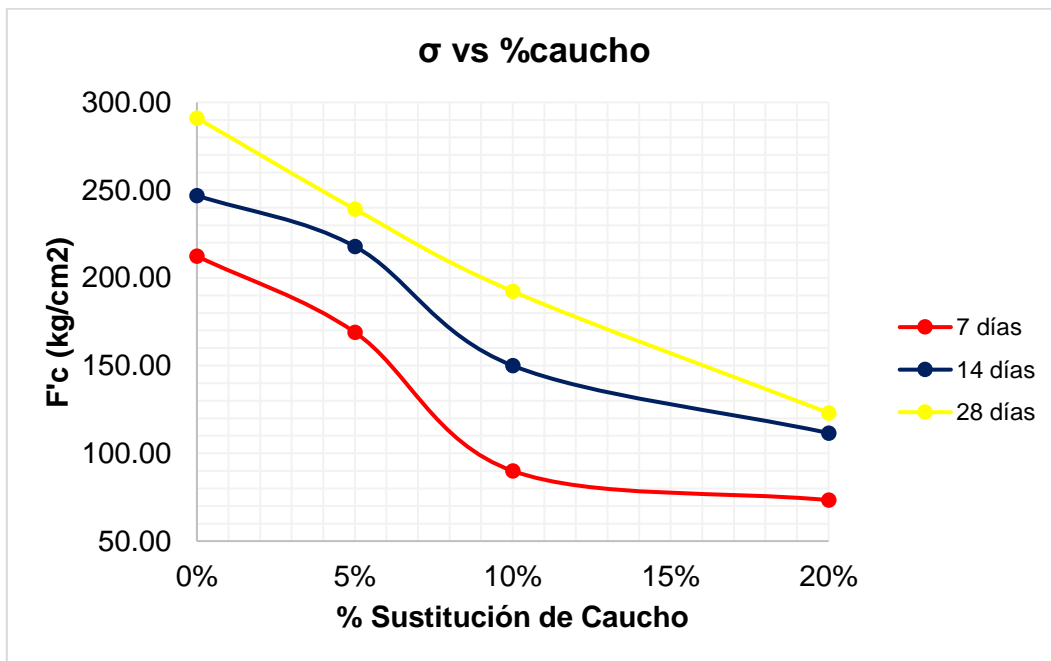
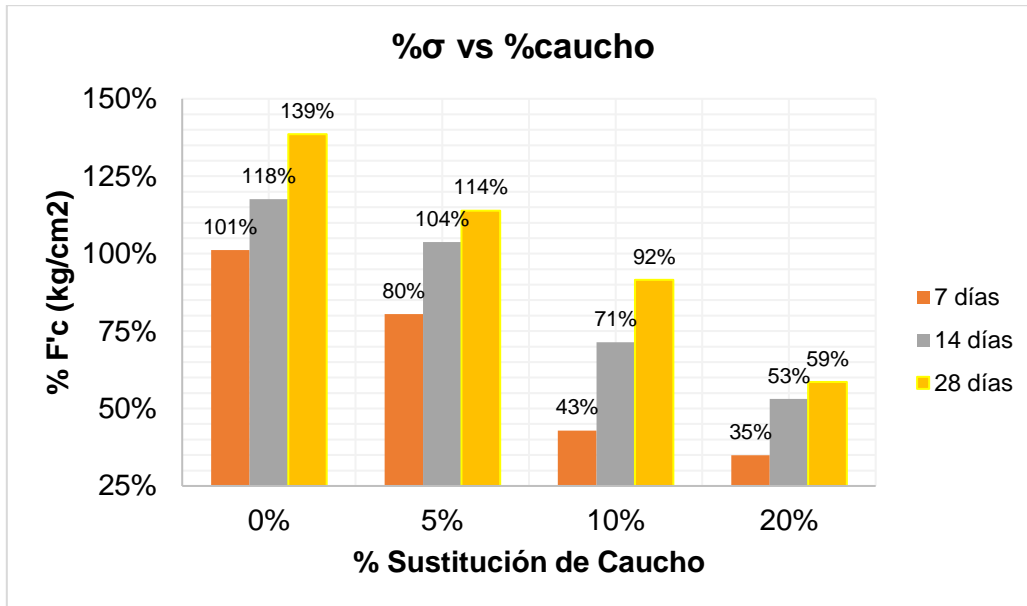
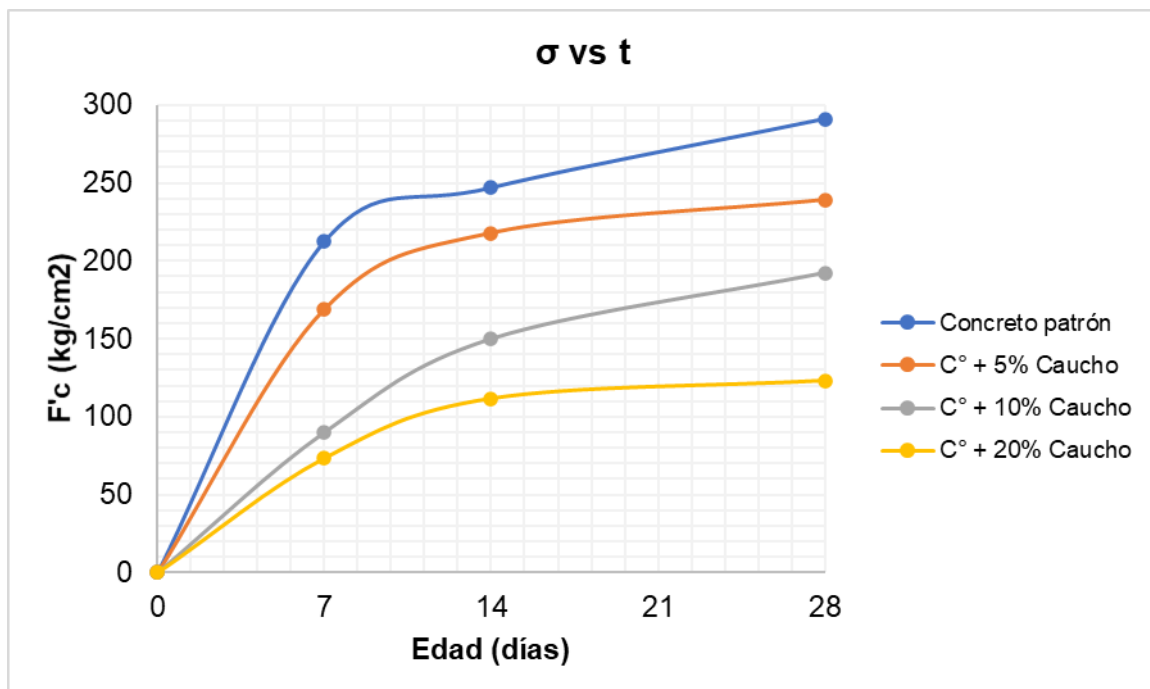


Figura 17:
Porcentaje alcanzado de la resistencia de diseño, de concretos con caucho



En la Figura 18, se muestra la relación entre resistencia a compresión versus tiempo, de acuerdo a la sustitución de porcentaje de caucho reciclado.

Figura 18:
Desarrollo de resistencias en función del tiempo para diferentes porcentajes de sustitución de caucho



4.1.6. Resistencia a flexión del concreto

Tabla 28:

Resistencia promedio a la flexión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, a edad de 28 días.

%Caucho	MR (kg/cm ²)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0%	43.47	35.20	34.93	37.87
5%	30.13	30.40	29.87	30.13
10%	24.53	24.27	24.53	24.44
20%	16.53	17.33	17.07	16.98

Resumen de datos de porcentaje alcanzado de resistencias a flexión en comparación con la resistencia de diseño $F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 29:

Resistencia promedio en porcentaje a flexión del concreto.

%Caucho	%MR (kg/cm ²)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0%	20.70%	16.76%	16.63%	18.03%
5%	14.35%	14.48%	14.22%	14.35%
10%	11.68%	11.56%	11.68%	11.64%
20%	7.87%	8.25%	8.13%	8.08%

Figura 19:

Relación módulo de rotura vs % de sustitución de caucho

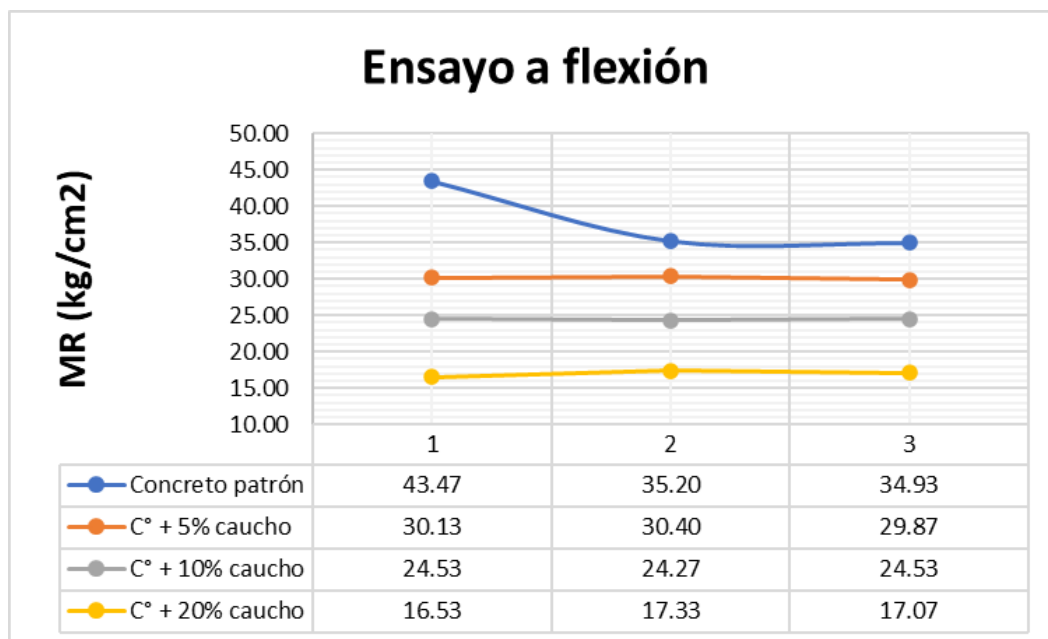


Figura 20: Promedio de módulos de rotura vs % de sustitución de caucho

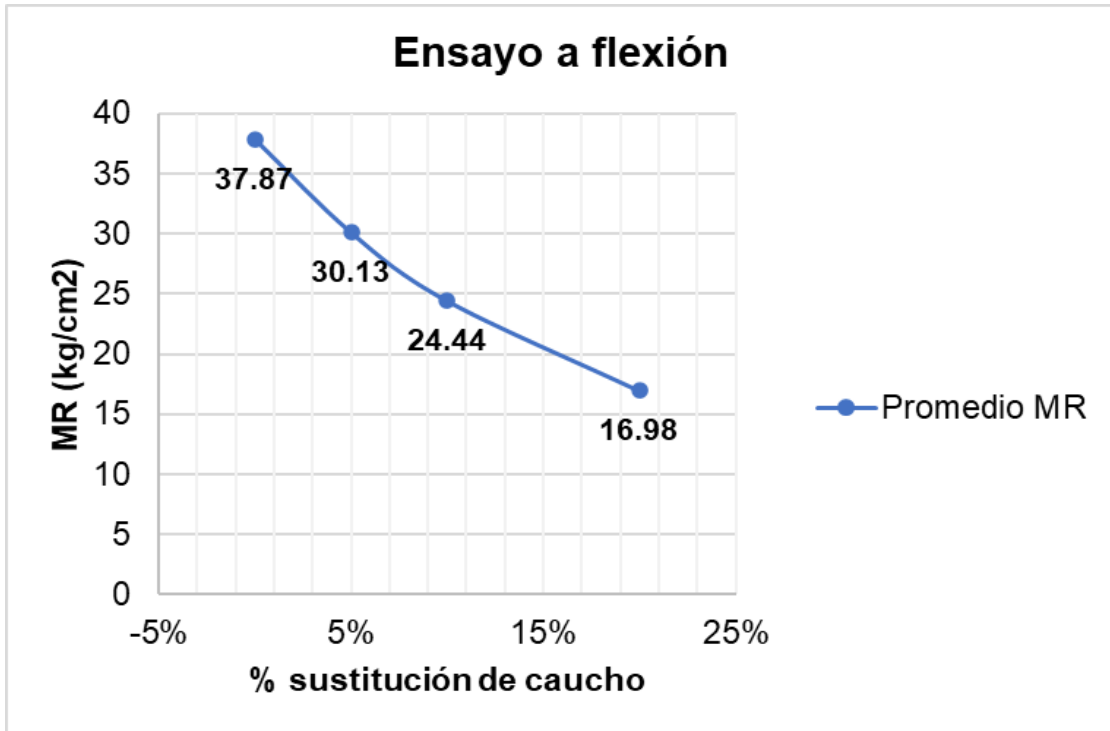


Figura 21: Relación de % módulo de rotura respecto a la resistencia de diseño $f'c = 210$ kg/cm².

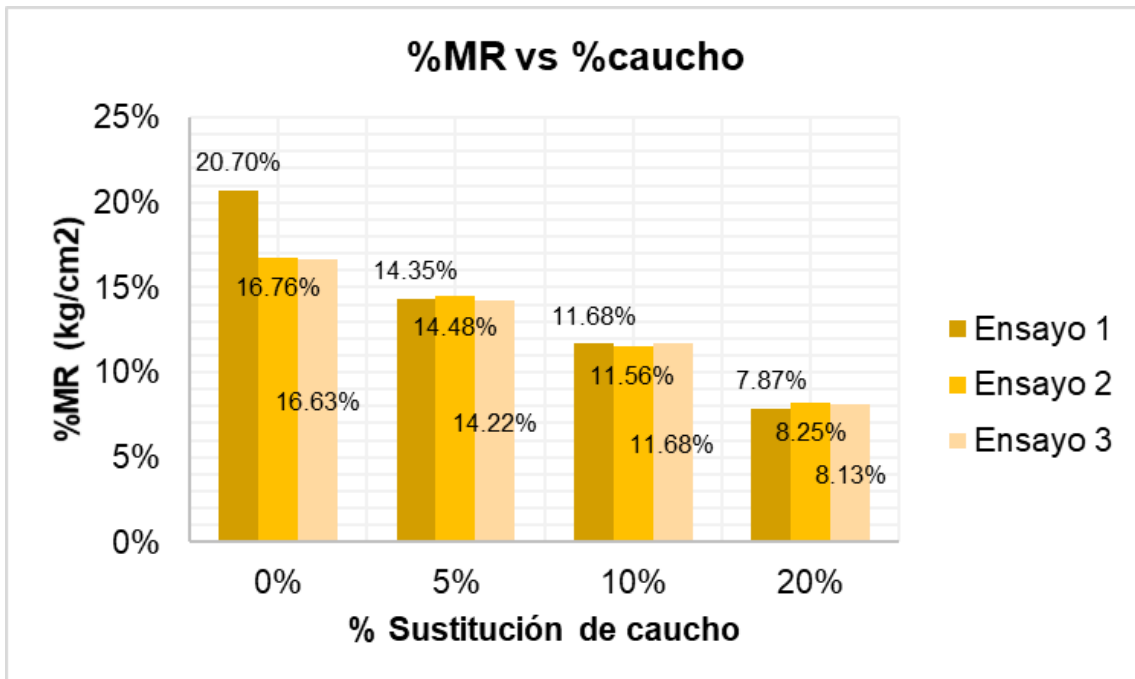
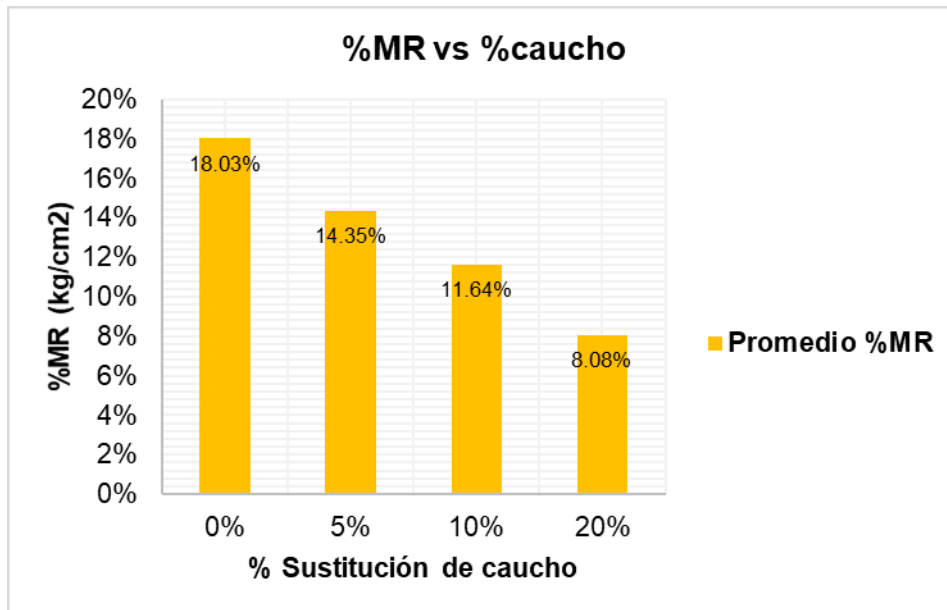


Figura 22:
Relación % módulo de rotura alcanzado de la resistencia de diseño
 $f'c=210\text{kg/cm}^2$



4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DENSIDAD DEL CONCRETO

De las mezclas elaboradas con diferentes porcentajes de sustitución de caucho, el asentamiento (Tabla 24), cumple con las características deseadas en el diseño de mezcla, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de consistencia plástica y trabajabilidad favorable, según normas NTP 339.035 y ASTM C143.

De la Tabla 25 y Figura 11, los resultados de densidad del concreto en estado fresco se ha obtenido una densidad mínima promedio de 2180 kg/cm^3 , para una sustitución del 20% de agregado fino por residuos de caucho, encontrándose los concretos entre los límites de concreto normal y concreto liviano, conforme se sustituye el agregado fino por los residuos de caucho la densidad del concreto disminuye hasta un 10%, esto es debido en parte a que el caucho presenta un peso específico menor que el agregado fino.

De la Tabla 26 y Figura 12, los resultados de densidad de concreto en estado endurecido, a edad de 28 días se ha obtenido una densidad mínima promedio de 2118 kg/cm^3 , también para una sustitución del 20% de agregado fino por residuos de caucho, por lo que no se considera un concreto liviano ya que su peso unitario es mayor que 1800 kg/cm^3 , los concretos tuvieron también una disminución hasta el 10% de su peso unitario respecto a un concreto convencional.

4.2.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los resultados de resistencia que muestra la Tabla 27, a edad de 7 días para concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, muestra resistencias de 212.39 kg/cm^2 , 168.99 kg/cm^2 , 90 kg/cm^2 y 73.34 kg/cm^2 , para un concreto patrón y con sustitución de caucho al 5%, 10% y 20% respectivamente, de acuerdo a la Tabla 6, a los 7 días se debe alcanzar una resistencia promedio del 65% de la resistencia de diseño, en la Figura 17 se muestra que son solo alcanzadas por el concreto patrón y el concreto con sustitución de 5% de caucho.

La Figura 14 muestra los resultados de resistencia a compresión a edad de 14 días, para una resistencia de diseño $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, muestra resistencias de 246.91 kg/cm^2 , 217.91 kg/cm^2 , 149.98 kg/cm^2 y 111.59 kg/cm^2 , para un concreto patrón y con sustitución de caucho al 5%, 10% y 20% respectivamente, de acuerdo a la Tabla 6 a los 14 días se debe alcanzar una resistencia promedio de diseño del 85%, la Figura 17 muestra que solo son alcanzadas por el concreto patrón y el concreto con sustitución de 5% de caucho.

Los resultados de la Figura 15, para una edad de 28 días los valores promedios de resistencia a compresión, muestra resistencias de 291.09 kg/cm^2 , 239.19 kg/cm^2 , 192.31 kg/cm^2 y 123.05 kg/cm^2 , para un concreto patrón y con sustitución de caucho al 5%, 10% y 20% respectivamente, a los 28 días de acuerdo a la Tabla 6, se debe alcanzar el 100% de la resistencia de diseño, solo alcanzada por el concreto patrón y el concreto con sustitución del 5% de caucho.

Los promedios obtenidos de los ensayos a compresión, mostrados en la Figura 17 en función del porcentaje de la resistencia de diseño, a edad de 28 días, se observa que el concreto patrón alcanza resistencias de hasta el 139% y el concreto con una sustitución del 5% del volumen de agregado fino por caucho alcanza resistencias hasta del 114%, cumpliendo con la resistencia requerida, mientras que el concreto con 10% de sustitución de caucho la resistencia alcanzada es solo del 92% y el concreto con sustitución del 20% de caucho solo alcanza resistencias de hasta el 59%.

La ecuación representativa para la resistencia a la compresión obtenida, donde la variable “y” es la resistencia a la compresión obtenida y la variable “x” es el porcentaje de reemplazo de agregado fino por caucho reciclado es: $y=1433.3x^2 - 1128.6x + 291.35$.

4.2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

De los datos obtenidos de los ensayos, mostrados en la Tabla 28, a edad de 28 días para un concreto $f'c=210$ kg/cm², y con sustitución de caucho los ensayos a flexión muestran en promedio módulos de rotura de 37.87 kg/cm², 30.13 kg/cm², 24.44 kg/cm² y 16.98 kg/cm², para concreto sin sustitución de caucho, 5%, 10% y 20% respectivamente.

En la Tabla 29, se relacionan los resultados en porcentaje con respecto a la resistencia de diseño de un concreto de $f'c=210$ kg/cm², en la Figura 22 se muestra en porcentaje el promedio que la resistencia a flexión alcanza el 18%, 14%, 12% y 8%, para un concreto patrón y con sustitución de caucho al 5%, 10% y 20% respectivamente. Demostrando que conforme se incrementa la proporción de sustitución de agregado fino por residuos de caucho, se observa que el módulo de rotura disminuye significativamente.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS

Del análisis de los resultados, la hipótesis respecto a la resistencia a flexión no se valida puesto que esta disminuye hasta en un 55%, para un concreto con sustitución de hasta el 20% de agregado fino por residuos de llantas de caucho respecto al concreto patrón, la densidad disminuye hasta un 10% menos entre un concreto patrón y un concreto con sustitución de 20% de agregado fino por residuos de caucho. Mientras que la resistencia a compresión hasta una sustitución del 5% de agregado fino por residuos de llantas de caucho, aumenta hasta un 14% más respecto a un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

De los resultados obtenidos, respecto a la densidad del concreto disminuyó, 3.82%, 5.63% y 9.54%, para concretos con 5%, 10% y 20% de sustitución parcial de agregado fino por residuos de llantas de caucho en comparación con el concreto patrón. La resistencia a compresión para el concreto con sustitución de 5% de residuos de llantas de caucho tuvo un aumento hasta el 14% en su resistencia, mientras que para los concretos con hasta 20% de sustitución de residuos de llantas de caucho, esta tuvo una disminución hasta el 40% de la resistencia a compresión en comparación con un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. En el caso de la resistencia a flexión los concretos con sustitución parcial de agregado fino por residuos de llantas de caucho presentaron disminución en su módulo de rotura, de 20%, 35% y 55%, para concretos con sustitución de 5%, 10% y 20% de sustitución parcial de agregado fino por residuos de llantas de caucho en comparación con el concreto patrón.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Con relación a la resistencia a flexión y densidad, no se valida la hipótesis, dado que estas propiedades disminuyen hasta un 10% y 55% respectivamente, cuando se sustituye hasta un 20% de agregado fino por residuos de llantas de caucho. En contraste, la resistencia a compresión, hasta un porcentaje de sustitución del 5% de residuos de caucho por agregado fino, la resistencia aumenta en un 14%, pero conforme aumenta el porcentaje de sustitución hasta un 20% por residuos caucho, esta disminuye en un 41%.
- La densidad del concreto a los 28 días con sustitución de agregado fino por 5%, 10% y 20% de caucho, disminuyó en 3.82%, 5.63% y 9.54%, respecto al concreto patrón. Con un valor promedio de 2341.53 kg/m³ para el concreto patrón y de 2248.24 kg/m³, 2209.78 kg/m³ y 2118.21 kg/m³ para cada porcentaje de sustitución.
- La resistencia a flexión promedio a edad de 28 días con sustitución de agregado fino por 5%, 10% y 20% de caucho, disminuyó en 20.42%, 35.45% y 55.16%, respecto al concreto patrón. Con un valor promedio de 37.87 kg/cm² para el concreto patrón y de 30.13 kg/cm², 24.44 kg/cm² y 16.98 kg/cm² para cada porcentaje de sustitución.
- La resistencia a compresión promedio a edad de 28 días del concreto $f'_c = 210$ kg/cm², con sustitución de agregado fino por 5%, 10% y 20% de residuos de caucho, aumentó en un 14% para una sustitución de 5% de agregado fino por caucho y disminuyó para porcentajes de sustitución de 10% y 20% en 8% y 41% respectivamente. Con valores promedio de 239.19 kg/cm², 192.31 kg/cm² y 123.05 kg/cm² para porcentajes de 5%, 10% y 20% de sustitución de agregado fino por residuos de llantas caucho.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar otras investigaciones para determinar otras propiedades físico mecánicas del concreto como la resistencia al corte, módulo de elasticidad, durabilidad, expansión y fraguado. Así como también las propiedades químicas.
- Realizar investigaciones utilizando residuos de caucho procesados por otros métodos como pirólisis o trituración criogénica, y que cuenten con distintas morfologías, además de considerar el uso de aditivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, Flavio (2009), Tecnología del concreto, Perú, Editorial San Marcos.
- Alata J., (2019). Diseño de bloquetas de concreto con caucho reciclado de neumáticos para uso en muros de albañilería confinada. Perú, Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Contreras R., (2018). Influencia del tamaño y porcentaje de caucho reciclado en un concreto estructural sobre su compresión, asentamiento, peso unitario y deformación, Trujillo – 2018. Perú, Trujillo: Universidad Privada del Norte
- Hernández J. (2018). Diseño de un material ecológico para construcción mediante la adición de caucho de llanta al concreto. México, Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Hernández-Olivares, Barluenga, Bollati, Witoszek. (2002). Investigación sobre el comportamiento estático y dinámico del hormigón, cemento y hormigón rellenos de caucho de neumáticos reciclados. 1587-1596.
- Lancheros D., Martínez M. y Garzón J. (2016). Estudio del comportamiento mecánico del concreto hidráulico modificado parcialmente con caucho. Girardot, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Masías A. (2018). Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Miranda R., Caisa E. y Chimborazo L. (2017). Trituración de neumáticos reciclados como desencadenantes en los procesos industriales. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Olivares D. (2016). Planta de reciclaje de neumáticos de caucho, comercialización de miga de caucho. Antofagasta. Chile: Universidad de Chile.

- Pérez T. (2011). Concreto armado. Caracterización y alteraciones. México, Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Pérez J. y Arrieta Y. (2017). Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 PSI. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia
- Ramírez J., Gómez C. y Donoso J. (2018). Plan de negocio para la implementación de una planta de reciclaje de llantas usadas mediante el proceso de Pirolisis. Lima, Perú: Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas.
- Silvestre A. (2019). Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales. Bogotá, Colombia: Universidad Libre Seccional Pereira.
- Suarez. (2019). "Tecnología del concreto". Recuperado el 10 de octubre del 2023. (<https://tecnologiadelconcretouapkelmer.blogspot.com/p/semana-4.html>)
- Valdez K. (2018). Resistencia a la compresión axial del adobe compactado, con la incorporación de porcentajes de caucho triturado de neumáticos. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte

ANEXOS

Anexo 1: Constancia del laboratorio de ensayo de materiales de la UNC



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**

CONSTANCIA

El Bach. REVILLA LÓPEZ, ALEX NIXON, Exalumno 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	Contenido de humedad
02	Análisis granulométrico
03	Peso unitario suelto y compactado
04	Peso específico
05	Ensayo material más fino que pasa malla N° 200
06	Elaboración especímenes de concreto
07	Ensayo resistencia a la compresión muestras cilíndricas.
08	Ensayo a flexión en muestras prismáticas

Para la Tesis Titulada: “**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICA DEL CONCRETO $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE LLANTAS DE CAUCHO**”. Dichas actividades se desarrollaron del 29/08/2023 al 27/10/2023.

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

Cajamarca, 28 de noviembre 2023.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

Anexo 2: Ficha técnica del cemento tipo I Pacasmayo



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

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



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2023

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO3	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2023 al 31-08-2023.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2023.
(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

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

CEMENTO TIPO I “ESTRUCTURAL”



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland Tipo I. Gracias a su nuevo diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.



USOS

- Cemento de uso general.

ATRIBUTOS

Diseño que supera los requisitos de la normas nacionales

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

RECOMENDACIONES PARA USO Y ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO



Mantener el cemento en un lugar seco bajo techo, protegido de la humedad.



Almacenar sobre plataforma de madera y en rumas que no excedan las 8 bolsas



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



*Requisito opcional.

Resistencia a la compresión (psi)

■ Resultado Promedio ■ Requisito mínimo NTP 334.009 / ASTM C150



Cemento Tipo I Estructural

Cemento Portland Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	2.1
SO ₃	Máximo	3.0	%	NTP 334.086	2.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	3.1
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	8
Finura, Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4000
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.07
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	29.4 (4260)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	36.6 (5310)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	45.3 (6570)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	139
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	250

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.



Fecha Recomendada de Uso: para aprovechar de mejor manera sus propiedades



Fecha de Producción: para que utilices el cemento más fresco

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.

APÉNDICE

Apéndice 1: Cálculo de número de muestras

- Fórmula para cálculo de tamaño de muestra:

$$n = \left(\frac{Z * S}{e} \right)^2$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

Z = Nivel de confianza 95% ($Z=1.96$)

S = Desviación estándar (estudios previos)

e = Error máximo tolerable

Tabla 30:
Cálculo de tamaño de muestra

Población	Indefinida
Tipo de variable	Cuantitativa
Nivel de confianza (Z)	1.96
Desviación estándar (S)	14.84
Error máximo tolerable (e)	10.00
Tamaño de la muestra (n)	8.46

- $N= 8.46 \cong$ El tamaño de muestra mínimo debe ser 8 probetas.
- Para la investigación se realizó 10 probetas para cada ensayo.

Apéndice 2: Propiedades de los agregados

A. AGREGADO GRUESO

Tabla 31:

Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 01

PESO SECO INICIAL =		8000.00 gr.		MÓDULO DE FINURA		6.879
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		16.00 gr.				
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	
			PARCIAL	ACUMULADO		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.00	726.00	9.08	9.08	90.93	
1/2"	12.50	3045.00	38.06	47.14	52.86	
3/8"	9.50	2685.00	33.56	80.70	19.30	
N° 4	4.75	1476.00	18.45	99.15	0.85	
N° 8	2.36	52.00	0.65	99.80	0.20	
CAZOLETA	--	16.00	0.20	100.00	0.00	
TOTAL		8000.00				

Figura 23:

Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 01

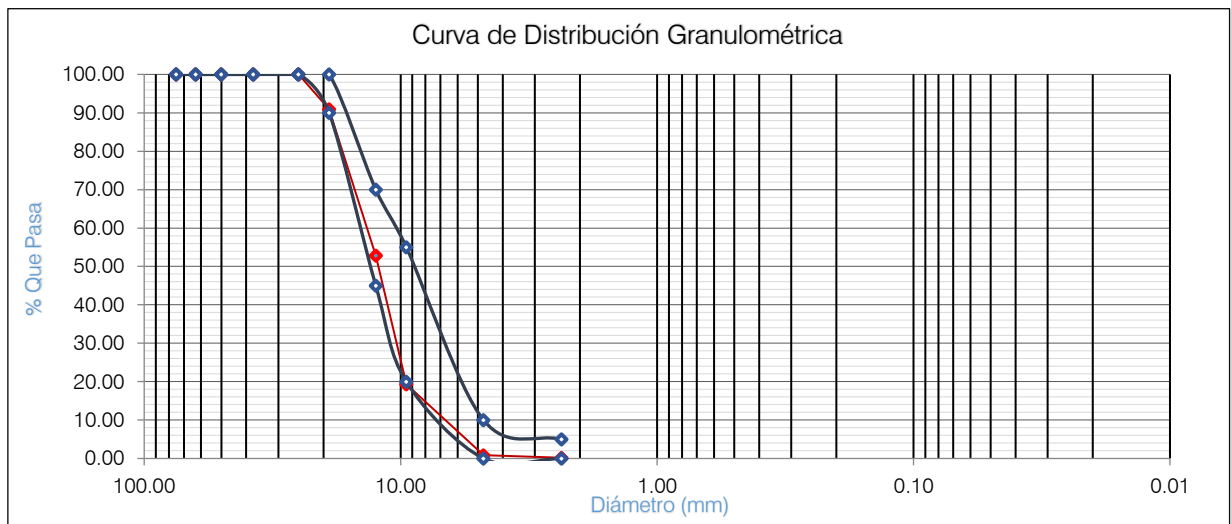


Tabla 32:
Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 02

PESO SECO INICIAL =		8000.00 gr.		MÓDULO DE FINURA	6.880
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		21.00 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	778.00	9.73	9.73	90.28
1/2"	12.50	3053.00	38.16	47.89	52.11
3/8"	9.50	2600.00	32.50	80.39	19.61
N° 4	4.75	1503.00	18.79	99.18	0.82
N° 8	2.36	45.00	0.56	99.74	0.26
CAZOLETA	--	21.00	0.26	100.00	0.00
TOTAL	8000.00				

Figura 24:
Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 02

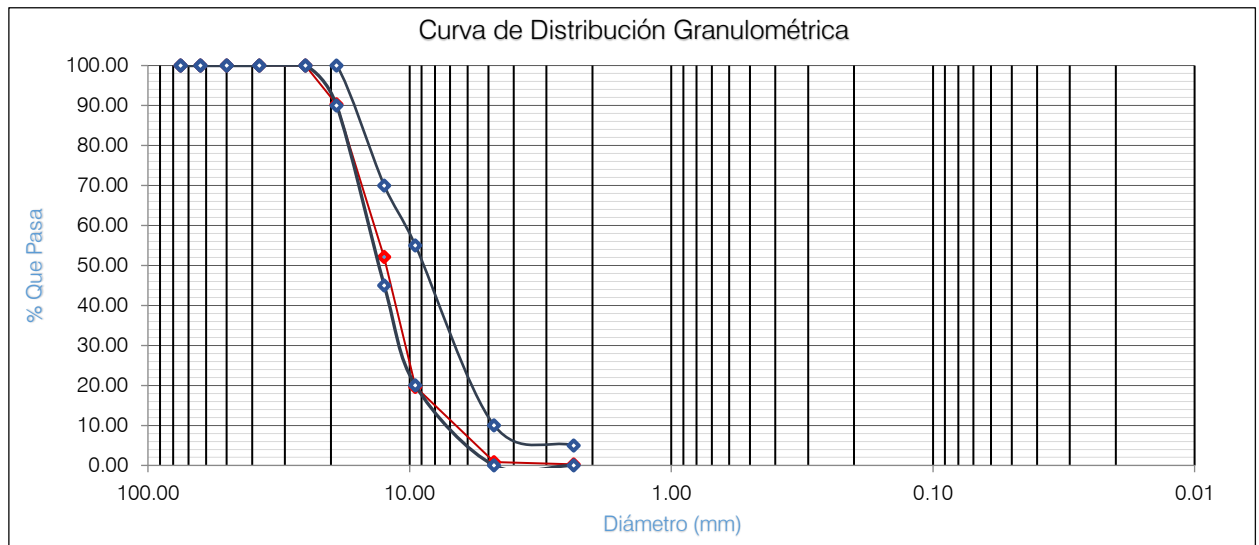
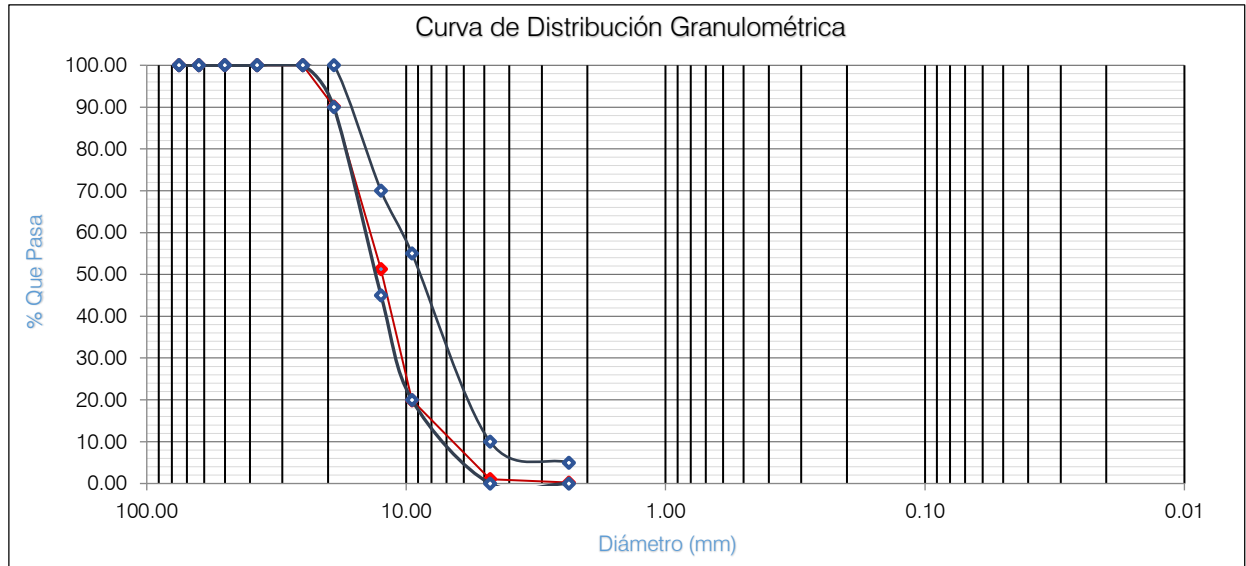


Tabla 33:
Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 03

PESO SECO INICIAL =		8000.00 gr.	MÓDULO DE FINURA		6.877
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		19.00 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	789.00	9.86	9.86	90.14
1/2"	12.50	3110.00	38.88	48.74	51.26
3/8"	9.50	2509.00	31.36	80.10	19.90
N° 4	4.75	1508.00	18.85	98.95	1.05
N° 8	2.36	65.00	0.81	99.76	0.24
CAZOLETA	--	19.00	0.24	100.00	0.00
TOTAL		8000.00			

Figura 25:
Análisis granulométrico agregado grueso - ensayo 03



*Tabla 34:
Peso específico y absorción del agregado grueso.*

DESCRIPCIÓN	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso de muestra SSS	g	(A)		3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	(B)		4094.00	4096.00	4093.00	
Peso de canastilla sumergida	g	(C)		2220.00	2220.00	2220.00	
Peso de recipiente	g	(D)		525	528	523	
Peso de muestra superficialmente seca + Recipiente	g	(E)		3525.00	3528.00	3523.00	
Peso de muestra secada al horno + recipiente	g	(F)		3491	3492	3490	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	(G)		3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	(H)	(F - D)	2966.00	2964.00	2967.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	(I)	(B - C)	1874.00	1876.00	1873.00	
Peso específico de masa	g/cm³		H / (G - I)	2.634	2.637	2.633	2.635
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/cm³		G / (G - I)	2.664	2.669	2.662	2.665
Peso específico de aparente	g/cm³		H / (H - I)	2.716	2.724	2.712	2.717
Absorción (%)	%		(G-H)/H*100	1.146	1.215	1.112	1.158

*Tabla 35:
Peso específico del agua*

Descripción	Valor
Peso de la fiola en (g) =	151
Peso de la fiola + agua en (g) =	649.5
Volumen de la fiola (cm ³) =	500.00
Peso específico (g/cm ³) =	0.997
P.e en (Kg/m³) =	997.00

*Tabla 36:
Cálculo del factor "f"*

Descripción	Valor
Peso del molde (g) =	4200.00
Peso del molde +agua (g) =	13928.00
Peso agua (Kg) =	9.7280
f (1/m3) =	102.488

*Tabla 37:
Peso unitario suelto seco*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(A)		4200.00	4200.00	4200.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	(B)		18455.00	18477.00	18450.00	
Peso de la muestra suelta	g	(C)	(B - A)	14255.00	14277.00	14250.00	
Factor (f)		(D)		102.488	102.488	102.488	
Peso unitario suelto	g/cm ³	(E)	D*C/1000000	1.461	1.463	1.460	1.462
Peso unitario suelto	Kg/m³			1461	1463	1460	1462

*Tabla 38:
Peso unitario suelto compactado*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(B)		4200.00	4200.00	4200.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	(A)		19685.00	19666.00	19674.00	
Peso de la muestra suelta	g	(C)	(B - A)	15485.00	15466.00	15474.00	
Factor (f)		(D)		102.488	102.488	102.488	
Peso unitario compactado	g/cm ³	(E)	D*C/1000000	1.587	1.585	1.586	1.586
Peso unitario compactado	Kg/m³			1587	1585	1586	1586

*Tabla 39:
Contenido de humedad del agregado grueso*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(A)		127.00	153.00	115.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	(B)		2128.00	2775.00	2548.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	(C)		2124.00	2768.00	2541.00	
Contenido de humedad	W %	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	0.20	0.27	0.29	0.25

*Tabla 40:
Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra original	gr.	(A)		3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra lavada	gr.	(B)		2987.00	2989.00	2988.00	
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	gr.	(C)	(A - B)	13.00	11.00	12.00	
% de material que pasa el tamiz N° 200	%		$(A/C)*100$	0.43%	0.37%	0.40%	0.40%

*Tabla 41:
Abrasión del agregado grueso*

Gradación	Equipo mecánico	N° de esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de revoluciones	Tamaño máx. nominal	Peso de la muestra (gr)
B	Máquina de Los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso inicial de la muestra seca en el horno (gr)				5000.00	5000.00	5000.00
Peso retenido en la malla N° 12 lavado y secado al horno en (g)				3683.00	3680.00	3684.00
% Desg. = $((Pi - Pf) / Pi) \times 100$				26.34	26.4	26.32
Abrasión % desg. promedio					26.35	

B. AGREGADO FINO

*Tabla 42:
Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 01*

PESO SECO INICIAL =		1500.00 gr.		MÓDULO DE FINURA	3.703
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		6.00 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
N° 4	4.75	185.00	12.33	12.33	87.67
N° 8	2.36	394.00	26.27	38.60	61.40
N° 16	1.18	265.00	17.67	56.27	43.73
N° 30	0.60	257.00	17.13	73.40	26.60
N° 50	0.30	262.00	17.47	90.87	9.13
N° 100	0.15	120.00	8.00	98.87	1.13
N° 200	0.075	11.00	0.73	99.60	0.40
CAZOLETA	--	6.00	0.40	100.00	0.00
TOTAL		1500.00			

*Figura 26:
Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 01*

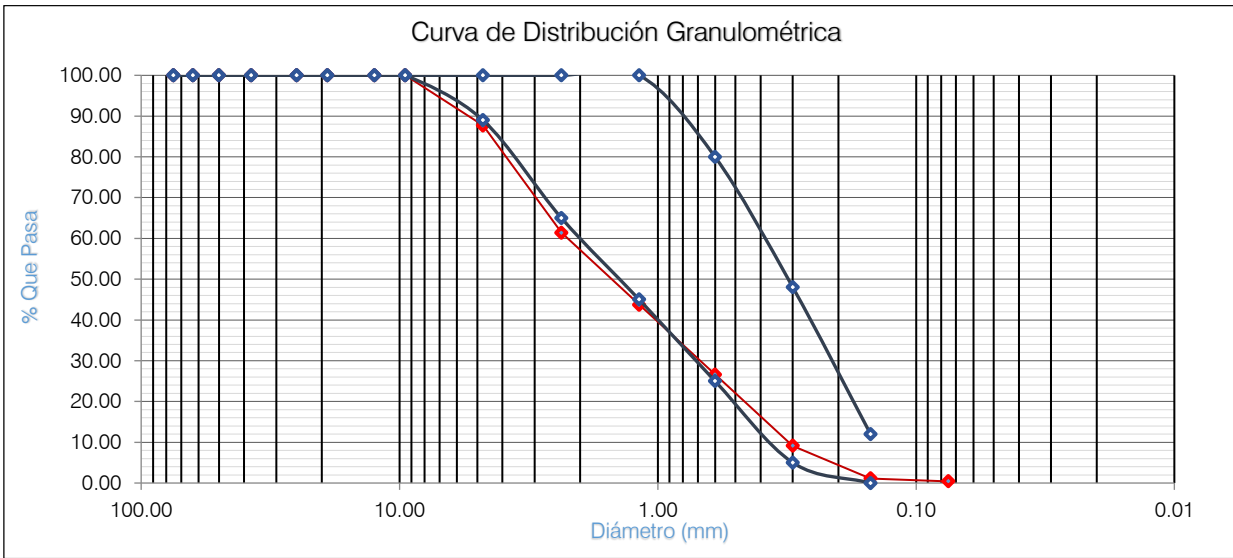


Tabla 43:
Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 02

PESO SECO INICIAL =		1500.00 gr.		MÓDULO DE FINURA	3.697
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		4.00 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
N° 4	4.75	198.00	13.20	13.20	86.80
N° 8	2.36	371.00	24.73	37.93	62.07
N° 16	1.18	288.00	19.20	57.13	42.87
N° 30	0.60	246.00	16.40	73.53	26.47
N° 50	0.30	235.00	15.67	89.20	10.80
N° 100	0.15	143.00	9.53	98.73	1.27
N° 200	0.075	15.00	1.00	99.73	0.27
CAZOLETA	--	4.00	0.27	100.00	0.00
TOTAL		1500.00			

Figura 27:
Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 02

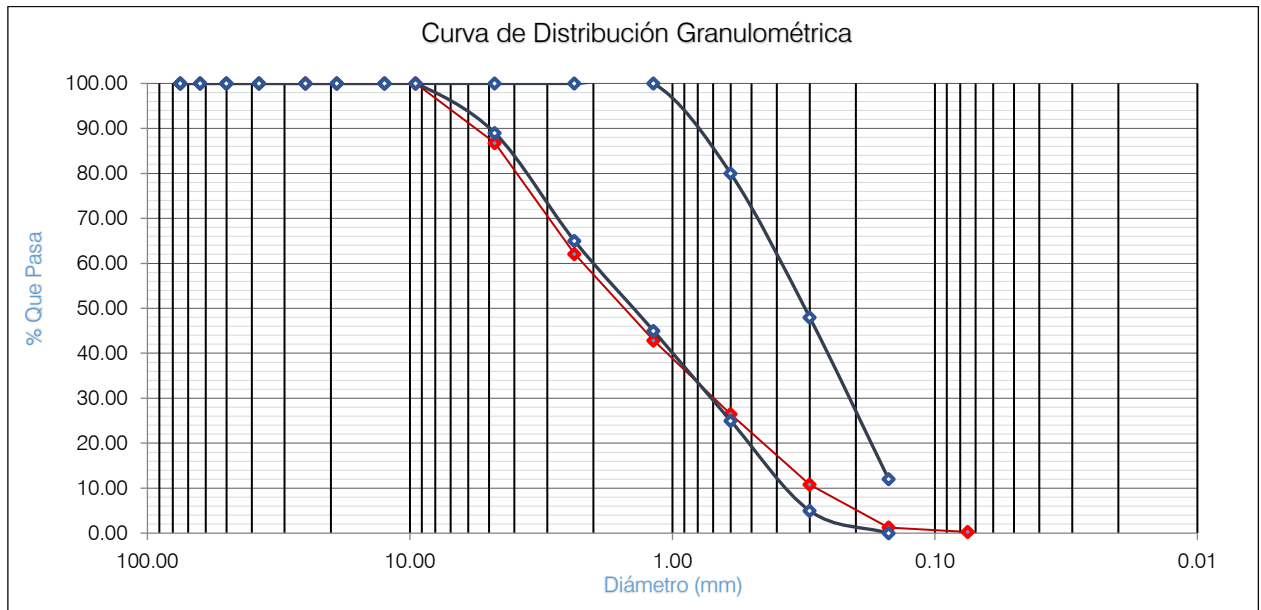


Tabla 44:
Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 03

PESO SECO INICIAL =		1500.00 gr.		MÓDULO DE FINURA		3.701
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		10.00 gr.				
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	
			PARCIAL	ACUMULADO		
N° 4	4.75	192.00	12.80	12.80	87.20	
N° 8	2.36	388.00	25.87	38.67	61.33	
N° 16	1.18	275.00	18.33	57.00	43.00	
N° 30	0.60	252.00	16.80	73.80	26.20	
N° 50	0.30	233.00	15.53	89.33	10.67	
N° 100	0.15	138.00	9.20	98.53	1.47	
N° 200	0.075	12.00	0.80	99.33	0.67	
CAZOLETA	--	10.00	0.67	100.00	0.00	
TOTAL		1500.00				

Figura 28:
Análisis granulométrico agregado fino - ensayo 03

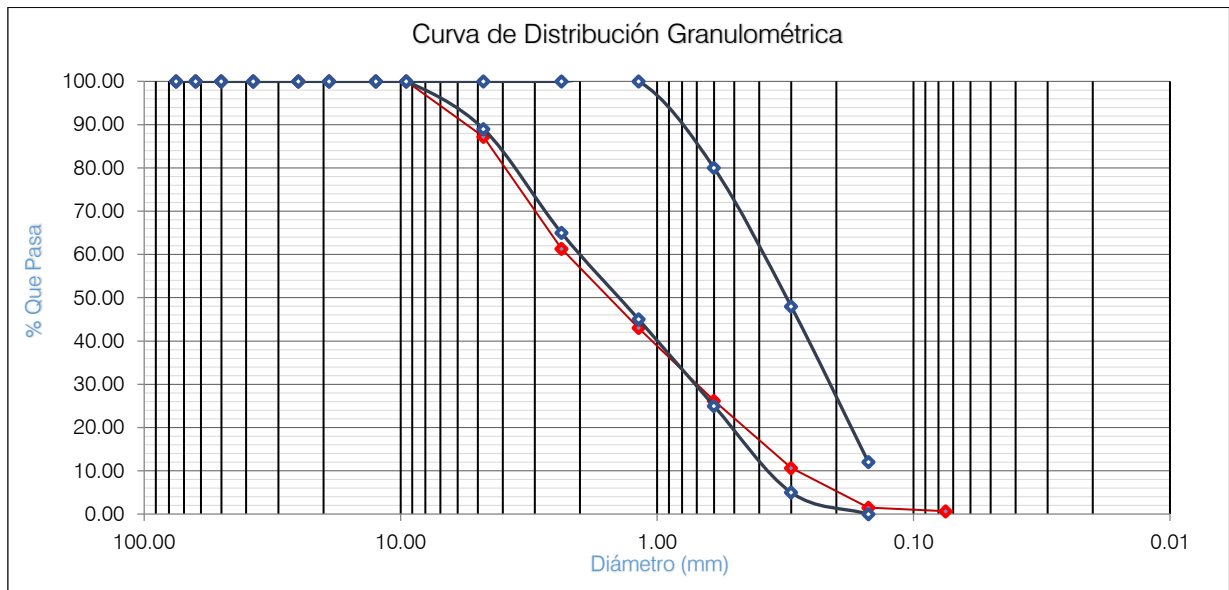


Tabla 45:
Peso específico y absorción del agregado fino

DESCRIPCIÓN	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	(A)		151.3	151.3	151.3	
Peso de la fiola +agua hasta menisco	g	(B)		649.7	649.7	649.7	
peso de la fiola +agua + muestra	g	(C)		963.1	963.2	962.8	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	(D)		500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	(E)		493.80	493.81	493.80	
Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	(F)	(C-D-A)	311.80	311.90	311.50	
Peso específico de masa	g/cm³	(G)	(E/500-F)	2.624	2.625	2.620	2.623
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/cm³	(H)	500/(500-F)	2.657	2.658	2.653	2.656
Peso específico de aparente	g/cm³	(I)	E/[(500-F)-(500-E)]	2.713	2.715	2.709	2.712
Absorción (%)	%	(J)	(D-E)/E*100	1.256	1.254	1.256	1.255

Tabla 46:
Peso específico del agua

Descripción	Valor
Peso de la fiola en (g) =	151.3
Peso de la fiola + agua en (g) =	649.5
Volumen de la fiola (cm ³) =	500.00
Peso específico (g/cm ³) =	0.9964
P.e en (Kg/m³) =	996.40

Tabla 47:
Cálculo del factor "f"

Descripción	Valor
Peso del molde (g) =	3885.00
Peso del molde +agua (g) =	6850.00
Peso agua (kg) =	2.9650
f (1/m³) =	336.054

*Tabla 48:
Peso unitario suelto seco*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(A)		3885.00	3885.00	3885.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	(B)		8645.00	8655.00	8666.00	
Peso de la muestra suelta	g	(C)	(B - A)	4760.00	4770.00	4781.00	
Factor (f)		(D)		336.054	336.054	336.054	
Peso unitario suelto	g/cm ³	(E)	D*C/1000000	1.600	1.603	1.607	1.603
Peso unitario suelto	Kg/m³			1600	1603	1607	1603

*Tabla 49:
Peso unitario suelto compactado*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(B)		3885.00	3885.00	3885.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	(A)		9055.00	9018.00	9038.00	
Peso de la muestra suelta	g	(C)	(B - A)	5170.00	5133.00	5153.00	
Factor (f)		(D)		336.054	336.054	336.054	
Peso unitario compactado	g/cm ³	(E)	D*C/1000000	1.737	1.725	1.732	1.731
Peso unitario compactado	Kg/m³			1737	1725	1732	1731

*Tabla 50:
Contenido de humedad del agregado fino*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(A)		88.00	90.00	86.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	(B)		1521.00	1518.00	1520.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	(C)		1496.00	1492.00	1493.00	
Contenido de humedad	W %	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	1.78	1.85	1.92	1.85

*Tabla 51:
Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra original	gr.	(A)		3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra lavada	gr.	(B)		2911.00	2911.00	2908.00	
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	gr.	(C)	(A - B)	89.00	89.00	92.00	
% de material que pasa el Tamiz N° 200	%		(A/C)*100	2.97%	2.97%	3.07%	3.00%

C. CAUCHO RECICLADO

*Tabla 52:
Peso específico del caucho*

DESCRIPCIÓN	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	(A)		151.3	151.3	151.3	
peso de la fiola +agua + muestra	g	(B)		726.5	727.2	726.2	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	(C)		500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	(D)		497.60	498.00	497.50	
Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	(E)	(B-D-A)	77.60	77.90	77.40	
Peso específico de masa	g/cm³	(F)	(D/500-E)	1.178	1.180	1.177	1.178

*Tabla 53:
Absorción del caucho*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca	g	(A)		255.00	250.00	254.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	(B)		253.40	248.50	252.50	
Absorción (%)	%	(C)	(A-B)/B*100	0.631	0.604	0.594	0.610

*Tabla 54:
Contenido de humedad del caucho*

Descripción	Und.	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	(A)		56.00	56.00	56.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	(B)		256.00	255.00	255.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	(C)		255.30	254.30	254.50	
Contenido de humedad	W %	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	0.35	0.35	0.30	0.336

Apéndice 3: Diseño de mezclas

Figura 29: Diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO												
CEMENTO :	PACASMAYO TIPO I		PESO ESPECIFICO =	3.100 g/cm ³								
DATOS INICIALES:												
	$F_c =$	210	Kg/cm ²									
	$F_{cr} =$	252	Kg/cm ²									
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS												
	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO									
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			3/4"									
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.623	g/cm ³	2.635	g/cm ³								
PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.656	g/cm ³	2.665	g/cm ³								
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.712	g/cm ³	2.717	g/cm ³								
PESO UNITARIO SUELTO	1603	Kg/m ³	1462	Kg/m ³								
PESO UNITARIO COMPACTADO	1731	Kg/m ³	1586	Kg/m ³								
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.850		0.250									
ABSORCION (%)	1.255		1.158									
MODULO DE FINURA	3.701		6.880									
ABRACION (%)	-		26.35									
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200	3.000		0.400									
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		VACIOS =	39.810								
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	205.0	Lt/m ³	VACIOS POR CORREGIR =	4.810								
AIRE TOTAL (%) =	2.0		FCORR. MC =	0.096								
RELACION A/Mc =	0.6840											
CEMENTO =	299.71	Kg/m ³	7.05	Bolsas/m ³								
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :												
CEMENTO =	0.097	m ³	<table border="1"> <tr> <td>MODULO DE COMBINACION :</td> <td>5.040</td> </tr> <tr> <td>MODULO DE COMBINACION :</td> <td>4.944</td> </tr> <tr> <td>% AGREGADO FINO =</td> <td>60.91</td> </tr> <tr> <td>% AGREGADO GRUESO =</td> <td>39.09</td> </tr> </table>		MODULO DE COMBINACION :	5.040	MODULO DE COMBINACION :	4.944	% AGREGADO FINO =	60.91	% AGREGADO GRUESO =	39.09
MODULO DE COMBINACION :	5.040											
MODULO DE COMBINACION :	4.944											
% AGREGADO FINO =	60.91											
% AGREGADO GRUESO =	39.09											
AGUA DE MEZCLADO =	0.205	m ³										
AIRE (%) =	0.020	m ³										
SUMA =	0.322	m ³										
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.678	m³	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">APORTE HUMEDAD AGREGADOS</td> </tr> <tr> <td>APORTE AF =</td> <td>6.45</td> </tr> <tr> <td>APORTE AG =</td> <td>-6.35</td> </tr> <tr> <td>TOTAL =</td> <td>0.10</td> </tr> </table>		APORTE HUMEDAD AGREGADOS		APORTE AF =	6.45	APORTE AG =	-6.35	TOTAL =	0.10
APORTE HUMEDAD AGREGADOS												
APORTE AF =	6.45											
APORTE AG =	-6.35											
TOTAL =	0.10											
	Volumen (m³)	Peso (kg)										
AGREGADO FINO SECO =	0.413	1084.00										
AGREGADO GRUESO SECO =	0.265	699.00										
MATERIALES DE DISEÑO												
CEMENTO	299.71	Kg	MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD									
AGUA DE DISEÑO	205.00	Lt	CEMENTO	299.71 Kg								
AGREGADO FINO SECO	1084.00	Kg	AGUA EFECTIVA	204.90 Lt								
AGREGADO GRUESO SECO	699.00	Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	1104.00 Kg								
AIRE TOTAL	2.00	%	AGREGADO GRUESO HUMEDO	701.00 Kg								
			AIRE TOTAL	2.00 %								
PROPORCION EN PESO												
CEMENTO =	1		PROPORCION EN VOLUMEN									
A. FINO =	3.68		CEMENTO =	1								
A. GRUESO =	2.34		A. FINO =	3.380								
AGUA =	29.1	(Lt / Bolsa)	A. GRUESO =	2.400								
			AGUA =	29.100 (Lt / Bolsa)								

Figura 30: Diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + sustitución 5% de caucho

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO					
CONCRETO F'C=210KG/CM2 + 5% Caucho					
CEMENTO :	PACASMAYO TIPO I		PESO ESPECIFICO =	3.100 g/cm3	
DATOS INICIALES:					
F _c =	210	Kg/cm2			
F _{cr} =	252	Kg/cm2			
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS					
	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		CAUCHO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			3/4"		
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.623	g/cm3	2.635	g/cm3	1.178
PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.656	g/cm3	2.665	g/cm3	
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.712	g/cm3	2.717	g/cm3	
PESO UNITARIO SUELTO	1603	Kg/m3	1462	Kg/m3	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1731	Kg/m3	1586	Kg/m3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.850		0.250		0.34
ABSORCION (%)	1.255		1.158		0.61
MODULO DE FINURA	3.701		6.880		
ABRASION (%)	-		26.35		
PORCENTAJE QUE PASA MALLA Nº 200	3.000		0.400		
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		VACIOS =	39.810	
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	205.0	Lt/m3	VACIOS POR CORREGIR =	4.810	
AIRE TOTAL (%) =	2.0		FCORR. MC =	0.096	
RELACION A/Mc =	0.6840				
CEMENTO =	299.71	Kg/m3	7.05	Bolsas/m3	
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :					
CEMENTO =	0.097	m3			
AGUA DE MEZCLADO =	0.205	m3			
AIRE (%) =	0.020	m3			
SUMA =	0.322	m3			
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.678	m3			
	Volumen (m3)	Peso (kg)			
AGREGADO FINO SECO =	0.413	1084.00			
AGREGADO GRUESO SECO =	0.265	699.00			
MODULO DE COMBINACION :					
MODULO DE COMBINACION :					
% AGREGADO FINO =					
% AGREGADO GRUESO =					
APORTE HUMEDAD AGREGADOS					
APORTE AF =					
APORTE AFR =					
APORTE AG =					
TOTAL =					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	299.71	Kg	CEMENTO	299.71	Kg
AGUA DE DISEÑO	205.00	Lt	AGUA EFECTIVA	205.29	Lt
AGREGADO FINO SECO	1029.80	Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	1049.00	Kg
CAUCHO	24.34	Kg	CAUCHO	24.42	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	699.00	Kg	AGREGADO GRUESO HUMEDO	701.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1		CEMENTO =	1	
A. FINO =	3.50		A. FINO =	3.220	
A. GRUESO =	2.34		A. GRUESO =	2.400	
AGUA =	29.1	(Lt/ Bolsa)	AGUA =	29.100	(Lt/ Bolsa)

Figura 31: Diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + sustitución 10% de caucho

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO					
CONCRETO F'c=210KG/CM2 + 10% Caucho					
CEMENTO :	PACASMAYO TIPO I		PESO ESPECIFICO =	3.100 g/cm3	
DATOS INICIALES:					
Pc =	210	Kg/cm2			
Pcr =	252	Kg/cm2			
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS					
	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		CAUCHO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			3/4"		
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.623	g/cm3	2.635	g/cm3	1.178
PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.656	g/cm3	2.665	g/cm3	
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.712	g/cm3	2.717	g/cm3	
PESO UNITARIO SUELTO	1603	Kg/m3	1462	Kg/m3	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1731	Kg/m3	1586	Kg/m3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.850		0.250		0.34
ABSORCION (%)	1.255		1.158		0.61
MODULO DE FINURA	3.701		6.880		
ABRASION (%)	-		26.35		
PORCENTAJE QUE PASA MALLA Nº 200	3.000		0.400		
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		VACIOS =	39.810	
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	205.0	Lt/m3	VACIOS POR CORREGIR =	4.810	
AIRE TOTAL (%) =	2.0		FCORR. MC =	0.096	
RELACION A/Mc =	0.6840				
CEMENTO =	299.71	Kg/m3	7.05	Bolsas/m3	
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :					
CEMENTO =	0.097	m3			
AGUA DE MEZCLADO =	0.205	m3			
AIRE (%) =	0.020	m3			
SUMA =	0.322	m3			
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.678	m3			
	Volumen (m3)	Peso (kg)			
AGREGADO FINO SECO =	0.413	1084.00			
AGREGADO GRUESO SECO =	0.265	699.00			
APORTE HUMEDAD AGREGADOS:					
APORTE AF =		5.80			
APORTE AFR =		-0.13			
APORTE AG =		-6.35			
TOTAL =		-0.67			
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	299.71	Kg	CEMENTO	299.71	Kg
AGUA DE DISEÑO	205.00	Lt	AGUA EFECTIVA	205.67	Lt
AGREGADO FINO SECO	975.60	Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	994.00	Kg
CAUCHO	48.68	Kg	CAUCHO	48.85	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	699.00	Kg	AGREGADO GRUESO HUMEDO	701.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1		CEMENTO =	1	
A. FINO =	3.32		A. FINO =	3.050	
A. GRUESO =	2.34		A. GRUESO =	2.400	
AGUA =	29.2	(Lt/ Bolsa)	AGUA =	29.200	(Lt/ Bolsa)

Figura 32: Diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + sustitución 20% de caucho

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO					
CONCRETO F'c=210KG/CM2 + 20% Caucho					
CEMENTO :	PACASMAYO TIPO I		PESO ESPECIFICO =	3.100 g/cm3	
DATOS INICIALES:					
Fc =	210	Kg/cm2			
Fcr =	252	Kg/cm2			
CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS					
	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		CAUCHO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			3/4"		
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.623	g/cm3	2.635	g/cm3	1.178
PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.656	g/cm3	2.665	g/cm3	
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.712	g/cm3	2.717	g/cm3	
PESO UNITARIO SUELTO	1603	Kg/m3	1462	Kg/m3	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1731	Kg/m3	1586	Kg/m3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.850		0.250		0.34
ABSORCION (%)	1.255		1.158		0.61
MODULO DE FINURA	3.701		6.880		
ABRASION (%)	-		26.35		
PORCENTAJE QUE PASA MALLA Nº 200	3.000		0.400		
ASENTAMIENTO =	3" - 4"		VACIOS =	39.810	
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	205.0	Lt/m3	VACIOS POR CORREGIR =	4.810	
AIRE TOTAL (%) =	2.0		FCORR. MC =	0.096	
RELACION A/Mc =	0.6840				
CEMENTO =	299.71	Kg/m3	7.05	Bolsas/m3	
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :					
CEMENTO =	0.097	m3			
AGUA DE MEZCLADO =	0.205	m3			
AIRE (%) =	0.020	m3			
SUMA =	0.322	m3			
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.678 m3				
	Volumen (m3)	Peso (kg)			
AGREGADO FINO SECO =	0.413	1084.00			
AGREGADO GRUESO SECO =	0.265	699.00			
MODULO DE COMBINACION :					
MODULO DE COMBINACION :					
% AGREGADO FINO =					
% AGREGADO GRUESO =					
APORTE HUMEDAD AGREGADOS					
APORTE AF =					
APORTE AFR =					
APORTE AG =					
TOTAL =					
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	299.71	Kg	CEMENTO	299.71	Kg
AGUA DE DISEÑO	205.00	Lt	AGUA EFECTIVA	206.45	Lt
AGREGADO FINO SECO	867.20	Kg	AGREGADO FINO HUMEDO	883.00	Kg
CAUCHO	97.37	Kg	CAUCHO	97.70	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	699.00	Kg	AGREGADO GRUESO HUMEDO	701.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%	AIRE TOTAL	2.00	%
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
CEMENTO =	1		CEMENTO =	1	
A. FINO =	2.95		A. FINO =	2.710	
A. GRUESO =	2.34		A. GRUESO =	2.400	
AGUA =	29.3	(Lt / Bolsa)	AGUA =	29.300	(Lt / Bolsa)

Apéndice 4: Resultados de ensayos de peso unitario

Tabla 55:

Calculo de peso unitario del concreto en estado fresco $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	Ø (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso Molde (g)	Peso Molde + C° (g)	Peso C° (g)	Peso Unitario (kg/m ³)
Concreto Patrón	CP-1	15.29	30.18	5541.46	9436	22273	12837	2316.538
	CP-2	15.01	30.30	5361.59	9250	22064	12814	2389.961
	CP-3	15.09	30.20	5401.01	8753	21623	12870	2382.886
	CP-4	15.20	30.13	5467.34	9580	22575	12995	2376.841
	CP-5	15.09	30.33	5424.26	8986	21979	12993	2395.348
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.22	30.40	5530.86	9343	21879	12536	2266.555
	CC5-2	15.33	30.20	5574.18	9431	21902	12471	2237.279
	CC5-3	15.11	30.10	5397.41	9357	21893	12536	2322.596
	CC5-4	15.17	30.25	5467.47	8696	21424	12728	2327.951
	CC5-5	15.03	30.00	5322.66	8416	21062	12646	2375.878
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.10	30.10	5390.27	8525	20887	12362	2293.393
	CC10-2	15.11	30.10	5397.41	8631	20857	12226	2265.161
	CC10-3	15.28	30.30	5556.22	6085	18362	12277	2209.597
	CC10-4	15.02	30.05	5324.44	6547	18960	12413	2331.323
	CC10-5	15.06	30.00	5343.93	8600	20959	12359	2312.716
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.11	30.00	5379.48	8480	20244	11764	2186.830
	CC20-2	15.20	30.08	5458.27	7894	19802	11908	2181.644
	CC20-3	15.12	30.20	5422.51	9137	20994	11857	2186.626
	CC20-4	15.16	30.10	5433.19	8596	20464	11868	2184.353
	CC20-5	15.10	30.60	5479.81	8485	20332	11847	2161.938

Tabla 56:

Calculo de peso unitario del concreto en estado endurecido $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a edad de 7 días

DESCRIPCIÓN	MUESTRA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	Peso Unitario kg/m ³
Concreto Patrón	CP-1	15.29	30.41	12.970	2322.84
	CP-2	15.43	30.35	13.080	2304.77
	CP-3	15.41	30.40	12.979	2289.14
	CP-4	15.31	30.35	12.782	2287.70
	CP-5	15.25	30.15	12.760	2317.04
	CP-6	15.29	30.18	12.687	2289.47
	CP-7	15.01	30.30	12.470	2325.80
	CP-8	15.09	30.20	12.520	2318.08
	CP-9	15.20	30.13	12.625	2309.17
	CP-10	15.09	30.33	12.475	2299.85
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.22	30.40	12.532	2265.83
	CC5-2	15.33	30.20	12.688	2276.21
	CC5-3	15.11	30.10	12.340	2286.28
	CC5-4	15.17	30.25	12.607	2305.82
	CC5-5	15.03	30.00	12.292	2309.37
	CC5-6	15.20	30.13	12.552	2295.81
	CC5-7	15.13	30.05	12.322	2280.70
	CC5-8	15.28	30.03	12.544	2277.95
	CC5-9	15.17	30.00	12.356	2278.74
	CC5-10	15.25	30.00	12.499	2281.00
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.10	30.10	11.949	2216.77
	CC10-2	15.11	30.10	11.952	2214.40
	CC10-3	15.28	30.30	12.369	2226.15
	CC10-4	15.02	30.05	11.969	2247.93
	CC10-5	15.06	30.00	12.017	2248.72
	CC10-6	15.15	30.10	12.015	2214.33
	CC10-7	15.10	30.10	12.080	2241.08
	CC10-8	15.20	30.10	12.125	2219.92
	CC10-9	15.13	30.33	12.257	2247.73
	CC10-10	15.10	30.05	11.987	2227.52
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.11	30.00	11.425	2123.81
	CC20-2	14.92	29.95	11.315	2160.88
	CC20-3	15.12	30.20	11.668	2151.77
	CC20-4	15.16	30.10	11.490	2114.78
	CC20-5	15.10	30.60	11.817	2156.46
	CC20-6	15.15	30.10	11.574	2133.05
	CC20-7	15.05	30.00	11.461	2147.53
	CC20-8	15.20	30.08	11.644	2133.28
	CC20-9	15.09	30.06	11.611	2159.79
	CC20-10	15.10	30.03	11.596	2156.30

Tabla 57:

Calculo de peso unitario del concreto en estado endurecido $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a edad de 14 días

DESCRIPCIÓN	MUESTRA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	Peso Unitario kg/m ³
Concreto Patrón	CP-1	15.24	30.20	12.760	2316.24
	CP-2	15.25	30.30	12.856	2322.92
	CP-3	15.25	30.20	12.807	2321.73
	CP-4	15.17	30.10	12.755	2344.51
	CP-5	15.26	30.30	12.843	2317.53
	CP-6	15.30	30.10	12.825	2317.49
	CP-7	15.28	30.05	12.810	2324.71
	CP-8	15.10	30.10	12.651	2347.01
	CP-9	15.24	30.00	12.711	2322.73
	CP-10	15.26	30.10	12.785	2322.39
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.31	30.10	12.570	2268.45
	CC5-2	15.26	30.20	12.384	2242.10
	CC5-3	15.23	30.20	12.416	2256.76
	CC5-4	15.04	30.40	12.245	2267.25
	CC5-5	15.02	30.10	12.203	2288.08
	CC5-6	15.11	30.10	12.211	2262.38
	CC5-7	15.12	30.00	12.258	2275.65
	CC5-8	15.24	30.10	12.522	2280.59
	CC5-9	15.16	30.20	12.354	2266.27
	CC5-10	15.05	30.20	12.235	2277.37
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.18	30.40	12.095	2198.36
	CC10-2	15.16	30.10	11.735	2159.87
	CC10-3	15.13	30.10	11.870	2193.39
	CC10-4	15.21	30.20	11.865	2162.28
	CC10-5	15.22	30.10	11.970	2185.79
	CC10-6	15.06	30.10	11.781	2197.23
	CC10-7	15.16	30.20	11.898	2182.62
	CC10-8	15.15	30.00	11.812	2184.17
	CC10-9	15.25	30.10	11.929	2169.74
	CC10-10	15.08	30.20	11.836	2194.35
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.15	30.40	11.623	2120.95
	CC20-2	15.15	30.40	11.627	2121.68
	CC20-3	15.07	30.20	11.331	2103.51
	CC20-4	15.01	30.10	11.360	2132.85
	CC20-5	15.21	30.20	11.743	2140.05
	CC20-6	15.04	30.40	11.539	2136.53
	CC20-7	15.10	30.20	11.512	2128.63
	CC20-8	15.16	30.10	11.361	2091.04
	CC20-9	15.25	30.10	11.542	2099.35
	CC20-10	15.22	30.10	11.712	2138.68

Tabla 58:

Calculo de peso unitario del concreto en estado endurecido $f'c=210\text{kg/cm}^2$, a edad de 28 días

DESCRIPCIÓN	MUESTRA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	Peso Unitario kg/m ³
Concreto Patrón	CP-1	15.33	30.30	12.905	2307.50
	CP-2	15.14	30.30	12.785	2343.78
	CP-3	15.16	30.25	12.771	2338.90
	CP-4	15.15	30.15	12.752	2346.26
	CP-5	15.18	30.40	12.932	2350.49
	CP-6	15.16	30.20	12.720	2333.41
	CP-7	15.12	30.15	12.705	2346.90
	CP-8	15.06	30.25	12.687	2354.47
	CP-9	15.21	30.10	12.781	2336.95
	CP-10	15.14	30.30	12.855	2356.61
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.16	30.10	12.204	2246.19
	CC5-2	15.03	30.10	12.088	2263.50
	CC5-3	15.14	30.15	12.115	2232.00
	CC5-4	15.35	30.20	12.490	2234.85
	CC5-5	15.02	30.05	12.114	2275.17
	CC5-6	15.10	30.10	12.154	2254.80
	CC5-7	15.18	30.20	12.259	2242.92
	CC5-8	15.14	30.20	12.226	2248.72
	CC5-9	15.21	30.10	12.242	2238.40
	CC5-10	15.16	30.10	12.202	2245.83
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.12	30.15	12.026	2221.47
	CC10-2	14.97	29.90	11.455	2176.66
	CC10-3	15.20	30.35	12.191	2213.62
	CC10-4	15.22	30.10	12.146	2217.93
	CC10-5	15.21	30.30	12.193	2214.72
	CC10-6	15.10	30.30	12.069	2224.26
	CC10-7	15.08	30.20	12.053	2234.58
	CC10-8	15.30	30.15	12.208	2202.34
	CC10-9	15.21	30.05	12.018	2201.10
	CC10-10	15.28	30.05	12.074	2191.14
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.24	30.30	11.661	2109.76
	CC20-2	15.13	30.20	11.552	2127.56
	CC20-3	15.17	30.20	11.657	2135.59
	CC20-4	15.26	30.35	11.686	2105.27
	CC20-5	15.12	30.10	11.345	2099.16
	CC20-6	15.26	30.30	11.709	2112.90
	CC20-7	15.29	30.25	11.712	2108.63
	CC20-8	15.09	30.15	11.521	2136.66
	CC20-9	15.10	30.05	11.490	2135.17
	CC20-10	15.27	30.10	11.639	2111.45

Apéndice 5: Resultados de ensayos a resistencia a la compresión

Tabla 59:

Resultados de ensayo a la compresión a edad de 7 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kn)	Tipo de Falla	Área (cm ²)	F'c (kg/cm ²)	% Diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$
Concreto Patrón	CP-1	15.29	392.53	5	183.61	218.00	103.81%
	CP-2	15.43	389.52	4	186.99	212.42	101.15%
	CP-3	15.41	394.99	4	186.51	215.96	102.84%
	CP-4	15.31	343.77	6	184.09	190.42	90.68%
	CP-5	15.25	369.79	1	182.65	206.45	98.31%
	CP-6	15.29	356.62	5	183.61	198.05	94.31%
	CP-7	15.01	381.52	5	176.95	219.86	104.70%
	CP-8	15.09	368.60	5	178.84	210.17	100.08%
	CP-9	15.20	385.88	4	181.46	216.85	103.26%
	CP-10	15.09	362.85	5	178.84	206.89	98.52%
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.22	276.35	2	181.94	154.89	73.76%
	CC5-2	15.33	288.11	5	184.58	159.17	75.80%
	CC5-3	15.11	315.29	5	179.32	179.30	85.38%
	CC5-4	15.17	292.93	5	180.74	165.27	78.70%
	CC5-5	15.03	302.67	6	177.42	173.96	82.84%
	CC5-6	15.20	305.63	5	181.46	171.75	81.79%
	CC5-7	15.13	298.93	1	179.79	169.54	80.73%
	CC5-8	15.28	296.12	5	183.37	164.67	78.41%
	CC5-9	15.17	302.73	5	180.74	170.79	81.33%
	CC5-10	15.25	299.07	5	182.65	166.96	79.51%
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.10	155.89	5	179.08	88.77	42.27%
	CC10-2	15.11	157.60	6	179.32	89.62	42.68%
	CC10-3	15.28	157.42	6	183.37	87.54	41.69%
	CC10-4	15.02	158.50	5	177.19	91.22	43.44%
	CC10-5	15.06	174.40	6	178.13	99.84	47.54%
	CC10-6	15.15	165.71	5	180.27	93.74	44.64%
	CC10-7	15.10	157.19	5	179.08	89.51	42.62%
	CC10-8	15.20	158.57	5	181.46	89.11	42.43%
	CC10-9	15.13	162.52	6	179.79	92.18	43.89%
	CC10-10	15.10	155.08	5	179.08	88.31	42.05%
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.11	135.97	5	179.32	77.32	36.82%
	CC20-2	14.92	109.00	5	174.83	63.57	30.27%
	CC20-3	15.12	109.22	5	179.55	62.03	29.54%
	CC20-4	15.16	121.71	1	180.50	68.76	32.74%
	CC20-5	15.10	157.22	5	179.08	89.52	42.63%
	CC20-6	15.15	141.41	5	180.27	79.99	38.09%
	CC20-7	15.05	139.65	6	177.89	80.05	38.12%
	CC20-8	15.20	111.97	5	181.46	62.92	29.96%
	CC20-9	15.09	141.59	5	178.84	80.73	38.44%
	CC20-10	15.10	107.10	5	179.08	60.99	29.04%

Tabla 60:

Resultados de ensayo a la compresión a edad de 14 días, $f'_c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kn)	Tipo de Falla	Área (cm ²)	F'c (kg/cm ²)	% Diseño $f'_c=210\text{kg/cm}^2$
Concreto Patrón	CP-1	15.24	464.41	3	182.41	259.61	123.62%
	CP-2	15.25	445.04	5	182.65	248.46	118.31%
	CP-3	15.25	431.55	5	182.65	240.92	114.73%
	CP-4	15.17	437.94	2	180.74	247.08	117.66%
	CP-5	15.26	422.11	5	182.89	235.35	112.07%
	CP-6	15.30	436.60	4	183.85	242.15	115.31%
	CP-7	15.28	431.16	5	183.37	239.76	114.17%
	CP-8	15.10	442.02	5	179.08	251.70	119.86%
	CP-9	15.24	449.33	6	182.41	251.18	119.61%
	CP-10	15.26	455.65	1	182.89	254.05	120.97%
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.31	424.41	3	184.09	235.08	111.95%
	CC5-2	15.26	371.31	2	182.89	207.02	98.58%
	CC5-3	15.23	354.24	3	182.18	198.28	94.42%
	CC5-4	15.04	381.66	2	177.66	219.06	104.32%
	CC5-5	15.02	405.75	5	177.19	233.51	111.20%
	CC5-6	15.11	376.88	5	179.32	214.32	102.06%
	CC5-7	15.12	375.75	3	179.55	213.40	101.62%
	CC5-8	15.24	409.00	4	182.41	228.64	108.87%
	CC5-9	15.16	363.71	5	180.50	205.47	97.84%
	CC5-10	15.05	392.58	1	177.89	225.03	107.16%
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.18	186.83	5	180.98	105.27	50.13%
	CC10-2	15.16	208.58	5	180.50	117.83	56.11%
	CC10-3	15.13	271.32	2	179.79	153.88	73.28%
	CC10-4	15.21	280.21	5	181.70	157.26	74.89%
	CC10-5	15.22	309.20	5	181.94	173.30	82.52%
	CC10-6	15.06	252.78	5	178.13	144.70	68.91%
	CC10-7	15.16	302.56	4	180.50	170.92	81.39%
	CC10-8	15.15	257.64	6	180.27	145.74	69.40%
	CC10-9	15.25	294.22	5	182.65	164.26	78.22%
	CC10-10	15.08	234.76	5	178.60	134.03	63.83%
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.15	210.48	5	180.27	119.06	56.70%
	CC20-2	15.15	201.29	5	180.27	113.86	54.22%
	CC20-3	15.07	186.84	5	178.37	106.82	50.86%
	CC20-4	15.01	155.28	5	176.95	89.48	42.61%
	CC20-5	15.21	198.87	5	181.70	111.61	53.15%
	CC20-6	15.04	181.23	5	177.66	104.02	49.53%
	CC20-7	15.10	211.85	6	179.08	120.63	57.44%
	CC20-8	15.16	202.14	5	180.50	114.19	54.38%
	CC20-9	15.25	207.35	4	182.65	115.76	55.12%
	CC20-10	15.22	191.55	5	181.94	107.36	51.12%

Tabla 61:

Resultados de ensayo a la compresión a edad de 28 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kn)	Tipo de Falla	Área (cm ²)	F'c (kg/cm ²)	% Diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$
Concreto Patrón	CP-1	15.33	437.34	5	184.58	241.62	115.05%
	CP-2	15.14	521.86	4	180.03	295.59	140.76%
	CP-3	15.16	532.25	5	180.50	300.68	143.18%
	CP-4	15.15	530.78	5	180.27	300.25	142.97%
	CP-5	15.18	514.33	5	180.98	289.79	138.00%
	CP-6	15.16	521.45	5	180.50	294.58	140.28%
	CP-7	15.12	490.12	5	179.55	278.35	132.55%
	CP-8	15.06	531.32	6	178.13	304.16	144.84%
	CP-9	15.21	487.93	4	181.70	273.83	130.40%
	CP-10	15.14	498.96	5	180.03	282.62	134.58%
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	15.16	419.67	5	180.50	237.08	112.90%
	CC5-2	15.03	423.89	5	177.42	243.63	116.01%
	CC5-3	15.14	389.65	4	180.03	220.71	105.10%
	CC5-4	15.35	426.06	5	185.06	234.77	111.80%
	CC5-5	15.02	429.33	5	177.19	247.08	117.66%
	CC5-6	15.10	428.98	5	179.08	244.27	116.32%
	CC5-7	15.18	427.99	4	180.98	241.15	114.83%
	CC5-8	15.14	417.31	5	180.03	236.37	112.56%
	CC5-9	15.21	415.01	5	181.70	232.91	110.91%
	CC5-10	15.16	430.77	5	180.50	243.35	115.88%
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	15.12	340.52	5	179.55	193.39	92.09%
	CC10-2	14.97	325.28	5	176.01	188.45	89.74%
	CC10-3	15.20	333.07	5	181.46	187.17	89.13%
	CC10-4	15.22	350.33	5	181.94	196.35	93.50%
	CC10-5	15.21	342.22	6	181.70	192.06	91.46%
	CC10-6	15.10	337.50	5	179.08	192.18	91.51%
	CC10-7	15.08	340.53	5	178.60	194.42	92.58%
	CC10-8	15.30	345.20	5	183.85	191.46	91.17%
	CC10-9	15.21	342.48	4	181.70	192.21	91.53%
	CC10-10	15.28	342.52	5	183.37	190.47	90.70%
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	15.24	230.46	5	182.41	128.83	61.35%
	CC20-2	15.13	163.63	5	179.79	92.81	44.19%
	CC20-3	15.17	218.58	5	180.74	123.32	58.72%
	CC20-4	15.26	233.83	5	182.89	130.37	62.08%
	CC20-5	15.12	255.19	5	179.55	144.93	69.01%
	CC20-6	15.26	198.49	6	182.89	110.67	52.70%
	CC20-7	15.29	248.93	5	183.61	138.25	65.83%
	CC20-8	15.09	193.90	5	178.84	110.56	52.65%
	CC20-9	15.10	190.12	5	179.08	108.26	51.55%
	CC20-10	15.27	240.95	4	183.13	134.16	63.89%

Apéndice 6: Desviación estándar de la resistencia a la compresión

Tabla 62:

Desviación estándar de ensayos a edad de 7 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	F'c (kg/cm ²)	Prom. (u)	Desv. Estándar (s)	Lim. Super. (u+s)	Lim. Infer. (u-s)	Valor
Concreto Patrón	CP-1	218.00	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
	CP-2	212.42	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
	CP-3	215.96	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
	CP-4	190.42	209.50	9.40	218.91	200.10	ATIPICO
	CP-5	206.45	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
	CP-6	198.05	209.50	9.40	218.91	200.10	ATIPICO
	CP-7	219.86	209.50	9.40	218.91	200.10	ATIPICO
	CP-8	210.17	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
	CP-9	216.85	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
	CP-10	206.89	209.50	9.40	218.91	200.10	OK
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	154.89	167.63	7.11	174.74	160.52	ATIPICO
	CC5-2	159.17	167.63	7.11	174.74	160.52	ATIPICO
	CC5-3	179.30	167.63	7.11	174.74	160.52	ATIPICO
	CC5-4	165.27	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
	CC5-5	173.96	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
	CC5-6	171.75	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
	CC5-7	169.54	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
	CC5-8	164.67	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
	CC5-9	170.79	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
	CC5-10	166.96	167.63	7.11	174.74	160.52	OK
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	88.77	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-2	89.62	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-3	87.54	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-4	91.22	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-5	99.84	90.98	3.63	94.62	87.35	ATIPICO
	CC10-6	93.74	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-7	89.51	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-8	89.11	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-9	92.18	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
	CC10-10	88.31	90.98	3.63	94.62	87.35	OK
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	77.32	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-2	63.57	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-3	62.03	72.59	10.12	82.71	62.47	ATIPICO
	CC20-4	68.76	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-5	89.52	72.59	10.12	82.71	62.47	ATIPICO
	CC20-6	79.99	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-7	80.05	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-8	62.92	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-9	80.73	72.59	10.12	82.71	62.47	OK
	CC20-10	60.99	72.59	10.12	82.71	62.47	ATIPICO

Tabla 63:

Desviación estándar de ensayos a edad de 14 días, $f'_c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	F'c (kg/cm ²)	Prom (u)	Desv. Estándar (s)	Lim. Super. (u+s)	Lim. Infer. (u-s)	Valor
Concreto Patrón	CP-1	259.61	247.03	7.45	254.47	239.58	ATIPICO
	CP-2	248.46	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-3	240.92	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-4	247.08	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-5	235.35	247.03	7.45	254.47	239.58	ATIPICO
	CP-6	242.15	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-7	239.76	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-8	251.70	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-9	251.18	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
	CP-10	254.05	247.03	7.45	254.47	239.58	OK
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	235.08	217.98	12.46	230.44	205.52	ATIPICO
	CC5-2	207.02	217.98	12.46	230.44	205.52	OK
	CC5-3	198.28	217.98	12.46	230.44	205.52	ATIPICO
	CC5-4	219.06	217.98	12.46	230.44	205.52	OK
	CC5-5	233.51	217.98	12.46	230.44	205.52	ATIPICO
	CC5-6	214.32	217.98	12.46	230.44	205.52	OK
	CC5-7	213.40	217.98	12.46	230.44	205.52	OK
	CC5-8	228.64	217.98	12.46	230.44	205.52	OK
	CC5-9	205.47	217.98	12.46	230.44	205.52	ATIPICO
	CC5-10	225.03	217.98	12.46	230.44	205.52	OK
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	105.27	146.72	22.31	169.03	124.41	ATIPICO
	CC10-2	117.83	146.72	22.31	169.03	124.41	ATIPICO
	CC10-3	153.88	146.72	22.31	169.03	124.41	OK
	CC10-4	157.26	146.72	22.31	169.03	124.41	OK
	CC10-5	173.30	146.72	22.31	169.03	124.41	ATIPICO
	CC10-6	144.70	146.72	22.31	169.03	124.41	OK
	CC10-7	170.92	146.72	22.31	169.03	124.41	ATIPICO
	CC10-8	145.74	146.72	22.31	169.03	124.41	OK
	CC10-9	164.26	146.72	22.31	169.03	124.41	OK
	CC10-10	134.03	146.72	22.31	169.03	124.41	OK
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	119.06	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-2	113.86	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-3	106.82	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-4	89.48	110.28	9.05	119.33	101.23	ATIPICO
	CC20-5	111.61	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-6	104.02	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-7	120.63	110.28	9.05	119.33	101.23	ATIPICO
	CC20-8	114.19	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-9	115.76	110.28	9.05	119.33	101.23	OK
	CC20-10	107.36	110.28	9.05	119.33	101.23	OK

Tabla 64:

Desviación estándar de ensayos a edad de 28 días, $f'_c=210\text{kg/cm}^2$

Descripción	Muestra	F'c (kg/cm ²)	Prom (u)	Desv. Estándar (s)	Lim. Super. (u+s)	Lim. Infer. (u-s)	Valor
Concreto Patrón	CP-1	241.62	286.15	18.61	304.75	267.54	ATIPICO
	CP-2	295.59	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-3	300.68	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-4	300.25	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-5	289.79	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-6	294.58	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-7	278.35	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-8	304.16	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-9	273.83	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
	CP-10	282.62	286.15	18.61	304.75	267.54	OK
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	237.08	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-2	243.63	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-3	220.71	238.13	7.68	245.81	230.45	ATIPICO
	CC5-4	234.77	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-5	247.08	238.13	7.68	245.81	230.45	ATIPICO
	CC5-6	244.27	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-7	241.15	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-8	236.37	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-9	232.91	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
	CC5-10	243.35	238.13	7.68	245.81	230.45	OK
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	193.39	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
	CC10-2	188.45	191.82	2.69	194.50	189.13	ATIPICO
	CC10-3	187.17	191.82	2.69	194.50	189.13	ATIPICO
	CC10-4	196.35	191.82	2.69	194.50	189.13	ATIPICO
	CC10-5	192.06	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
	CC10-6	192.18	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
	CC10-7	194.42	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
	CC10-8	191.46	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
	CC10-9	192.21	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
	CC10-10	190.47	191.82	2.69	194.50	189.13	OK
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	128.83	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-2	92.81	122.21	16.18	138.39	106.03	ATIPICO
	CC20-3	123.32	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-4	130.37	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-5	144.93	122.21	16.18	138.39	106.03	ATIPICO
	CC20-6	110.67	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-7	138.25	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-8	110.56	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-9	108.26	122.21	16.18	138.39	106.03	OK
	CC20-10	134.16	122.21	16.18	138.39	106.03	OK

Tabla 65:

Resistencia promedio a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, a edad de 7 días, sin valores atípicos.

ENSAYO A COMPRESION EDAD 7 DÍAS, F'C= 210 KG/CM²				
MUESTRA	Concreto Patrón	Concreto + 5% Caucho	Concreto + 10% Caucho	Concreto + 20% Caucho
1	218.00	-	88.77	77.32
2	212.42	-	89.62	63.57
3	215.96	-	87.54	-
4	-	165.27	91.22	68.76
5	206.45	173.96	-	-
6	-	171.75	93.74	79.99
7	-	169.54	89.51	80.05
8	210.17	164.67	89.11	62.92
9	216.85	170.79	92.18	80.73
10	206.89	166.96	88.31	-
Prom. (kg/cm²)	212.39	168.99	90.00	73.34

Tabla 66:

Resistencia promedio a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, a edad de 14 días, sin valores atípicos.

ENSAYO A COMPRESION EDAD 14 DÍAS, F'C= 210 KG/CM²				
MUESTRA	Concreto Patrón	Concreto + 5% Caucho	Concreto + 10% Caucho	Concreto + 20% Caucho
1	-	-	-	119.06
2	248.46	207.02	-	113.86
3	240.92	-	153.88	106.82
4	247.08	219.06	157.26	-
5	-	-	-	111.61
6	242.15	214.32	144.70	104.02
7	239.76	213.40	-	-
8	251.70	228.64	145.74	114.19
9	251.18	-	164.26	115.76
10	254.05	225.03	134.03	107.36
Prom. (kg/cm²)	246.91	217.91	149.98	111.59

Tabla 67:

Resistencia promedio a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, a edad de 28 días, sin valores atípicos.

ENSAYO A COMPRESION EDAD 28 DÍAS, F'C= 210 KG/CM²				
MUESTRA	Concreto Patrón	Concreto + 5% Caucho	Concreto + 10% Caucho	Concreto + 20% Caucho
1	-	237.08	193.39	128.83
2	295.59	243.63	-	-
3	300.68	-	-	123.32
4	300.25	234.77	-	130.37
5	289.79	-	192.06	-
6	294.58	244.27	192.18	110.67
7	278.35	241.15	194.42	138.25
8	304.16	236.37	191.46	110.56
9	273.83	232.91	192.21	108.26
10	282.62	243.35	190.47	134.16
Prom. (kg/cm²)	291.09	239.19	192.31	123.05

Apéndice 7: Resultados de ensayos de resistencia a la flexión

Tabla 68:
Resultados de ensayo a la flexión a edad de 28 días, $f'c=210\text{kg/cm}^2$

DESCRIPCIÓN	MUESTRA	ITEM	LARGO (cm)	ALTURA (cm)	BASE (cm)	PESO (kg)	Carga (kg)	MR (kg/cm ²)
Concreto Patrón	CP-1	Ensayo 1	45.00	15.00	15.00	23.685	3260.00	43.47
	CP-2	Ensayo 2	45.00	15.00	15.00	23.717	2640.00	35.20
	CP-3	Ensayo 3	45.00	15.00	15.00	23.634	2620.00	34.93
Concreto + 5% Caucho	CC5-1	Ensayo 1	45.00	15.00	15.00	22.745	2260.00	30.13
	CC5-2	Ensayo 2	45.00	15.00	15.00	22.810	2280.00	30.40
	CC5-3	Ensayo 3	45.00	15.00	15.00	22.656	2240.00	29.87
Concreto + 10% Caucho	CC10-1	Ensayo 1	45.00	15.00	15.00	22.345	1840.00	24.53
	CC10-2	Ensayo 2	45.00	15.00	15.00	22.295	1820.00	24.27
	CC10-3	Ensayo 3	45.00	15.00	15.00	22.387	1840.00	24.53
Concreto + 20% Caucho	CC20-1	Ensayo 1	45.00	15.00	15.00	21.476	1240.00	16.53
	CC20-2	Ensayo 2	45.00	15.00	15.00	21.423	1300.00	17.33
	CC20-3	Ensayo 3	45.00	15.00	15.00	21.398	1280.00	17.07

Apéndice 8: Panel fotográfico

*Figura 33:
Ensayo de granulometría del agregado*



*Figura 34:
Ensayos de peso específico de agregados*



*Figura 35:
Ensayo de peso unitario suelto y compactado de agregados*



*Figura 36:
Fabricación de probetas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*



*Figura 37:
Ensayo de slump del concreto*



*Figura 38:
Peso de probetas para cálculo de peso unitario del concreto*



Figura 39:
Ensayo a compresión de probetas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Figura 40:
Ensayo de probetas a compresión



Figura 41:
Fractura tipo 4, en probeta ensayada a compresión



Figura 42:
Rotura de probeta tipo viga, ensayo a flexión de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

