



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DEL TAMAÑO Y PORCENTAJE DE CAUCHO RECICLADO EN UN CONCRETO ESTRUCTURAL SOBRE SU COMPRESIÓN, ASENTAMIENTO, PESO UNITARIO Y DEFORMACIÓN, TRUJILLO - 2018

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Contreras Gonzales, Rodrigo Jose

Asesor:

Ing. Iván Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Rodrigo Jose Contreras Gonzales**, denominada:

“INFLUENCIA DEL TAMAÑO Y PORCENTAJE DE CAUCHO RECICLADO EN UN CONCRETO ESTRUCTURAL SOBRE SU COMPRESIÓN, ASENTAMIENTO, PESO UNITARIO Y DEFORMACIÓN, TRUJILLO - 2018”

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro
ASESOR

MBA Ing. Ricardo Ávalos Alayo
JURADO
PRESIDENTE

MBA Ing. Josualdo Villar Quiroz
JURADO

Ing. Alberto Vásquez Díaz
JURADO

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida, salud y todas las bendiciones, por guiarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y por brindarme experiencias y aprendizajes en todo este tiempo.

A mi madre Clara Gonzales, por su apoyo constante, amor, confianza, paciencia, por nunca perder la fe en mí y levantarme en los momentos más difíciles.

A mi hermano Renato, por la paciencia, cariño y disposición que siempre me brindó para ayudarme.

A mi tía Adriana, por el inmenso amor y cariño brindados hacia nosotros, por recibirnos siempre con los brazos abiertos y por mostrarse orgullosa de la familia. Siempre estará en nuestros corazones.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, quien me dio la vida y la dicha de poder culminar esta etapa profesional, a él que con su infinito amor me ha llenado de bendiciones y me ha guiado a lo largo de toda mi vida.

A mi madre, mi hermano y familiares que viven conmigo como también los que se encuentran lejos por su apoyo, amor y confianza en todo momento.

Mi agradecimiento a todas las personas que colaboraron para que este trabajo tuviera buen término, un agradecimiento especial a mi asesor de tesis, el Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro por su paciencia, por transmitirme sus conocimientos y más que todo por brindarme su amistad y confianza durante todo este tiempo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Justificación	16
1.4. Limitaciones.....	17
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. Objetivo general	18
1.5.2. Objetivos específicos	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Concreto.....	22
2.3. Hipótesis	33
2.3.1. Hipótesis general.....	33
2.3.2. Hipótesis específicas.....	33
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	35
3.1. Operacionalización de variables	35
3.1.1. Variable independiente	35
3.1.2. Variables dependientes.....	35
3.2. Diseño de investigación.....	36
3.3. Unidad de estudio.....	36
3.4. Población	37
3.5. Muestra.....	37
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	37
3.6.1. Técnica de recolección de datos y análisis de datos	37
3.6.2. Instrumentos y procedimientos de recolección de datos	38
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	56
4.1. Caracterización de agregados.....	56
4.1.1. Agregado fino y grueso	56
4.2. Diseño de mezcla	57
4.3. Ensayos de concreto en estado fresco	58
4.3.1. Asentamiento ASTM C143.....	58
4.3.2. Peso unitario ASTM C138.....	58

4.4.	Ensayos de concreto en estado endurecido	59
4.4.1.	Resistencia a la compresión ASTM C39.....	59
4.4.2.	Deformación ASTM C469	60
4.5.	Análisis de costos	61
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		62
5.1.	Cemento	62
5.2.	Aditivo superplastificante.....	62
5.3.	Caracterización de agregados.....	63
5.4.	Propiedades del concreto en estado fresco	66
5.4.1.	Asentamiento ASTM C143.....	66
5.4.2.	Peso unitario ASTM C138.....	67
5.5.	Propiedades del concreto en estado endurecido.....	68
5.5.1.	Resistencia a la compresión ASTM C39.....	68
5.5.2.	Deformación ASTM C469	72
CONCLUSIONES.....		73
RECOMENDACIONES		75
REFERENCIAS.....		76
APÉNDICE		82
Apéndice N.º 1. Resultados de caracterización de materiales para el concreto.		82
Apéndice N.º 2. Diseño de mezcla por el método ACI 211.		86
Apéndice N.º 3. Resultados de ensayos del concreto en estado fresco y endurecido.....		90
Apéndice N.º 4. Análisis de costos del concreto estructural con adición de caucho.....		102
Apéndice N.º 5. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto.....		107
ANEXOS.....		119
Anexo N.º 1. Informe de ensayos de laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo.		119
Anexo N.º 2. Certificado de calibración de equipos.		122
Anexo N.º 3. Fichas técnicas de materiales.....		124
Anexo N.º 4. Panel fotográfico.		128
Anexo N.º 5. Fichas de observación.		133

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Resultados del asentamiento del concreto con caucho.....</i>	19
<i>Tabla 2: Compresión en diferentes días de curado</i>	20
<i>Tabla 3: Resistencia a la compresión ($f'c$) y módulo de elasticidad (E_c)</i>	21
<i>Tabla 4: Resistencia a la compresión promedio del concreto</i>	22
<i>Tabla 5: Clasificación de los cementos</i>	24
<i>Tabla 6: Clasificación de los aditivos</i>	26
<i>Tabla 7: Composición de un neumático.....</i>	31
<i>Tabla 8: Planteamiento de la hipótesis general</i>	33
<i>Tabla 9: Hipótesis específica para la compresión.....</i>	33
<i>Tabla 10: Hipótesis específica para el asentamiento.....</i>	34
<i>Tabla 11: Hipótesis específica para el peso unitario.....</i>	34
<i>Tabla 12: Hipótesis específica para la deformación</i>	34
<i>Tabla 13: Operacionalización de variables</i>	35
<i>Tabla 14: Variables de estudio.....</i>	36
<i>Tabla 15: Cálculo del concreto y las probetas a utilizar.....</i>	37
<i>Tabla 16: Densidad del agua en función de la temperatura</i>	39
<i>Tabla 17: Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados.....</i>	40
<i>Tabla 18: Clasificación de los agregados según su peso unitario</i>	40
<i>Tabla 19: Contenido de humedad de los agregados</i>	41
<i>Tabla 20: Peso específico y absorción del agregado fino.</i>	43
<i>Tabla 21: Peso específico y absorción del agregado grueso.</i>	44
<i>Tabla 22: Husos granulométricos de los agregados.....</i>	45
<i>Tabla 23: Análisis granulométrico para agregado fino.....</i>	45
<i>Tabla 24: Análisis granulométrico para el agregado grueso.....</i>	46
<i>Tabla 25: Factor de seguridad del concreto.....</i>	46
<i>Tabla 26: Relación agua/cemento</i>	46
<i>Tabla 27: Cantidad de agua L/m^3.....</i>	47
<i>Tabla 28: Tamaño máximo nominal vs módulo de finura del agregado</i>	47
<i>Tabla 29: Dosificación para 3 probetas de 10 cm x 20 cm de diámetro y alto.</i>	48
<i>Tabla 30: Asentamiento del concreto con el cono de Abrams.....</i>	49
<i>Tabla 31: Consistencia del concreto por su asentamiento</i>	50
<i>Tabla 32: Peso unitario del concreto en estado fresco.....</i>	51
<i>Tabla 33: Resistencia a la compresión del concreto.....</i>	52
<i>Tabla 34: Deformación y módulo de elasticidad del concreto.</i>	52
<i>Tabla 35: Caracterización del agregado grueso y agregado fino</i>	56
<i>Tabla 36: Dosificación de la mezcla de concreto por metro cúbico.....</i>	57

<i>Tabla 37: Asentamiento del concreto con adición de caucho.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 38: Peso unitario del concreto con caucho</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 39: Resistencia a la compresión del concreto a 28 y 56 días de curado.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 40: Deformación y módulo de elasticidad promedio del concreto con adición de caucho. ...</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 41: Costos de producción del concreto estructural con 3% de adición de caucho.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 42: Propiedades físicas del cemento tipo ICo.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 43: Propiedades del superplastificante ViscoCrete 3330</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 44: Resistencia de los materiales elastoméricos en distintos ambientes</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 45: Textura granulométrica del agregado grueso.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 46: Textura granulométrica del agregado fino.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 47: Contenido de humedad del agregado grueso (AG) y fino (AF).</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 48: Peso unitario del agregado grueso (AG) y fino (AF).....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 49: Peso específico y absorción del agregado grueso (AG).....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 50: Peso específico y absorción del agregado fino (AF).</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 51: Equivalente de arena del agregado fino.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 52: Volumen de materiales por 1m³ para el concreto.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 53: Dosificación de concreto por bolsa de cemento.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 54: Asentamiento del concreto con adición de caucho.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 55: Peso unitario del concreto con adición de caucho.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 56: Resistencia a la compresión a los 28 días.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 57: Resistencia a la compresión a los 56 días.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 58: Deformación y módulo de elasticidad del concreto.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 59: Análisis de costos del concreto estructural.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 60: Costo del concreto estructural con adición de aditivo superplastificante.</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 61: Costo del concreto estructural con superplastificante y grano de caucho.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 62: Costo del concreto estructural con superplastificante y polvillo de caucho.</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 63: Costo del concreto estructural con superplastificante y caucho combinado.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 64: Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v_1, v_2}$.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 65: Normalidad de la resistencia a la compresión a los 28 días.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 66: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del $f'c$ a 28 días.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 67: Estimación de Y_j y Y_i para el $f'c$ a 28 días.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 68: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del $f'c$ a 28 días.</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 69: Normalidad de la resistencia a la compresión a los 56 días.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 70: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del $f'c$ a 56 días.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 71: Estimación de Y_j y Y_i para el $f'c$ a 56 días.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 72: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del $f'c$ a los 56 días.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 73: Normalidad para el asentamiento del concreto con caucho.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 74: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del asentamiento.....</i>	<i>114</i>

<i>Tabla 75: Estimación de Y_j y Y_i para el asentamiento.</i>	114
<i>Tabla 76: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del asentamiento.</i>	115
<i>Tabla 77: Normalidad para el peso unitario del concreto con caucho.</i>	115
<i>Tabla 78: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del peso unitario.</i>	116
<i>Tabla 79: Estimación de Y_j y Y_i para el peso unitario.</i>	116
<i>Tabla 80: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del peso unitario.</i>	116
<i>Tabla 81: Normalidad para la deformación del concreto con caucho.</i>	117
<i>Tabla 82: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores de la deformación.</i>	117
<i>Tabla 83: Estimación de Y_j y Y_i para la deformación.</i>	117
<i>Tabla 84: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de deformación.</i>	118

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Esquema del proyecto de investigación.</i>	16
<i>Figura 2: Tipos de cimentaciones superficiales de una estructura</i>	23
<i>Figura 3: Cemento Extraforte ICo</i>	25
<i>Figura 4: Composición química de los Naftalenos – Sulfonatos</i>	27
<i>Figura 5: Composición química de las melaminas – sulfonatos</i>	27
<i>Figura 6: Composición química de los Copolímeros de vinilo</i>	28
<i>Figura 7: Composición química de los policarboxilatos</i>	28
<i>Figura 8: Composición química del estireno – butadieno</i>	29
<i>Figura 9: Dimensiones de la probeta cilíndrica.</i>	36
<i>Figura 10: Proceso de investigación.</i>	38
<i>Figura 11: Especificaciones del molde para ensayo de asentamiento</i>	49
<i>Figura 12: Curva granulométrica del agregado fino y grueso.</i>	65
<i>Figura 13: Asentamiento del concreto con adición de caucho.</i>	66
<i>Figura 14: Peso unitario del concreto con caucho adicionado.</i>	67
<i>Figura 15: Resistencia a la compresión a 28 días del con concreto con adición de caucho.</i>	69
<i>Figura 16: Resistencia a la compresión a 56 días del concreto con adición de caucho.</i>	70
<i>Figura 17: Probeta a 56 días y 9% de adición de grano de caucho.</i>	71
<i>Figura 18: Deformación del concreto con adición de caucho.</i>	72
<i>Figura 19: Curva granulométrica del agregado grueso.</i>	82
<i>Figura 20: Curva granulométrica del agregado fino</i>	83
<i>Figura 21: Reservorio de agua potable en el AA.HH Brisas del Mar - Huanchaco</i>	128
<i>Figura 22: Secado de la muestra de agregado fino.</i>	128
<i>Figura 23: Ensayo granulométrico de los agregados.</i>	129
<i>Figura 24: Ensayo de asentamiento de la mezcla patrón.</i>	129
<i>Figura 25: Resistencia a la compresión de probetas.</i>	130
<i>Figura 26: Ensayo de deformación de probetas</i>	130
<i>Figura 27: Distribución del caucho granulado al 1%, 2% y 3%.</i>	131
<i>Figura 28: Distribución del caucho granulado al 4%, 5% y 6%.</i>	131
<i>Figura 29: Distribución del caucho granulado al 7%, 8% y 9%.</i>	132

RESUMEN

El concreto es el material más empleado en el sector de la construcción a nivel internacional, debido a su capacidad para adquirir cualquier forma; esto trae como consecuencia un consumo excesivo de las materias primas que lo conforman generando un impacto negativo al medio ambiente y paisajes que los albergan; por otro lado en Perú no se dispone de un marco legal para el residuo del caucho ocasionando un mal manejo de los neumáticos fuera de uso, dando como resultado toneladas de neumáticos abandonados a su suerte sin considerar las grandes cantidades de energía que se invirtieron para ser fabricadas; es por ello que la presente investigación resalta la importancia de reutilizar este tipo de materiales ayudando en cierto modo a combatir los efectos medio ambientales que estos residuos producen e incentivar a los estudiantes a seguir este tipo de investigaciones con la finalidad de que el Ministerio del Ambiente del Perú establezca normas adecuadas para el tratamiento de estos residuos.

El propósito de esta investigación es la de determinar el porcentaje y tamaño adecuado de caucho triturado proveniente de llantas recicladas que se le puede añadir a un concreto estructural sin que sus propiedades se vean severamente afectadas; para llevar a cabo esta investigación se realizó un diseño de mezcla basada en el método ACI 211 para un concreto estructural con resistencia media de 280 kg/cm².

Siguiendo las indicaciones establecidas en las normas ASTM se realizaron ensayos del concreto en estado fresco para determinar el asentamiento y peso unitario, mientras que en el estado endurecido se evaluó su resistencia a la compresión a los 28 y 56 días de curado como también la deformación hasta el momento que se produce la rotura.

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días, indican que la muestra patrón alcanzó los 284 kg/cm² y que al adicionar el 0.35% de aditivo superplastificante este valor aumentó hasta los 292 kg/cm², se concluye también que a los 28 días las partículas de caucho más pequeñas adicionadas al concreto afectan su resistencia en menor medida ya que al agregar el 1% de caucho esta decae hasta los 243 kg/cm² mientras que para el caucho de mayor tamaño la resistencia obtenida fue de 212 kg/cm²; no obstante los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión a los 56 días indican totalmente lo contrario, puesto que con el 1% de grano de caucho adicionado se alcanza una resistencia de 268 kg/cm² mientras que con el polvillo de caucho la resistencia llega a los 236 kg/cm².

ABSTRACT

Concrete is the material most used in the construction sector at the international level, due to its capacity to acquire any form; This results in excessive consumption of raw materials that make up a negative impact on the environment and landscapes that house them; On the other hand, in Peru, there is no legal framework for rubber waste, causing mishandling of used tires, resulting in tons of tires abandoned to their fate without considering the large amounts of energy that were invested to be used. That is why this research highlights the importance of reusing this type of materials helping in some way to combat the environmental effects that these waste produce and encourage students to follow this type of research in order that the Ministry of the Environment of Peru establish adequate standards for the treatment of this waste.

The purpose of this investigation is to determine the percentage and appropriate size of crushed rubber from recycled tires that can be added to a structural concrete without the properties being seen separately; to carry out this research, a mix design based on the ACI 211 method was made for a structural concrete with average resistance of 280 kg/cm².

Following the indications established in the ASTM standards, tests were carried out in the fresh state to determine the settlement and unit weight of the concrete, while in the state its resistance to compression 28 and 56 was maintained as well as deformation of the moment at the moment that it was produced the break.

The results were 284 kg/cm², which allowed adding 0.35% superplasticizer additive this value increased to 292 kg/cm², it is also concluded that after 28 days the smaller rubber particles added to the concrete affect the resistance to a lesser extent than when adding 1% rubber this time to 243 kg/cm² while for the larger rubber the fuel resistance was 212 kg/cm²; however, the results obtained in the tensile strength test at 56 days indicate that, unlike rubber dust, 1% of the rubber grain was added to a resistance of 268 kg/cm² resistance reaches the 236 kg/cm².

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática:

El concreto es un material resistente y durable el cual puede adquirir cualquier forma debido a que se trabaja cuando se encuentra en forma líquida, siendo esta la principal razón por la cual es el material más empleado en el sector de la construcción (Sanchez M. y Tapia M., 2015).

Entre los tipos de concreto más comunes tenemos el concreto simple el cual es la combinación de cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua; durante la mezcla el agregado grueso es totalmente envuelto por la pasta de cemento mientras que el agregado fino rellena los vacíos que se forman en el agregado grueso y también será cubierto por la misma pasta; está también el concreto armado que es aquél concreto simple que lleva una armadura de acero la cual actúa como refuerzo para soportar los esfuerzos a tracción (ver figura 21) y también el concreto estructural denominado así al concreto simple cuando es dosificado, mezclado, transportado y colocado siguiendo especificaciones precisas que garantizarán una resistencia mínima pre-establecida y una durabilidad adecuada (Rojas L., 2015). Este concreto es empleado en la construcción de losas, vigas, columnas, muros y cimentaciones; el parámetro principal a tener en cuenta para el diseño del concreto es la resistencia a la compresión, esto corresponde al esfuerzo máximo que puede soportar el material antes de llegar a la rotura, a este valor asumido por el diseñador se conoce como resistencia especificada a la compresión f'_c ; para el concreto que será usado con fines estructurales la resistencia mínima a la compresión será de 17 MPa siempre y cuando no sea expuesto a ambientes agresivos; de ser así la norma ACI recomienda que cuando el concreto esté expuesto al congelamiento y deshielo, la resistencia a la compresión mínima deberá ser de 24 MPa siempre y cuando sea una exposición ocasional, de encontrarse en una exposición frecuente la resistencia mínima debe ser de 31 MPa y cuando exista un contacto frecuente a ciclos de congelamiento y deshielo como también a productos químicos descongelantes, la resistencia mínima será de 35 MPa. (ACI 318S-14, 2015).

Hoy en día con la finalidad de disminuir el peso del concreto estructural, en algunos países como Alemania, Italia, Islandia y Japón utilizan la piedra pómez, mientras que en lugares como Malasia utilizan las cáscaras del fruto de la palma como agregados naturales. Desde finales del siglo XIX con la creciente demanda y la poca disponibilidad de agregados livianos naturales en todo el mundo, se dio inicio a la investigación sobre la manufactura de agregados artificiales; Europa a comienzos del siglo XX se concentró en el desarrollo de escorias de alto horno; por otro lado, en Estados Unidos en el año 1913 una investigación reveló que ciertas arcillas y pizarras se expandían cuando eran expuestas a fuego de altas temperaturas. Más tarde el desarrollo de estos materiales se esparce rápidamente en Alemania, Holanda y el Reino Unido, pero todas estas compañías fallaron principalmente por el poco acceso al

mercado, la no homogeneidad de los lotes, emisiones y alto costo de producción, pero nunca por un rendimiento técnico del agregado en el concreto. (Tupa O., 2018)

Por otro lado el uso indiscriminado del concreto da como resultado un consumo excesivo de las materias primas que lo conforman, las cuales se encuentran en la naturaleza, siendo la extracción de ellas el impacto más importante al medio ambiente y al paisaje que ellos conforman (Torres O., 2014). Para poder entender la magnitud de este problema, tomaremos el caso de la arena; este preciado recurso es el segundo no renovable que más se consume en el mundo seguidamente del agua. Haciendo una comparación entre la arena y el petróleo, se estima una relación de cinco a uno si de toneladas consumidas hablamos; este material es utilizado en numerosos campos, entre ellos la construcción y muchas veces no se tiene en cuenta el papel que desenvuelve en el medio ambiente como puede ser el caso de que conforme un hábitat de fauna y flora ya que alberga una gran cantidad de vida animal y vegetal (Cano L., 2015).

Sin embargo, el problema ambiental no solo recae en la explotación de los agregados que el sector de la construcción ocasiona, a nivel mundial el manejo de residuos sólidos se convierte también en un serio problema, un tipo de estos desechos que actualmente genera dificultad en su procesamiento lo constituyen los neumáticos fuera de uso (NFU), cuya disposición final ocasiona diversos problemas ambientales. Actualmente los neumáticos usados en la mayoría de casos se depositan en acopios a la intemperie o son enterrados bajo desechos mineros, en botaderos y/o reencauchados. Adicional a ello sirven de refugio de diversas plagas, roedores e insectos los cuales generan diversas enfermedades y ponen en riesgo la salud de las personas del entorno (Swaneck, 2011); Perú no es ajeno a este problema, es conocido que en diversas zonas se acostumbra acumular neumáticos en los techos o botaderos cercanos a las viviendas y luego con la presencia de lluvias se forman pozas artificiales en su interior, generándose lugares ideales para la proliferación del mosquito transmisor del dengue. (Pozo, Neyra, Vílchez y Meléndez, 2007)

Encontrar una forma limpia para deshacerse de los neumáticos fuera de uso no es fácil, por ejemplo: la quema directa provoca emisiones de gases y partículas nocivas hacia la atmósfera y como los hornos de alta calidad que garantizan un mínimo de emisiones tienen un alto costo, da como resultado que toneladas de neumáticos acaben abandonados a su suerte y no se aprovecha este material en cuya fabricación se invirtieron grandes cantidades de energía ya que para fabricar una llanta de camión se utiliza medio barril de petróleo en promedio (Vignart, 2010).

Estadísticamente hablando, al año la cantidad de llantas en desuso es abrumadora; mencionando algunos ejemplos: En Estados Unidos de América se generan aproximadamente 240 millones de llantas al año, en Brasil se estima 15 millones de llantas

por año, Cuba con un millón de unidades y en Europa generan en promedio 120 millones de llantas en desuso al año. (Tejeda, 2007)

En Perú no contamos con estudios adecuados que nos permitan tener una clara idea de lo que pasa con las llantas en desuso, por ello acudimos a un análisis aproximado de lo que sería la cantidad de neumáticos no reutilizados, en el Departamento de La Libertad según el Parque Automotriz en el año 2,005 se estimaba un número de 153,000 vehículos, cifra que fue en aumento para el año 2,010 cuya cantidad de vehículos fue de 158,000 y para el año 2,015 fue de 190,000; se calcula que para el año 2,020 con un 6% de crecimiento anual habrá un promedio de 200 mil vehículos y teniendo en cuenta que el tiempo de vida en promedio de una llanta son 5 años, se tendría aproximadamente 760 mil neumáticos, de las cuales solamente se vuelve a reutilizar mediante el reencauchado un 30% dándonos un 70% acumulado en los botaderos municipales. (Pereda R. y Cubas P., 2015)

Desde hace décadas existen numerosas aplicaciones en la ingeniería civil que se le da a los neumáticos que ya cumplieron su tiempo de vida útil, como por ejemplo: señalización para los bordes de las carreteras, elementos de contención en parques y áreas de juego, rompeolas en los muelles, obstáculos en el tránsito, en arrecifes artificiales para la cría de peces y mariscos (Cantanhede y Monge, 2002). El reciclaje de los neumáticos está orientado a su aprovechamiento en conjunto debido a su compleja estructura constituida por diversos materiales como el caucho, acero y tejido de poliamida o poliéster; lo cual complica la separación de ellos; sin embargo, en algunos países ya existen algunas empresas que procesan las llantas usadas para convertirlas en materia prima para asfalto, pistas atléticas, tapetes, entre otros. (Cantanhede y Monge, 2002)

Pero aplicaciones del caucho como un agregado más en las mezclas de concreto son casi nulas puesto que aún se encuentran en etapa de investigación, por ejemplo: en Venezuela se evaluó la resistencia a la compresión y la tracción de un concreto con adiciones de caucho de tamaños finos (<1,19 mm), gruesos (> 1,19 mm) y una combinación de ambas, a un 5% del peso de la mezcla que conforma una probeta y con una edad de 28 días dando como resultado que: las propiedades mecánicas evaluadas para los granos de caucho gruesos y finos por separado disminuyen notoriamente, mientras que en una combinación de las partículas no se presentaron variaciones significativas en cuanto a su resistencia a la compresión y la tracción. (Albano, Camacho, Hernández, Bravo y Guevara, 2008)

En Colombia se encontró que mientras mayor sea el porcentaje de adición de caucho como reemplazo de agregado fino en el concreto, disminuye la resistencia a la compresión pero también se pudo observar que a mayor porcentaje de caucho el módulo de elasticidad (propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos) se ve afectado negativamente lo cual nos da como resultado mayores deformaciones en el concreto. (Torres O., 2014)

Mientras que en España concluyeron que la baja resistencia a la compresión del concreto con partículas de caucho se debe a que éstos son más deformables que el concreto que los rodea; por ello ante la aplicación de cargas, el concreto empieza a fisurarse alrededor de las partículas de caucho generándose una falla entre ellas; así mismo observaron que la resistencia es mayor cuando las partículas de caucho son más gruesas (0.5-2.5mm) y reduce la resistencia cuando las partículas de caucho son más finas (0-0.6 mm) (Estrada R., 2016)

Ante ello con el presente proyecto de investigación se plantearon ensayos para evaluar la resistencia a la compresión, el asentamiento, el peso unitario y la deformación del concreto con adición de caucho en distintos tamaños que son el grano de caucho (0.5 mm – 2.5 mm), polvillo de caucho (< 0.5 mm) y la combinación de ambos; también se consideró distintos porcentajes de caucho en relación al volumen total de la mezcla, con esto se pretende presentar una nueva alternativa para la reutilización de los neumáticos en desuso de la ciudad de Trujillo y así combatir los efectos medio ambientales que producen estos residuos.

1.2. Formulación del problema:

¿De qué manera influye el tamaño y el porcentaje de caucho reciclado en un concreto estructural sobre su compresión, asentamiento, peso unitario y deformación en Trujillo 2018?

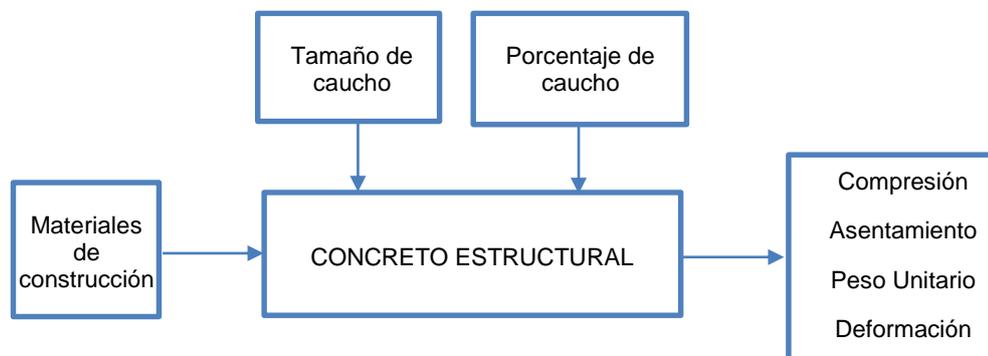


Figura 1: Esquema del proyecto de investigación.

1.3. Justificación:

Teniendo en cuenta el efecto contaminante que producen los neumáticos que cumplen su tiempo de vida y pasan a ser quemados o tirados a la intemperie esperando su degradación la cual no es a corto plazo, podemos optar por darles un productivo como adición en un material comúnmente empleado a nivel internacional como lo es el concreto, ya que combinándolos, los efectos negativos del caucho quedarían inherentes al concreto y le aportarían ciertas propiedades que se describen en el presente trabajo.

El tratamiento industrial de residuos en el Perú es prácticamente inexistente, puesto que las empresas que tratan este material como residuo solo utilizan un 15% en promedio; siendo el 85% desechado por el difícil procedimiento empleado para su separación de los demás

elementos que conforman las llantas; por otro lado, no existen muchas empresas encargadas de este proceso y estas solo se inclinan por la fabricación y mantenimiento de grass sintético y derivados. Por ello este estudio tiene la finalidad de investigar más a fondo las características que le puede aportar el caucho al concreto así como también proponer una mejor aplicación a los neumáticos en desuso; además podríamos verlo como una alternativa de ahorro en cuanto a los materiales empleados en las mezclas de concreto.

Esta investigación propone adicionar granos de caucho reciclado en una mezcla de concreto en distintos porcentajes y tamaños para poder analizar sus propiedades en estado fresco como el asentamiento con el cono de Abrams para evaluar la trabajabilidad y consistencia del concreto, también el peso unitario para observar con qué porcentaje y tamaño el concreto se vuelve más liviano; también se evaluará el concreto en estado endurecido mediante ensayos de resistencia a la compresión, porque es la característica principal de un concreto y la deformación para determinar con qué tamaño y cantidad de adición de caucho existe un mejor comportamiento del concreto.

Para el presente proyecto se hará uso de agregado grueso cuyo tamaño máximo nominal (TMN) será de 1/2" ya que cuando la piedra es muy grande no se acomodará de manera adecuada en la mezcla, lo cual repercute en la resistencia final del concreto; según la norma NTP 400.037 el módulo de finura del agregado fino oscilará entre los valores 2.30 y 3.10, el cemento a utilizar será el Pacasmayo Extraforte ICo cuyo uso es general y ampliamente usado en elementos estructurales como vigas y columnas, el caucho utilizado será granulado (>0.05 mm y <2.5 mm) y en polvillo (<0.05 mm) puesto que es la presentación que ofrecen las empresas dedicadas a realizar el proceso de triturado de llantas, adicional a ello se empleará el aditivo superplastificante Sika ViscoCrete 3330 con la finalidad de dar una mejor trabajabilidad a la mezcla y así poder adicionar un mayor porcentaje de caucho, se hará uso también de cal para el curado de las probetas lo cual evitará que

La investigación presente permitirá expandir los conocimientos en el área de concreto y reutilización de materiales reciclados como el caucho de los neumáticos en desuso, además se usará como fuente de implementación y mejora continua a los estudiantes de Ingeniería.

1.4. Limitaciones:

- Limitado material bibliográfico nacional acerca de investigaciones de concreto estructural con adición de caucho reciclado, por lo que se buscó investigaciones a nivel internacional.
- En Perú no se dispone de un marco legal para el residuo del caucho.

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo general:

- Evaluar la influencia del tamaño y porcentaje de caucho reciclado en un concreto estructural sobre su compresión, asentamiento, peso unitario y deformación.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar los materiales que conformaran el concreto estructural.
- Elaborar el diseño de mezcla para el concreto estructural bajo las especificaciones de la norma ACI 211.
- Evaluar el asentamiento del concreto siguiendo las indicaciones de la norma ASTM C 143.
- Determinar el peso unitario del concreto bajo la norma ASTM C 138.
- Analizar la resistencia a la compresión y la deformación máxima del concreto con caucho reciclado siguiendo los parámetros de la norma ASTM C39 y ASTM C469 respectivamente.
- Estudiar por el método ANAVA y SPSS el comportamiento de las variables independientes sobre las variables dependientes.
- Realizar una comparación de costos entre un concreto estructural y el concreto con adición de caucho reciclado.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes:

Venegas R. (2016) de la Fundación Universidad de América de Bogotá publicó el proyecto integral de grado para optar por el título de Ingeniero Químico: “Evaluación del comportamiento del grano de caucho de llanta reciclada en la producción de concreto para la empresa ARGOS”, para lo cual elaboró un diseño de mezcla de 3000 PSI y otro de 4000 PSI donde reemplazó el agregado fino y grueso en cantidades del 5%, 10%, 15% y 20% con grano de caucho fino (0.075 mm – 0.16 mm) y grueso (0.075 mm – 0.48 mm) respectivamente, con el objetivo de realizar una evaluación en estado fresco y endurecido del concreto, obteniendo como resultado un asentamiento promedio de 7” para las mezclas patrón, el cuál disminuye dependiendo del agregado que reemplaza y en el porcentaje de GCR en adición hasta llegar a un asentamiento de 3” para el concreto de 3000 PSI y a 5” para el concreto de 4000 PSI reemplazando el agregado fino con el 20% de GCR; respecto del reemplazo de agregado grueso con el 20% GCR el asentamiento fue de 4.25” para el concreto de 3000 PSI y para el concreto de 4000 PSI el asentamiento fue de 5.375”; llegando

a la conclusión de que la disminución del asentamiento quiere decir que el grano de caucho reciclado en reemplazo de los agregados hace que la mezcla tenga una menor fluidez.

Tabla 1: Resultados del asentamiento del concreto con caucho. (Venegas R., 2016)

		Asentamiento (Pulg.)									
		3000 PSI					4000 PSI				
		0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Agregado fino	Primera tanda	7.25	7	6.5	3.5	3	6.5	8	8	9.5	5
	Segunda tanda	7	7	6.25	3.75	2	7	7	6.5	3	2
Agregado grueso	Primera tanda	6.25	5.25	6.5	6	4	8	7	7.5	4.5	4.5
	Segunda tanda	7	6.75	6	5.75	4.5	7	7.5	6.5	6.5	6.25

- El aporte de esta investigación sirvió para tener una idea de cómo afecta el asentamiento del concreto conforme se incrementa de manera paulatina el porcentaje de caucho reciclado en la mezcla y decidir si utilizar el caucho como reemplazo de los agregados o como adición en el concreto además de la elección del asentamiento de la mezcla patrón.

Peñaloza G. (2015) de la Universidad Católica de Colombia en Bogotá en su trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil: “Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural”, reemplazó el agregado fino en un 10% y 30% con grano de caucho reciclado cuyo tamaño osciló entre 0.6 mm a 2.0 mm en un diseño de mezcla para un concreto de 214.14 kg/cm², obteniendo como resultados en la mezcla patrón una resistencia a la compresión de 240.96 kg/cm² y un peso unitario promedio de 2198.862 kg/m³ el cual incrementa a 2217.758 kg/m³ y disminuye ligeramente su resistencia a 238.32 kg/cm² al reemplazar el 10% de agregado fino con GCR, por otro lado, al reemplazar el agregado fino con un 30% de GCR el peso unitario del concreto disminuye a 2127.412 kg/m³ y registra una resistencia a la compresión de 192.01 kg/cm²; concluyendo que el peso unitario del concreto mezclado con grano de caucho reciclado está 6% por debajo del valor sugerido en la norma Colombiana para concretos de peso normal y que la resistencia a la compresión a 28 días con 10% de reemplazo de caucho sí logra alcanzar la resistencia requerida y que se encuentra un 3% debajo del resultado de la muestra patrón, mientras que con un 30% de GCR la resistencia está por debajo de lo requerida y se difiere ampliamente de la muestra patrón.

- Esta investigación ayudó para comprender en el comportamiento del GCR como reemplazo del agregado fino en cuanto a la variabilidad del peso unitario de un concreto

convencional , determinando así si el grano de caucho hace que la mezcla de concreto se vuelva más liviana.

Hernández M. y Sánchez R. (2015) en su trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Colombia de Bogotá: “Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto usando neumáticos triturados como reemplazo del 15%, 25% y 35% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural” diseñaron una mezcla de concreto cuya resistencia a la compresión fue de 21 MPa, en la cual reemplazaron el agregado fino con grano de caucho reciclado en cantidades del 15%, 25% y 35% para poder encontrar el tipo de mezcla que satisface y cumple con la resistencia inicial diseñada; para ello realizaron ensayos de resistencia a la compresión a probetas con edades de 7, 14 y 28 días; de acuerdo con los resultados encontrados las diferencias con el concreto convencional en cuanto a resistencia están por debajo con un 28.31% para la edad de 7 días, 28.75% para la edad de 14 días y 32.86% para la edad de 28 días, concluyendo que cuando se utiliza el caucho reciclado para sustituir el agregado fino no se logra alcanzar la resistencia a la compresión diseñada en ninguna de las edades estudiadas.

Tabla 2: Compresión en diferentes días de curado. (Hernández y Sánchez, 2015)

Caucho (%)	Unidades	Días de curado		
		7	14	28
0	MPa	14.47	18.87	21.03
15		5.09	7.34	9.58
25		3.86	4.77	5.86
35		3.35	4.17	5.29

- Esta investigación sirvió para la elección de la resistencia de diseño del concreto estructural, así como también para determinar la edad de curado de las probetas y para utilizar además del caucho en su tamaño granulado (0.5 mm – 2.5 mm), el polvillo de caucho (< 0.5 mm) y la mezcla de ambos para evaluar cual de ellos afecta en menor medida la resistencia diseñada.

Torres O. (2014) en su trabajo de grado como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito de la ciudad de Bogotá: “Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho” preparó una mezcla patrón cuya resistencia de diseño fue de 21 MPa a la que le adicionó 10% 20% y 30% de caucho en reemplazo de la misma cantidad de agregado fino para evaluar las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión con edades de 3, 7, 28 y 90 días como también determinó el módulo de elasticidad en el concreto a los 28 y 90 días, para lo cual tuvo como resultado que la mezcla patrón alcanzó una resistencia de 20.4 MPa a los 28 días mientras que el concreto con 10% de caucho llegó a los 15.4 MPa, la del 20% a los 16.5 MPa y la de 30% a 9.5 MPa; por otro lado a los 90 días

la mezcla patrón llegó a los 28.1 MPa mientras que para el 10%, 20% y 30% las resistencias fueron de 21.5 MPa, 21 MPa y 12.2 MPa respectivamente. El módulo de elasticidad obtenido a los 90 días para el concreto sin caucho alcanzó los 27200 Mpa mientras que para el 10%, 20% y 30% alcanzó lo 24200 MPa, 26500 MPa y 15600 MPa; concluyendo que en general las propiedades mecánicas se ven afectadas por el uso de caucho en reemplazo parcial de la arena; referente a los ensayos a compresión se determinó que a largo plazo los resultados con 10% y 20% de caucho son similares y alcanzan el valor requerido en el diseño de mezcla; respecto del módulo de elasticidad se observa una ligera disminución respecto del 10% y 20% de adición mientras que para el 30% es mucho mayor la diferencia.

Tabla 3: Resistencia a la compresión (f'_c) y módulo de elasticidad (E_c). (Torres O., 2014)

Caucho (%)	3 días	7 días	28 días		90 días	
	f'_c (MPa)	f'_c (MPa)	f'_c (MPa)	E_c (MPa)	f'_c (MPa)	E_c (MPa)
0	9.3	12.2	20.4	19500	28.1	24900
10	7.8	9.5	15.4	19200	21.5	21800
20	8.5	11.5	16.5	21900	21.0	21500
30	4.1	6.2	9.5	13300	12.2	16500

- Con esta investigación se pudo observar el comportamiento del caucho a largo plazo respecto de la resistencia a la compresión, lo cual nos ayudó a determinar los 56 días de curado para la evaluación del f'_c y la deformación máxima que soporta el concreto.

Estrada R. (2016) en su investigación para obtener grado de Master en Ingeniería estructural y de la construcción en la Universidad Politécnica de Catalunya de Barcelona titulada: "Estudio de propiedades físico mecánicas y de durabilidad del hormigón con caucho" Cuyo objetivo fue estudiar la influencia de la sustitución del agregado fino por polvo de neumáticos fuera de uso (PNFU) en las propiedades del concreto, para ello elaboró probetas con adiciones de caucho fino (0 – 0.6 mm) y grueso (0.5 - 2.5mm) al 5%, 10% y 15%. Ambos tipos de probetas fueron ensayados a compresión, flexión, densidad, porosidad y absorción capilar para compararlos con un concreto sin adición de caucho. De los ensayos de resistencia a la compresión se obtuvo que la resistencia alcanzada a los 28 días de curado de la muestra patrón fue de 59.7 N/mm² mientras que para el concreto con adición del 5% de caucho fino y grueso fue de 23.7 N/mm² y 44.3 N/mm² respectivamente, con el 10% los resultados fueron de 13.1 N/mm² para el caucho de tamaño fino y de 41.4 N/mm² para el caucho de tamaño grueso y respecto del 15% de adición de caucho para el tamaño fino y grueso se llegó a los 11.0 N/mm² y 33.1 N/mm². Concluyendo que la falta de la resistencia mecánica del concreto con sustitución de caucho, se debe a que estas partículas son mucho más deformables elásticamente que la pasta de cemento que las rodea, por ello cuando el concreto recibe una carga, las fisuras se inician rápidamente alrededor de las partículas de caucho, lo cual acelera la falla en la matriz cemento-caucho; sin embargo la incorporación de caucho de tamaño grueso dotó una mejor resistencia en comparación que el caucho de

tamaño fino, debido a que el caucho de mayor tamaño incorpora un menor número de partículas que el fino, lo cual ocasiona menores vacíos dentro de la mezcla.

Tabla 4: Resistencia a la compresión promedio del concreto. (Estrada R., 2016)

% de caucho	Tamaño de caucho	Valor promedio N/mm ²		
		Días de rotura		
		1	7	28
0	-	29.9	51.8	59.7
5	Fino	10.4	20.0	23.7
10		7.95	11.2	13.1
15		6.03	8.65	11.0
5		22.7	40.06	44.3
10	Grueso	24.71	35.09	41.4
15		14.1	26.7	33.1

- Esta investigación fue determinante para poder entender cómo se producen las fisuras al aplicar cargas en el concreto, lo cual ayudó en elegir la combinación de tamaño fino y grueso del caucho como una tercera opción en esta investigación.

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. Concreto:

El concreto es un material que resulta de la unión de áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante cualquiera; pero cuando nos referimos a concreto, por lo general se habla de un cemento artificial y el más habitual de ellos es el cemento Portland.

La pasta formada entre el cemento y el agua se da mediante un proceso llamado hidratación del cemento, en el cual este material reacciona al mezclarse con el agua y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas convirtiéndolo en un material aglutinante; la pasta formada por cemento y agua es la responsable del fraguado y endurecimiento del concreto. (Silva O., 2017)

Concreto estructural:

Es considerado estructural todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado. (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2009)

Elementos estructurales de concreto: Entre ellos tenemos:

Cimentaciones superficiales: Son elementos estructurales cuya sección transversal es de mayor dimensión con respecto a su altura, las cuales tienen como función trasladar las cargas de una edificación a profundidades relativamente cortas (menores a 4 metros aproximadamente) con respecto al nivel de la superficie natural de un terreno. Cuando los sistemas constructivos no presenten mayores dificultades estas

pueden ser de varios tipos, según su función: zapatas aisladas, zapatas combinadas, zapatas corridas y losas de cimentación. (Berrocal C., 2013)

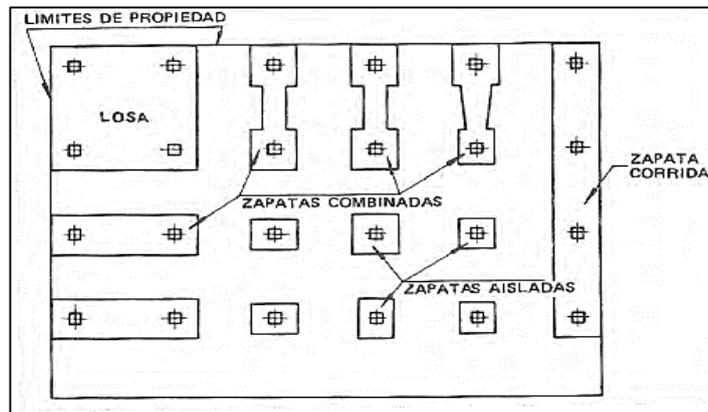


Figura 2: Tipos de cimentaciones superficiales de una estructura. (Berrocal C., 2013)

Columnas: Son elementos estructurales cuya función principal es la de resistir cargas axiales de compresión; sirven de soporte estructural y transportan las cargas de las edificaciones hasta los cimientos. (Astorga y Rivero, 2009)

Losas: Son elementos estructurales rígidos empleados como pisos o techos en las edificaciones, los cuales sirven para mantener la unidad de la estructura frente a cargas horizontales como las de un sismo. (Astorga y Rivero, 2009)

Muros de contención: Son estructuras continuas que proporcionan soporte lateral a una masa de suelo y su estabilidad se debe principalmente a su propio peso y al del suelo que se sitúa directamente encima de su base. (Palacios Z. y Toala Ch., 2014 - 2015)

Vigas de concreto armado: Son elementos estructurales que soportan cargas a compresión absorbidos por el concreto, fuerzas cortantes en sus extremos absorbidos por los estribos de acero y las fuerzas a flexión que son absorbidas por las varillas de acero longitudinales en las zonas de tracción. (Romero M., 2014)

2.2.1.1. Materiales del concreto:

Agregado grueso:

Material conformado por gravas, gravas trituradas, piedra triturada o una mezcla de ellos, los cuales quedan retenidos en la malla N°4. Estos materiales deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C 33 (Especificación estándar para agregados del concreto) los cuales indican que no deben ser muy porosos ni muy alargadas (Rodas Ralda, 2012). Así mismo, para la obtención de resultados confiables es necesario que el material se encuentre libre de finos, y de no ser el caso, se debe lavar el material (Moujir y Castañeda, 2014).

Agregado fino:

Se considera agregado fino al material que está conformado por partículas de arena con tamaños entre 0.075 y 4.75 mm, o aquellas que pasen el tamiz 3/8" y que queden retenidos en el tamiz N° 200. La función principal, dentro de la mezcla, es la de llenar los vacíos para que la mezcla sea un material más compacto (Moujir y Castañeda, 2014).

Cemento:

Material conglomerante que reacciona en contacto con el agua generando así un endurecimiento en su estructura, esta reacción química se llama hidratación. El cemento está compuesto por minerales calcáreos. (Barahona Aguiluz, Martínez Guerrero, & Zelaya Zelaya, 2013). El cemento cumple la función de ligante de los agregados que conforman el concreto, esto se da en el proceso de fraguado mediante el contacto con el agua; debido a esto, permite la agrupación de los agregados y permite la formación del concreto (Moujir y Castañeda, 2014)

Tabla 5: Clasificación de los cementos. (NTP 334.009, 2013)

Cemento	Uso
Tipo I	Cemento de uso general.
Tipo II	Para resistencia moderada a los sulfatos.
Tipo III	Usado para obtener una alta resistencia inicial.
Tipo IV	Para ser usado cuando se necesite obtener un bajo calor de hidratación.
Tipo V	Para una alta resistencia de los sulfatos.

Cemento Portland Compuesto tipo ICo:

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009), el cemento Portland es un cemento hidráulico que se produce mediante la pulverización del Clinker, compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que generalmente contienen una o más de las formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda (Cemento portland = Clinker Portland + Yeso). Entre las materias que constituyen el cemento tenemos:

Silicato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S} = \text{Alita}$): Se encuentra entre un 50% a 70% en el cemento y de él depende la resistencia inicial del concreto, siendo de gran importancia su efecto en el calor de hidratación.

Silicato Dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S} = \text{Belita}$): Ocupa alrededor del 15% al 30% en el cemento y define la resistencia a largo plazo en el concreto; no tiene un fuerte impacto en el calor de hidratación.

Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$): Aisladamente no trasciende en la resistencia ya que se encuentra entre un 5% y 10% en el cemento, pero con los silicatos condicionan el fraguado violento actuando como catalizador; es responsable de la resistencia del concreto a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce sulfoaluminatos con propiedades expansivas, por ello se limita su contenido.

Ferro aluminato Tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF} = \text{Celita}$): Su porcentaje de incidencia está comprendido entre un 5% y 15%, repercute en la velocidad de hidratación y en menor medida en el calor de hidratación del concreto.

Cal libre (CaO): Este componente no debe exceder al 2% ya que en cantidades excesivas puede ocasionar una insuficiente calcinación del Clinker en el horno, lo cual produce una expansión y desintegración del concreto; contrario a ello, cantidades muy bajas de cal libre producen un Clinker duro para moler y que reacciona con mayor lentitud.

Sulfato de calcio Dihidratado ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{CSH}_2 = \text{Yeso}$): Controla el efecto producido por el aluminato tricálcico y otros silicatos, retardando el fraguado violento.



Figura 3: Cemento Extraforte ICo (Cementos Pacasmayo)

Agua:

Se puede utilizar casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga algún sabor u olor pronunciado. Las impurezas excesivas en el agua no solo afectan el tiempo de fraguado y la resistencia que se desea obtener en el concreto, también pueden ocasionar anomalías como la eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad del mismo. Por lo general se puede utilizar agua que contenga menos de 2 mil partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales. Existe un efecto adverso que los iones de cloruro generan en la corrosión del acero de refuerzo, ya que estos atacan la capa de óxido protectora formada en el acero debido al medio alcalino altamente presente en el concreto, los niveles de iones cloruro en el cual la corrosión del acero comienza a corroerse cerca al 0.15% del peso del cemento aproximadamente. Entre el 50 y 85% del contenido total de ion cloruro en el concreto es soluble en el agua, el resto se combina en reacciones químicas del cemento. La norma ACI 318 limita el contenido de

ion cloruro soluble en el agua para la mezcla de concreto según los siguientes porcentajes en peso del cemento: (Polanco R., 2010)

Concreto pre esforzado: 0.06%

Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio: 0.15%

Concreto reforzado que vaya a estar seco protegido contra la humedad durante su servicio: 1.00%

Otras construcciones de concreto reforzado: 0.30%

Aditivos:

Usualmente se utilizan para mejorar el comportamiento del concreto y la función que cumplen depende de los requerimientos que tenga el mismo. Por ejemplo: Los aditivos incorporadores de aire, los cuales en la actualidad son los más ampliamente utilizados, su función es incluir aire en el concreto en forma de pequeñas burbujas dispersas para así poder mejorar la manejabilidad y la durabilidad (esencialmente la resistencia al congelamiento y la abrasión), reduciendo también la segregación durante el vaciado. Tenemos aditivos acelerantes que sirven para reducir el tiempo de fraguado y acelerar la resistencia inicial del concreto; por otro lado los aditivos retardantes del fraguado se utilizan para todo lo contrario del aditivo antes mencionado y son usados para contrarrestar las altas temperaturas ambientales y así poder mantener la trabajabilidad del concreto. Existen algunos compuestos orgánicos e inorgánicos utilizados para reducir el agua requerida en la mezcla y así obtener un asentamiento dado, a ellos se le denominan plastificantes y los superplastificantes que son empleados para la elaboración de concretos de alta resistencia (Nilson, 2001).

Tabla 6: Clasificación de los aditivos. (ASTM C494)

Tipo	Clasificación
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardantes
C	Aditivos acelerantes
D	Aditivos reductores de agua y retardantes
E	Aditivos reductores de agua y acelerantes
F	Aditivos reductores de agua de alto rango
G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes
S	Aditivos de comportamiento específico

Aditivos reductores de agua de alto rango (superplastificantes):

Este tipo de aditivos tiene por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua en el concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables

durante su fraguado; de igual modo se emplean para incrementar su asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla. (Huincho E., 2011)

Según Valverde (2016) los superplastificantes se clasifican en 4 grupos:

Naftalenos – Sulfonatos: Son productos resultantes del proceso de refinado del carbón, los cuales permiten reducir aproximadamente un 20% el agua de amasado en el concreto, le brinda una mejor manejabilidad y aumenta considerablemente su resistencia a los 28 días. Tienen como efecto negativo que pueden ocluir el aire en el concreto, aunque en no considerablemente.

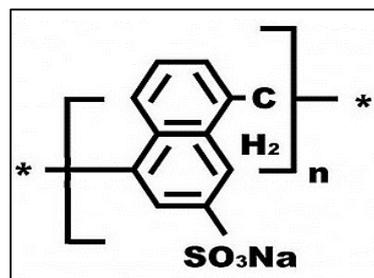


Figura 4: Composición química de los Naftalenos – Sulfonatos. (Valverde, 2016)

Melaminas – Sulfonatos: Se basan en polímeros sintéticos y producen una reducción del agua en la mezcla de manera similar a los aditivos basados en Naftalenos y se caracterizan por mejorar las resistencias a edades tempranas del concreto; su uso es adecuado para la fabricación de elementos arquitectónicos con cemento blanco ya que es incoloro. Puede ocurrir que en relaciones a/c bajas, se produzca un flujo viscoso.

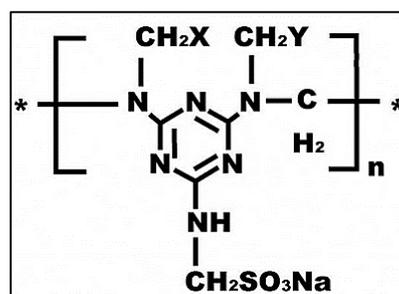


Figura 5: Composición química de las melaminas – sulfonatos. (Valverde, 2016)

Copolímeros de vinilo: Poseen moléculas de mayor tamaño que las anteriores, proporcionando un efecto plastificante superior. Proporciona una reducción del agua en aproximadamente un 30% y le brinda al concreto un mayor tiempo de manejabilidad que los superplastificantes de melaminas o naftalenos.

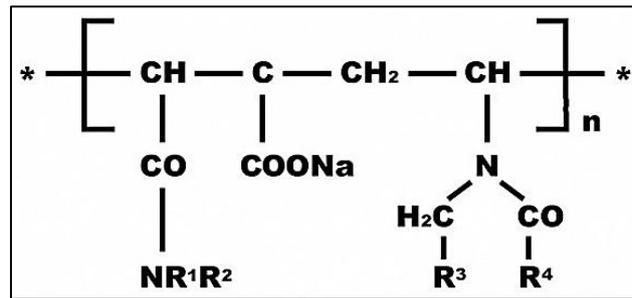


Figura 6: Composición química de los Copolímeros de vinilo. (Valverde, 2016)

Policarboxilatos: Pertenecen a la tercera generación de aditivos superplastificantes, se basan en Copolímeros de ácido acrílico y grupos de éter de ácido acrílico y a diferencia de los superplastificantes tradicionales poseen largas cadenas laterales. Este tipo de aditivos son los primeros que permiten elaborar concretos autocompactantes, en general le brindan al concreto una elevada reducción de agua, una mejor cohesión, más tiempo de manejabilidad, gran impermeabilidad y mejores acabados superficiales.

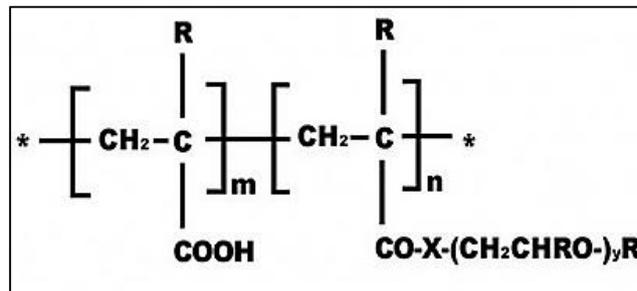


Figura 7: Composición química de los policarboxilatos. (Valverde, 2016)

Caucho de neumáticos:

El caucho:

Considerado como un polímero de muchas unidades encadenadas a un hidrocarburo elástico (Isopreno C_5H_8) manifestándose como una mezcla lechosa (comúnmente conocida como látex); esta puede obtenerse tanto de la savia de algunas plantas como también de manera artificial (Almeida S., 2011).

El caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* el cual es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan en diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30% del mercado de cauchos, el resto es ocupado por los cauchos sintéticos, todos se basan en hidrocarburos. Los tipos de caucho más empleado en la fabricación de los neumáticos son: los cauchos

naturales (NR), los polibutadienos (BR), estireno – butadieno (SBR) y polisoprenos sintéticos (IR); sin embargo la matriz de caucho más utilizada es el copolímero estireno – butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25% en peso de estireno o una mezcla de caucho natural y SBR. (Castro, 2008)

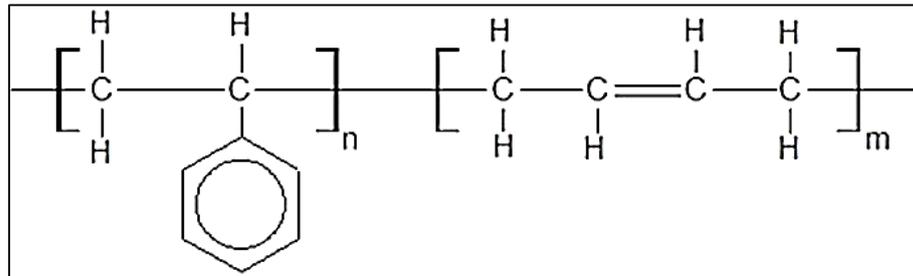


Figura 8: Composición química del estireno – butadieno (Fernández G., 2014)

Polímeros:

Son macromoléculas que están conformadas por moléculas más pequeñas unidas mediante enlaces covalentes mayormente conocidas como monómeros, los cuales generalmente son compuestos químicos derivados del petróleo crudo. En la naturaleza existen diferentes tipos de polímeros, los cuales al igual que los polímeros sintéticos se forman a partir de monómeros por medio de una reacción química, este proceso se conoce como polimerización. (Miranda C., 2015)

Los polímeros experimentan deterioros mediante interacciones con el ambiente, para referirse a ello se utiliza el término degradación la cual es fisicoquímica, este es un proceso irreversible que produce cambios relacionados con la pérdida de su estructura química, generando así un deterioro en las propiedades físicas del material; si esta degradación se prolonga durante el tiempo se puede llegar a la rotura del mismo. Estos agentes ambientales no afectan del mismo modo a los polímeros, estos agentes actúan de modo distinto según: la estructura química del polímero (el tipo de enlace que poseen), esto se traduce en la diferente energía de disociación lo cual quiere decir que mientras mayor sea esta energía, mayor será su degradación; también influyen las impurezas que se introducen en la estructura química de los polímeros durante los procesos de síntesis y procesamiento que atraviesan, a los cuales se les conoce como puntos débiles; otro factor que también influye es el grado de compactación de las diferentes cadenas, en el sentido de si están muy unidas por fuertes interacciones o no. (Otero H., 2012)

Según Otero (2012), los agentes ambientales que deterioran los polímeros se clasifican en:

Agentes químicos: El más importante es el oxígeno. La mayoría de los polímeros sufren la acción del oxígeno en un rango de temperatura que oscile entre la del

ambiente y los 125°C; este proceso es conocido como termoxidación o autoxidación. El agua también degrada los polímeros, este proceso se llama degradación hidrolítica, especialmente en los que sufren con facilidad la hidrólisis en los grupos laterales.

Agentes o factores energéticos: Entre estos factores tenemos la acción de la temperatura, la cual provoca una degradación térmica y ocasionalmente la pirólisis; esta última se refiere a la acción de la temperatura sobre un material en presencia de nitrógeno y en ausencia de oxígeno; también influye la radiación ultravioleta, la cual se produce cuando los polímeros están expuestos a rayos ultravioleta en presencia de oxígeno; por otro lado, a la energía mecánica que absorben los polímeros al ser sometidos a la acción de una tensión y los cambios que como consecuencia de ella se producen se le conoce como degradación mecánica.

Los neumáticos:

Un neumático es aquella pieza circular fabricada con caucho la cual se coloca en las ruedas de vehículos o máquinas, tiene como función principal permitir un adecuado contacto por adherencia y fricción con los pavimentos, mejorando así el arranque y frenado (Escobar P. y Haro G., 2012).

Composición de los neumáticos:

Actualmente la mayor parte de neumáticos para vehículos son del tipo radial, la composición de ellos consta de una banda de rodadura elástica, una cinta inextensible y un armazón de arcos orientados de manera radial, todo ellos acomodado sobre una membrana inflada y unos aros inextensibles que enganchan a la llanta. La forma y las funciones de cada parte que conforma el neumático se ve reflejado en la complejidad de sus materiales, siendo el principal componente el caucho (casi la mitad de su peso), por ello la fabricación de llantas abarca un 60% de su producción anual, pero la composición de un neumático consta de los siguientes elementos:

Fibras reforzantes: Usualmente son hilos elaborados de productos textiles y acero que sirven para dar resistencia al neumático.

Rellenos reforzantes: Para aumentar la tenacidad y la resistencia a la tracción, torsión y desgaste se emplea el negro de humo, que está conformado por partículas muy pequeñas de carbono.

Aditivos: Se utilizan para mejorar las propiedades del neumático como la durabilidad, resistencia, viscosidad, etc; entre ellos se usan: plastificantes, vulcanizadores, acelerantes y retardantes. (Salvatierra C., 2014)

Tabla 7: Composición de un neumático. (Rubber Manufacturers Association)

Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles (%en peso)	Camiones (% en peso)	
Caucho natural	14	17	Estructural (deformación)
Caucho sintético	27	14	Estructural (deformación)
Negro de humo	28	28	Mejora oxidación
Acero	14 - 15	14 - 15	Esqueleto estructural
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17	16 - 17	Juventud
Peso promedio	8,6 kg	45,4 kg	
Volumen	0.06 m ³	0.36 m ³	

Propiedades de los neumáticos:

Según las características de construcción, materiales y diseño del dibujo plasmado en la banda de rodadura, el neumático presenta las siguientes propiedades: (Escobar P. y Haro G., 2012)

Adherencia: Es la capacidad de agarre que tiene el neumático a la calzada, por ser un elemento medio elástico, padece pequeñas deformaciones para acomodarse con el granulado firme de la carretera, es por ellos que mientras mayor sea la superficie de contacto habrá un mejor agarre de la llanta.

Amortiguación: Esta propiedad depende fundamentalmente de la elasticidad que posee el material, de la banda de rodadura y la presión de inflado; consiste en la capacidad de adaptación a las irregularidades presentes en el terreno como también de absorber elásticamente los impactos producidos por pequeños baches, piedras, etc.

Flexibilidad: Es la capacidad que poseen los neumáticos para deformarse y luego volver a su forma original y estas pueden ser verticales que es aquella que permite el aplastamiento del neumático ocasionado por el peso del cuerpo que soporta y depende de la rigidez de los flancos y de la presión de inflado, tenemos también la flexibilidad transversal la cual es provocada por fuerzas laterales como lo son la fuerza centrífuga, los vientos laterales o los peraltes presentes en la carretera y por último se tiene la flexibilidad longitudinal que se da cuando actúan las fuerzas de aceleración y frenado del vehículo.

Capacidad de carga: Se refiere al peso máximo que puede soportar una llanta. Esta propiedad depende directamente de las características constructivas del neumático, de la presión de inflado, la velocidad del vehículo como también del tipo de terreno por donde se circula.

2.2.1.2. Propiedades del concreto en estado endurecido:

Las propiedades mecánicas en estado endurecido del concreto que resaltan en esta investigación son las que se explican a continuación:

Resistencia a la compresión (ASTM C39):

La resistencia a la compresión se entiende como la capacidad que tiene un elemento para resistir una carga o fuerza axial de aplastamiento. Esta propiedad es la característica principal del concreto y se relaciona directamente con el módulo de elasticidad y se puede decir que a mayor resistencia, mayor módulo se verá en el concreto (Barahona A., Martínez G. y Zelaya Z., 2013). Los resultados de esta prueba se obtienen a partir de cilindros moldeados que se utilizan para fines de control de calidad, aceptación del concreto o estimación de la resistencia del mismo en estructuras; estas probetas cilíndricas se elaboran y curan siguiendo los procedimientos estipulados según la norma ASTM C-31 (Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo) y luego son ensayadas de acuerdo a la norma ASTM C-39 (Cabrera J., 2013).

Deformación (ASTM C469):

Esta es una propiedad mecánica que nos indica la rigidez de un material. Su estudio es importante ya que sirve como parámetro para determinar deformaciones que tiene un material, sobre todo en aquellos que serán utilizados en elementos estructurales. La prueba consiste en someter una pieza de un material determinado (Probeta) a esfuerzos que aumentan gradualmente hasta que el elemento ensayado llegue a la rotura. (Carvajal B. y González B., 2012)

2.2.1.3. Propiedades del concreto en estado fresco:

Ensayo para medir el asentamiento (ASTM C143):

Este método se emplea para medir la consistencia del concreto, para lo cual se utiliza el cono de Abrams y el tiempo del ensayo no debe ser mayor a 2.5 minutos después de realizar el muestreo de la mezcla. La consistencia se mide en base al asentamiento del concreto, el cual es resultado de la diferencia entre la altura del molde cónico invertido y la altura de la mezcla deformada, esta medida será expresada en pulgadas (Valencia E. y Ibarra N., 2013).

Ensayo para determinar el peso unitario (ASTM C138):

Con este ensayo se determinará la densidad del concreto fresco y por medio fórmulas se encontrará el rendimiento (Volumen de concreto producido a partir de una mezcla con cantidades conocidas de materiales)

Para determinar el peso unitario (P.U.) en este ensayo se hace uso de un molde rígido que se irá llenando y compactando metódicamente; el P.U. se obtiene dividiendo el peso neto del concreto (peso del molde lleno de concreto menos la masa del molde vacío) con el volumen del molde empleado, cuyo resultado final se expresará en kg/m^3 (Valencia E. y Ibarra N., 2013).

2.3. Hipótesis:

2.3.1. Hipótesis general:

La adición de caucho reciclado en un concreto estructural disminuirá su resistencia a la compresión, su asentamiento y peso unitario pero aumentará su deformación, Trujillo 2018.

Tabla 8: Planteamiento de la hipótesis general.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La adición de caucho reciclado en un concreto estructural disminuirá su resistencia a la compresión pero aumentará su asentamiento, peso unitario y deformación, Trujillo 2018.	- Concreto estructural. - Tamaño de caucho. - Porcentaje de caucho.	Compresión. Asentamiento. Peso unitario. Deformación.	Disminuirá Aumentará	Trujillo	2018

2.3.2. Hipótesis específicas:

La adición de caucho reciclado disminuye la resistencia a la compresión de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Tabla 9: Hipótesis específica para la compresión.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La adición de caucho reciclado disminuye la resistencia a la compresión de un concreto estructural, Trujillo 2018.	- Concreto estructural. - Tamaño de caucho. - Porcentaje de caucho.	Compresión	Disminuye	Trujillo	2018

La adición de caucho reciclado disminuye el asentamiento de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Tabla 10: Hipótesis específica para el asentamiento.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La adición de caucho reciclado disminuye el asentamiento de un concreto estructural, Trujillo 2018.	- Concreto estructural. - Tamaño de caucho. - Porcentaje de caucho.	Asentamiento	Disminuye	Trujillo	2018

La adición de caucho reciclado disminuye el peso unitario de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Tabla 11: Hipótesis específica para el peso unitario.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La adición de caucho reciclado disminuye el peso unitario de un concreto estructural, Trujillo 2018.	- Concreto estructural. - Tamaño de caucho. - Porcentaje de caucho.	Peso unitario	Disminuye	Trujillo	2018

La adición de caucho reciclado aumenta la deformación de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Tabla 12: Hipótesis específica para la deformación.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La adición de caucho reciclado aumenta la deformación de un concreto estructural, Trujillo 2018.	-Concreto estructural. - Tamaño de caucho. - Porcentaje de caucho.	Deformación	Aumenta	Trujillo	2018

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables:

3.1.1. Variable independiente:

- Factor A = Tipos de caucho.

A1: Grano de caucho (0.5 mm – 2.5 mm).

A2: Polvillo de caucho (< 0.5 mm).

A3: Caucho combinado.

- Factor B = Dosificaciones de caucho.

B1: 0.00% / B2: 1.00% / B3: 2.00% / B4: 3.00% / B5: 4.00% / B6: 5.00% / B7: 6.00% / B8: 7.00% / B9: 8.00% / B10: 9.00%

3.1.2. Variables dependientes:

- Propiedades en estado fresco: Asentamiento (Pulg.) y peso unitario (kg/m³).
- Propiedades en estado endurecido: Resistencia a la compresión (Kg/cm²) y deformación (mm).

Tabla 13: Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores/Ítems
Asentamiento	Consistencia del concreto.	Altura	Pulgadas
Peso unitario	Densidad del concreto fresco.	Peso Volumen	Kg m ³
Resistencia a la compresión	Capacidad para soportar una carga continua en una determinada área.	Área Fuerza Forma	cm ² KN Cilíndrica
Deformación	Elasticidad del concreto hasta el momento de la rotura.	Ensanchamiento Carga máxima	mm kg/cm ²
Caucho reciclado	Polímero elástico (Isopreno C ₅ H ₈).	Tamaño	mm

3.2. Diseño de investigación:

Esta investigación es de tipo experimental porque las variables serán manipuladas de manera intencional con la finalidad de evaluar los diferentes resultados. Siendo de diseño experimental puro puesto que se manipulará las variables independientes de distintas maneras pero teniendo el control total de la situación para poder observar los cambios que producen en las variables dependientes.

Se aplicó también el diseño experimental del tipo bifactorial, con dos variables independientes.

Tabla 14: Variables de estudio.

Variables independientes de estudio										
Factores de estudio	Niveles de estudio									
Factor "A": Tamaño de caucho reciclado (mm)	< 0.5 A1	0.5–2.5 A2	<2.5 A3	-	-	-	-	-	-	-
Factor "B": Adición de caucho reciclado (%).	0.00 B1	1.00 B2	2.00 B3	3.00 B4	4.00 B5	5.00 B6	6.00 B7	7.00 B8	8.00 B9	9.00 B10
Variables dependientes de estudio										
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)										
Asentamiento (Pulg.)										
Deformación										
Peso unitario (kg/cm ³)										

3.3. Unidad de estudio:

Probeta de concreto.

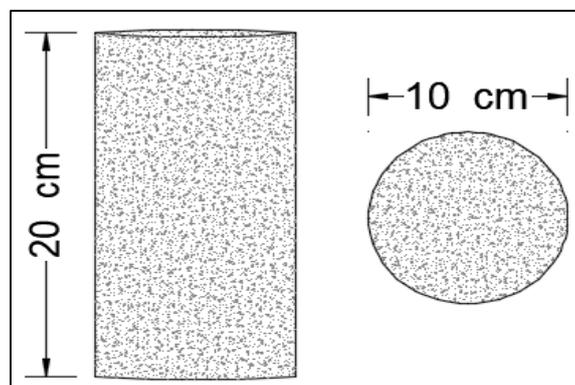


Figura 9: Dimensiones de la probeta cilíndrica.

3.4. Población:

Todas las probetas de concreto.

3.5. Muestra:

Se optó por un muestreo no probabilístico debido a que la población depende de la voluntad y criterio del investigador, además de ser del tipo juicio de experto para poder obtener datos más precisos de los ensayos, se tomó como referencia la norma NTP 339.034, donde nos indica la cantidad de probetas y ensayos que deben realizarse.

La cantidad de réplicas elaboradas por conveniencia serán 3 por cada porcentaje de adición de caucho que se emplee en la mezcla, esto debido a que la norma NTP 339.034 (ASTM C39) indica que como mínimo se deben elaborar 2 réplicas para probetas cilíndricas cuyas dimensiones serán de 10 cm x 20 cm.

Por ello mediante la siguiente fórmula se determinarán la cantidad de probetas se elaborarán en la presente investigación:

$$\text{Total de probetas} = (\text{Factor A}) \times (\text{Factor B}) \times (\text{Tiempo de curado}) \times (\text{N}^\circ \text{ de réplicas})$$

Así mismo, para realizar el ensayo de asentamiento tenemos:

$$\text{Total de concreto} = (\text{Factor A}) \times (\text{Factor B}) \times (\text{Cantidad de concreto}) \times (\text{N}^\circ \text{ de réplicas})$$

Tabla 15: Cálculo del concreto y las probetas a utilizar.

Tipo de ensayo	Unidad	Factor A	Factor B	Tiempo de curado	Cantidad de concreto	Número de réplicas	Muestra patrón		Total
							Probetas	Kilogramos	
Resistencia a la compresión									
Deformación	Probetas	3	9	2	-	3	10	-	172
Peso unitario									
Asentamiento	Kilogramos	3	9	-	15	3	-	60	1275

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos:

3.6.1. Técnica de recolección de datos y análisis de datos:

La técnica a emplear en la presente investigación es la observación, la cual consiste en mirar atentamente los fenómenos que se registren durante los ensayos, tomar datos y para su posterior análisis y así obtener información sistemática de las propiedades del concreto con adición de caucho; para ello se elaboró una guía de observación según los requerimientos de cada ensayo (ver anexo N° 5).

El análisis de información se hizo mediante gráficos estadísticos para así hacer una comparación del comportamiento de nuestras variables de manera más detallada.

3.6.2. Instrumentos y procedimientos de recolección de datos:

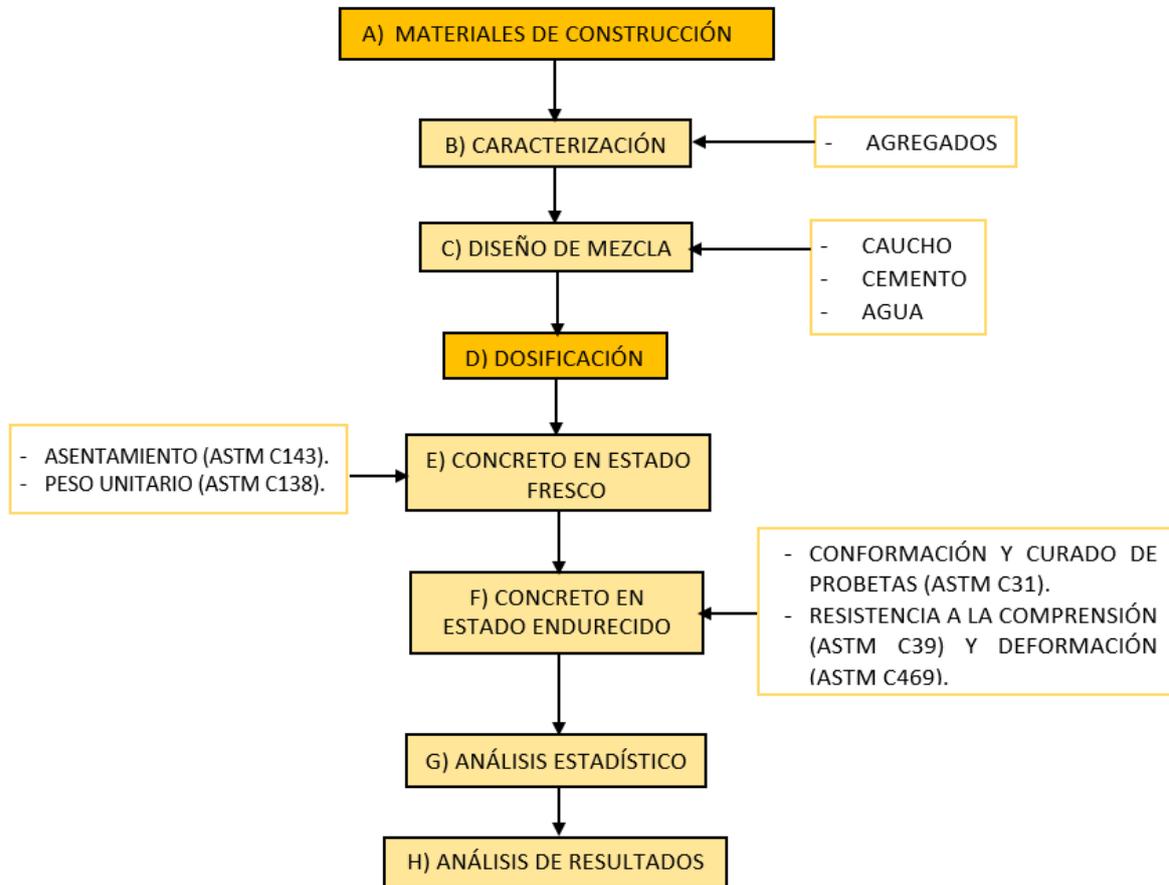


Figura 10: Proceso de investigación.

A. Materiales de construcción:

Los agregados empleados en esta investigación fueron obtenidos de la ferretería Santa María (Av. América Oeste – Trujillo), el agua utilizada para la mezcla y curado de las probetas fue brindada por la Universidad Nacional de Trujillo, el cemento utilizado fue el Extraforte Ico de la empresa Pacasmayo el cual es de uso general recomendado para todos aquellos elementos estructurales que no se encuentren en ambientes salinos, el caucho fue requerido a una empresa trituradora de llantas ubicada en la ciudad de Lima, además se utilizó el aditivo superplastificante Sika ViscoCrete 3330 con la finalidad de darle una mejor consistencia a la mezcla de concreto con caucho y así poder adicionar un mayor porcentaje de este material.

B. Caracterización:

La caracterización de los agregados que se utilizarán para la conformación del concreto estructural se realizó en base a las normas ASTM C29 (Peso unitario), ASTM C566 (Humedad), ASTM C127 y C128 (Peso específico y absorción) y ASTM C136 (Granulometría).

- **Peso unitario de agregado fino y grueso ASTM C29:** Según la norma ASTM C29, este método de ensayo se refiere a la determinación de la densidad en masa (Peso unitario) de los agregados en condición compactada (PUCS) o suelta (PUSS). Para la ejecución de este ensayo se utilizará un recipiente cilíndrico de metal con agarraderos el cual será llenado con agua y luego se tomará nota del peso y así poder calcular el volumen (V) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del recipiente} = \left(\frac{\text{Peso del molde con agua} - \text{Peso del molde vacío}}{\text{Densidad del agua a } 23^{\circ}\text{C} (997.5 \text{ kg/m}^3)} \right)$$

La densidad del agua será tomada en teniendo en cuenta la temperatura según se indica en la tabla 16:

Tabla 16: Densidad del agua en función de la temperatura. (ASTM C29)

Temperatura		Densidad	
°F	°C	lb/pie ³	kg/m ³
60.0	15.6	62.366	999.01
65.0	18.3	62.366	998.54
70.0	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75.0	23.9	62.261	997.32
80.0	26.7	62.216	996.59
90.0	29.4	62.166	995.83

- **Peso unitario suelto seco (PUSS):** Se pesa el molde vacío (T) en una balanza de 1 gramo de sensibilidad; luego vertemos la muestra de agregado a una altura no mayor a 2" por encima del borde superior del recipiente y procedemos a enrazar la superficie con una regla, pesamos el recipiente con la muestra (G) y finalmente determinaremos el peso unitario suelto (PUSS) con la siguiente fórmula:

$$PUSS = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

G: Peso del agregado suelto + peso del recipiente (kg).

T: Peso del recipiente vacío (kg).

V: Volumen del recipiente (m³).

PUSS: Peso unitario suelto seco (kg/m³).

- **Peso unitario compactado seco (PUCS):** Se pesa el molde vacío (T) en una balanza de 1 gramo de sensibilidad; luego vertemos la muestra de agregado a 1/3 del recipiente, compactamos con una varilla lisa por 25 veces y con un martillo de goma de 500 g.

golpeamos en forma circular la parte externa del recipiente; este procedimiento se repite en los siguientes 2/3 del molde y finalmente se enraza la superficie para así poder pesar el molde con la muestra compactada (G) y calcular el peso unitario compactado (PUCS) mediante la siguiente fórmula:

$$PUCS = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

G: Peso del agregado compactado + peso del recipiente (kg).

T: Peso del recipiente vacío (kg).

V: Volumen del recipiente (m³).

PUCS: Peso unitario compactado seco (kg/m³).

Tabla 17: Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados.

Código	Peso del recipiente (Kg)	Peso de la muestra suelta + molde (Kg)	Peso de la muestra compactada + molde (Kg)	Peso de la muestra suelta (Kg)	Peso de la muestra compactada (Kg)	Volumen del recipiente (m ³)	Peso unitario suelto (Kg/m ³)	Peso unitario compactado (Kg/m ³)
	T	Gs	Gc	Gs - T	Gc - T	V	PUSS	PUCS
1								
2								
3								
						Promedio		

Tabla 18: Clasificación de los agregados según su peso unitario. (Pasquel, 1998)

Clasificación	Peso unitario (kg/m ³)
Pesados	>1900
Normales	1120 – 1900
Livianos	<1220

- **Humedad de agregado fino y grueso ASTM C566:** Según la norma ASTM C566 este método de ensayo determina el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por el secado tanto de la humedad superficial como de la humedad dentro de los poros del agregado.

Para ello se pesará un recipiente metálico (Tara) a la cual se le añadirá la muestra de agregado en su estado natural (Ph) y se pesará nuevamente en conjunto con ayuda de una balanza analítica de 0.1 g cuya capacidad sea de 1000 g.

Una vez pesada la muestra, colocarla en la estufa a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas hasta alcanzar un peso constante (Ps).

Se determinará el contenido de humedad (W%) con la fórmula siguiente:

$$W\% = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) \times 100$$

Donde:

Ph: Peso del material en estado natural.

Ps: Peso seco del material.

W%: Contenido de humedad.

Tabla 19: Contenido de humedad de los agregados.

Código	Peso tara (g)	Peso tara + muestra natural (g)	Peso tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
						W
1						
2						
3						
					Promedio	

- **Peso específico y absorción de agregado fino (ASTM C128) y grueso (ASTM C127):** Según las normas ASTM C127 y C128 sumergiremos una muestra de los agregados en agua por un lapso de 24 ± 4 horas para esencialmente poder saturar los poros que estos poseen.

Agregado fino ASTM C128:

Tomamos una muestra de 1500 gramos y la colocamos en un recipiente con agua por un tiempo de 24 ± 4 horas; después de ello secaremos la muestra con ayuda de una cocina eléctrica hasta quedar superficialmente seca.

Luego rellenar el cono con diámetro inferior de 90 mm y diámetro superior de 40 mm en tres capas iguales compactando 25 veces cada capa con el pisón de un peso de 340 gramos y con un diámetro de 25 mm. Para verificar que la muestra es la adecuada a una condición saturada superficialmente seca este debe derrumbarse 1/3 del todo.

Posteriormente se toma el peso de la fiola (M), el peso de la fiola con la muestra SSS (N), el peso de la fiola con agua hasta 500 ml (B), luego se retira el agua de este recipiente, y se coloca la muestra en la fiola y nuevamente se procede a llenar con agua hasta 500 ml y eliminar todas las burbujas de aire, haciendo rodar la fiola durante un minuto, sobre una superficie plana.

Luego se pesa la fiola con el agua y la muestra (C), se deja reposar la muestra dentro de la fiola con agua; y la muestra se pone en una tara (S) y se coloca en la estufa a 100°C aproximadamente por 24 horas.

Por último, se toma el peso de la muestra (A), con las siguientes formulas se determina el peso específico y absorción.

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

$$\text{Peso específico S.S.S.} = \frac{S}{B + S - C}$$

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

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

Donde:

A: peso de la muestra seca retirata de la estufa (g).

B: Peso de la fiola más agua (g).

C: Peso de la fiola + muestra + agua (g).

M: Peso de la fiola (g).

N: Peso de la fiola + muestra saturada superficialmente seca. (g)

S = N – M: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g).

Tabla 20: Peso específico y absorción del agregado fino.

N° de ensayo	Peso de fiola + 500 de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Peso de la muestra seca (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico S.S.S. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
1								
2								
3								
Promedio								

Agregado grueso ASTM C127:

Según las especificaciones de la norma ASTM C127, en la cual se establece la cantidad necesaria que se debe tomar como muestra según el tamaño del agregado, tomaremos 2000 gramos que es lo correspondiente para piedra de 1/2" y la dejaremos en un recipiente con agua por 24 horas, luego tamizaremos por la malla N°4 y extenderemos el material retenido en un paño absorbente.

Pesar el agregado en condición superficialmente seca (B) y la colocaremos en una canastilla metálica para pesarla dentro del agua (C) a temperatura ambiente.

Finalmente retiramos la muestra y la colocamos en la estufa a temperatura de 100°C, la dejamos enfriar y determinaremos su peso (A) seco a temperatura ambiente.

$$\text{Peso específico de la masa} = \left(\frac{A}{B - C} \right)$$

$$\text{Peso específico S.S.S.} = \left(\frac{B}{B - C} \right)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \left(\frac{A}{A - C} \right)$$

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

Donde:

A: Peso de la muestra secada al horno (g).

B: Peso superficialmente seco de la muestra (g).

C: Peso sumergido en agua de la muestra (g).

Tabla 21: Peso específico y absorción del agregado grueso.

N° de ensayo	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso específico de la masa (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Peso específico S.S.S. (g/cm ³)	Absorción (%)
1							
2							
3							
Promedio							

- **Granulometría de agregado fino y grueso ASTM C136:**

Según la norma ASTM C136, tomamos una muestra de masa conocida para el ensayo la cual se separa a través de una serie de mallas con aberturas progresivamente más pequeñas y así determinar la distribución por tamaño de partículas.

Se toma una muestra de 500 gramos para el agregado fino y 1500 gramos para el agregado grueso según el tamaño de este. Separamos los tamices que se utilizarán para el ensayo y los pesamos; para el agregado fino se usarán los tamices: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y el fondo, mientras que para el agregado grueso los tamices serán: 1 1/2", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8 y fondo; lo cuales serán colocados de manera decreciente según su abertura.

Vertemos la muestra desde el tamiz ubicado en la parte superior, tapamos y procedemos a tamizar de manera manual por un tiempo de 5 minutos para el agregado fino y 3 minutos para el agregado grueso.

Posteriormente pesamos cada tamiz en una balanza de 0.1 gramos con capacidad de 2000 gramos cuidadosamente sin que se pierda la muestra retenida en cada una de ellas, para así poder obtener el porcentaje del peso retenido (%PR).

$$\%PR = \left(\frac{\text{Peso de la muestra en cada tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \right) \times 100$$

Calcularemos para el agregado fino el módulo de finura (MF) mediante la siguiente fórmula:

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

Los valores del módulo de finura deben encontrarse entre 2.30 y 3.10

Tabla 22: Husos granulométricos de los agregados. (NTP 400.037)

Agregado grueso				Agregado fino			
Tamiz	Abertura (mm)	Huso inferior (%)	Huso superior (%)	Tamiz	Abertura (mm)	Huso inferior (%)	Huso superior (%)
1 1/2 "	37.500	100	100	3/8"	9.500	100	100
3/4 "	19.000	90	100	N°4	4.750	95	100
3/8 "	9.500	20	55	N° 8	2.360	80	100
N°4	4.750	0	10	N° 16	1.180	50	85
N°8	2.360	0	5	N° 30	0.600	25	60
				N° 50	0.300	5	30
				N° 100	0.150	0	10
				N° 200	0.075	0	0

Tabla 23: Análisis granulométrico para agregado fino.

Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
% Gravas			% Gravas			% Gravas		
% Arena			% Arena			% Arena		
% Finos			% Finos			% Finos		
Módulo de finura			Módulo de finura			Módulo de finura		
Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"			3/8"			3/8"		
N°4			N°4			N°4		
N°8			N°8			N°8		
N°16			N°16			N°16		
N°30			N°30			N°30		
N°50			N°50			N°50		
N°100			N°100			N°100		
N°200			N°200			N°200		
Fondo			Fondo			Fondo		

Tabla 24: Análisis granulométrico para el agregado grueso.

Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
% Gravas			% Gravas			% Gravas		
% Arena			% Arena			% Arena		
% Finos			% Finos			% Finos		
TMN			TMN			TMN		
Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"			1 1/2"			1 1/2"		
3/4"			3/4"			3/4"		
1/2"			1/2"			1/2"		
3/8"			3/8"			3/8"		
N°4			N°4			N°4		
N°8			N°8			N°8		
N°200			N°200			N°200		
Fondo			Fondo			Fondo		

C. Diseño de mezcla (ACI 211):

Elegimos la resistencia a la compresión deseada y de acuerdo a ello seleccionamos el factor de seguridad según la siguiente tabla:

Tabla 25: Factor de seguridad del concreto. (ACI 211)

F'C (Kg/cm ²)	F'cr
<210	F'c + 70
210 – 350	F'c + 84
>350	F'c + 98

Una vez encontrado el F'cr se determina la relación agua-cemento (R a/c) con la siguiente tabla teniendo en cuenta el aire incorporado:

Tabla 26: Relación agua/cemento. (ACI 211)

f'_{cr}	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
	(climas cálidos)	(climas fríos)
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.43
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Determinar la cantidad de agua por 1 m³ teniendo en cuenta el asentamiento y tamaño máximo nominal (TMN) del agregado.

Tabla 27: Cantidad de agua L/m³. (ACI 211)

Asentamiento	Agua en l/m ³ para los diferentes TMN de agregado grueso y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Para concreto sin aire incorporado (climas cálidos)								
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" - 4"	228	216	205	193	181	189	145	124
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Para concreto con aire incorporado (climas fríos)								
1" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" - 7"	216	205	197	184	174	166	154	--

Determinar la cantidad de cemento a partir de la cantidad de agua y la relación agua cemento:

$$Cemento = \frac{H_2O}{R_{a/c}}$$

Cálculo de la cantidad de agregado grueso:

Tabla 28: Tamaño máximo nominal vs módulo de finura del agregado. (ACI 211)

TMN	Vol. de agregado grueso, seco y compactado por unid. de vol. del concreto para diferentes M.F.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

$$Piedra = Factor \times Peso \text{ unitario compacto seco}$$

Cálculo del volumen de agregado fino:

$$V_{A.F.} = 1 - (V_c + V_{A.G.} + V_{AGUA} + V_{AIRE})$$

Corrección de los agregados por el contenido de humedad (W) y el peso unitario compactado seco (PUCS):

$$M = P.U.C.S \times (1 + W)$$

Corrección de del agua por el contenido de humedad y absorción de los agregados:

$$Agua = P.U.C.S \times (A - W)$$

D. Dosificación:

Luego de calcular la dosificación por metro cúbico de la mezcla se hizo lo mismo para una cantidad de 15.50 kg, que es lo necesario para la conformación de tres probetas con dimensiones de 10 cm x 20 cm y para realizar el ensayo de asentamiento en el cono de Abrams.

Tabla 29: Dosificación para 3 probetas de 10 cm x 20 cm de diámetro y alto.

Componentes	Mezcla adicionada corregida (g)	Volumen (%)
Agregado fino	4080	26.3
Agregado grueso	6570	42.4
Cemento Extraforte Ico	3230	20.8
Agua	1620	10.5
Total	15500	100
Aditivo (0.35%)	11.24	-
	1.00	155
	2.00	310
	3.00	465
	4.00	620
Caucho reciclado (%)	5.00	775
	6.00	930
	7.00	1085
	8.00	1240
	9.00	1395

E. Concreto en estado fresco:

- Asentamiento ASTM C143:

En una superficie lisa, plana, horizontal y no absorbente fijada al suelo se coloca el molde cónico cuyo diámetro superior será de 10 cm y el diámetro inferior de 20 cm con una altura de 30 cm y se la sujeta firmemente mientras se vierte la mezcla de concreto en tres capas de igual volumen; en cada una de las capas con ayuda de una varilla lisa cuyo diámetro será de 16 mm y su longitud de 60 cm se compactará 25 veces hasta llegar a la última capa.

Una vez rellena y compactada la última capa enrasar dejando lisa la superficie, levantar el molde cuidadosamente y colocarlo de manera invertida al costado de la mezcla deformada para así tomar la medida con una regla graduada que permita apreciar al 0.5 cm.

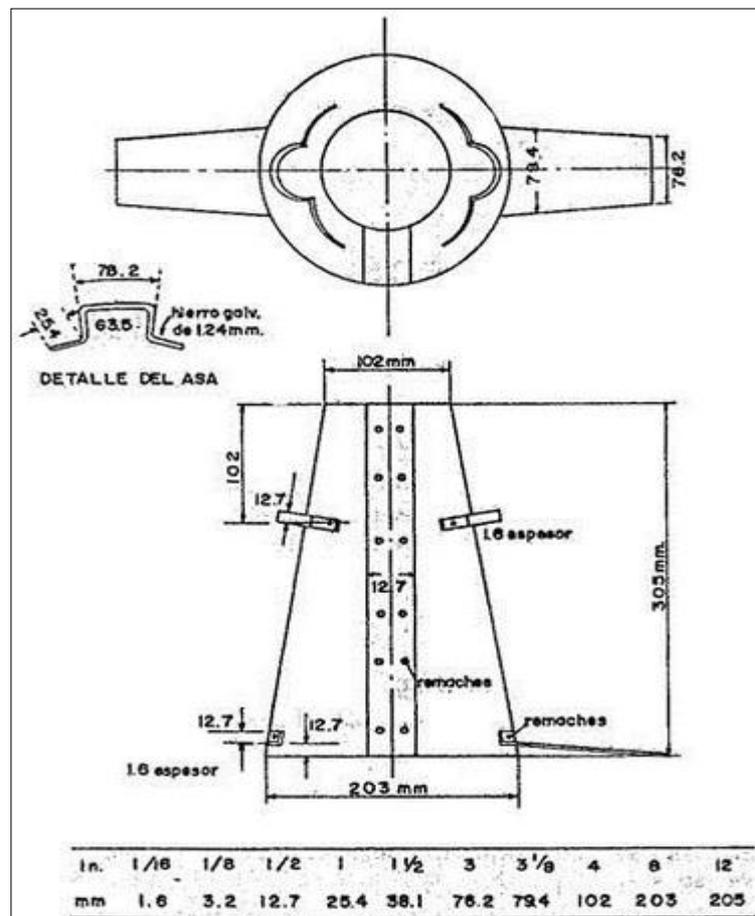


Figura 11: Especificaciones del molde para ensayo de asentamiento. (ASTM C143)

Tabla 30: Asentamiento del concreto con el cono de Abrams.

Caucho		Superplastificante 0.35%	Asentamiento (Pulgadas)		
Porcentaje (%)	Peso (gr)		Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado

Tabla 31: Consistencia del concreto por su asentamiento. (Rodríguez, 2012)

Consistencia	Asentamiento (pulg.)
Muy seca	<2
Seca	2 a 3
Plastificado (estándar)	4 a 5
Fluida	6 a 7
Muy fluida	>7

- Peso unitario ASTM C138:

Se medirá el diámetro (D) y la altura (h) del molde para poder determinar su volumen (Vm) mediante la siguiente fórmula:

$$V_m = \frac{\pi \times D^2}{4} \times h$$

Procedemos a pesar el molde vacío (Mm) y luego se verterá el concreto dos capas iguales, las cuales a su vez serán compactadas con 25 golpes con un varilla lisa, seguidamente con el martillo de goma se golpeará en forma espiral los costados del molde con 12 golpes en cada capa para poder eliminar los vacíos de la mezcla.

Una vez llenado el molde con la mezcla, se alisa la superficie y se elimina cualquier sobrante de la mezcla que pueda alterar el peso de la probeta y anotamos su peso (Mc).

Calcular el peso unitario del concreto mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Donde:

Mc: Peso del molde lleno de concreto.

Mm: Peso del molde vacío.

Vm: Volumen del molde.

Tabla 32: Peso unitario del concreto en estado fresco.

Caucho (%)	Peso de probetas con caucho (kg)			Volumen del molde (m ³)	Peso unitario (kg/m ³)		
	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado		Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado

F. Concreto en estado fresco:

- Elaboración y curado de probetas ASTM C31:

En el interior de los moldes de dimensiones 4"x8" aplicar una capa de aceite con ayuda de una esponja.

Vaciar el concreto dentro del molde de manera uniforme en dos capas; en cada una de las capas se chuseará 25 veces con una varilla lisa de 3/8" y seguidamente con un martillo de goma se aplicarán 12 golpes alrededor del molde, almacenar las probetas por un periodo de hasta 48 horas.

Desmoldar y codificar las probetas según el contenido y tipo de caucho que cada una de ellas posea además del tiempo de curado que tendrán (28 y 56 días); colocarlas posteriormente en una posa de curado a una temperatura de 21°C.

- Resistencia a la compresión ASTM C39 y Deformación ASTM C469:

Después de cumplir el tiempo de curado en las probetas, las retiramos de la posa y las dejamos secar por un periodo no mayor a 24 horas, luego medir el área de contacto de las probetas donde se aplicará la carga.

Acoplar el molde metálico con un deformímetro con la finalidad de medir el ensanchamiento de las probetas cuando la carga aplicada produzca la rotura de la probeta, para ello mediremos el diámetro inicial de la probeta (D_0) y mediante la siguiente fórmula calcularemos la deformación final.

$$Deformación = \frac{Desplazamiento}{D_0}$$

Proceder a ensayar en el equipo de compresión digital las probetas cuya velocidad de carga será de 2.40 kN/s y mediante las siguientes fórmulas obtendremos la resistencia a la compresión:

$$\sigma_c = \frac{Carga}{\text{Área}}$$

$$\text{Área} = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

El módulo de elasticidad (E_c) será calculado con la fórmula establecida en el capítulo 8 de la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la cual se puede emplear para concretos cuyo peso unitario (w_c) esté comprendido entre 1450 y 2500 kg/m³.

$$E_c = (w_c)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{f'_c}$$

Tabla 33: Resistencia a la compresión del concreto.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)

Tabla 34: Deformación y módulo de elasticidad del concreto.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	f _c (MPa)	Peso unitario (kg/m ³)	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Desplazamiento (cm)	Deformación	Módulo de elasticidad (MPa)

G. Análisis estadístico:

Para realizar el análisis estadístico se determinó como unidad de estudio, cuya población fue el concreto estructural, la muestra se obtuvo en base a lo establecido en la norma NTP 339.034 donde se indica que se deben elaborar un mínimo de dos muestras para probetas cilíndricas, en esta investigación se estableció conformar tres probetas cilíndricas por cada porcentaje de adición en el concreto, con la finalidad de obtener mejores resultados, concluyendo que en total se conformaron 172 probetas en el presente estudio; la evaluación de cada ensayo fue registrada en las guías de observación elaboradas con anterioridad, donde se señala el tipo, tamaño y porcentaje de caucho empleado como también los resultados que nos arroja cada ensayo.

Para poder rechazar o corroborar la hipótesis planteada, se realizará un análisis de varianza y prueba de F de Fisher para los resultados obtenidos durante los ensayos mencionados anteriormente.

Datos previos:

Grados de libertad:

Grados de libertad para variable tamaño del caucho reciclado (A):

$$GL = a - 1$$

Grados de libertad para variable porcentaje de caucho reciclado (B):

$$GL = b - 1$$

Grados de libertad para las variables A x B:

$$GL = (a - 1) \times (b - 1)$$

Grados de libertad para el error:

$$GL = (a \times b) \times (r - 1)$$

Donde:

a = Niveles de la variable A.

b = Niveles de la variable B.

r = Número de repeticiones.

Nivel de significancia:

Puesto que el nivel de significancia es definido por el investigador antes de obtener los datos y comúnmente los niveles en los que se trabaja son $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.001$; tomaremos como referencia otras investigaciones del tipo experimental donde la mayoría trabajan con un nivel de confianza del 95% para lo cual el nivel de significancia (α) será de 0.05 dándonos así la probabilidad de acertar con un mínimo margen de error.

Criterio de rechazo:

Si $F_0 > F_{\alpha, (n-1), (nx(r-1))}$ se aceptará la hipótesis alterna (H_1). Donde:

F_0 : Conseguido experimentalmente.

$F_{\alpha, (n-1), (nx(r-1))}$: Se calcula mediante tablas estadísticas.

r: Cantidad de réplicas.

n: Cantidad de niveles.

Análisis de varianza y F de Fisher:

Suma de cuadrados:

Para el factor A:

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

Para el factor B:

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axr} - \frac{Y_T^2}{abxr}$$

Subtotales:

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{r} - \frac{Y_T^2}{abxr}$$

Interacción de los factores (A x B):

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

Suma de cuadrados totales:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{abxr}$$

Suma de cuadrados para el error:

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

Media de cuadrados:

Para el factor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

Para el factor B:

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

Interacción de los factores (A x B):

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)(b - 1)}$$

Media de cuadrados del error:

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab)(r - 1)}$$

F₀ experimental:

F₀ (A):

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$F_0(B)$:

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$F_0(A \times B)$:

$$F_0(A \times B) = \frac{MS_{A \times B}}{MS_E}$$

H. Análisis de resultados:

Los resultados analizados se presentan de manera ordenada según la prioridad de los ensayos definidos en esta investigación, partiendo desde la caracterización de que conformará la mezcla de concreto que se utilizó, luego se procedió con la elaboración del diseño de mezcla para poder conformar probetas cuya única función fue la de evaluar si el concreto cumple la resistencia a la compresión requerida en el diseño y así elaborar las probetas patrón como también las adicionadas con caucho, durante la conformación de las probetas se realizaron ensayos en estado fresco como los del asentamiento y peso unitario concluyendo que el caucho afecta la trabajabilidad y consistencia de la mezcla como también aligera el peso del concreto. Las probetas conformadas pasaron a la etapa de curado por periodos de 28 y 56 días para luego poder realizar ensayos en estado endurecido del concreto, como lo son la resistencia a la compresión y la deformación; concluyendo que el caucho disminuye, según el tamaño de la partícula, la resistencia del concreto pero que también aumenta la capacidad de deformación que posee.

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio de esta tesis, se vació la información registrada en las guías de observación en el programa Excel 2013, para su análisis e interpretación correspondiente con ayuda de gráficas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de agregados:

4.1.1. Agregado fino y grueso:

4.1.1.1. Propiedades físicas:

Tabla 35: Caracterización del agregado grueso y agregado fino.

Propiedades físicas	Agregado grueso	Agregado fino
Tamaño máximo (T.M.)	3/4 "	-
Módulo de finura (MF)	-	2.7
Tamaño máximo nominal (T.M.N.)	1/2 "	-
% Gravas.	99	3
% Arena.	1	96
% Finos.	0	4
Humedad (%)	0.8	1.2
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1 550	1 560
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1 680	1 780
Peso específico seco (g/cm ³)	2.57	2.60
Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	2.62	2.66
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.72	2.75
Absorción (%)	2.20	2.0
Equivalente de arena (%)	-	90.22

4.2. Diseño de mezcla:

Tabla 36: Dosificación de la mezcla de concreto por metro cúbico.

Componentes	Mezcla patrón seca (Kg/m ³)	Mezcla adicionada corregida (Kg/m ³)	Volumen (%)	Proporción
Agregado fino	582.40	589.39	26.4	1
Agregado grueso	940.80	948.33	42.4	1 ½
Cemento EXtraforte Ico	463.52	463.52	20.7	⅞
Agua	216.00	234.38	10.5	½
Peso unitario del concreto fresco	-	2236.00	100	
Aditivo ViscoCrete 3330	-	1.62	-	-
	1.00	-	22.36	-
	2.00	-	44.71	-
	3.00	-	67.07	-
	4.00	-	89.42	-
Caucho reciclado (%)	5.00	-	111.78	-
	6.00	-	134.14	-
	7.00	-	156.49	-
	8.00	-	178.85	-
	9.00	-	201.21	-

4.3. Ensayos de concreto en estado fresco:

4.3.1. Asentamiento ASTM C143:

Tabla 37: Asentamiento del concreto con adición de caucho.

Caucho (%)	Asentamiento (Pulgadas)		
	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado
0.00 (Sin aditivo)	3 ¼	3 ¼	3 ¼
0.00	6 ½	6 ½	6 ½
1.00	9 ¾	9 ¾	9 ½
2.00	9 ⅛	7 ¾	9 ¼
3.00	8 ¾	2 ⅞	5 ⅞
4.00	8 ¼	-	4
5.00	7 ½	-	2 ½
6.00	6 ¾	-	-
7.00	4 ½	-	-
8.00	4	-	-
9.00	3 ½	-	-

4.3.2. Peso unitario ASTM C138:

Tabla 38: Peso unitario del concreto con caucho.

Tamaño de caucho	Peso unitario (kg/m ³)										
	0 (Sin aditivo)	Caucho (%)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grano (0.5 mm – 2.5 mm)	2449	2508	2493	2460	2417	2338	2332	2301	2275	2260	2235
Polvillo (< 0.5 mm)	2449	2508	2415	2354	2319	-	-	-	-	-	-
Combinado	2449	2508	2439	2393	2330	2312	2296	-	-	-	-

4.4. Ensayos de concreto en estado endurecido.

4.4.1. Resistencia a la compresión ASTM C39:

Tabla 39: Resistencia a la compresión del concreto a 28 y 56 días de curado.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Resistencia a la compresión a 28 días (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión a 56 días (Kg/cm ²)
0.00 (Sin aditivo)	-	284	296
0.00	-	292	313
1.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	212	268
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	243	236
	Caucho combinado	214	251
2.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	192	225
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	218	201
	Caucho combinado	193	224
3.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	183	205
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	185	173
	Caucho combinado	168	198
4.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	161	168
	Caucho combinado	156	175
5.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	141	134
	Caucho combinado	140	161
6.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	109	87
7.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	102	68
8.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	64	48
9.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	58	47

4.4.2. Deformación ASTM C469:

Tabla 40: Deformación y módulo de elasticidad promedio del concreto con adición de caucho.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Desplazamiento (cm)	Deformación	Módulo de elasticidad (MPa)
0.00 (Sin aditivo)	-	0.08	0.008	28084
0.00	-	0.07	0.007	29897
1.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.29	0.029	27455
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	0.13	0.013	24538
	Caucho combinado	0.20	0.020	25687
2.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.26	0.026	24617
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	0.06	0.006	21773
	Caucho combinado	0.17	0.017	23568
3.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.23	0.023	22890
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	0.02	0.002	19769
	Caucho combinado	0.13	0.013	21281
4.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.21	0.021	19732
	Caucho combinado	0.12	0.012	19769
5.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.18	0.018	17533
	Caucho combinado	0.09	0.009	18759
6.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.16	0.016	13852
7.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.13	0.013	12064
8.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.09	0.009	10040
9.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	0.09	0.009	9770

4.5. Análisis de costos:

Tabla 41: Costos de producción del concreto estructural con 3% de adición de caucho.

Recursos	Unidad	Concreto estructural $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$				
		Convencional	Con aditivo	Grano de caucho	Polvillo de caucho	Caucho combinado
Mano de Obra						
Capataz	hh	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
Operario	hh	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28
Oficial	hh	16.69	-	-	16.69	-
Peón	hh	75.44	45.27	45.27	75.44	45.27
Materiales						
Agregado grueso	m^3	25.85	25.85	25.85	25.85	25.85
Agregado fino	m^3	12.54	12.54	12.54	12.54	12.54
Cemento Portland tipo ICo	bol	204.02	204.02	204.02	204.02	204.02
Agua	m^3	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
Superplastificante	Balde	-	31.8	31.8	31.98	31.98
Caucho	Kg	-	-	60.36	112.01	86.18
Equipos y herramientas						
Mezcladora de concreto	hm	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Vibrador 4 HP	hm	24.00	-	-	24.00	-
Herramientas manuales	%mo	3.15	1.74	1.74	3.15	1.74
Total (S/. / m^3)		396.08	355.79	416.15	540.07	440.97

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Cemento:

En la presente investigación se escogió el cemento tipo ICo Extraforte de la empresa de cementos Pacasmayo, puesto que es común su uso en vigas, columnas, losas y obras que no tengan contacto directo con ambientes salitrosos. El cemento tipo ICo contiene hasta un 30% de adiciones entre materiales calizos o inertes a diferencia del cemento Tipo I, lo cual aporta un moderado calor de hidratación y mejor trabajabilidad. Este tipo de cemento posee una superficie específica mayor que los otros cementos que produce la empresa Pacasmayo, lo cual significa que un gramo de las partículas de este cemento cubre un área mayor, es por ello que para hidratar al cemento tipo ICo se necesitará más agua; por otro lado el peso específico de este cemento es mayor que el cemento Tipo I, es por ello que ocupa un mayor volumen dentro de la mezcla de concreto reduciendo así el volumen de agregado fino.

Tabla 42: Propiedades físicas del cemento tipo ICo. (Cementos Pacasmayo, 2017)

Propiedades físicas	Unidades	CPSSA	Requisitos (NTP 334.090)
Contenido de aire	%	6	Máximo 12
Superficie específica	cm ² /g	5020	No específica
Retenido en malla 325	%	3.2	No específica
Densidad	g/cm ³	3.0	No específica
Resistencia a la compresión	kg/cm ²		
3 días		245	Mínimo 133
7 días		288	Mínimo 204
28 días		330	Mínimo 255
Tiempo de fraguado Vicat			
Fraguado inicial	min.	111	Máximo 45
Fraguado final		260	Máximo 420

5.2. Aditivo superplastificante:

Se utilizó el aditivo superplastificante ViscoCrete 3330 de la empresa Sika, puesto que el caucho absorbe en gran medida el agua que hidrata al cemento y que de manera conjunta conforman la pasta que envuelve a los agregados, haciendo que la mezcla tenga una consistencia muy seca, es por ello que con el fin de poder adicionar más caucho se optó por emplear este aditivo, el cual según la empresa Sika la dosis de adición para concretos plásticos suaves debe estar entre el 0.4% y el 1% respecto al peso del cemento; en la etapa de estudios preliminares de esta investigación se estimó un 0.5% de aditivo pero el concreto con el 1% de adición de caucho comenzó a segregarse, ocurrió lo mismo con el 0.45% y

0.40%, es así que con el 0.35% la mezcla tuvo un buen comportamiento y se utilizó la misma cantidad para todos los porcentajes de adición de caucho.

El aditivo ViscoCrete 3330 pertenece a la tercera generación de aditivos superplastificantes el cual se basa en Copolímeros de ácido acrílico y ésteres Policarboxilatos, el cual a diferencia de los aditivos que elaborados a base de melaminas y naftalenos que producen un efecto de dispersión de las partículas del cemento, la cual se consigue porque la molécula del aditivo posee una estructura dipolo con grupos cargados negativamente, haciendo que estas moléculas sean absorbidas por los gránulos del cemento y los dota de cargas negativas haciendo que los mismos se repelan entre sí; este efecto se denomina repulsión electrostática y disminuye de manera progresiva al depositarse sucesivas capas de productos de hidratación en la superficie del grano del cemento, dando como resultado una pérdida de la fluidez y trabajabilidad; sin embargo los nuevos aditivos basados en ésteres Policarboxilatos basan su efecto dispersante en importantes cadenas laterales y mucho menos en la repulsión electrostática, estas largas cadenas crecen mucho más allá de los productos de hidratación del cemento proporcionando una mayor dispersión, a esto se le denomina efecto estérico; con el paso del tiempo una segunda molécula se activa y así se logra una actividad más duradera.

Tabla 43: Propiedades del superplastificante ViscoCrete 3330 (Sika).

Descripción	Características
Aspecto	Líquido
Color	Marrón claro a marrón oscuro
Densidad	1.07 kg/L \pm 0.01
Solubilidad	Soluble en agua

5.3. Caracterización de agregados:

El análisis granulométrico es una de las propiedades más importantes que poseen los agregados, el cual nos muestra la graduación y los diferentes tamaños de las partículas que presentan; podemos observar en la figura 12 que la granulometría de los agregados está dentro de los límites recomendados por la norma ASTM C33, lo cual nos indica que los agregados son aptos para la elaboración del concreto, dicha figura nos muestra que la curva que representa al agregado grueso es continua; esto quiere decir que el agregado posee todos los tamaños necesarios para que sus partículas acomoden mejor durante la conformación de las probetas dando como resultado una mejor resistencia a la compresión. Por otro lado en la misma gráfica podemos observar que la curva que representa al agregado fino es discontinua puesto que en la malla N° 30 se genera una ligera curva, esta discontinuidad no repercutió negativamente en la resistencia a la compresión del concreto y

la función que cumple el agregado fino de rellenar los espacios que se generan entre las partículas del agregado grueso se desarrolló normalmente.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de $\frac{1}{2}$ " , el cual es un tamaño recomendable y que minimiza el riesgo de que se formen espacios durante la conformación de las probetas respecto de agregados cuyo tamaño máximo nominal es más grande; por otro lado si la piedra fuese más pequeña implicaría que la cantidad de agua necesaria para la mezcla sea mayor, lo cual generaría un incremento en el costo del concreto.

El módulo de finura representa el tamaño medio del agregado fino; un módulo de finura bajo significa una mayor área superficial lo que conlleva a una mayor cantidad de agua en la mezcla de concreto; la norma ASTM C136 el rango en el que debe estar comprendido el agregado fino debe estar entre 2.3 y 3.1. El resultado obtenido para el agregado fino empleado en la presente investigación fue de 2.7 cumpliendo con lo mencionado anteriormente, además se estima que las arenas cuyo módulo de finura esté entre 2.3 y 2.8 producen una mejor trabajabilidad a la mezcla.

El porcentaje de absorción es la capacidad que tienen los agregados para llenar con agua los vacíos permeables de su estructura interna al ser sumergidos en agua, la cantidad de agua absorbida por ellos estima la porosidad que poseen las partículas del agregado, es por eso que de ellos depende en gran medida la cantidad de vacíos existentes en la mezcla. Los porcentajes de absorción obtenidos para el agregado fino y grueso fueron de 2.0% y 2.16% respectivamente.

El contenido de humedad de los agregados afecta a la cantidad de agua que se añade en la mezcla para formar el concreto; si los agregados se encuentran secos quiere decir que absorberán más agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad del concreto, por otro lado si su contenido de humedad es alto, aportarán en ciertas cantidades agua en la mezcla lo cual aumentará la relación a/c, la trabajabilidad y afectarán la resistencia a la compresión del concreto. El contenido de humedad depende de las condiciones climatológicas que se presentan en el lugar de su procedencia, para el presente caso los agregados se encontraban expuestos a temperaturas que iban desde los 19°C hasta los 28°C; no existen valores que establezcan un límite para el contenido de humedad de los agregados pero se recomienda según diversas investigaciones que sean menores a los de la absorción. Los resultados obtenidos para el contenido de humedad para el agregado fino y grueso fueron de 0.8% y 1.2% respectivamente, los cuales son menores que sus porcentajes de absorción.

Los pesos unitarios nos permiten convertir los pesos en volúmenes; el peso unitario suelto influye cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados mientras que el peso unitario compactado repercute en el diseño de mezcla puesto que determina la densidad del material cuando es sometido a una compactación durante el proceso de colocación del concreto. En diversas investigaciones se estiman rangos entre los cuales

deben estar los pesos unitarios; por ejemplo para el peso unitario suelto del agregado fino el rango estimado está entre 1400 kg/m^3 y 1600 kg/m^3 mientras que para el agregado grueso está entre los 1500 kg/m^3 y 1600 kg/m^3 , por otro lado el peso unitario compactado del agregado fino está entre 1500 kg/m^3 y 1800 kg/m^3 y para el agregado grueso 1600 kg/m^3 y 1900 kg/m^3 . Los resultados obtenidos para el peso unitario suelto del agregado fino y grueso fueron de 1560 kg/m^3 y 1550 kg/m^3 respectivamente y para el peso unitario compactado del agregado grueso se obtuvo 1680 kg/m^3 mientras que para el agregado fino fue de 1780 kg/m^3 , de acuerdo a ello podemos observar que los pesos unitarios se encuentran dentro de los rangos recomendados. Fernanda Carrasco clasifica los agregados como normales cuando su peso unitario se encuentra entre 1000 kg/m^3 y 1800 kg/m^3 y menciona que son de uso más generalizado los cuales se emplean en el 90% de las construcciones; a los agregados cuyo peso unitario se encuentra por debajo de los 1000 kg/m^3 (hasta los 700 kg/m^3 u 800 kg/m^3) los considera como livianos y clasifica como pesados a los agregados cuyo peso unitario es superior a los 2000 kg/m^3 ; siguiendo esta clasificación, los agregados de esta investigación se encuentran dentro del rango normal y son de uso generalizado.

El peso específico sirve como un indicador de calidad de los agregados; los resultados obtenidos en la presente investigación fueron de 2.57 g/cm^3 para el agregado grueso y de 2.60 g/cm^3 para el agregado fino. Pasquel (1998) recomienda que el peso específico de los agregados normales se debe encontrar entre los 2.50 g/cm^3 y 2.75 g/cm^3 , es por ello que los agregados cumplen con dicha recomendación.

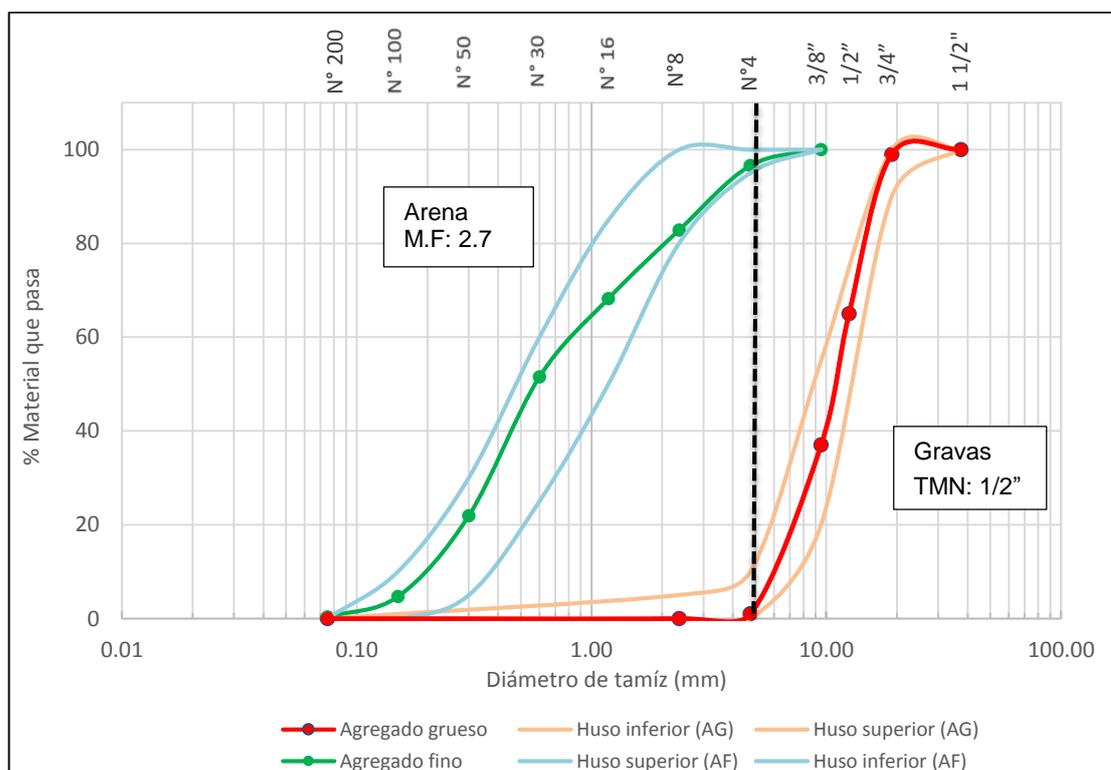


Figura 12: Curva granulométrica del agregado fino y grueso.

5.4. Propiedades del concreto en estado fresco:

5.4.1. Asentamiento ASTM C143:

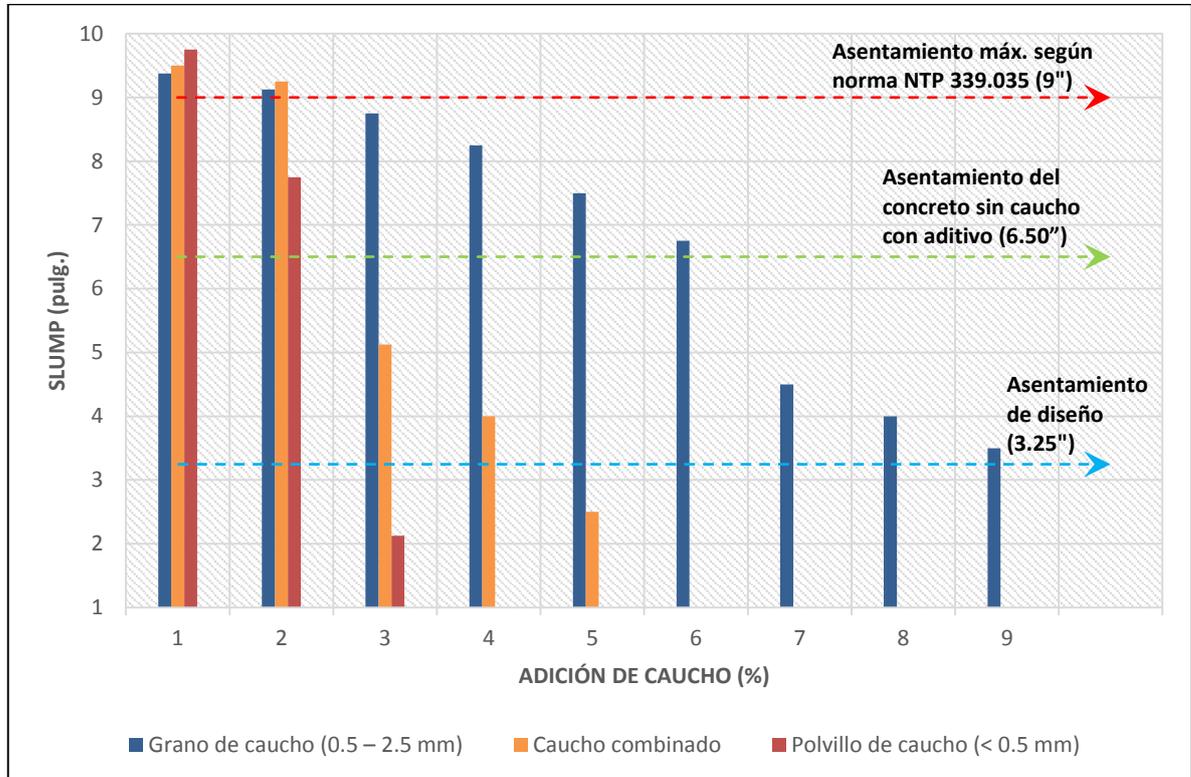


Figura 13: Asentamiento del concreto con adición de caucho.

El asentamiento del concreto depende en gran medida a la relación a/c establecida en el diseño de mezcla; es decir que mientras mayor sea esta relación existirá un mayor asentamiento. En diversos estudios se pudo determinar que la resistencia del concreto se ve afectada en concretos cuyo asentamiento es mayor; Pasquel clasificó el grado de trabajabilidad del concreto según su asentamiento como muy bajo de 0" a 1", bajo 1" a 2", medio de 3" a 4" y como alto para los asentamientos mayores a 4". Por otro lado la norma ACI 211 recomienda asentamientos máximos y mínimos según el tipo de construcción, por ejemplo: para muros de cimentación, zapatas, pavimentos, losas y concreto masivo el asentamiento debe ser de 1" como mínimo y de 3" como máximo y para vigas, muros reforzados y columnas para edificios el asentamiento debe ser como máximo de 4" y de 1" como mínimo.

Al analizar los resultados del asentamiento determinamos que el asentamiento de 3 ¼" obtenido en la mezcla patrón cumple con lo que se proyectó en el diseño de mezcla y puede utilizarse en cualquiera de los elementos estructurales según la norma ACI 211. Sin embargo este asentamiento varía significativamente al adicionarle un 0.35% de aditivo superplastificante ViscoCrete 3330 a 6 ½" de asentamiento y que con el 1% de caucho adicionado obtenemos un asentamiento de 9 ⅜" para el caucho en grano y mientras que

con el polvillo de caucho obtenemos un asentamiento de $9\frac{3}{4}$ " y en la combinación de ambos se obtuvo $9\frac{1}{2}$ "; según la norma ACI estos asentamientos no son recomendables para los concretos de uso estructural; sin embargo estos resultados disminuyen gradualmente dependiendo del tamaño de caucho que se adiciona a la mezcla; como se puede observar en la figura 13 la adición de caucho granulado en la mezcla hace que el asentamiento varíe paulatinamente hasta llegar al 9% de adición alcanzando las $3\frac{1}{2}$ " mientras que para el polvillo de caucho el porcentaje máximo adicionado es de 3% con el cual se obtiene un asentamiento de $2\frac{1}{8}$ " y para la combinación de ambos tamaños de caucho la cantidad máxima de adición es del 5% obteniendo un asentamiento de $2\frac{1}{2}$ ".

Se observó también que la consistencia de la mezcla resultó afectada con el aumento y tamaño del caucho adicionado, determinando que la trabajabilidad disminuye debido a que el caucho absorbe parte del agua especificada en el diseño de mezcla, dando como resultado un concreto seco y poco trabajable.

5.4.2. Peso unitario ASTM C138:

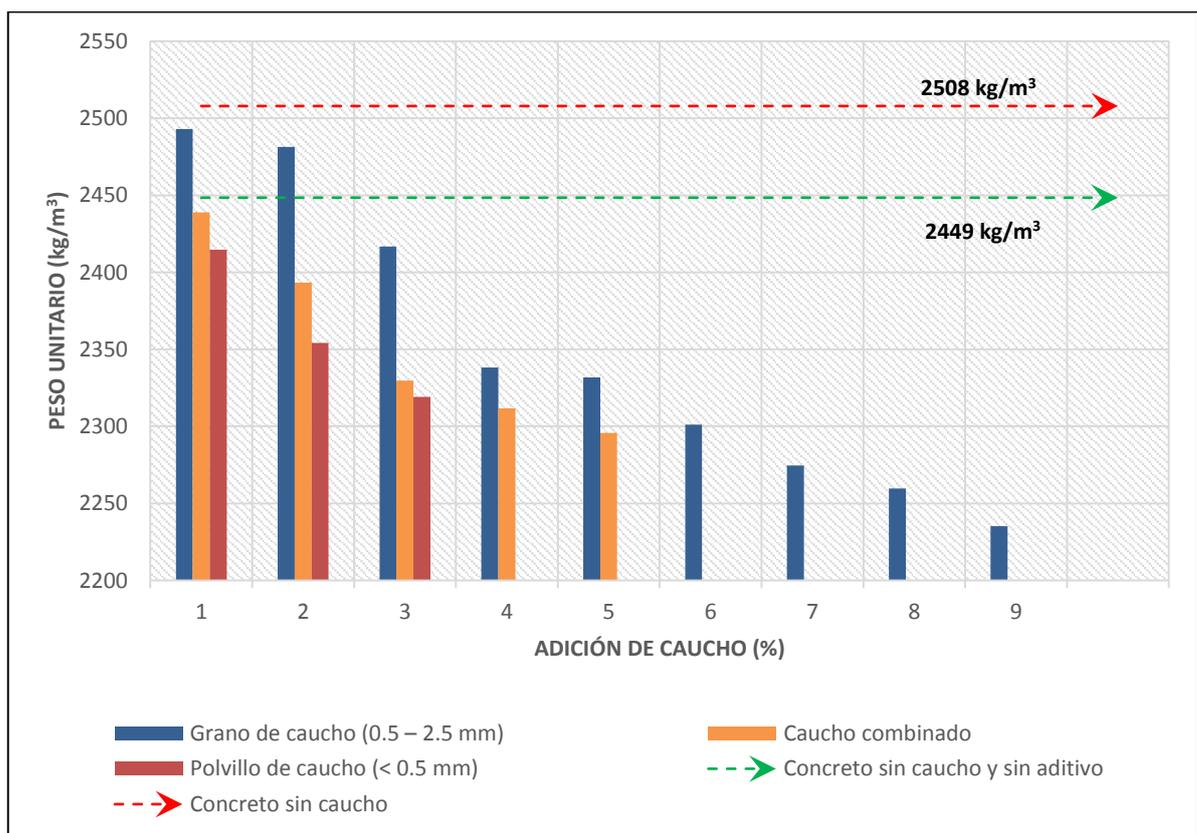


Figura 14: Peso unitario del concreto con caucho adicionado.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.060, el peso unitario para un concreto estructural liviano no debe exceder a 1850 kg/m^3 y para un concreto de peso normal se debe ser un aproximado de 2300 kg/m^3 . De los resultados del ensayo de peso unitario obtenidos según los tipos de mezcla realizados con caucho adicionado en distintas

proporciones y tamaño, se observa que el peso unitario de 2449 kg/m^3 perteneciente a la mezcla patrón aumenta con la adición del 0.35% de aditivo superplastificante ViscoCrete 3330 a 2508 kg/m^3 y que con solo el 1% de adición de grano caucho en la mezcla patrón aumenta a 2493 kg/m^3 mientras que para el polvillo de caucho el peso disminuye a 2415 kg/m^3 y en la combinación de los tipos de caucho el peso también disminuye a 2439 kg/m^3 ; conforme el porcentaje de adición de caucho aumenta, el peso unitario de las mezclas va disminuyendo, como lo es en el caso del grano de caucho que nos permite una adición máxima del 9% para el cual obtenemos un peso unitario de 2235 kg/m^3 , por otro lado el polvillo de caucho con una adición del 3% nos da como resultado un peso unitario de 2319 kg/m^3 y en la combinación de tipos de caucho obtenemos un peso de 2296 kg/m^3 a un 5% de adición. Con estos resultados se demuestra que mientras menor sea el tamaño del caucho añadido mayor será el volumen que ocupe en la mezcla lo cual dará como resultado un concreto más ligero.

5.5. Propiedades del concreto en estado endurecido:

5.5.1. Resistencia a la compresión ASTM C39:

La resistencia a la compresión del concreto depende directamente de la relación a/c, homogeneidad de la mezcla y las características de los agregados, siendo estos factores de suma importancia para conseguir una buena resistencia en el concreto. Cuando la mezcla tiene una relación a/c baja da como resultado una mayor resistencia pero esto trae consigo una consistencia seca lo cual no permite que la mezcla tenga un buen acomodo de sus componentes y se generarán más vacíos dentro del concreto, es por ello que se necesita adicionar superplastificante el cual le dará una mayor autocompactabilidad a la mezcla y una mejor distribución de los agregados. Por otro lado la capacidad de absorción de los agregados también influye en la resistencia; puesto que cuando tienen una baja absorción quiere decir que los agregados son menos porosos y más compactos lo cual al momento de mezclar con el agua no ocasionará que esta se pierda. El tamaño del agregado grueso también repercute en la resistencia, debido a que mientras menor sea su tamaño mayor será la superficie de adherencia entre la pasta cementante y este árido.

En la figura 15, se puede observar el efecto del superplastificante ViscoCrete 3330 empleado a un 0.35% el cual eleva la resistencia a la compresión a los 28 días de la muestra patrón de 284 kg/cm^2 a 292 kg/cm^2 ; por otro lado a los 56 días observamos que la muestra control alcanza una resistencia promedio de 296 kg/cm^2 , la cual aumenta a 313 kg/cm^2 con la adición de 0.35% de este aditivo; estas resistencias se ven considerablemente afectadas conforme aumente la adición de caucho en la mezcla, una de las principales causas de la pérdida de resistencia a la compresión del concreto podría deberse a que las partículas de caucho presentan un comportamiento elastomérico; es decir, se deforman elásticamente mucho más rápido que la pasta de cemento que las rodea, es por ello que las fisuras no

tardan en aparecer alrededor de ellas cuando se aplica una carga; por otro lado, la falta de adhesión de las partículas del caucho con la mezcla de cemento y áridos que las rodean provoca que las fisuras se propaguen rápidamente. Otro de los causantes de la disminución de la resistencia del concreto puede ser a que esta depende de la densidad, tamaño y dureza de los agregados y debido a que las características antes mencionadas son menores en el caucho la disminución de la resistencia irá aumentando conforme el volumen de este material aumente en la mezcla. Todo esto se refleja en los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días de curado ya que cuando se adiciona el 1% de caucho granulado a la mezcla la resistencia disminuye a 212 kg/cm², mientras que para el polvillo de caucho la resistencia decae a 243 kg/cm² y a 214 kg/cm² con la combinación de ambos tamaños; esto indicaría que el polvillo de caucho presenta un mejor comportamiento dentro de la mezcla ya que la resistencia se ve menos afectada tal como se muestra en la figura 15.

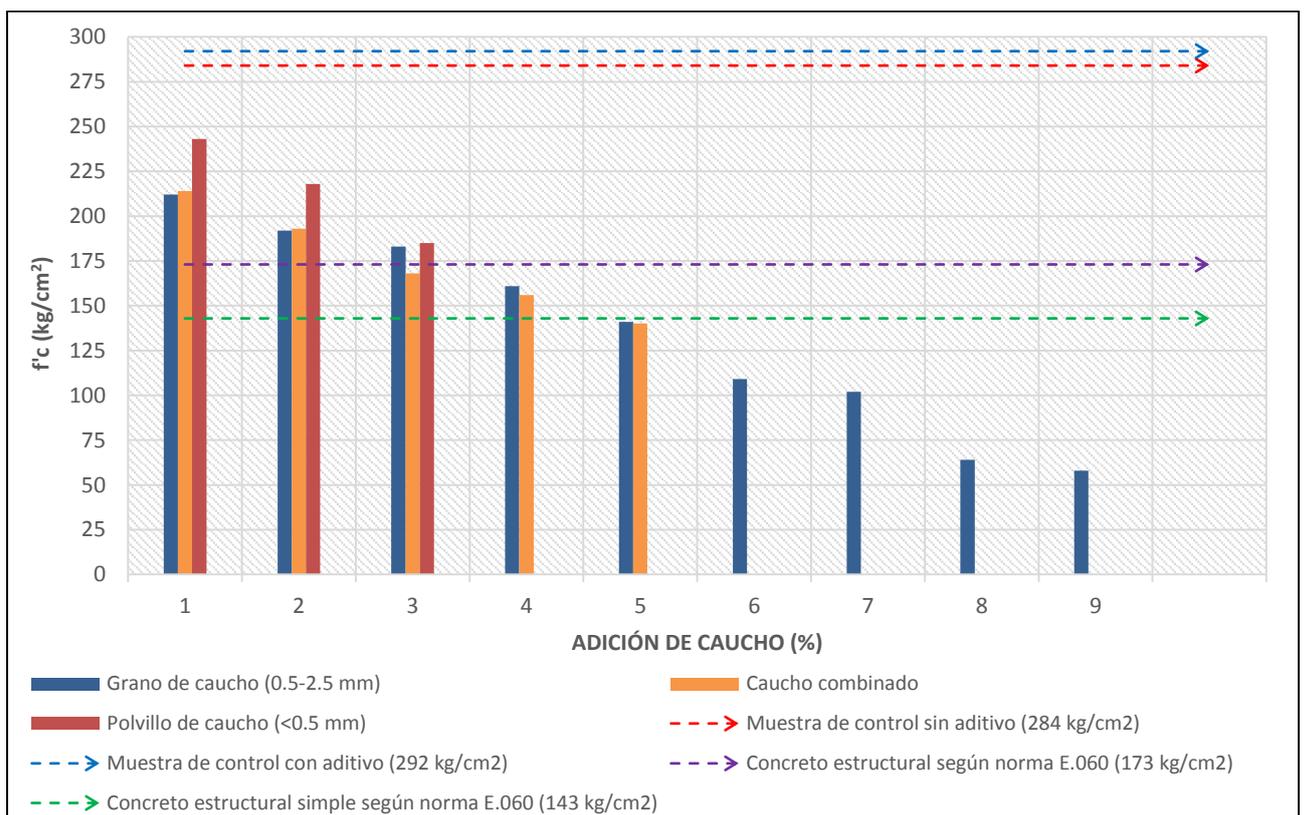


Figura 15: Resistencia a la compresión a 28 días del con concreto con adición de caucho.

No obstante a los 56 días de curado los resultados indican lo contrario ya que con la adición del 1% de polvillo de caucho resistencia se ve más afectada alcanzando un valor de 236 kg/cm² mientras que con el 1% de caucho granulado y combinado las resistencias disminuyen a 268 kg/cm² y 251 kg/cm² respectivamente, lo cual indicaría que a largo plazo el caucho de mayor tamaño presenta un mejor comportamiento puesto que afecta en menor medida la resistencia del concreto lo cual se aprecia en la figura 16.

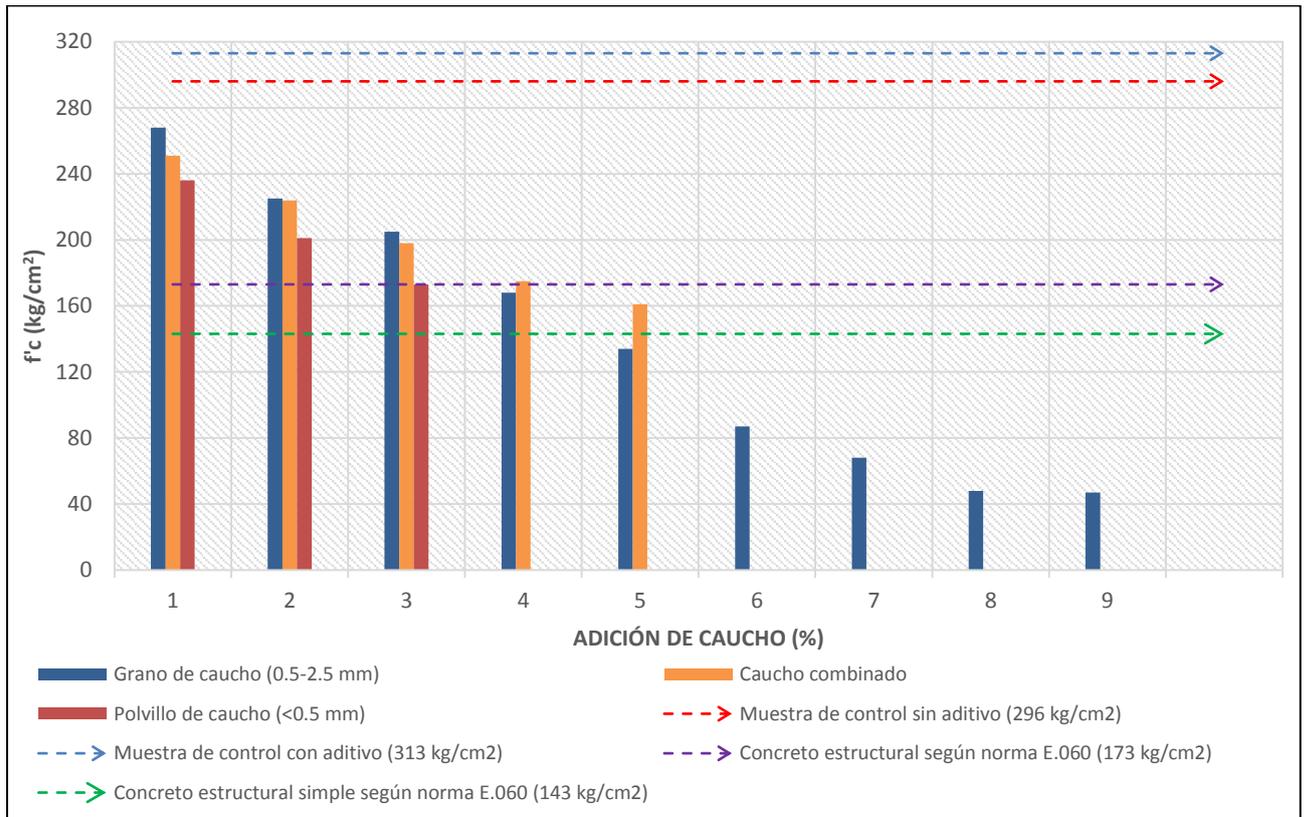


Figura 16: Resistencia a la compresión a 56 días del concreto con adición de caucho.

Para poder entender este comportamiento observaremos la figura 17 la cual nos indica la presencia de fisuras en el concreto con un 9% de adición de grano de caucho, cabe mencionar que este fenómeno se presentó a partir del día 34 en todas las probetas con una adición mayor al 5% de grano de caucho. Debido a que no se encontraron antecedentes que hablen al respecto se abarcará desde el punto de vista químico, comenzando por la alcalinidad del concreto, Torres Acosta nos dice que la alcalinidad del concreto se debe principalmente al hidróxido de calcio (CH) que se forma durante la hidratación de los silicatos (C₃S, C₂S, C₃A y C₄AF) y a los álcalis (sodio y potasio) que pueden estar incorporados como sulfatos en el clinker; estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros en valores de 12,6 y 14,3 lo cual es el extremo más alcalino en la escala de pH. Por otro lado Castro G. (2008) menciona que los tipos de caucho que más se utilizan en la fabricación de los neumáticos son: los cauchos naturales (NR), los polibutadienos (BR), los polisoprenos sintéticos (IR) y el estireno – butadieno (SBR), también menciona que de los cuatro antes mencionados el estireno – butadieno es el más utilizado por ser más económico, también suele usarse la combinación de caucho natural con el estireno – butadieno con lo cual se busca que el primero proporcione elasticidad al neumático mientras que el segundo una mayor estabilidad térmica.

El estireno – butadieno es un material elastomérico, el cual es un polímero que muestra comportamientos elásticos y como tal, experimenta deterioro mediante interacciones con el

ambiente. Otero (2012) menciona que la degradación polimérica es un proceso irreversible que deteriora las propiedades físicas del material, esta degradación es del tipo fisicoquímica y se da en diferentes ambientes; en la tabla 44 podemos observar la resistencia de los elastómeros en distintos ambientes, entre ellos vemos que el estireno – butadieno tiene poca resistencia a los medios alcalinos.

Tabla 44: Resistencia de los materiales elastoméricos en distintos ambientes. (Otero H., 2012)

Material	Ácidos diluidos	Agentes oxidantes	Álcalis	Aceites minerales y grasas	Agua y anticongelantes	Intemperie y ozono
Poliisopropeno (caucho natural)	Buena	Poca	Razonable	Poca	Buena	Razonable
Cloropreno (neopreno)	Buena	Poca	Buena	Buena	Razonable	Excelente
Nitrilo	Buena	Poca	Excelente	Excelente	Excelente	Razonable
Estireno - butadieno	Buena	Poca	Poca	Buena	Buena	Razonable
Caucho de silicona	-	-	Buena	Razonable	Razonable	Excelente

Es por esta razón que la alta alcalinidad del concreto puede ser uno de los factores que producen la degradación del caucho y se irá haciendo más notoria con el pasar de los días puesto que aparecerán fisuras en el espacio que las partículas ocuparon inicialmente, las cuales se irán uniendo conforme la cantidad de partículas en el concreto sea mayor, es por ello que este fenómeno no se observó superficialmente en el concreto con el 3% de adición de polvillo de caucho pero quizá internamente estas fisuras se presenten en mayor cantidad, de ahí el motivo de la baja resistencia del concreto con este tamaño de caucho en comparación al concreto con caucho granulado a los 56 días de curado.



Figura 17: Probeta a 56 días y 9% de adición de grano de caucho.

5.5.2. Deformación ASTM C469:

En la figura 18, observamos que la muestra patrón tiene una deformación promedio de 0.008 para una resistencia a la compresión de 284 kg/cm² pero disminuye a 0.007 al adicionar el 0.35% de aditivo superplastificante Sika ViscoCrete 3330 cuya resistencia a aumenta a 292 kg/cm²; esto quiere decir que mientras más resistente sea el concreto, menor será su capacidad de deformación. Por otro lado, debido a la capacidad de deformación que posee el caucho ante la presencia de cargas menores esta deformación aumenta a 0.029 para una resistencia de 212 kg/cm² y 0.020 con una resistencia de 214 kg/cm² al adicionar el 1% de caucho granulado y caucho combinado respectivamente, mientras que con el 1% de polvillo de caucho la deformación llega a 0.013 lo cual indica que mientras mayor sea el tamaño del caucho, el concreto tendrá una mejor capacidad de deformación.

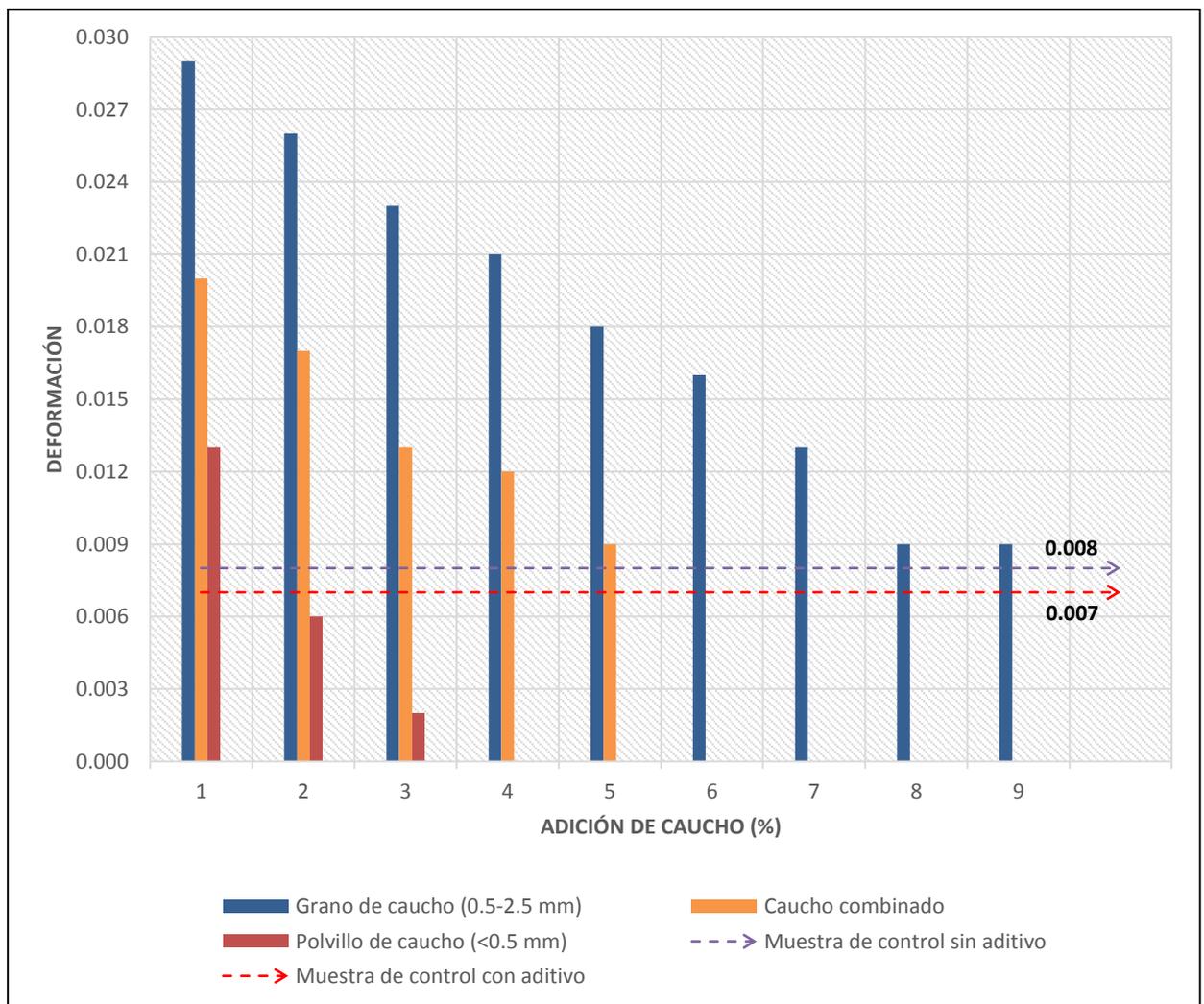


Figura 18: Deformación del concreto con adición de caucho.

CONCLUSIONES

- Se concluye que el concreto con adición de caucho no cumple con los requisitos establecidos para un concreto estructural, es por ello que el caucho no debe ser utilizado como adición en concretos con dichos fines, puesto que al evaluar la influencia del tamaño y porcentaje de caucho reciclado adicionado en la mezcla de concreto, se obtuvo que la mala interacción de estos materiales disminuye severamente se resistencia debido a la facilidad que tiene el caucho para deformarse cuando se aplican cargas; por otro lado, el caucho al ser un material más liviano aligera el concreto, vuelve a la mezcla más fluida y le brinda mayor deformabilidad.
- Respecto a los ensayos realizados a los agregados fino y grueso que se utilizaron en la elaboración de la mezcla patrón siguiendo las normas NTP y ASTM, se concluye que los resultados se encuentran dentro de los parámetros y límites establecidos en dichas normas para poder realizar la mezcla para el presente estudio.
- Se elaboró el diseño de mezcla siguiendo lo establecido en la norma ACI 211, el cual fue sometido a ensayos concluyendo que los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos establecidos en el diseño.
- No se pudo adicionar el 9% de caucho en todos los tamaños seleccionados; salvo para el grano grande, respecto del polvillo de caucho solo se llegó a un 3% y para el caucho combinado se alcanzó un 5%; esto se debe a la disminución de la trabajabilidad y consistencia que presentaba el concreto con cada porcentaje adicionado lo cual se observó en el ensayo de asentamiento donde se concluye que el volumen que ocupa este material en la mezcla afecta dichas características; esto se puede observar en una comparación entre el asentamiento de las mezclas con adición del 3% de grano de caucho, polvillo de caucho y la combinación de ambos, dándonos como resultado $8 \frac{3}{4}$ " , $2 \frac{3}{4}$ " y $5 \frac{3}{4}$ " respectivamente, es claro que el caucho en polvillo por ocupar más espacio en el concreto, por ello absorberá en mayor medida el agua de la mezcla debido al poder de absorción que posee dicho material alterando la relación agua - cemento establecida en el diseño; es por ello que la adición de este tipo de caucho no superó dicho porcentaje. Por otro lado la norma NTP 339.035 indica que se debe tener en cuenta que los concretos con un asentamiento superior a las 9" pueden no ser adecuadamente cohesivos, la cual es una propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y los agregados para mantenerse unidos, provocando así una segregación de los materiales que lo conforman; pero ello no se observó en el asentamiento obtenido con el 1% de adición del grano, polvillo y caucho combinado cuyos resultados fueron de $9 \frac{3}{4}$ " , $9 \frac{3}{4}$ " y $9 \frac{1}{2}$ ".
- Respecto del ensayo realizado para la evaluación del peso unitario, se concluye de igual modo que en el asentamiento que las partículas más finas de caucho disminuyen en mayor

medida el peso por metro cúbico del concreto; pero debido a su mayor volumen en la mezcla, la adición no puede exceder al 3%, por otro lado si lo que se desea es aligerar la mezcla de concreto, podemos utilizar el caucho combinado hasta en un 5%, porcentaje que nos permite tener una mezcla con buena trabajabilidad y consistencia, respecto del grano de caucho la cantidad máxima de adición tampoco debe exceder al 5%, a pesar de que la mezcla nos permita llegar hasta un 9% y tener aún un asentamiento aceptable, puesto que la resistencia a la compresión se ve severamente afectada.

- Del ensayo de resistencia a la compresión observamos que la adición de los tres tipos de caucho en la mezcla afectan la resistencia del concreto; en las probetas con 28 días de curado observamos que la disminución de su resistencia está relacionada con el tamaño del caucho; es decir, a medida que su tamaño aumente menor será la resistencia del concreto; por otro lado, en las probetas con 56 días de curado sucede lo contrario, observamos que las probetas con grano de caucho tienen una mejor resistencia en comparación de las otras.
- Respecto de la deformación que registraron los tipos de concreto al momento de soportar su carga máxima, se concluye que el concreto con adición de grano de caucho presenta una mayor capacidad de deformación, la cual disminuye a medida que el porcentaje de caucho en la mezcla aumenta; respecto del polvillo de caucho los resultados no se diferencian mucho de la mezcla patrón y en un punto intermedio tenemos el caucho combinado. Es por ello que comparando los resultados del ensayo a compresión y deformación, el grano de caucho presenta un mejor comportamiento, brindándole al concreto una mejor resistencia a la deformación y disminuyendo en menor medida su resistencia a la compresión en comparación de los otros tamaños.
- Mediante el estudio realizado por el método ANAVA y SPSS se concluye que la hipótesis de la investigación es válida.
- Se realizó una comparación de los costos del concreto estructural y del concreto con cada tipo de caucho adicionado, concluyendo que utilizar el caucho como adición respecto del volumen total del concreto incrementa su costo; cabe mencionar también que resulta más barato comprar el caucho triturado en lugar de elaborarlo directamente en obra, esto debido a que para fragmentar las llantas y separar lo que se utilizará de ellas demanda mucha mano de obra, contar con equipos para triturar el caucho es muy caro y requiere de mucho espacio; en un primer intento de producir el caucho se optó por utilizar un esmeril de banco de 6" para producir el polvillo de caucho, pero no es la manera adecuada puesto que la piedra de esmerilar se recalienta y las partículas de caucho quedan adheridas en ella.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una evaluación de la resistencia a la flexión del porcentaje más óptimo de caucho (4%) para el tamaño granulado (0.5 mm – 2.5 mm) en una viga estructural para dar a conocer sus momentos de inercia y flectores.
- El elastómero presenta buen comportamiento al impacto por tanto se recomienda evaluar al 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de grano grueso a 56 días de curado la resistencia al impacto para un concreto estructural.
- Se recomienda realizar ensayos a la compresión del concreto con edades de curado superiores a los 56 días y con un porcentaje mayor al 3% en polvillo de caucho y al 5% en caucho combinado, para lo cual se debe utilizar en la mezcla un porcentaje mayor al 0.35% de aditivo superplastificante, para así poder observar si las fisuras del concreto con adición de grano grueso mayor al 5% también se hacen presentes con los otros tamaños.
- Se recomienda realizar más investigaciones de este tipo con la finalidad de incentivar la creación de un marco legal para el tratamiento de los residuos de caucho por parte del Ministerio del Ambiente en Perú.
- Se recomienda realizar ensayos a la compresión para concretos estructurales con caucho adicionado y con caucho en reemplazo de los agregados fino y grueso, con la finalidad de hacer una comparación entre ambos casos y determinar en cuál resulta más favorable el empleo de este material.
- No se recomienda el uso del caucho para la elaboración de concreto con fines estructurales; es por ello que se recomienda enfocar su uso en la construcción de pavimentos.

REFERENCIAS

- Abad, J. A., y Romero, J. M. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas. Cuenca. Recuperado el 28 de abril de 2018
- ACI 318S-14. (2015). Requisitos de reglamento para concreto estructural. ACI, USA. Recuperado el 14 de Febrero de 2018, de https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf
- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Bravo, A., y Guevara, H. (2008). Estudio de concreto elaborado con caucho reciclado de diferentes tamaños de partículas. Caracas. Obtenido de: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/5047
- Almeida, N. G. (2011). Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón ambato. universidad técnica de ambato, ecuador. Recuperado el 19 de abril de 2018
- Argos (Dirección). (2016). El concreto autocompactante se impone con el innovador sistema de flujo inverso [Película]. Recuperado el 19 de abril de 2018, de <https://youtu.be/8EFZ4IVjgDg>
- ARQHYS. (2012). ARQHYS Arquitectura. Mármol y su construcción. Recuperado el 23 de abril de 2018, de <http://www.arqhys.com/construcciones/marmol-construccion.html>.
- Astorga, A., y Rivero, P. (2009). Definición de términos básicos. Centro de investigación de gestión integral de riesgos, Venezuela. Recuperado el 28 de Junio de 2018
- ASTM C29. Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice hueco en los agregados. Estados Unidos. Obtenido de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C29C29M-07-SP.htm>
- ASTM C566. Método de ensayo normalizado para medir el contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado. Estados Unidos. Obtenido de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C566-97R04-SP.htm>
- ASTM C127. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos. Estados Unidos. Obtenido de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C127-04-SP.htm>
- ASTM C128. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos. Estados Unidos. Obtenido de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C128-04a-SP.htm>
- ASTM C136. Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos. Estados Unidos. Obtenido de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C136C136M-05-SP.htm>

- Barra, M., Jordana, F., Royano, V., y Vázquez, E. (2009). Realización de ensayos de laboratorio de hormigón con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU). Escola Politècnica Superior D'Edificació de Barcelona. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6046/Hormig%C3%B3n_con_caucho.pdf
- Berrocal, J. C. (2013). Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería civil, Lima. Recuperado el 18 de Junio de 2018, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1395/1/berrocal_cj.pdf
- Cabrera, G. Y. (2013). Correlación entre resultados de resistencia de probetas cilíndricas de hormigón de 150x300mm y probetas de 100x200mm parr un rango entre 25 mpa y 40 mpa. universidad técnica particular de loja, loja. Recuperado el 19 de Marzo de 2018
- Cano, J. M. (07 de Mayo de 2015). Patrimonio, urbanismo y medio ambiente. Del aula a la red. Recuperado el 22 de Junio de 2018, de <http://blogs.upm.es/puma/2015/05/07/el-problema-de-la-arena/>
- Cantanhede, A., y Monge, G. (2002). Estado del arte del manejo de llantas usadas en Las Américas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima. Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd24/manejo.pdf>
- Castro, G. (2008). Materiales y compuestos para la industria del neumático. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires. Recuperado el 29 de Junio de 2018.
- CEMEX. (2013). Concretos Estructurales de Alto Comportamiento y las nuevas NTC DF. Mexico, Mexico.
- EFNARC. (2012). Especificaciones y Directrices para el hormigón autocompactable - HAC.
- Estrada R., J. C. (2016). Estudio de propiedades físico mecánicas y de durabilidad del hormigón con caucho. Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona. Recuperado el 18 de Junio de 2018
- Fernández, A. (27 de Febrero de 2014). Ingenieríaquímica.net. Recuperado el 29 de Junio de 2018, de <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/346-copolimeros-del-estireno-ii-copolimero-estireno-butadieno-y-copolimero-estireno-metacrilato-de-metilo>
- Fomasier, G., y Balzamo, H. (2011). Concreto Online. Obtenido de Concreto Online: http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=25234:hormigones-autocompactantes-estado-del-arte-en-argentina-&catid=17:articulos-tecnicos&Itemid=100171
- González, V. P., y Rodríguez, J. L. (2008). Influencia del porcentaje de microsílíce sobre la trabajabilidad en estado fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido de un concreto autocompactante. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Hernández, H. A., y Sánchez, H. D. (2015). Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto usando numáticos triturados como reemplazo del 15%, 25% y 35% del volumen del agregado

- fino para un concreto con fines de uso estructural. Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Recuperado el 25 de Junio de 2018
- Huincho E. (2011). Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland Tipo I. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- IMCYC. (s.f.). Concreto Autocompactado. Construcción & Tecnología. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/concreto.htm>
- INEI. (2017). Producción Nacional. Lima.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2011). El ABC del concreto autocompactable. Construcción y Tecnología.
- Mehta, K. (Octubre de 2000). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de <http://www.imcyc.com/revista/2000/octubre2000/concreto.htm>
- Miranda, J. L. (2015). Reacciones y sus mecanismos en la degradación de polímeros. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F. Recuperado el 19 de Junio de 2018, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18230/25-1-16842.pdf?sequence=1>
- Moujir, Y.F. y Castañeda, L. (2014). Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos. Colombia. Obtenido:http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o_aplicacion_concreto.pdf?sequence=1
- NTP 334.009. (2013). Cementos. Cemento Portland. Requisitos. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/20899803/334-009-Cemento>
- NTP 400.037. (s.f.). Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima.
- Otero, E. (2012). Corrosión y degradación de materiales (Segunda ed.). España: Síntesis S.A. Recuperado el 25 de Junio de 2018
- Palacios, L. P., y Toala, M. J. (2014 - 2015). Diseño de dos muros de contención para el proyecto ciudad casa de la cultura de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí 2014 - 2015. Tesis de grado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo. Recuperado el 29 de Junio de 2018, de <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/173/1/DISENO%20DE%20DOS%20MUROS%20DE%20CONTENCION%20PARA%20EL.pdf>
- Pasquel C., E. (1998). Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. Lima. Obtenido de: https://es.slideshare.net/cmanuel_locky/topicos-de-tecnologia-del-concreto-en-el-peru
- Peñaloza, C. R. (2015). Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural. Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2501/1/COMPORTAMIENTO%20MEC%C3%8>

1NICO%20DE%20UNA%20MEZCLA%20%20PARA%20CONCRETO%20RECICLADO%20USAN
DO%20NEUM%C3%81TICOS%20%20TRITURADOS%20COMO.pdf

- Pereda R. y Cubas P. (2015). Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico - económico con los asfaltos convencionales. De la Universidad Privada Antenor Orrego, La Libertad - Trujillo.
- Polanco, A. (2010). Manual de prácticas de laboratorio de concreto. Chihuahua.
- Pozo, E., Neyra, M., Vilchez, E., y Meléndez, M. (2007). Factores asociados a la infestación intradomiciliaria por *Aedes Aegypti* en el distrito de Tambogrande, Piura 2004. Lima. Recuperado el 26 de Mayo de 2018, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v24n2/a08v24n2.pdf>
- Puertas, F. (2008). Aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos y poliéteres. Cemento Hormigon, 18 - 28. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2515920>
- Rabanal, D. C., y Su, A. R. (Abril de 2017). Diseño de un Concreto Autocompactable. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Robayo, R., Matthey, P., y Delvasto, S. (2013). Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (cca) y reforzado con fibras de acero. Cali.
- Robayo, R., Matthey, P., Silva, Y., y Delvasto, S. (2014). Comportamiento en estados frescos y endurecido de un concreto autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de concreto reciclado. Cali.
- Robayo, R., Silva, Y., Delvasto, S., y Matthey, P. (2016). Obtención de concretos autocompactantes empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida,. Cali.
- Rojas, J. F. (2015). Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $f'c=210$ kg/cm² adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico. Univerisad Privada Antenor ORREGO, Trujillo. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/2040/1/RE_ING.CIVIL_JOSE.ROJAS_RESISTENCIA.DEUN.CONCRETO.VIDRIO.SODICO_DATOS_.PDF
- Rojas, C. R., y Quispe, R. (2017). Tecnologías a emplearse para minimizar el impacto ambiental causada por la explotación de la cantera "Andinos S.A.C.". Huancavelica. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/353327004/Trabajo-Del-Proyecto>.
- Rojas L. (2015). Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $F'c = 210$ kg/cm² adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico. De la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Romero, A. O. (2014). Diseño estructural y comparación de una edificación multifamiliar de 06 niveles usando vigas peraltadas convencionales y una edificación utilizando vigas preesforzadas en

- diversos ambientes. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Recuperado el 15 de Junio de 2018.
- Salvatierra, J. M. (2014). Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta - Ayacucho. universidad nacional de san cristóbal de huamanga - facultad de ingeniería química y metalurgia, Ayacucho. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1042/Tesis%20Q482_Sal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez, L. Y. (Diciembre de 2014). Efecto del Aditivo Superplastificante Sika Viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Sanchez M. y Tapia M. (2015). Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días. De la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Santos, A., Betancourt, J., y Villegas , N. (2012). Residuo de mármol como insumo en la construcción civil. Durango.
- Scielo. (24 de Agosto de 2012). Revista de la construcción. Obtenido de Revista de la construcción: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2012000200003
- Silva, O. J. (5 de Enero de 2017). Blog 360° en concreto. Recuperado el 13 de Junio de 2018, de <http://blog.360gradosenconcreto.com/se-produce-proceso-hidratacion-del-cemento/>
- Silva, Y., Burgos, D., Valencia, W., Delvasto, S., y Alvarez, J. (2013). Concretos autocompactantes a partir de lodo calcáreo de la industria papelera. Cali.
- Silva, Y., Delvasto, S., Matthey, P., y Robayo, R. (2015). Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición. Cali.
- Swaneck, J. (2011). Reciclado de neumáticos fuera de uso y su aplicación en la construcción. Tesis de título en Ingeniero, Universidad Mayor, Chile. Recuperado el 25 de Mayo de 2018, de <http://www.ingenews.cl/web/download/publicaciones/118.pdf>
- Tejeda, V. C. (2007). Estudio de las alternativas de aprovechamiento de las llantas en desuso. México. Obtenido de: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7142/RESENDIZ.pdf?sequence=1>
- Torres O., H. A. (2014). VALoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho. Bogotá. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/169>
- Tupa O., A. M. (2018). Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Recuperado el 18 de Mayo de 2018.

Valverde, C., Serrano, Y., y Domínguez, J. (abril de 2016). Nuevas tecnologías en el mundo de los aditivos superplastificantes para hormigón. Obras Urbanas, 38, 39, 40, 41 y 42. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de <https://www.obrasurbanas.es/revistas/revista-obras-urbanas-56/>

Venegas, L. C. (2016). Evaluación del comportamiento del grano de caucho de llanta reciclada en la producción de concreto para la empresa ARGOS. Fundación Universidad de América, BOGOTÁ. Recuperado el 15 de Junio de 2018.

APÉNDICE

APÉNDICE N.º 1. Resultados de caracterización de materiales para el concreto.

Tabla 45: Textura granulométrica del agregado grueso.

Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
% Gravas	98		% Gravas	99		% Gravas	99	
% Arena	1		% Arena	1		% Arena	1	
% Finos	1		% Finos	0		% Finos	0	
TMN	1/2"		TMN	1/2"		TMN	1/2"	
Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	0.00	100	1 1/2"	0.00	100	1 1/2"	0.00	100
3/4"	1.00	99	3/4"	0.00	100	3/4"	0.80	99
1/2"	35.10	65	1/2"	41.70	58	1/2"	47.30	53
3/8"	62.60	37	3/8"	68.40	32	3/8"	74.80	25
Nº4	98.60	1	Nº4	98.90	1	Nº4	99.60	1
Nº8	99.90	0	Nº8	99.90	0	Nº8	99.90	0
Nº200	100.00	-	Nº200	100.00	-	Nº200	100.00	-
Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-

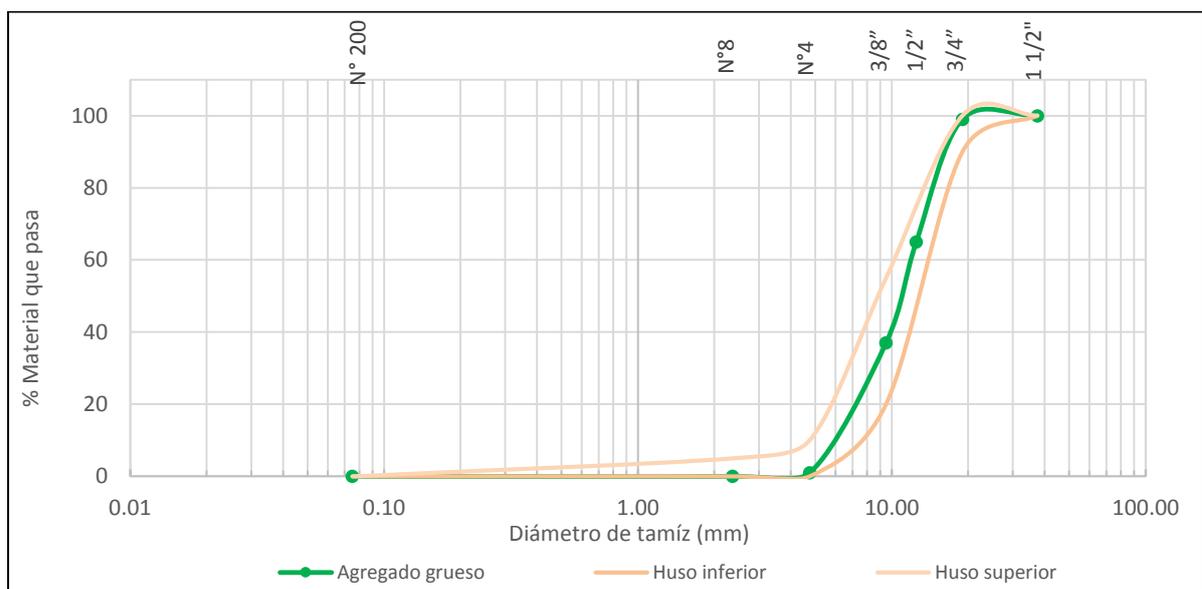


Figura 19: Curva granulométrica del agregado grueso.

Tabla 46: Textura granulométrica del agregado fino.

Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
% Gravas	3		% Gravas	3		% Gravas	4	
% Arena	96		% Arena	96		% Arena	95	
% Finos	1		% Finos	1		% Finos	1	
Módulo de finura	2.7		Módulo de finura	2.7		Módulo de finura	2.7	

Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	0.00	100	3/8"	0.00	100	3/8"	0.00	100
N°4	3.44	97	N°4	3.37	97	N°4	3.59	96
N°8	17.17	83	N°8	17.15	83	N°8	17.03	83
N°16	31.77	68	N°16	31.66	68	N°16	31.92	68
N°30	48.50	52	N°30	48.42	52	N°30	48.50	51
N°50	78.11	22	N°50	78.03	22	N°50	78.14	22
N°100	95.32	5	N°100	95.27	5	N°100	95.10	5
N°200	99.66	0	N°200	99.58	0	N°200	99.51	0
Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-

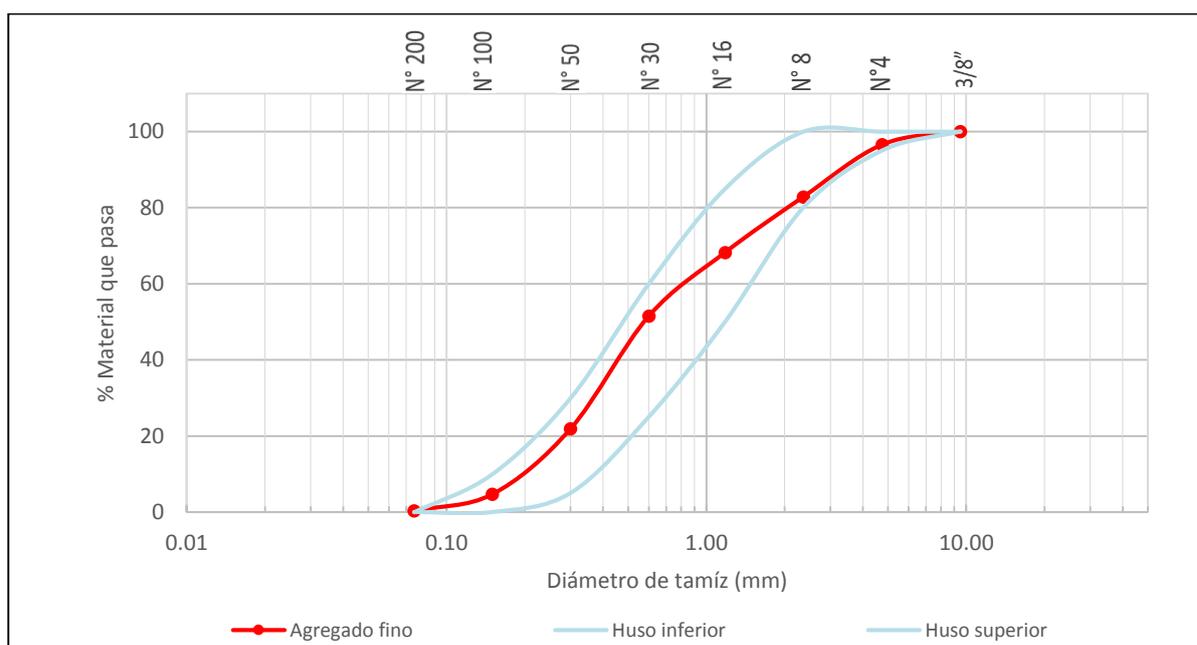


Figura 20: Curva granulométrica del agregado fino.

Tabla 47: Contenido de humedad del agregado grueso (AG) y fino (AF).

Código	Peso tara (g)	Peso tara + muestra natural (g)	Peso tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
						W
AG ₁	162	950	944	788	782	0.8
AG ₂	198	960	954	762	756	0.8
AG ₃	158	1030	1022	872	864	0.9
AF ₁	74	438	434	364	360	1.1
AF ₂	72	410	406	338	334	1.2
AF ₃	100	384	380	284	280	1.4

Tabla 48: Peso unitario del agregado grueso (AG) y fino (AF).

Código	Peso del molde (Kg)	Peso de la muestra suelta + molde (Kg)	Peso de la muestra compactada + molde (Kg)	Peso del molde con agua (kg)	Densidad del agua a 23°C (kg/m ³)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (Kg/m ³)	Peso unitario compactado (Kg/m ³)
AG ₁	1.48	23.280	25.100				1 553	1 683
AG ₂	1.48	23.250	24.980	15.48	997.5	0.01404	1 551	1 674
AG ₃	1.48	23.270	25.090				1 552	1 682
AF ₁	1.48	23.760	26.500				1 587	1 783
AF ₂	1.48	23.810	26.430	15.48	997.5	0.01404	1 591	1 778
AF ₃	1.48	23.720	26.520				1 585	1 784

Tabla 49: Peso específico y absorción del agregado grueso (AG).

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	B	C				
AG ₁	1984	2023	1245	2.55	2.60	2.68	1.9
AG ₂	2002	2047	1268	2.57	2.63	2.73	2.3
AG ₃	2075	2122	1317	2.58	2.64	2.74	2.3

Tabla 50: Peso específico y absorción del agregado fino (AF).

Código	Peso seco (g)	Peso fiola (g)	Peso fiola + muestra sss (g)	Peso de fiola + agua (g)	Peso fiola + agua + muestra (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	M	N	B	C				
AF ₁	464.66	159.33	633.11	658.15	952.63	2.59	2.64	2.73	2.0
AF ₂	470.74	155.26	635.59	653.38	953.53	2.61	2.67	2.76	2.0
AF ₃	467.87	157.48	634.63	655.29	952.98	2.61	2.66	2.75	2.0

Tabla 51: Equivalente de arena del agregado fino.

Código	Peso (gr.)	Altura (cm)		Equivalente de arena (%)
		Inicial	Final	
M1	120	32.20	29.05	90.22
M2	125	32.24	29.09	90.23
M3	122	32.22	29.07	90.22

APÉNDICE N.º 2. Diseño de mezcla por el método ACI 211 (American Concrete Institute).

Datos previos:

	Agregado fino	Agregado grueso
• Humedad:	1.2%	0.8%
• Absorción:	2.0%	2.2%
• Peso específico:	2.6 g/cm ³	2.6 g/cm ³
• Peso unitario suelto seco:	1 588 kg/m ³	1 552 kg/m ³
• Peso unitario compactado seco:	1 781 kg/m ³	1 680 kg/m ³
• Módulo de finura:	2.7	-
• Tamaño máximo nominal:	-	½"

Diseño de mezcla:

El siguiente diseño de mezcla se realizó para un concreto estructural cuya resistencia a la compresión fue de 280 kg/cm², los cálculos se realizaron en base a 1 m³ de concreto.

Factor de seguridad:

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c_r = f'c + Fs = 280 + 84 = 364 \text{ kg/cm}^2$$

Relación agua/cemento:

$$\frac{350 - 364}{350 - 400} = \frac{0.48 - R^{a/c}}{0.48 - 0.43}$$

$$R^{a/c} = 0.48 - 0.014 = 0.466$$

Volumen unitario de agua:

$$TMN = 1/2"$$

$$Slump = 3" - 4"$$

$$Vol. de agua = 216 \text{ l/m}^3$$

Cantidad de cemento:

$$Cemento = H_2O/R^{a/c}$$

$$Cemento = \frac{216}{0.466} = 463.52 \text{ kg/m}^3$$

Agregado grueso:

$$Piedra = Factor \times \text{Peso unitario compacto seco}$$

$$\emptyset \text{ piedra} = 1/2''$$

$$\text{Módulo de finura (MF)} = 2.70$$

$$\frac{2.60 - 2.70}{2.60 - 2.80} = \frac{0.57 - X}{0.57 - 0.55}$$

$$X = 0.56 \quad (\text{Factor})$$

$$Piedra = 0.56 \times 1680 = 940.80 \text{ kg/m}^3$$

Agregado fino:

$$\text{Vol. de piedra} = \frac{\text{piedra}}{\text{Peso específico}} = \frac{940.80}{2.6 \times 1000} = 0.36$$

$$\text{Vol. de Cemento} = \frac{463.52}{3.00 \times 1000} = 0.16$$

$$\text{Vol. de agua} = \frac{216}{1000} = 0.216$$

$$1 \text{ m}^3 = 0.38 + 0.16 + 0.216 + \text{Vol de arena} + 0.02$$

$$\text{Vol. de arena} = 0.224$$

$$\text{Arena} = \text{Peso específico} \times \text{volumen}$$

$$\text{Arena} = 2.6 \times 0.224 \times 1000 = 582.40 \text{ kg/m}^3$$

Resumen de datos:

- Peso de arena: 582.40 kg/m^3
- Peso de piedra: 940.80 kg/m^3
- Peso de cemento: 463.52 kg/m^3
- Agua: 216 l/m^3
- Corrección del peso de agregados por humedad:

$$\text{Piedra: } 940.80 \times \left(1 + \frac{0.80}{100}\right) = 948.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena: } 582.40 \times \left(1 + \frac{1.20}{100}\right) = 589.39 \text{ kg/m}^3$$

Contenidos de agua que absorbe el agregado:

Agua respecto del agregado:

$$\text{Peso corregido del agregado} \times \frac{\text{absorción} - \text{humedad}}{100}$$

$$\text{Piedra} = 940.80 \times \frac{2.20 - 0.80}{100} = 13.73 \text{ litros}$$

$$\text{Arena} = 582.40 \times \frac{2.00 - 1.20}{100} = 4.65 \text{ litros}$$

$$\text{Total de agua absorbida} = 13.73 + 4.65 = 18.38 \text{ litros}$$

Material corregido:

Piedra: 948.33 kg/m³

Arena: 589.39 kg/m³

Agua: 216 + 18.38 litros = 234.38 litros

Cemento: 463.52 kg/m³

Total: 2235.62 kg/m³

Tabla 52: Volumen de materiales por 1m³ para el concreto.

Componentes	Diseño de mezcla seco (kg/m ³)	Diseño de mezcla corregido (kg/m ³)	Volumen (%)
Relación a/c	0.46	0.50	-
Agregado fino	582.40	589.39	26.4
Agregado grueso	940.80	948.33	42.4
Cemento Extraforte lco	463.52	463.52	20.7
Agua	216.00	234.38	10.5
Total	2 202.72	2 235.62	100

Cantidad de caucho reciclado empleado en 1 m³:

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 1.00\% \times 2\ 235.62 \text{ Kg/m}^3 = 22.36 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 2.00\% \times 2\ 235.62 \text{ Kg/m}^3 = 44.71 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 3.00\% \times 2\ 235.62 \text{ Kg/m}^3 = 67.07 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 4.00\% \times 2\,235.62 \text{ Kg/m}^3 = 89.42 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 5.00\% \times 2\,235.62 \text{ Kg/m}^3 = 111.78 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 6.00\% \times 2\,235.62 \text{ Kg/m}^3 = 134.14 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 7.00\% \times 2\,235.62 \text{ Kg/m}^3 = 156.49 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 8.00\% \times 2\,235.62 \text{ Kg/m}^3 = 178.85 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de caucho reciclado} = 9.00\% \times 2\,235.62 \text{ Kg/m}^3 = 201.21 \text{ Kg/m}^3$$

Dosificación de los materiales por bolsa de cemento:

En vista de que en obra se utiliza un balde de 20 L. para medir el volumen de materiales que se utilizan para una bolsa de cemento para la mezcla, se proporciona la siguiente dosificación:

Tabla 53: Dosificación de concreto por bolsa de cemento.

Componentes	Unidad	Proporción
Cemento	Bolsa	1
Agua	Balde	1
Agregado grueso	Balde	4
Agregado fino	Blalde	3

APÉNDICE N.º 3. Resultados de ensayos del concreto en estado fresco y endurecido.

APÉNDICE N.º 3.1. Ensayo de asentamiento.

Tabla 54: Asentamiento del concreto con adición de caucho.

Caucho		Asentamiento (Pulgadas)								
Porcentaje (%)	Peso (gr)	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)			Polvillo de caucho (< 0.5 mm)			Caucho combinado		
0.00 (Sin aditivo)	0	3 ¼			3 ⅞			3 ¼		
0.00	0	6 ⅜			6 ½			6 ⅝		
1.00	155	9 ½	9 ¼	9 ⅜	9 ¾	9 ⅝	9 ⅞	9 ½	9 ⅝	9 ⅜
2.00	310	9	9 ¼	9 ⅞	7 ⅞	7 ⅝	7 ¾	9 ⅜	9 ¼	9 ⅞
3.00	465	8 ⅝	8 ¾	8 ⅞	2 ¼	2	2 ⅞	5	5 ⅞	5 ¼
4.00	620	8 ⅜	8 ⅞	8 ¼	-	-	-	3 ⅞	4	4 ⅞
5.00	775	7 ¼	7 ½	7 ¾	-	-	-	2 ⅜	2 ½	2 ⅝
6.00	930	6 ⅞	6 ⅝	6 ¾	-	-	-	-	-	-
7.00	1085	4 ¼	4 ¾	4 ½	-	-	-	-	-	-
8.00	1240	3 ⅞	4 ⅞	4	-	-	-	-	-	-
9.00	1395	3 ⅜	3 ½	3 ⅝	-	-	-	-	-	-

APÉNDICE N.º 3.2. Determinación del peso unitario del concreto.

Tabla 55: Peso unitario del concreto con adición de caucho.

Caucho (%)	Peso de probetas con caucho (kg)			Volumen del molde (m ³)	Peso unitario (kg/m ³)		
	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado		Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado
0.00	3.850	3.850	3.850	0.001571	2450.67	2450.67	2450.67
(Sin Aditivo)	3.850	3.850	3.850		2450.67	2450.67	2450.67
	3.840	3.840	3.840		2444.30	2444.30	2444.30
0.00	3.940	3.940	3.940		2507.96	2507.96	2507.96
	3.955	3.955	3.955		2517.50	2517.50	2517.50
	3.925	3.925	3.925		2498.41	2498.41	2498.41
1.00	3.930	3.780	3.825		2501.59	2406.11	2434.75
	3.905	3.805	3.835		2485.68	2422.02	2441.12
	3.915	3.795	3.835		2492.04	2415.66	2441.12
2.00	3.870	3.695	3.735		2463.40	2352.01	2377.47
	3.840	3.705	3.785		2444.30	2358.37	2409.29
	3.958	3.695	3.760		2472.95	2352.01	2393.38
3.00	3.795	3.645	3.680		2415.66	2320.18	2342.46
	3.805	3.655	3.650		2422.02	2326.54	2323.36
	3.790	3.630	3.650		2412.48	2310.63	2323.36
4.00	3.680	-	3.640		2342.46	-	2317.00
	3.675	-	3.630		2339.27	-	2310.63
	3.665	-	3.625		2332.91	-	2307.45

Caucho (%)	Peso de probetas con caucho (kg)			Volumen del molde (m ³)	Peso unitario (kg/m ³)		
	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado		Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	Caucho combinado
5.00	3.635	-	3.590	0.001571	2313.81	-	2285.17
	3.680	-	3.595		2342.46	-	2288.35
	3.675	-	3.635		2339.27	-	2313.81
6.00	3.620	-	-		2304.26	-	-
	3.610	-	-		2297.90	-	-
	3.615	-	-		2301.08	-	-
7.00	3.575	-	-		2275.62	-	-
	3.565	-	-		2269.26	-	-
	3.580	-	-		2278.80	-	-
8.00	3.520	-	-		2240.61	-	-
	3.555	-	-		2262.89	-	-
	3.575	-	-		2275.62	-	-
9.00	3.535	-	-	2250.16	-	-	
	3.495	-	-	2224.70	-	-	
	3.505	-	-	2231.06	-	-	

APÉNDICE N.º 3.3. Resistencia a la compresión.

Tabla 56: Resistencia a la compresión a los 28 días.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	
0.00 (Sin aditivo)	-	217.80	27.73	282.85	284.34	
		220.30	28.05	286.11		
		218.70	27.85	284.07		
0.00	-	224.00	28.52	290.90	291.96	
		224.00	28.52	290.90		
		226.40	28.83	294.07		
1.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	165.10	21.02	214.40	211.48	
		161.00	20.50	209.10		
		162.40	20.68	210.94		
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	186.80	23.78	242.56	242.73	
		189.80	24.17	246.53		
		184.10	23.44	239.09		
Caucho combinado		164.20	20.91	213.28	214.34	
		163.70	20.84	212.57		
		167.20	21.29	217.16		
2.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	146.50	18.65	190.23	192.03	
		146.40	18.64	190.13		
		150.70	19.19	195.74		
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	165.80	21.11	215.32	217.87	
		167.70	21.35	217.77		
		169.80	21.62	220.52		
	Caucho combinado		150.50	19.16	195.43	193.43
			148.40	18.89	192.68	
			148.00	18.84	192.17	

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
3.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	143.30	18.25	186.15	183.23
		140.00	17.83	181.87	
		139.90	17.81	181.66	
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	140.40	17.88	182.38	185.03
		145.30	18.50	188.70	
		141.70	18.04	184.01	
	Caucho combinado	128.70	16.39	167.18	167.76
		131.70	16.77	171.05	
		127.10	16.18	165.04	
4.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	125.70	16.00	163.20	160.62
		123.90	15.78	160.96	
		121.40	15.46	157.69	
	Caucho combinado	121.10	15.42	157.28	155.58
		118.50	15.09	153.92	
		119.80	15.25	155.55	
5.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	110.90	14.12	144.02	140.86
		108.20	13.78	140.56	
		106.30	13.53	138.01	
	Caucho combinado	106.40	13.55	138.21	139.98
		108.90	13.87	141.47	
		108.00	13.75	140.25	
6.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	83.60	10.64	108.53	109.04
		82.90	10.56	107.71	
		85.40	10.87	110.87	

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
7.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	77.90	9.92	101.18	101.59
		77.30	9.84	100.37	
		79.50	10.12	103.22	
8.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	48.20	6.14	62.63	63.51
		50.30	6.40	65.28	
		48.20	6.14	62.63	
9.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	42.00	5.35	54.57	57.32
		43.90	5.59	57.02	
		46.50	5.92	60.38	

Tabla 57: Resistencia a la compresión a los 56 días.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
0.00 (Sin aditivo)	-	227.90	29.02	296.00	296.38
		230.30	29.32	299.06	
		226.40	28.83	294.07	
0.00	-	240.30	30.60	312.12	312.56
		242.70	30.90	315.18	
		239.00	30.43	310.39	
1.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	204.10	25.99	265.10	268.36
		210.00	26.74	272.75	
		205.80	26.20	267.24	
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	181.70	23.13	235.93	235.96
		179.10	22.80	232.56	
		184.30	23.47	239.39	
	Caucho combinado	196.20	24.98	254.80	250.89
		190.60	24.27	247.55	
		192.70	24.54	250.31	
2.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	173.90	22.14	225.83	224.50
		173.20	22.05	224.91	
		171.50	21.84	222.77	
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	153.90	19.60	199.92	200.46
		152.90	19.47	198.59	
		156.20	19.89	202.88	
	Caucho combinado	169.50	21.58	220.12	223.48
		175.40	22.33	227.77	
		171.40	21.82	222.56	

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
3.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	156.30	19.90	202.98	204.78
		157.30	20.03	204.31	
		159.40	20.30	207.06	
	Polvillo de caucho (< 0.5 mm)	130.70	16.64	169.73	172.86
		132.90	16.92	172.58	
		135.70	17.28	176.26	
	Caucho combinado	155.70	19.82	202.16	197.57
		151.30	19.26	196.45	
		149.50	19.03	194.11	
4.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	131.50	16.74	170.75	168.03
		127.10	16.18	165.04	
		129.60	16.50	168.30	
	Caucho combinado	137.00	17.44	177.89	174.52
		133.90	17.05	173.91	
		132.30	16.84	171.77	
5.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	101.90	12.97	132.29	133.75
		106.50	13.56	138.31	
		100.60	12.81	130.66	
	Caucho combinado	123.60	15.74	160.55	160.45
		125.50	15.98	163.00	
		121.50	15.47	157.79	
6.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	68.40	8.71	88.79	86.89
		68.00	8.66	88.33	
		64.30	8.19	83.54	

Caucho (%)	Tamaño de caucho	Fuerza (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
7.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	51.10	6.51	66.39	68.23
		52.80	6.72	68.54	
		53.70	6.84	69.77	
8.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	35.50	4.52	46.08	48.19
		38.50	4.90	50.02	
		37.30	4.75	48.48	
9.00	Grano de caucho (0.5 – 2.5 mm)	36.50	4.65	47.43	47.15
		36.70	4.67	47.60	
		35.70	4.55	46.42	

APÉNDICE N.º 3.4. Deformación del concreto.

Tabla 58: Deformación y módulo de elasticidad del concreto.

Caucho (%)	Tamaño de caucho	f _c (MPa)	Peso unitario (kg/m ³)	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Desplazamiento (cm)	Deformación	Módulo de elasticidad (MPa)
0 (sin aditivo)	-	29.02	2450.67	10.00	10.10	0.10	0.010	28102.27
		29.32	2450.67	10.00	10.05	0.05	0.005	28247.16
		28.83	2444.30	10.00	10.10	0.10	0.010	27901.37
0	-	30.60	2507.96	10.00	10.07	0.07	0.007	29875.15
		30.90	2517.50	10.00	10.04	0.04	0.004	30192.70
		30.43	2498.41	10.00	10.10	0.10	0.010	29622.23
1	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	25.99	2501.59	10.00	10.29	0.29	0.029	27428.21
		26.74	2485.68	10.00	10.30	0.30	0.030	27556.15
		26.20	2492.04	10.00	10.29	0.29	0.029	27381.15
	Polvillo de caucho (< 0.05 mm)	23.13	2406.11	10.00	10.13	0.13	0.013	24408.05
		22.80	2422.02	10.00	10.12	0.12	0.012	24473.86
		23.47	2415.66	10.00	10.15	0.15	0.015	24732.90
	Caucho combinado	24.98	2434.75	10.00	10.21	0.21	0.021	25819.61
		24.27	2441.12	10.00	10.20	0.20	0.020	25549.57
		24.54	2441.12	10.00	10.21	0.21	0.021	25691.60
2	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	22.14	2463.40	10.00	10.27	0.27	0.027	24737.83
		22.05	2444.30	10.00	10.27	0.27	0.027	24400.83
		21.84	2472.95	10.00	10.26	0.26	0.026	24712.67
	Polvillo de caucho (< 0.05 mm)	19.60	2352.01	10.00	10.06	0.06	0.005	21714.77
		19.47	2358.37	10.00	10.06	0.06	0.005	21730.26
		19.89	2352.01	10.00	10.08	0.08	0.007	21874.93
	Caucho combinado	21.58	2377.47	10.00	10.16	0.16	0.015	23156.38
		22.33	2409.29	10.00	10.18	0.18	0.018	24029.81
		21.82	2393.38	10.00	10.17	0.17	0.017	23518.49

Caucho (%)	Tamaño de caucho	f _c (MPa)	Peso unitario (kg/m ³)	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Desplazamiento (cm)	Deformación	Módulo de elasticidad (MPa)	
3	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	19.90	2415.66	10.00	10.23	0.23	0.023	22774.49	
		20.03	2422.02	10.00	10.23	0.23	0.023	22939.28	
		20.30	2412.48	10.00	10.24	0.24	0.024	22956.84	
	Polvillo de caucho (< 0.05 mm)	16.64	2320.18	10.00	10.02	0.02	0.002	19603.35	
		16.92	2326.54	10.00	10.02	0.02	0.002	19848.58	
		17.28	2310.63	10.00	10.03	0.03	0.003	19853.67	
	Caucho combinado	19.82	2342.46	10.00	10.14	0.14	0.014	21703.22	
		19.26	2323.36	10.00	10.14	0.14	0.014	21133.39	
		19.03	2323.36	10.00	10.13	0.13	0.013	21007.15	
	4	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	16.74	2342.46	10.00	10.22	0.22	0.022	19946.05
			16.18	2339.27	10.00	10.21	0.21	0.021	19569.67
			16.50	2332.91	10.00	10.21	0.21	0.021	19681.46
Caucho combinado		17.44	2317.00	10.00	10.12	0.12	0.012	20027.80	
		17.05	2310.63	10.00	10.12	0.12	0.012	19720.88	
		16.84	2307.45	10.00	10.12	0.12	0.012	19558.72	
5	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	12.97	2313.81	10.00	10.18	0.18	0.018	17235.48	
		13.56	2342.46	10.00	10.19	0.19	0.019	17951.61	
		12.81	2339.27	10.00	10.18	0.18	0.018	17412.46	
	Caucho combinado	15.74	2285.17	10.00	10.11	0.11	0.011	18635.94	
		15.98	2288.35	10.00	10.09	0.09	0.009	18816.80	
		15.47	2313.81	10.00	10.08	0.08	0.008	18823.47	
6	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	8.70	2304.26	10.00	10.17	0.17	0.017	14032.91	
		8.66	2297.90	10.00	10.16	0.16	0.016	13938.60	
		8.19	2301.08	10.00	10.15	0.15	0.015	13583.55	
7	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	6.51	2275.62	10.00	10.12	0.12	0.012	11908.84	
		6.72	2269.26	10.00	10.13	0.13	0.013	12049.44	
		6.84	2278.80	10.00	10.13	0.13	0.013	12233.82	

Caucho (%)	Tamaño de caucho	f _c (MPa)	Peso unitario (kg/m ³)	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Desplazamiento (cm)	Deformación	Módulo de elasticidad (MPa)
8	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	4.52	2240.61	10.00	10.09	0.09	0.009	9693.35
		4.90	2262.89	10.00	10.10	0.10	0.010	10250.27
		4.75	2275.62	10.00	10.10	0.10	0.010	10176.52
9	Grano de caucho (0.05 – 2.5 mm)	4.65	2250.16	10.00	10.09	0.09	0.009	9897.26
		4.67	2224.70	10.00	10.10	0.10	0.010	9747.18
		4.55	2231.06	10.00	10.09	0.09	0.009	9666.91

APÉNDICE N.º 4. Análisis de costos del concreto estructural con adición de caucho.

El análisis de precios unitarios se realizó en base al 3% de adición de caucho en los tres tamaños y del 0.35% de aditivo superplastificante en la mezcla para poder hacer una comparación con el concreto estructural convencional.

Los precios de los materiales y equipos han sido obtenidos a través de internet y las cuadrillas han sido obtenidas de la revista CAPECO.

Tabla 59: Análisis de costos del concreto estructural.

CONCRETO PARA PLACAS DE CONCRETO ARMADO, f'c= 280 kg/cm ²							
Partida:							
Rendimiento:	10.00	m ³ /día	Equipo:	10.00	m ³ /día	Costo unitario por m³ :	S/. 396.08
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Mano de obra							
Capataz	hh	0.2	0.16	15.42	2.47		
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28		
Oficial	hh	2	1.6000	10.43	16.69		
Peón	hh	10	8.000	9.43	75.44		
						104.88	
Materiales							
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.6100	42.37	25.85		
Arena gruesa	m3		0.3700	33.90	12.54		
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bol		10.9100	18.70	204.02		
Agua	m3		0.2340	7.00	1.64		
						244.05	
Equipos y herramientas							
Herramientas manuales	%mo		3.0000	104.88	3.15		
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00		
Vibrador de 2", 4 HP	hm	2.0000	1.6000	15.00	24.00		
						47.15	

Tabla 60: Costo del concreto estructural con adición de aditivo superplastificante.

CONCRETO PARA PLACAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE, f'c= 280 kg/cm²							
Partida:							
Rendimiento:	10.00	m ³ /día	Equipo:	10.00	m ³ /día	Costo unitario por m³ :	S/. 355.79
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Mano de obra							
Capataz	hh	0.2	0.16	15.42	2.47		
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28		
Peón	hh	6	4.8000	9.43	45.27		
					58.02		
Materiales							
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.6100	42.37	25.85		
Arena gruesa	m3		0.3700	33.90	12.54		
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bol		10.9100	18.70	204.02		
Agua	m3		0.2340	7.00	1.64		
Aditivo superplastificante (Balde 20L)	Balde		0.1230	260.00	31.98		
					276.03		
Equipos y herramientas							
Herramientas manuales	%mo		3.0000	58.02	1.74		
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00		
					21.74		

Tabla 61: Costo del concreto estructural con superplastificante y grano de caucho.

Partida: **CONCRETO PARA PLACAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y DE ADICIÓN DE GRANO DE CAUCHO, f'c= 280 kg/cm²**

Rendimiento: 10.00 m ³ /día		Equipo: 10.00 m ³ /día		Costo unitario por m ³ : S/. 416.15	
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.2	0.16	15.42	2.47
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28
Peón	hh	6	4.8000	9.43	45.27
					58.02
Materiales					
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.6100	42.37	25.85
Arena gruesa	m3		0.3700	33.90	12.54
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bol		10.9100	18.70	204.02
Agua	m3		0.2340	7.00	1.64
Aditivo superplastificante (Balde 20L)	Balde		0.1230	260.00	31.98
Grano de caucho	kg		67.07	0.90	60.36
					336.39
Equipos y herramientas					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	58.02	1.74
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00
					21.74

Tabla 62: Costo del concreto estructural con superplastificante y polvillo de caucho.

Partida: **CONCRETO PARA PLACAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y ADICIÓN DE POLVILLO DE CAUCHO, f'c= 280 kg/cm²**

Rendimiento: 10.00 m ³ /día		Equipo: 10.00 m ³ /día		Costo unitario por m³ : S/. 540.07	
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.2	0.16	15.42	2.47
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28
Oficial	hh	2	1.6000	10.43	16.69
Peón	hh	10	8.000	9.43	75.44
					104.88
Materiales					
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.6100	42.37	25.85
Arena gruesa	m3		0.3700	33.90	12.54
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bol		10.9100	18.70	204.02
Agua	m3		0.2340	7.00	1.64
Aditivo superplastificante (Balde 20L)	Balde		0.1230	260.00	31.98
Polvillo de caucho	kg		67.07	1.67	112.01
					388.04
Equipos y herramientas					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	104.88	3.15
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00
Vibrador de 2", 4 HP	hm	2.0000	1.6000	15.00	24.00
					47.15

Tabla 63: Costo del concreto estructural con superplastificante y caucho combinado.

Partida: **CONCRETO PARA PLACAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y ADICIÓN DE CAUCHO COMBINADO, f'c= 280 kg/cm²**

Rendimiento: 10.00 m ³ /día		Equipo: 10.00 m ³ /día		Costo unitario por m³ : S/. 440.97	
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.2	0.16	15.42	2.47
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28
Peón	hh	6	4.8000	9.43	45.27
					58.02
Materiales					
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.6100	42.37	25.85
Arena gruesa	m3		0.3700	33.90	12.54
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bol		10.9100	18.70	204.02
Agua	m3		0.2340	7.00	1.64
Aditivo superplastificante (Balde 20L)	Balde		0.1230	260.00	31.98
Grano de caucho	kg		33.535	0.90	30.18
Polvillo de caucho	kg		33.535	1.67	56.00
					362.21
Equipos y herramientas					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	58.02	1.74
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00
					20.74

APÉNDICE N.º 5. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto.

Para aprobar la normalidad de los datos se empleará el programa SPSS.

Para la elección de la prueba estadística de la validación de hipótesis, se toma en cuenta que el estudio es transversal porque se está evaluando a dos grupos en un mismo momento en donde dentro de estas variables independientes hay más de dos grupos.

La variable aleatoria es numérica estando dentro de pruebas paramétricas por lo tanto se realizara el ANAVA.

Procesamiento estadístico de ensayos del concreto en estado fresco.

1. Datos Previos.

1.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable porcentaje de caucho (A)

$$G.L. = 3 - 1 = 2$$

- Grados de libertad de la variable tipos de caucho (B):

$$G.L. = 3 - 1 = 2$$

- Grados de libertad de las variables (A) x (B)

$$G.L. = 2 \times 2 = 4$$

- Grados de libertad del error.

$$G.L. = (3 \times 3) \times (3 - 1) = 18$$

1.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % de confianza ($\alpha = 0.05$)

1.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$; donde:

F_0 se obtiene experimentalmente y F_{α, v_1, v_2} se obtiene de tablas (tabla 64)

Así mismo: $v_1 = a - 1$, $v_2 = a(n - 1)$, donde "a" es el número de niveles y "n" es el número de réplicas.

Cálculo del F teórico:

La hipótesis alterna (H_1) se acepta si $F_0 > F_{0.05, 2, 18} = 3.55$, si $F_0 > F_{0.05, 2, 18} = 3.55$, si

$$F_0 > F_{0.05, 4, 18} = 2.93$$

Tabla 64: Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v_1, v_2}$

V ₂ \ V ₁	Grados de libertad del numerador (V ₁)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

- **Compresión a 28 días:**

Hipótesis:

Hipótesis alterna → H_1 : La adición de caucho reciclado disminuye la resistencia a la compresión a 28 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Hipótesis nula → H_0 : La adición de caucho reciclado no disminuye la resistencia a la compresión a 28 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

SPSS – Shapiro Wilk:

Tabla 65: Normalidad de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Tipo de caucho	Normalidad	α	Cantidad de caucho (%)	Normalidad	α
Grano	0.591	> 0.05	1	0.158	> 0.05
Polvillo	0.848	> 0.05	2	0.092	> 0.05
Combinado	0.887	> 0.05	3	0.181	> 0.05

Conclusión: Las variables se comportan normalmente.

Tabla 66: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del $f'c$ a 28 días.

Tipo de caucho	Dosificación (%)	Compresión a 28 días (kg/cm ²)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Grano de caucho	1	214.40	209.10	210.94	211.48
	2	190.23	190.13	195.74	192.03
	3	186.15	181.87	181.66	183.23
Polvillo de caucho	1	242.56	246.53	239.09	242.73
	2	215.32	217.77	220.52	217.87
	3	182.38	188.70	184.01	185.03
Caucho combinado	1	213.28	212.57	217.16	214.34
	2	195.43	192.68	192.17	193.43
	3	167.18	171.05	165.04	167.76

Análisis de varianza:

Tabla 67: Estimación de Y_j y Y_i para el $f'c$ a 28 días.

Tipo de caucho	Unidades	Dosificación (%)			Y_j
		1%	2%	3%	
Grano de caucho	Kg/cm ²	634.44	576.10	549.68	1760.22
Polvillo de caucho		728.18	653.61	555.09	1936.88
Caucho combinado		643.01	580.28	503.27	1726.56
Y_i		2005.63	1809.99	1608.04	5423.66

Suma de cuadrados:

Suma de cuadrados para el factor A:

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = \frac{(2005.63^2 + 1809.99^2 + 1608.04^2)}{3 \times 3} - \frac{5423.66^2}{3 \times 3 \times 3} = 8782.84$$

Suma de cuadrados para el factor B:

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = \frac{(1760.22^2 + 1936.88^2 + 1726.56^2)}{3 \times 3} - \frac{5423.66^2}{3 \times 3 \times 3} = 2836.16$$

Suma de cuadrados subtotales:

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = \frac{(634.44^2 + 576.10^2 + 549.68^2 \dots + 580.28^2 + 503.27^2)}{3} - \frac{5423.66^2}{3 \times 3 \times 3}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 12381.24$$

Suma de cuadrados de la interacción de factores (A x B):

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 12381.24 - 8782.84 - 2836.16 = 762.24$$

Suma de cuadrados totales:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_T = (214.40^2 + 209.10^2 + 210.94^2 \dots + 165.04^2 + 167.76^2) - \frac{5423.66^2}{3 \times 3 \times 3}$$

$$SS_T = 12528.88$$

Suma de cuadrados del error:

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 12528.88 - 8782.84 - 2836.16 - 762.24 = 147.64$$

Media de cuadrados:

Media de los cuadrados del factor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{8782.84}{3 - 1} = 4391.42$$

Media de los cuadrados del factor B:

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{2836.16}{3 - 1} = 1418.08$$

Media de la interacción de factores A x B:

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1) \times (b - 1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{762.24}{(3 - 1) \times (3 - 1)} = 190.56$$

Media de los cuadrados del error:

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab) \times (n - 1)}$$

$$MS_E = \frac{147.64}{(3 \times 3) (3 - 1)} = 8.20$$

F₀ experimental:

Cálculo del F₀ (A):

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{4391.42}{8.20} = 535.54$$

Cálculo del F₀ (B):

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{1418.08}{8.20} = 172.94$$

Cálculo del F_0 (A x B):

$$F_0(AXB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

$$F_0(AXB) = \frac{190.56}{8.20} = 23.24$$

Tabla 68: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del f'c a 28 días.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F _{EXP.}	F _{TEÓRICO}
A	2	8782.84	4391.42	535.39	3.55
B	2	2836.16	1418.08	172.89	3.55
A X B	4	762.24	190.56	23.23	2.93
Error	18	147.60	8.20	-	-

Como el F_{EXPERIMENTAL} > F_{TEÓRICO}

Se acepta: **H₁**: La adición de caucho reciclado disminuye la resistencia a la compresión a 28 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Y se rechaza: **H₀**: La adición de caucho reciclado no disminuye la resistencia a la compresión a 28 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

- Compresión a 56 días:

Hipótesis:

Hipótesis alterna → H₁: La adición de caucho reciclado disminuye la resistencia a la compresión a 56 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Hipótesis nula → H₀: La adición de caucho reciclado no disminuye la resistencia a la compresión a 56 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

SPSS – Shapiro Wilk:

Tabla 69: Normalidad de la resistencia a la compresión a los 56 días.

Tipo de caucho	Normalidad	α	Cantidad de caucho (%)	Normalidad	α
Grano	0.588	> 0.05	1	0.914	> 0.05
Polvillo	0.862	> 0.05	2	0.072	> 0.05
Combinado	0.969	> 0.05	3	0.415	> 0.05

Conclusión: Las variables se comportan normalmente.

Tabla 70: Cálculo de la $F_{\text{experimental}}$ para los valores del $f'c$ a 56 días.

Tipo de caucho	Dosificación (%)	Compresión a 56 días (kg/cm ²)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Grano de caucho	1	265.10	272.75	267.24	268.36
	2	225.83	224.91	222.77	224.50
	3	202.98	204.31	207.06	204.78
Polvillo de caucho	1	235.93	232.56	239.39	235.96
	2	199.92	198.59	202.88	200.46
	3	169.73	172.58	176.26	172.86
Caucho combinado	1	254.80	247.55	250.31	250.89
	2	220.12	227.77	222.56	223.48
	3	202.16	196.45	194.11	197.57

Análisis de varianza:

Tabla 71: Estimación de Y_j y Y_i para el $f'c$ a 56 días.

Tipo de caucho	Unidades	Dosificación (%)			Y_j
		1%	2%	3%	
Grano de caucho	kg/cm ²	805.09	673.51	614.53	2092.95
Polvillo de caucho		707.88	601.39	518.57	1827.84
Caucho combinado		752.66	670.45	592.72	2015.83
Y_i		2265.63	1945.35	1725.64	5936.62

Tabla 72: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del $f'c$ a los 56 días.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	$F_{\text{EXP.}}$	$F_{\text{TEÓRICO}}$
A	2	16386.70	8193.35	773.11	3.55
B	2	4132.26	2066.13	194.96	3.55
A X B	4	237.05	59.26	5.59	2.93
Error	18	190.80	10.60	-	-

Como el $F_{\text{EXPERIMENTAL}} > F_{\text{TEÓRICO}}$

Se acepta: H_1 : La adición de caucho reciclado disminuye la resistencia a la compresión a 56 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Y se rechaza H_0 : La adición de caucho reciclado no disminuye la resistencia a la compresión a 56 días de un concreto estructural, Trujillo 2018.

- **Asentamiento:**

Hipótesis:

Hipótesis alterna $\rightarrow H_1$: La adición de caucho reciclado disminuye el asentamiento de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Hipótesis nula $\rightarrow H_0$: La adición de caucho reciclado no disminuye el asentamiento de un concreto estructural, Trujillo 2018.

SPSS – Shapiro Wilk:

Tabla 73: Normalidad para el asentamiento del concreto con caucho.

Tipo de caucho	Normalidad	α	Cantidad de caucho (%)	Normalidad	α
Grano	0.780	> 0.05	1	0.637	> 0.05
Polvillo	0.488	> 0.05	2	0.144	> 0.05
Combinado	0.097	> 0.05	3	0.896	> 0.05

Conclusión: Las variables se comportan normalmente.

Tabla 74: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del asentamiento.

Tipo de caucho	Dosificación (%)	Asentamiento (pulgadas)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Grano de caucho	1	9.500	9.250	9.375	9.375
	2	9.000	9.250	9.125	9.125
	3	8.625	8.750	8.875	8.750
Polvillo de caucho	1	9.750	9.625	9.875	9.750
	2	7.875	7.625	7.750	7.750
	3	2.250	2.000	2.125	2.125
Caucho combinado	1	9.500	9.625	9.375	9.500
	2	9.375	9.250	9.125	9.250
	3	5.000	5.125	5.250	5.125

Análisis de varianza:

Tabla 75: Estimación de Y_j y Y_i para el asentamiento.

Tipo de caucho	Unidades	Dosificación (%)			Y_j
		1%	2%	3%	
Grano de caucho	Pulg.	28.125	27.375	26.250	81.750
Polvillo de caucho		29.250	23.250	5.375	57.875
Caucho combinado		28.500	27.750	15.375	71.625
Y_i		85.875	78.375	47.000	211.25

Tabla 76: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del asentamiento.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F _{EXP.}	F _{TEÓRICO}
A	2	95.42	47.26	897.37	3.55
B	2	31.91	15.96	302.98	3.55
A X B	4	45.13	11.25	214.26	2.93
Error	18	0.95	0.0527	-	-

Como el $F_{EXPERIMENTAL} > F_{TEÓRICO}$

Se acepta: H_1 : La adición de caucho reciclado disminuye el asentamiento de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Y se rechaza H_0 : La adición de caucho reciclado no disminuye el asentamiento de un concreto estructural, Trujillo 2018.

- **Peso unitario:**

Hipótesis:

Hipótesis alterna $\rightarrow H_1$: La adición de caucho reciclado disminuye el peso unitario de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Hipótesis nula $\rightarrow H_0$: La adición de caucho reciclado no disminuye el peso unitario de un concreto estructural, Trujillo 2018.

SPSS – Shapiro Wilk:

Tabla 77: Normalidad para el peso unitario del concreto con caucho.

Tipo de caucho	Normalidad	α	Cantidad de caucho (%)	Normalidad	α
Grano	0.281	> 0.05	1	0.583	> 0.05
Polvillo	0.704	> 0.05	2	0.581	> 0.05
Combinado	0.828	> 0.05	3	0.196	> 0.05

Conclusión: Las variables se comportan normalmente.

Tabla 78: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores del peso unitario.

Tipo de caucho	Dosificación (%)	Peso unitario (kg/m ³)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Grano de caucho	1	2501.59	2485.68	2492.04	2493.10
	2	2463.40	2444.30	2472.95	2460.22
	3	2415.66	2422.02	2412.48	2416.72
Polvillo de caucho	1	2406.11	2422.02	2415.66	2414.60
	2	2352.01	2358.37	2352.01	2354.13
	3	2320.18	2326.54	2310.63	2319.12
Caucho combinado	1	2434.75	2441.12	2441.12	2439.00
	2	2377.47	2409.29	2393.38	2393.38
	3	2342.46	2323.36	2323.36	2329.73

Análisis de varianza:

Tabla 79: Estimación de Y_j y Y_i para el peso unitario.

Tipo de caucho	Unidades	Dosificación (%)			Y_j
		1%	2%	3%	
Grano de caucho	kg/m ³	7479.31	7380.65	7250.16	22110.12
Polvillo de caucho		7243.79	7062.39	6957.35	21263.53
Caucho combinado		7316.99	7180.14	6989.18	21486.31
Y_i		22040.09	21623.18	21196.69	64859.96

Tabla 80: Resumen del análisis ANAVA para los resultados del peso unitario.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	$F_{EXP.}$	$F_{TEÓRICO}$
A	2	39519.68	19759.84	214.13	3.55
B	2	42795.72	21397.86	231.88	3.55
A X B	4	1359.37	339.84	3.68	2.93
Error	18	1661.06	92.28	-	-

Como el $F_{EXPERIMENTAL} > F_{TEÓRICO}$

Se acepta: H_1 : La adición de caucho reciclado disminuye el peso unitario de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Y se rechaza H_0 : La adición de caucho reciclado no disminuye el peso unitario de un concreto estructural, Trujillo 2018.

- **Deformación:**

Hipótesis:

Hipótesis alternar $\rightarrow H_1$: La adición de caucho reciclado aumenta la deformación de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Hipótesis nula $\rightarrow H_0$: La adición de caucho reciclado no aumenta la deformación de un concreto estructural, Trujillo 2018.

SPSS – Shapiro Wilk:

Tabla 81: Normalidad para la deformación del concreto con caucho.

Tipo de caucho	Normalidad	α	Cantidad de caucho (%)	Normalidad	α
Grano	0.853	> 0.05	1	0.901	> 0.05
Polvillo	0.726	> 0.05	2	0.945	> 0.05
Combinado	0.968	> 0.05	3	0.905	> 0.05

Conclusión: Las variables se comportan normalmente.

Tabla 82: Cálculo de la $F_{experimental}$ para los valores de la deformación.

Tipo de caucho	Dosificación (%)	Deformación (mm)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Grano de caucho	1	2.85	2.95	2.85	2.88
	2	2.65	2.65	2.55	2.62
	3	2.25	2.25	2.35	2.28
Polvillo de caucho	1	1.25	1.20	1.50	1.32
	2	0.55	0.55	0.75	0.62
	3	0.15	0.20	0.25	0.20
Caucho combinado	1	2.10	1.95	2.05	2.03
	2	1.55	1.75	1.70	1.67
	3	1.35	1.40	1.25	1.33

Análisis de varianza:

Tabla 83: Estimación de Y_j y Y_i para la deformación.

Tipo de caucho	Unidades	Dosificación (%)			Y_j
		1%	2%	3%	
Grano de caucho	mm	8.65	7.85	6.85	23.35
Polvillo de caucho		3.95	1.85	0.60	6.40
Caucho combinado		6.10	5.00	4.00	15.10
Y_i		18.70	14.70	11.45	44.85

Tabla 84: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de deformación.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F _{EXP.}	F _{TEÓRICO}
A	2	2.93	1.47	177.81	3.55
B	2	15.97	7.98	968.66	3.55
A X B	4	0.26	0.06	7.82	2.93
Error	18	0.15	0.01	-	-

Como el $F_{EXPERIMENTAL} > F_{TEÓRICO}$

Se acepta: **H₁**: La adición de caucho reciclado aumenta la deformación de un concreto estructural, Trujillo 2018.

Y se rechaza **H₀**: La adición de caucho reciclado no aumenta la deformación de un concreto estructural, Trujillo 2018.

ANEXOS

ANEXO N.º 1. Informe de ensayos de laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Concreto y Reciclado

INFORME N°28/MAYO18

CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Solicitante / DNI: Rodrigo Jose Contreras Gonzales / 47419072

Institución: Universidad Privada del Norte / Sede Trujillo

Investigación: "Influencia del tamaño y porcentaje de caucho reciclado en un concreto estructural sobre su compresión, asentamiento, peso unitario y deformación, Trujillo - 2018"

I. MUESTRA:

Especímenes: 172 probetas cilíndricas con dimensiones de 10 cm x 20 cm de diámetro y de alto respectivamente.

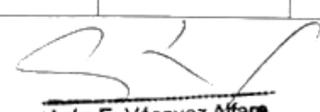
Muestreo: Realizado por testista.

II. ENSAYOS A APLICAR

- NTP 339.035: Ensayo de asentamiento (ASTM C143).
- NTP 339.046: Ensayo de peso unitario (ASTM C138).
- NTP 339.034: Ensayo de resistencia a compresión (ASTM C39).
- Ensayo de deformación (ASTM C469).

III. PARÁMETROS DEL EQUIPO: Se considera un error de $\pm 0.5\%$

Marca	Modo	Unidades	Velocidad de carga	Capacidad máxima
Ele International	Mode I: compresión	SI	2.40 KN/seg	2000 KN


Iván E. Vásquez Alfaro
ING. MATERIALES
R. CIP 123609

Jefe de Laboratorio de concreto y reciclado:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 05 de mayo del 2018



MUESTRAS:

Agregado	Código de muestra	Cantidad de muestra
Arena gruesa	M-1	4.9 Kg

ENSAYOS A APLICAR

- Obtención en laboratorio de muestras representativas, ASTM C 702.

Requisitos Obligatorios

- Equivalente de arena, norma AASHTO 176, ASTM D2419 y MTC E114

Jefe del Laboratorio: Dr Hernán Alvarado Quintana
Ingeniero Analista del Laboratorio: Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

- I- **Ensayo de Equivalente. Éste ensayo está basado en las normas AASHTO 176, ASTM D2419 y MTC E114**

En el ensayo se puede definir al equivalente de arena como la relación entre la altura de la arena con respecto a la altura de la arcilla expresada en porcentaje.





Los resultados del ensayo de Equivalente de Arena son:

Arena Gruesa (M1).

LECTURA INICIAL	A, cm	32.22
LECTURA FINAL	B, cm	29.07
FORMULA EMPLEADA	$C = (B/A) * 100$	
EQUIVALENTE DE ARENA	C, %	90.22



Medición de Alturas en Equivalente de Arena

ANEXO N.º 2. Certificado de calibración de equipos.

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
		<small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masas</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 203 - 2017
		<small>Página 1 de 4</small>
1. Expediente	17086	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
3. Dirección	Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad Máxima	4100 g	
División de escala (d)	0,01 g	
Div. de verificación (e)	0,1 g	
Clase de exactitud	II	
Marca	OHAUS	
Modelo	PAJ4102	
Número de Serie	8332050515	
Capacidad mínima	0,50 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	1-011843 (*)	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Fecha de Calibración	2017-04-26	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Fecha de Emisión	2017-04-28	Jefe del Laboratorio de Metrología
		 JUAN C. QUISPE MORALES
<small>Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf.: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282 RPM: *849272 / #971439282 / #942635342</small>		
		<small>email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com</small>

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 201 - 2017**

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<p>1. Expediente</p> <p>2. Solicitante</p> <p>3. Dirección</p> <p>4. Equipo de medición</p> <p> Capacidad Máxima</p> <p> División de escala (d)</p> <p> Div. de verificación (e)</p> <p> Clase de exactitud</p> <p> Marca</p> <p> Modelo</p> <p> Número de Serie</p> <p> Capacidad mínima</p> <p> Procedencia</p> <p> Identificación</p> <p> Ubicación</p> <p>5. Fecha de Calibración</p>	<p>17086</p> <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</p> <p>Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD</p> <p>BALANZA ELECTRÓNICA</p> <p>15000 g</p> <p>0,5 g</p> <p>5,0 g</p> <p>III</p> <p>OHAUS</p> <p>R31P15</p> <p>8336420544</p> <p>10,0 g</p> <p>U.S.A.</p> <p>1-020409 (*)</p> <p>LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</p> <p>2017-04-25</p>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
--	---	---

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2017-04-28

JUAN C. QUISEPÉ MORALES

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

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

ANEXO N.º 3. Fichas técnicas de materiales.

ANEXO N.º 3.1. Ficha técnica del cemento Pacasmayo Extraforte Ico.



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

G-CC-F-04
Versión 03

CEMENTO EXTRAFORTE
Cemento Portland Compuesto Tipo ICo
Conforme a la NTP 334.090
Piura, 21 de Septiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	1.3	Máximo 6.0
SO3	%	1.99	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	6	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.065	Máximo 0.50
Superficie Específica	cm ² /g	3020	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.00	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	24.1 (245)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	28.3 (288)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm ²)	32.4 (330)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	111	Mínimo 45
Fraguado Final	min	260	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2017 al 31-06-2017.



Ing. Ysabel Burneo Miranda
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

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

ANEXO N.º 3.2. Ficha técnica de superplastificante ViscoCrete – 3330.



HOJA TÉCNICA Sika® ViscoCrete®-3330

Aditivo superplastificante de alto rango para climas fríos

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Ideal para climas fríos y/o se necesita altas resistencias a tempranas edades.

USOS

- Es adecuado para la producción de concreto en obra y concreto premezclado.
- Se usa para los siguientes tipos de concreto:
 - Concreto pre-fabricado.
 - Acelera la fragua del concreto.
 - Para concretos de pavimentos tipos Fast Track, concretos de pronta puesta en servicio.
 - Concreto para climas fríos.
 - Concreto con alta reducción de agua (hasta 30%)
 - Es adecuado para concreto bajo agua, sistemas Tremie. (la relación agua material cementante debe ser entre 0.30 a 0.45)
 - Concreto de alta resistencia.
 - Concreto autocompactante.
- El alto poder reductor de agua, la excelente fluidez y el corto tiempo de fraguado con altas resistencias tempranas tienen una influencia positiva en las aplicaciones antes mencionadas

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-3330 actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades:

- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia)
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Incrementa las altas resistencias iniciales (producción de prefabricados)
- Alta impermeabilidad
- Menor relación agua – cemento la impermeabilidad.
- Aumenta la durabilidad del concreto.

Hoja Técnica
Sika® ViscoCrete® - 3330
22.01.15, Edición 9

1/4

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduce la exudación y segregación. ▪ Aumenta la cohesión del concreto. ▪ Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero. ▪ Comportamiento mejorado de contracción y deslizamiento. ▪ Reduce la carbonatación del concreto <p>Sika® ViscoCrete®-3330 no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero. Por lo tanto, puede usarse sin restricciones en construcciones de concreto reforzado y pre-tensado.</p>
NORMAS	ESTÁNDARES Cumple con la norma ASTM C-494 tipo G y ASTM C-1017
DATOS BÁSICOS	
FORMA	<p>ASPECTO Líquido</p> <p>COLORES Marrón claro a marrón oscuro.</p> <p>PRESENTACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Granel x 1 L ▪ Cilindro x 200 L ▪ Dispenser x 1,000 L
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL 1 año a partir de la fecha de producción, en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a temperaturas entre 5 °C y 35 °C.
DATOS TÉCNICOS	<p>DENSIDAD 1.07 Kg/L ± 0.01</p> <p>USGBC VALORACIÓN LEED</p> <p>Sika® ViscoCrete®-3330 cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)</p>
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para concretos plásticos suaves: 0,4 % - 1 % del peso del cemento. ▪ Para concretos fluidos y autocompactantes: 1 % - 2 % del peso del cemento.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Como plastificante o superplastificante: Sika® ViscoCrete®-3330 se agrega al agua de amasado o junto con el agua a la mezcladora de concreto. Para un aprovechamiento óptimo de la alta capacidad de reducción de agua, recomendamos un mezclado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo. Para evitar la exudación en el concreto y lograr la consistencia deseada, el agua restante de la mezcla recién se añadirá cuando hayan transcurrido 40 segundos del tiempo de mezclado. El uso de Sika® ViscoCrete®-3330 garantiza un concreto de la más alta calidad. Sin embargo, también en el caso del concreto preparado con Sika® ViscoCrete®-3330 debe cumplirse con las normas estándar para la buena producción y colocación de concretos.

IMPORTANTE	<p>El concreto fresco debe ser curado apropiadamente con Sika® Antisol® S. Cuando se trabaja con relaciones a (material cementante) bajas es recomendable mezclar el concreto de 7 a 10 minutos.</p> <p>Para Concretos Fluidos y Concretos Autocompactantes.</p> <p>Sika® ViscoCrete®-3330 también puede usarse para concretos fluidos y autocompactantes mediante la utilización de dosificaciones especiales de mezclado.</p> <p>Cuando el Sika® ViscoCrete®-3330 está Congelado.</p> <p>Descongelarlo lentamente a temperatura ambiente y mezclarlo en forma intensiva.</p> <p>Combinaciones.</p> <p>Sika® ViscoCrete®-3330 puede combinarse con los siguientes productos Sika®: Sika® CNI, Sika® Fume y SikaAer®, SikaRapid® - 1 entre otros.</p> <p>Se recomienda realizar un ensayo previo si se realizan combinaciones de varios de los productos antes mencionados. Favor consultar a nuestro servicio técnico.</p>
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	<p>Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.</p>
ECOLOGÍA	<p>No desechar en vías acuáticas ni en el suelo. Cumplir las normas locales al respecto.</p>
TOXICIDAD	<p>No tóxico según los códigos suizos vigentes sobre salud y seguridad.</p>
NOTAS LEGALES	<p>Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos vigentes de venta y suministro. Los usuarios deberán referirse a la última versión de la Hoja de Datos del producto correspondiente, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite.</p>

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 8
la misma que deberá ser destruida”**

ANEXO N.º 4. Panel fotográfico.



Figura 21: Reservorio de agua potable en el AA.HH Brisas del Mar - Huanchaco



Figura 22: Secado de la muestra de agregado fino.



Figura 23: Ensayo granulométrico de los agregados.



Figura 24: Ensayo de asentamiento de la mezcla patrón.



Figura 25: Resistencia a la compresión de probetas.

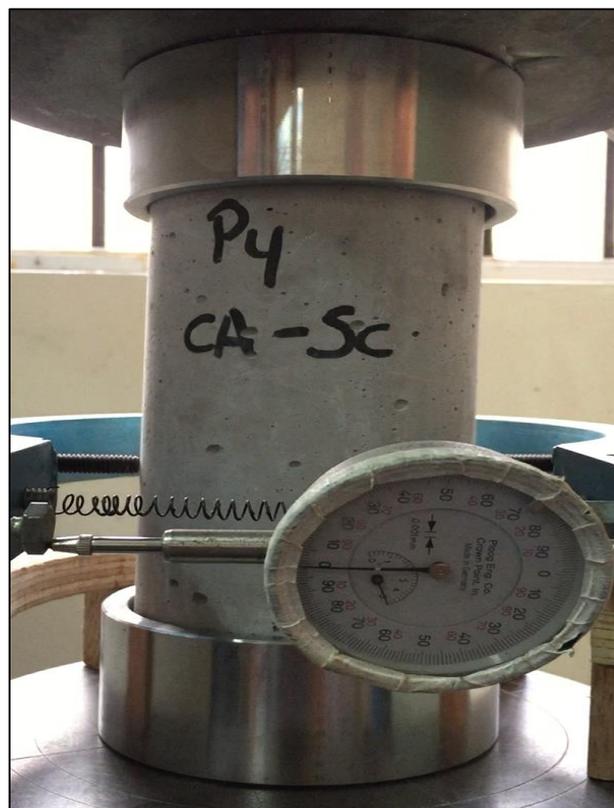


Figura 26: Ensayo de deformación de probetas



Figura 27: Distribución del caucho granulado al 1%, 2% y 3%.

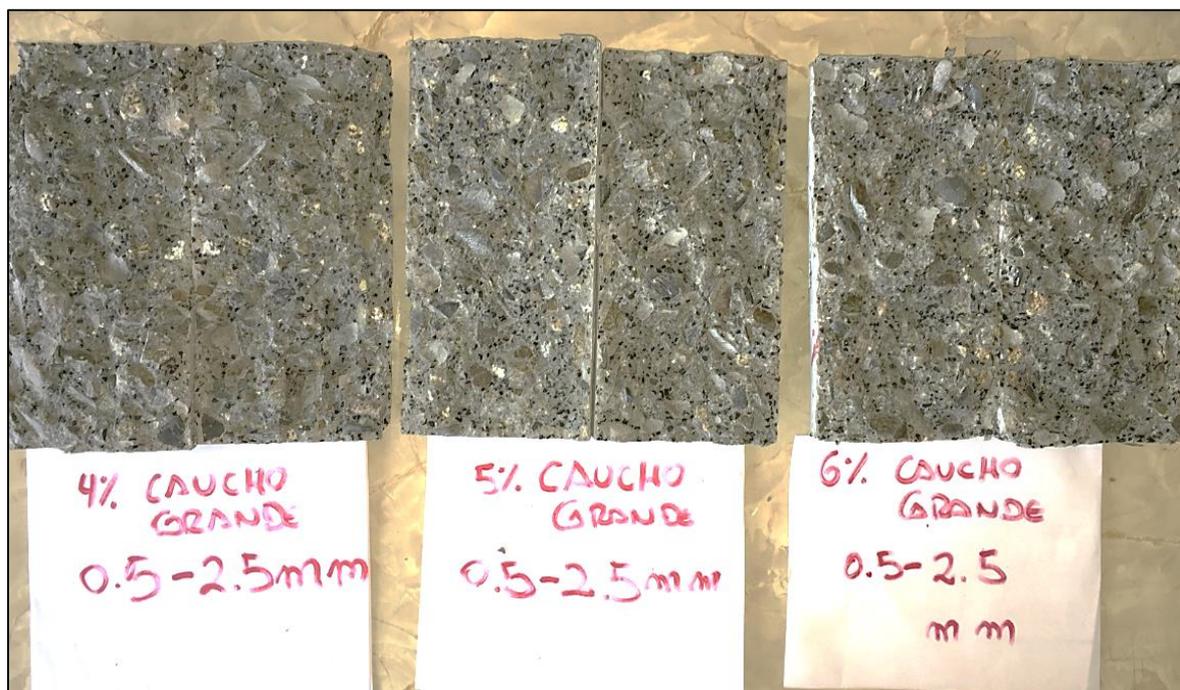


Figura 28: Distribución del caucho granulado al 4%, 5% y 6%.

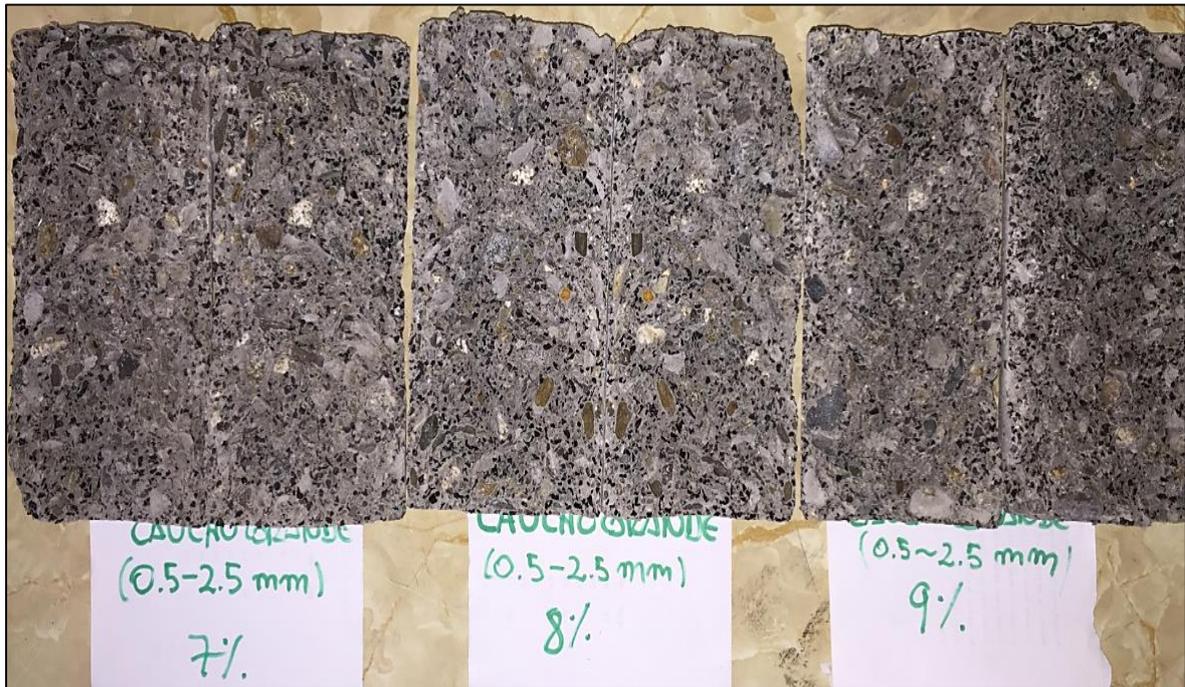


Figura 29: Distribución del caucho granulado al 7%, 8% y 9%.

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>RODRIGO CONTRERAS CONTRERAS.</u> Lugar de investigación: <u>TRUJILLO</u>	Consistencia de la mezcla: <u>seca</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho c) Caucho Combinado <input checked="" type="checkbox"/> Sin caucho <u>y sin aditivo</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.850</u> Ensayo 2: <u>3.850</u> Ensayo 3: <u>3.840</u> Promedio: <u>3.847</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>0%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>282.85</u> Ensayo 2: <u>286.11</u> Ensayo 3: <u>284.07</u> Promedio: <u>284.34</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.00</u> Ensayo 2: <u>0.50</u> Ensayo 3: <u>1.00</u> Promedio: <u>0.83</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>3 1/4"</u> Ensayo 2: <u>3 1/8"</u> Ensayo 3: <u>3 1/4"</u> Promedio: <u>3 1/4"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>RODRIGO CONTRERAS CONTRERAS</u> Lugar de investigación: <u>TRUJILLO</u>	Consistencia de la mezcla: <u>húida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho c) Caucho Combinado <input checked="" type="checkbox"/> Sin caucho <u>con aditivo</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.940</u> Ensayo 2: <u>3.955</u> Ensayo 3: <u>3.925</u> Promedio: <u>3.940</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>0%</u>	Resistencia a la compresión: Ensayo 1: <u>290.90</u> Ensayo 2: <u>290.90</u> Ensayo 3: <u>294.07</u> Promedio: <u>291.96</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>0.70</u> Ensayo 2: <u>0.40</u> Ensayo 3: <u>1.00</u> Promedio: <u>0.70</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>6 3/8"</u> Ensayo 2: <u>6 1/2"</u> Ensayo 3: <u>6 5/8"</u> Promedio: <u>6 1/2"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>RODRIGO CONTRERAS G.</u> Lugar de investigación: <u>TRUJILLO</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.930</u> Ensayo 2: <u>3.905</u> Ensayo 3: <u>3.915</u> Promedio: <u>3.917</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>1%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>214.40</u> Ensayo 2: <u>209.10</u> Ensayo 3: <u>210.94</u> Promedio: <u>211.48</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>2.85</u> Ensayo 2: <u>2.95</u> Ensayo 3: <u>2.85</u> Promedio: <u>2.88</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>9 1/2"</u> Ensayo 2: <u>9 1/4"</u> Ensayo 3: <u>9 3/8"</u> Promedio: <u>9 3/8"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>RODRIGO CONTRERAS G.</u> Lugar de investigación: <u>TRUJILLO</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.870</u> Ensayo 2: <u>3.840</u> Ensayo 3: <u>3.958</u> Promedio: <u>3.898</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>2%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>190.23</u> Ensayo 2: <u>190.13</u> Ensayo 3: <u>195.74</u> Promedio: <u>192.03</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>2.65</u> Ensayo 2: <u>2.65</u> Ensayo 3: <u>2.55</u> Promedio: <u>2.62</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>9"</u> Ensayo 2: <u>9 1/4"</u> Ensayo 3: <u>9 1/8"</u> Promedio: <u>9 1/8"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy firme</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="radio"/> a) Grano de caucho <input type="radio"/> b) Polvillo de caucho <input type="radio"/> c) Caucho Combinado <input type="radio"/> d) Sin caucho Porcentaje de caucho adicionado: <u>3%</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.795</u> Ensayo 2: <u>3.805</u> Ensayo 3: <u>3.740</u> Promedio: <u>3.797</u> Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>186.15</u> Ensayo 2: <u>181.87</u> Ensayo 3: <u>181.66</u> Promedio: <u>183.23</u> Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>2.25</u> Ensayo 2: <u>2.25</u> Ensayo 3: <u>2.35</u> Promedio: <u>2.28</u> Observaciones:
Días de curado: <input checked="" type="radio"/> a) 28 días b) 56 días Asentamiento: Ensayo 1: <u>8 5/8"</u> Ensayo 2: <u>8 3/4"</u> Ensayo 3: <u>8 7/8"</u> Promedio: <u>8 3/4"</u>	

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="radio"/> a) Grano de caucho <input type="radio"/> b) Polvillo de caucho <input type="radio"/> c) Caucho Combinado <input type="radio"/> d) Sin caucho Porcentaje de caucho adicionado: <u>4%</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.680</u> Ensayo 2: <u>3.675</u> Ensayo 3: <u>3.665</u> Promedio: <u>3.678</u> Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>163.20</u> Ensayo 2: <u>160.96</u> Ensayo 3: <u>157.96</u> Promedio: <u>160.63</u> Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>2.15</u> Ensayo 2: <u>2.10</u> Ensayo 3: <u>2.10</u> Promedio: <u>2.12</u> Observaciones:
Días de curado: <input checked="" type="radio"/> a) 28 días b) 56 días Asentamiento: Ensayo 1: <u>8 3/8"</u> Ensayo 2: <u>8 1/8"</u> Ensayo 3: <u>8 1/4"</u> Promedio: <u>8 1/4"</u>	

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.635</u> Ensayo 2: <u>3.680</u> Ensayo 3: <u>3.675</u> Promedio: <u>3.663</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>5%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>144.02</u> Ensayo 2: <u>140.56</u> Ensayo 3: <u>138.01</u> Promedio: _____
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.80</u> Ensayo 2: <u>1.90</u> Ensayo 3: <u>1.80</u> Promedio: <u>1.83</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>7 1/4"</u> Ensayo 2: <u>7 1/2"</u> Ensayo 3: <u>7 3/4"</u> Promedio: <u>7 1/2"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.620</u> Ensayo 2: <u>3.610</u> Ensayo 3: <u>3.615</u> Promedio: <u>3.615</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>6%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>108.53</u> Ensayo 2: <u>107.71</u> Ensayo 3: <u>110.87</u> Promedio: <u>109.04</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.65</u> Ensayo 2: <u>1.60</u> Ensayo 3: <u>1.45</u> Promedio: <u>1.57</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>6 7/8"</u> Ensayo 2: <u>6 5/8"</u> Ensayo 3: <u>6 3/4"</u> Promedio: <u>6 3/4"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Plastificado</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.575</u> Ensayo 2: <u>3.565</u> Ensayo 3: <u>3.580</u> Promedio: <u>3.573</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>7%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>101.18</u> Ensayo 2: <u>100.37</u> Ensayo 3: <u>103.22</u> Promedio: <u>101.59</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.20</u> Ensayo 2: <u>1.25</u> Ensayo 3: <u>1.30</u> Promedio: <u>1.25</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>4 1/4"</u> Ensayo 2: <u>4 3/4"</u> Ensayo 3: <u>4 1/2"</u> Promedio: <u>4 1/2"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Plastificado</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.520</u> Ensayo 2: <u>3.555</u> Ensayo 3: <u>3.575</u> Promedio: <u>3.550</u>
Porcentaje de caucho adicionado: <u>8%</u>	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>62.63</u> Ensayo 2: <u>65.28</u> Ensayo 3: <u>62.63</u> Promedio: <u>63.51</u>
Días de curado: a) 28 días b) 56 días	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>0.90</u> Ensayo 2: <u>0.95</u> Ensayo 3: <u>0.95</u> Promedio: <u>0.93</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>3 7/8"</u> Ensayo 2: <u>4 1/8"</u> Ensayo 3: <u>4"</u> Promedio: <u>4"</u>	Observaciones: _____ _____ _____

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>SGC</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input checked="" type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho Porcentaje de caucho adicionado: <u>9%</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.535</u> Ensayo 2: <u>3.495</u> Ensayo 3: <u>3.505</u> Promedio: <u>3.512</u> Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>54.57</u> Ensayo 2: <u>57.02</u> Ensayo 3: <u>60.38</u> Promedio: <u>57.32</u> Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>0.90</u> Ensayo 2: <u>0.95</u> Ensayo 3: <u>0.90</u> Promedio: <u>0.92</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días Asentamiento: Ensayo 1: <u>3 3/8"</u> Ensayo 2: <u>3 1/2"</u> Ensayo 3: <u>3 5/8"</u> Promedio: <u>3 1/2"</u>	Observaciones:

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: <input type="checkbox"/> a) Grano de caucho <input checked="" type="checkbox"/> b) Polvillo de caucho <input type="checkbox"/> c) Caucho Combinado <input type="checkbox"/> d) Sin caucho Porcentaje de caucho adicionado: <u>1%</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.780</u> Ensayo 2: <u>3.805</u> Ensayo 3: <u>3.795</u> Promedio: <u>3.793</u> Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>242.56</u> Ensayo 2: <u>246.53</u> Ensayo 3: <u>239.09</u> Promedio: <u>242.73</u> Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.25</u> Ensayo 2: <u>1.20</u> Ensayo 3: <u>1.50</u> Promedio: <u>1.32</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días Asentamiento: Ensayo 1: <u>9 3/4"</u> Ensayo 2: <u>9 5/8"</u> Ensayo 3: <u>9 7/8"</u> Promedio: <u>9 3/4"</u>	Observaciones:

<p>Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u></p> <p>Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho <input checked="" type="checkbox"/> Polvillo de caucho c) Caucho Combinado d) Sin caucho</p> <p>Porcentaje de caucho adicionado: <u>2%.</u></p> <p>Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> 28 días b) 56 días</p> <p>Asentamiento: Ensayo 1: <u>7 7/8"</u> Ensayo 2: <u>7 5/8"</u> Ensayo 3: <u>7 3/4"</u> Promedio: <u>7 3/4"</u></p>	<p>Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u></p> <p>Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.695</u> Ensayo 2: <u>3.705</u> Ensayo 3: <u>3.695</u> Promedio: <u>3.698</u></p> <p>Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>215.32</u> Ensayo 2: <u>217.77</u> Ensayo 3: <u>220.52</u> Promedio: <u>217.87</u></p> <p>Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>0.55</u> Ensayo 2: <u>0.55</u> Ensayo 3: <u>0.75</u> Promedio: <u>0.62</u></p> <p>Observaciones: _____ _____ _____</p>
--	--

<p>Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo.</u></p> <p>Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho <input checked="" type="checkbox"/> Polvillo de caucho c) Caucho Combinado d) Sin caucho</p> <p>Porcentaje de caucho adicionado: <u>3%.</u></p> <p>Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> 28 días b) 56 días</p> <p>Asentamiento: Ensayo 1: <u>2 1/4"</u> Ensayo 2: <u>2"</u> Ensayo 3: <u>2 1/8"</u> Promedio: <u>2 1/8"</u></p>	<p>Consistencia de la mezcla: <u>Seca</u></p> <p>Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.645</u> Ensayo 2: <u>3.655</u> Ensayo 3: <u>3.630</u> Promedio: <u>3.643</u></p> <p>Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>182.38</u> Ensayo 2: <u>188.70</u> Ensayo 3: <u>184.01</u> Promedio: <u>185.03</u></p> <p>Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>0.15</u> Ensayo 2: <u>0.20</u> Ensayo 3: <u>0.25</u> Promedio: <u>0.20</u></p> <p>Observaciones: _____ _____ _____</p>
---	--

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho <input checked="" type="checkbox"/> c) Caucho Combinado d) Sin caucho Porcentaje de caucho adicionado: <u>1%</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.825</u> Ensayo 2: <u>3.835</u> Ensayo 3: <u>3.835</u> Promedio: <u>3.832</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>213.28</u> Ensayo 2: <u>212.57</u> Ensayo 3: <u>217.16</u> Promedio: <u>214.34</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>9 1/2"</u> Ensayo 2: <u>9 5/8"</u> Ensayo 3: <u>9 3/8"</u> Promedio: <u>9 1/2"</u>	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>2.10</u> Ensayo 2: <u>1.95</u> Ensayo 3: <u>2.05</u> Promedio: <u>2.03</u>
	Observaciones:

Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u> Lugar de investigación: <u>Trujillo</u>	Consistencia de la mezcla: <u>Muy fluida</u>
Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho <input checked="" type="checkbox"/> c) Caucho Combinado d) Sin caucho Porcentaje de caucho adicionado: <u>2%</u>	Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.735</u> Ensayo 2: <u>3.785</u> Ensayo 3: <u>3.760</u> Promedio: <u>3.760</u>
Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días	Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>195.43</u> Ensayo 2: <u>192.68</u> Ensayo 3: <u>192.17</u> Promedio: <u>193.43</u>
Asentamiento: Ensayo 1: <u>9 3/8"</u> Ensayo 2: <u>9 1/4"</u> Ensayo 3: <u>9 1/8"</u> Promedio: <u>9 1/4"</u>	Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.55</u> Ensayo 2: <u>1.75</u> Ensayo 3: <u>1.70</u> Promedio: <u>1.67</u>
	Observaciones:

<p>Datos informativos: Nombre del investigador: <u>RODRIGO CONTRERAS G.</u> Lugar de investigación: <u>TRUJILLO</u></p> <p>Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho <input checked="" type="checkbox"/> c) Caucho Combinado d) Sin caucho</p> <p>Porcentaje de caucho adicionado: <u>3%</u></p> <p>Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días</p> <p>Asentamiento: Ensayo 1: <u>5"</u> Ensayo 2: <u>5 1/8"</u> Ensayo 3: <u>5 1/4"</u> Promedio: <u>5 1/8"</u></p>	<p>Consistencia de la mezcla: <u>Plásticos</u></p> <p>Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.680</u> Ensayo 2: <u>3.650</u> Ensayo 3: <u>3.650</u> Promedio: <u>3.660</u></p> <p>Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>167.18</u> Ensayo 2: <u>171.05</u> Ensayo 3: <u>165.04</u> Promedio: <u>167.76</u></p> <p>Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.35</u> Ensayo 2: <u>1.40</u> Ensayo 3: <u>1.25</u> Promedio: <u>1.33</u></p> <p>Observaciones:</p>
--	---

<p>Datos informativos: Nombre del investigador: <u>RODRIGO CONTRERAS G.</u> Lugar de investigación: <u>TRUJILLO</u></p> <p>Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho <input checked="" type="checkbox"/> c) Caucho Combinado d) Sin caucho</p> <p>Porcentaje de caucho adicionado: <u>4%</u></p> <p>Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días</p> <p>Asentamiento: Ensayo 1: <u>3 7/8"</u> Ensayo 2: <u>4"</u> Ensayo 3: <u>4 1/8"</u> Promedio: <u>4"</u></p>	<p>Consistencia de la mezcla: <u>Plásticos</u></p> <p>Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.640</u> Ensayo 2: <u>3.630</u> Ensayo 3: <u>3.625</u> Promedio: <u>3.632</u></p> <p>Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>157.28</u> Ensayo 2: <u>153.92</u> Ensayo 3: <u>155.55</u> Promedio: <u>155.58</u></p> <p>Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.20</u> Ensayo 2: <u>1.15</u> Ensayo 3: <u>1.15</u> Promedio: <u>1.17</u></p> <p>Observaciones:</p>
--	---

<p>Datos informativos: Nombre del investigador: <u>Rodrigo Contreras G.</u></p> <p>Lugar de investigación: <u>Trujillo</u></p> <p>Datos específicos: Tipo de caucho empleado: a) Grano de caucho b) Polvillo de caucho <input checked="" type="checkbox"/> c) Caucho Combinado d) Sin caucho</p> <p>Porcentaje de caucho adicionado: <u>5%</u></p> <p>Días de curado: <input checked="" type="checkbox"/> a) 28 días b) 56 días</p> <p>Asentamiento: Ensayo 1: <u>2 3/8"</u> Ensayo 2: <u>2 1/2"</u> Ensayo 3: <u>2 5/8"</u> Promedio: <u>2 1/2"</u></p>	<p>Consistencia de la mezcla: <u>Seca</u></p> <p>Peso de las probetas en estado fresco: (kg) Ensayo 1: <u>3.590</u> Ensayo 2: <u>3.595</u> Ensayo 3: <u>3.635</u> Promedio: <u>3.607</u></p> <p>Resistencia a la compresión: (kg/cm²) Ensayo 1: <u>138.21</u> Ensayo 2: <u>141.47</u> Ensayo 3: <u>140.25</u> Promedio: <u>139.98</u></p> <p>Deformación: (mm) Ensayo 1: <u>1.05</u> Ensayo 2: <u>0.90</u> Ensayo 3: <u>0.80</u> Promedio: <u>0.92</u></p> <p>Observaciones: _____ _____ _____</p>
---	--