



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA**
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIAS DE UNA MEZCLA ESTÁNDAR
DE HORMIGÓN, CON AGREGADOS Y MATERIALES ALTERNOS Y
RECICLABLES.**

INVESTIGACIÓN APLICADA

Innovación tecnológica

Diseño de materiales de construcción

Autor: Christian Miguel Chinchilima Guamán

Director: Ing. Luis Mario Almache Sánchez MSc.

Cuenca – Ecuador

2019



DECLARACIÓN

Yo, Christian Miguel Chinchilima Guamán, con C.I. 0104663257, declaro que el presente proyecto investigativo previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, son de responsabilidad exclusiva del autor; y, que las consultas realizadas están con sus debidas referencias bibliográficas.

Christian M. Chinchilima G.

C.I. 0104663257



CERTIFICACIÓN

*Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Miguel Chinchilima
Guamán, bajo mi supervisión.*

Ing. MSc. Luis Mario Almache Sánchez
C.I. 0103401451



DEDICATORIA

A mi Dios y a la Virgen Santísima por brindarme salud, fe, esperanza y sabiduría durante los días de mi vida y por acompañarme en todo momento, ayudándome a superar los obstáculos que se presentan en el tiempo.

A mis padres José Miguel y Dolores Beatriz quienes depositaron su confianza en mí, apoyándome de manera incondicional a superarme en la vida, lo cual me ha forjado para mi formación personal y profesional.

A mis hermanos Greys, Maritza y Guifor por acompañarme y aconsejarme en los diferentes escenarios de la vida, ya que han sido de vital importancia para mi formación personal y profesional.

A mis sobrinos Mateo y Rafael.

A mi tutor el Ing. Luis Mario Almache por compartir sus conocimientos técnicos durante mi carrera profesional e institucional.



AGRADECIMIENTO

De manera muy especial y en primera instancia quiero agradecer a DIOS por su amor, que a pesar de las adversidades de la vida él siempre está acompañándome para brindarme salud, fe, esperanza y sabiduría. al mismo tiempo me gustaría expresar mi agradecimiento a la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca, a mis profesores que compartieron sus experiencias y conocimientos teóricos y prácticos, quienes me ayudaron en mi formación personal y profesional.

También me gustaría agradecer enormemente a mi tutor el Ing. Luis Mario Almache quien con su guía me condujo a llevar correctamente a cabo la presente investigación, brindándome un espacio dentro de su tiempo para que todo se realizara adecuadamente, de igual manera por compartir conmigo sus conocimientos profesionales adquiridos en la rama de la Ingeniería Civil.

Así mismo agradezco al Ing. David Cajamarca, Ing. César Maldonado, Ing. Iván Fernández de Córdova, Ing. Carlos J. Calle y demás profesores por los conocimientos brindados durante mi carrera profesional.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	2
CERTIFICACIÓN	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE CONTENIDOS	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	11
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	12
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	15
1.1. ANTECEDENTES.....	15
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4. OBTENCIÓN DE MATERIALES	18
1.5. AGREGADOS PÉTREOS.....	19
1.5.1. GRAVA Y ARENA DE RÍO	19
1.5.2. ARENA DE SÍLICE.....	20
1.5.3. CAUCHO DE NEUMÁTICO USADO.....	21
1.5.4. PET (Botellas Plásticas de Bebida).....	23
1.5.5. TRITURADORA DE NEUMÁTICO Y PET	24
1.5.6. POLIESTIRENO (Espuma Flex).....	25



2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1. FUNDAMENTOS DEL HORMIGÓN	27
2.2. CEMENTOS PORTLAND	29
2.2.1. <i>CEMENTO PORTLAND TIPO I</i>	29
2.2.2. <i>CEMENTO PORTLAND TIPO II</i>	29
2.2.3. <i>CEMENTO PORTLAND TIPO III</i>	29
2.2.4. <i>CEMENTO PORTLAND TIPO IV</i>	30
2.2.5. <i>CEMENTO PORTLAND TIPO V</i>	30
2.2.6. <i>CEMENTO PORTLAND CON INCORPORADORES DE AIRE</i>	30
2.2.7. <i>CEMENTO PORTLAND BLANCO</i>	30
2.3. AGUA DE MEZCLA PARA EL HORMIGÓN	30
2.4. AGREGADOS ALTERNOS Y RECICLABLES PARA LOS HORMIGONES	31
2.4.1. <i>MATERIALES RECICLABLES</i>	31
2.4.1.1. <i>CAUCHO NEUMÁTICO</i>	31
2.4.1.2. <i>PLÁSTICO PET</i>	32
2.4.2. <i>MATERIALES ALTERNOS</i>	33
2.4.2.1. <i>ESPUMA FLEX (Poliestireno)</i>	33
2.4.3. <i>MINERALES Y AGREGADOS PÉTREOS</i>	34
2.4.3.1. <i>ARENA DE SÍLICE</i>	34
2.4.4. <i>GRAVA</i>	35
2.4.5. <i>ARENA DE RÍO</i>	36
2.5. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN SIMPLE	37
2.6. DISEÑO DE HORMIGÓN SIMPLE MÉTODO ACI	37
2.6.1. <i>SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO</i>	37
2.6.2. <i>ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO</i>	38
2.6.3. <i>CÁLCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y EL CONTENIDO DE AIRE</i>	38
2.6.4. <i>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO</i>	39
2.6.5. <i>SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO</i>	41
2.6.6. <i>CÁLCULO DE CONTENIDO DE CEMENTO</i>	42
2.6.7. <i>ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO</i>	42
2.6.8. <i>ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO</i>	42
2.6.9. <i>AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO</i>	43
3. CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1. PROCESOS DE ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN	44
3.2. MATERIALES	45
3.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS	45
3.4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CON MATERIALES ESTANDARIZADO	46
3.4.1. <i>SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO</i>	47
3.4.2. <i>ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO</i>	48
3.4.3. <i>CÁLCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y EL CONTENIDO DE AIRE</i>	48
3.4.4. <i>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MAYORADA (fm)</i>	49
3.4.4.1. <i>METODO I</i>	49
3.4.4.2. <i>MÉTODO II</i>	49
3.4.5. <i>SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO</i>	50



3.4.6. <i>CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO</i>	50
3.4.7. <i>ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO</i>	51
3.4.8. <i>ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO</i>	52
3.4.9. <i>AJUSTES POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS</i>	53
3.5. <i>ELABORACIÓN DE HORMIGONES CON MATERIALES ALTERNOS Y RECICLABLES UTILIZANDO LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA ESTANDARIZADA</i>	55
3.6. <i>ELABORACIÓN DE MOLDES O ENCOFRADOS PARA TOMA DE MUESTRAS</i>	60
3.6.1. <i>PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MOLDES</i>	60
4. CAPITULO IV: PROCESOS Y TIPOS DE PRUEBAS A REALIZAR	62
4.1. <i>PRUEBAS A COMPRESIÓN O CARGA AXIAL</i>	62
4.1.1. <i>FORMULAS PARA DETERMINAR LA CARGA EN (kg), Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN (kg/cm²)</i>	64
4.1.2. <i>FÓRMULAS PARA DETERMINAR LOS MODULOS DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON</i> 64	
4.1.2.1. <i>METODO I</i>	65
4.1.2.2. <i>METODO II</i>	65
4.1.3. <i>CÁLCULO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD</i>	65
4.1.4. <i>DETERMINACIÓN DE LAS DEFORMACIONES UNITARIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD EN FUNCIÓN DE GRÁFICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN</i>	70
5. CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
5.1.1. <i>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN</i>	84
5.1.2. <i>TABULACION DE RESULTADOS Y DATOS GENERALES</i>	85
5.1.3. <i>ANÁLISIS COSTOS Y BENEFICIOS</i>	89
5.1.3.1. <i>DESGLOSE DE COSTOS PARA MATERIALES Y AGREGADOS</i>	89
5.1.3.2. <i>ANÁLISIS DE COSTOS POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN PARA CADA MEZCLA</i>	90
5.1.3.3. <i>BENEFICIOS PRESTADOS</i>	94
6. CONCLUSIONES	97
7. RECOMENDACIONES	100
8. BIBLIOGRAFÍA	101



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.- COORDENADAS PARA OBTENCIÓN DE MATERIALES PÉTREOS. (FUENTE: AUTOR)	19
TABLA 2.- COORDENADAS PARA OBTENCIÓN DE ARENA DE SÍLICE. (FUENTE: AUTOR)	20
TABLA 3.- COORDENADAS PARA OBTENCIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICO USADO. (FUENTE: AUTOR).....	22
TABLA 4.- COORDENADAS PARA OBTENCIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET. (FUENTE: AUTOR).....	23
TABLA 5.- COORDENADAS DE LA FÁBRICA TRITURADORA DE MATERIAL RECICLADO. (FUENTE: AUTOR).....	24
TABLA 6.- COORDENADAS PARA OBTENCIÓN DE ESPUMA FLEX. (FUENTE: AUTOR)	26
TABLA 7.- REVENIMIENTO DE ACUERDO AL TIPO DE ESTRUCTURA A CONSTRUIR. (FUENTE: ACI 211)	38
TABLA 8.- CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN. (FUENTE: ACI 211)	39
TABLA 9.- FÓRMULAS PARA OBTENER LA RESISTENCIA PROMEDIO. (FUENTE: ACI 211)	40
TABLA 10.- RESISTENCIAS PROMEDIO A COMPRESIÓN REQUERIDA. (FUENTE: ACI 211).....	40
TABLA 11.- NIVEL DE CONTROL DE CALIDAD. (FUENTE: ACI 211).....	41
TABLA 12.- RELACIÓN AGUA-CEMENTO SEGÚN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN. FUENTE: (ACI 211)	41
TABLA 13.- VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO. (FUENTE: ACI 211).....	42
TABLA 14.- DISEÑO DE MEZCLA ESTÁNDAR Y REEMPLAZO DE MATERIALES EN PORCENTAJES DE 10% Y 20%. (FUENTE: AUTOR)	44
TABLA 15.- EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS. (FUENTE: AUTOR)	46
TABLA 16.- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR).....	47
TABLA 17.- REVENIMIENTO SELECCIONADO. (FUENTE: AUTOR)	48
TABLA 18.- CÁLCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE. (FUENTE: AUTOR).....	48
TABLA 19.- INTERPOLACIÓN RELACIÓN A/C. (FUENTE: AUTOR).....	50
TABLA 20.- OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO. (FUENTE: AUTOR)	51
TABLA 21.- RESUMEN DE CANTIDADES. (FUENTE: AUTOR).....	53
TABLA 22.- CANTIDADES DE LOS AGREGADOS, CORREGIDOS LA HUMEDAD. (FUENTE: AUTOR).....	54
TABLA 23.- CANTIDADES; MEZCLA 2. (FUENTE: AUTOR)	56
TABLA 24.- CANTIDADES; MEZCLA 3. (FUENTE: AUTOR)	56
TABLA 25.- CANTIDADES; MEZCLA 4. (FUENTE: AUTOR)	57
TABLA 26.- CANTIDADES; MEZCLA 5. (FUENTE: AUTOR)	57
TABLA 27.- CANTIDADES; MEZCLA 6. (FUENTE: AUTOR)	58
TABLA 28.- CANTIDADES; MEZCLA 7. (FUENTE: AUTOR)	58
TABLA 29.- CANTIDADES; MEZCLA 8. (FUENTE: AUTOR)	59
TABLA 30.- CANTIDADES; MEZCLA 9. (FUENTE: AUTOR)	59
TABLA 31.- ESPECIFICACIONES, MOLDES. (FUENTE: AUTOR).....	60
TABLA 32.- REGISTRO DEL NÚMERO DE MEZCLAS REALIZADAS PARA EL ESTUDIO. (FUENTE: AUTOR)	62
TABLA 33.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [7 DÍAS] (FUENTE: AUTOR).....	66
TABLA 34.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [28 DÍAS] (FUENTE: AUTOR).....	67
TABLA 35.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD SEGÚN NEC-SE-DS. (FUENTE: AUTOR).	68
TABLA 36.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD SEGÚN ACI 318S-14. (FUENTE: AUTOR)	69
TABLA 37.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 1] (FUENTE: AUTOR)	71



TABLA 38.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 2] (FUENTE: AUTOR)	72
TABLA 39.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA3] (FUENTE: AUTOR)	73
TABLA 40.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 4] (FUENTE: AUTOR)	74
TABLA 41.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 5] (FUENTE: AUTOR)	75
TABLA 42.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 6] (FUENTE: AUTOR)	76
TABLA 43.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 7] (FUENTE: AUTOR)	77
TABLA 44.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 8] (FUENTE: AUTOR)	78
TABLA 45.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [MEZCLA 9] (FUENTE : AUTOR)	79
TABLA 46.- RESISTENCIAS MÁXIMAS DE CADA MEZCLA A LOS 7 DÍAS. (FUENTE: AUTOR)	82
TABLA 47.- RESISTENCIAS MÁXIMAS DE CADA MEZCLA A LOS 28 DÍAS. (FUENTE: AUTOR)	82
TABLA 48.- RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN [7 DÍAS]. (FUENTE: AUTOR)	86
TABLA 49.- RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN [28 DÍAS]. (FUENTE: AUTOR)	86
TABLA 50.- APUJAS PARA REALIZACIÓN DE HORMIGONES DENTRO DEL ESTUDIO. (FUENTE: AUTOR)	89
TABLA 51.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	90
TABLA 52.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	91
TABLA 53.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	91
TABLA 54.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	91
TABLA 55.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	92
TABLA 56.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	92
TABLA 57.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	92
TABLA 58.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	93
TABLA 59.- PRECIO POR M3 DE HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR)	93
TABLA 60.- RESUMEN DE RESULTADOS. (FUENTE: AUTOR)	94



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1.- UBICACIÓN DE LOS LUGARES DE TOMA DE MUESTRAS (FUENTE: GOOGLE EARTH)	18
ILUSTRACIÓN 2.- MINA SAN MARTÍN. (FUENTE: AUTOR)	19
ILUSTRACIÓN 3.- UBICACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS DE ARENA Y GRAVA. (FUENTE: GOOGLE EARTH)	20
ILUSTRACIÓN 4.- ALMACENAMIENTO DE ARENA DE SÍLICE. (FUENTE: AUTOR)	21
ILUSTRACIÓN 5.- UBICACIÓN DEL LUGAR DONDE SE OBTUVO LA ARENA DE SÍLICE. (FUENTE: GOOGLE EARTH)	21
ILUSTRACIÓN 6.- UBICACIÓN DE LOS NEUMÁTICOS USADOS. (FUENTE: AUTOR).....	22
ILUSTRACIÓN 7.- UBICACIÓN DEL LUGAR DE DONDE SE RECOLECTÓ NEUMÁTICO USADO. (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	22
ILUSTRACIÓN 8.- UBICACIÓN DE LAS BOTELLAS PLÁSTICAS PET EN PROCESO DE RECICLAJE. (FUENTE: AUTOR).....	23
ILUSTRACIÓN 9 UBICACIÓN DEL LUGAR DE DONDE SE RECOLECTÓ PLÁSTICO PET. (FUENTE: GOOGLE EARTH)	24
ILUSTRACIÓN 10.- MÁQUINA TRITURADORA DE PET Y CAUCHO. (FUENTE: AUTOR).....	25
ILUSTRACIÓN 11.- UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRITURACIÓN. (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	25
ILUSTRACIÓN 12.- FRENTE DE LA FABRICA "PLASTEX". (FUENTE: AUTOR).....	26
ILUSTRACIÓN 13.- UBICACIÓN DE LA FÁBRICA DE POLIESTIRENO "PLASTEX". (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	26
ILUSTRACIÓN 14.- CAUCHO TRITURADO. (FUENTE: AUTOR)	32
ILUSTRACIÓN 15.- PLÁSTICO PET. (FUENTE: AUTOR).....	33
ILUSTRACIÓN 16.- ESPUMA FLEX (POLIESTIRENO). (FUENTE: AUTOR).....	34
ILUSTRACIÓN 17.- ARENA DE SÍLICE. (FUENTE: AUTOR).....	35
ILUSTRACIÓN 18.- GRAVA. (FUENTE: AUTOR).....	35
ILUSTRACIÓN 19.- ARENA DE RÍO. (FUENTE: AUTOR).....	36
ILUSTRACIÓN 20.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [NES-SE-DS] (FUENTE: AUTOR)	68
ILUSTRACIÓN 21.- MÓDULOS DE ELASTICIDAD [ACI 318S-14] (FUENTE: AUTOR).....	69
ILUSTRACIÓN 22.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 1] (FUENTE: AUTOR)	71
ILUSTRACIÓN 23.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 2] (FUENTE: AUTOR)	72
ILUSTRACIÓN 24.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 3] (FUENTE: AUTOR)	73
ILUSTRACIÓN 25.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 4] (FUENTE: AUTOR)	74
ILUSTRACIÓN 26.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 5] (FUENTE: AUTOR)	75
ILUSTRACIÓN 27.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 6] (FUENTE: AUTOR)	76
ILUSTRACIÓN 28.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 7] (FUENTE: AUTOR)	77
ILUSTRACIÓN 29.- GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN [MEZCLA 8] (FUENTE: AUTOR)	78
ILUSTRACIÓN 30.- GRÁFICA ESFUERZO DEFORMACIÓN [MEZCLA 9] (FUENTE: AUTOR).....	79
ILUSTRACIÓN 31.- DIAGRAMAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN. (FUENTE: AUTOR).....	80
ILUSTRACIÓN 32.- DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN. (FUENTE: AUTOR)	80
ILUSTRACIÓN 33.- DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN. (FUENTE: AUTOR)	81
ILUSTRACIÓN 34.- DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN. (FUENTE: AUTOR)	81
ILUSTRACIÓN 35.- DIAGRAMA RESISTENCIA-DÍAS DE FRAGUADO. (FUENTE: AUTOR).....	83
ILUSTRACIÓN 36.- RESISTENCIAS MÁXIMAS OBTENIDAS [GRÁFICO DE BARRAS]. (FUENTE: AUTOR).....	87
ILUSTRACIÓN 37.- RESISTENCIAS DENTRO DEL RANGO ELÁSTICO [GRÁFICO DE BARRAS]. (FUENTE: AUTOR).....	88



ILUSTRACIÓN 38.- VARIACIÓN PORCENTUAL DE PESOS VOLUMÉTRICOS, RESISTENCIAS Y COSTOS PARA CADA MEZCLA VERSUS LA MEZCLA ESTÁNDAR. (FUENTE: AUTOR)..... 96

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1.- TUBOS Y PLYWOOD CORTADOS. (FUENTE: AUTOR)..... 61
IMAGEN 2.- MOLDES LISTOS PARA COLOCAR EL HORMIGÓN. (FUENTE: AUTOR) 61
IMAGEN 3.- PRENSA PARA REALIZAR ENSAYO A COMPRESIÓN. (FUENTE: AUTOR) 63
IMAGEN 4.- TOMA DE MEDIDAS DE LOS CILINDROS A ENSAYAR. (FUENTE: AUTOR)..... 85



RESUMEN

El objeto principal de esta investigación se basa en el análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con mezclas de hormigón que contienen porcentajes de 10% y 20% de agregados alternos y reciclables, los cuales reemplazan secuencialmente en dicha cantidad al agregado fino (arena de río). Según los resultados obtenidos y los análisis realizados a cada mezcla, durante la realización del estudio se logró detectar las propiedades físicas (peso volumétrico) y mecánicas (resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, deformación unitaria), que presentan cada uno de los diseños de hormigón estudiados.

El número de mezclas fabricadas corresponde a 27 en total, todas aquellas contienen agregados convencionales como grava y arena de río, con la única diferencia de que 24 muestras, contienen agregados alternos (espuma flex y arena de sílice) y reciclables (plástico PET y caucho de neumático), como material de reemplazo del agregado fino en los porcentajes señalados. Consecuentemente se identificaron las bondades y beneficios recibidos, por cada una de estos diseños de hormigón.

De acuerdo con la norma NTE INEN 3124, se llevó a cabo la rotura de las probetas de hormigón perteneciente a cada mezcla fabricada, sometiéndolas a carga axial o ensayos de compresión, donde se obtuvieron datos de resistencias a la compresión y deformaciones unitarias a la edad de 7 y 28 días según la normativa vigente, permitiendo a partir ello obtener resultados referentes a módulos de elasticidad existentes en cada mezcla.

Se logró observar variaciones mínimas y medias a favor de la mezcla estándar en cuanto resistencias obtenidas a los 7 y 28 días de fraguado; y, por otro lado, se toma en consideración que los pesos volumétricos y costos obtenidos para los diseños alternos es satisfactorio en el ámbito de la construcción, si se requiere economizar y alivianar pesos, contribuyendo de manera directa a reducir la contaminación generada por el ser humano.

PALABRAS CLAVE: HORMIGÓN, AGREGADOS ALTERNOS, AGREGADOS RECICLABLES, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, MÓDULOS DE ELASTICIDAD.



ABSTRACT

The main object of this research is based on the comparative analysis of resistance of a standard concrete mix, with concrete mixtures containing percentages of 10% and 20% of alternate and recyclable aggregates, which replace sequentially in said quantity the fine aggregate (river sand). According to the results obtained and the analyses performed on each mixture, during the realization of the study, it was possible to detect the physical (volumetric weight) and mechanical properties (Compressive strength, modulus of elasticity, unit deformation), that each of the concrete designs studied has.

The number of mixtures manufactured corresponds to 27 in total, which contain conventional aggregates such as gravel and river sand, with the only difference that 24 samples contain alternating aggregates (flex foam and silica sand) and recyclables (PET plastic and rubber of tire), as replacement material of the fine aggregate in the percentages indicated. Consequently, the benefits and benefits received were identified for each of these concrete designs.

In accordance with the NTE INEN 3124 standard, the concrete test pieces belonging to each manufactured mixture were broken, subjected to axial load or compression tests, where data of compression resistance and unit deformations were obtained at the age of 7 and 28 days according to current regulations, allowing it to obtain results referring to elasticity modules existing in each mixture.

It was possible to observe minimum and average variations in favor of the standard mixture in terms of resistances obtained at 7 and 28 days of setting; and, on the other hand, it is taken into consideration that the volumetric weights and costs obtained for the alternate designs are satisfactory in the field of construction, if it is necessary to economize and lighten weights, contributing in a direct way to reduce the pollution generated by the human.

KEYWORDS: CONCRETE, ALTERNATE AGGREGATES, RECYCLABLE AGGREGATES, COMPRESSION RESISTANCE, ELASTICITY MODULES.



1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En el ámbito constructivo, las estructuras de hormigón armado están constituidas principalmente por el hormigón, mismo que posee material cementante y distintos agregados pétreos, los cuales dependen de la facilidad con la que se pueden adquirir en una determinada zona; tomando en cuenta, que la calidad de estos materiales es muy importante.

El hormigón es uno de los materiales de construcción con mayor demanda por los beneficios que este puede brindar; tomando en consideración que sus costos varían de acuerdo a los agregados que lo constituyen, los cuales poseen características diferentes entre sí, permitiendo obtener resistencias acordes a la necesidad. Esto se basa primordialmente a que el hormigón convencional, está compuesto generalmente por material cementante y agregados pétreos tales como: la grava y arena de río.

Esta investigación se basa principalmente en el estudio de resistencias que pueden alcanzar las diferentes muestras generadas de una mezcla estándar de hormigón, que contiene materiales convencionales. A partir de ello, utilizando una dosificación similar ó idéntica, se procederá a mezclar diferentes agregados y materiales, alternos y reciclables conjuntamente con material cementante, para luego comparar los resultados obtenidos, sus diferentes beneficios y bondades, que pueden proporcionarnos cada uno de ellos.

Para llevar a cabo la investigación se ha planteado diferentes agregados y materiales, alternos y reciclables, los cuales van a ser utilizados para varias mezclas; estos son:

- a) Material reciclable: caucho de neumáticos, plástico PET.
- b) Material alternativo: espumaflex (poliestireno), arena de sílice (minerales).

Tomando en cuenta que la contaminación es un tema muy grave, y sobre todo si se refiere a materiales con mayor demanda anual, como es el caso de los materiales reciclables seleccionados para este análisis (caucho de neumáticos y PET). Esta investigación intenta generar una vía de aprovechamiento de dichos residuos utilizándolos como agregados en el hormigón.



Para el análisis y comparación de los diferentes hormigones fabricados, es de suma importancia determinar e investigar las propiedades de aquellos materiales que van a ser utilizados como agregados; y, con los datos obtenidos, plantear y realizar una dosificación adecuada para llevar a cabo el estudio.

Al llevar a cabo los ensayos a compresión de cada uno de los cilindros de hormigón, se obtiene los diagramas esfuerzo-deformación, los cuales son comparados entre sí, obteniendo los módulos de elasticidad, las deformaciones unitarias y la resistencia máxima a la compresión.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con mezclas que contienen agregados y materiales alternos y reciclables.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Encontrar mediante ensayos establecidos por la norma ASTM, las propiedades físicas de los materiales gruesos, los cuales son muy importantes para realizar un diseño efectivo del hormigón.
- Encontrar mediante ensayos establecidos por la norma ASTM, las propiedades físicas de los materiales finos, los cuales son de suma importancia para realizar un diseño adecuado del hormigón.
- Realizar el diseño de una mezcla de hormigón con agregados convencionales, tales como el cemento, arena, grava y agua; esto de acuerdo con el método ACI 211.
- Emplear la dosificación original de la mezcla que contiene agregados convencionales como base para producir hormigones, reemplazando porcentajes del 10% y 20% del volumen total del agregado fino, con diferentes agregados alternos y reciclables.
- Fabricar las probetas o moldes tomando en cuenta la relación 2:1.
- Someter a ensayos de compresión o carga axial los diferentes cilindros de hormigón.
- Adquirir los diferentes módulos de elasticidad de cada uno de los hormigones.
- Encontrar las deformaciones unitarias generadas en cada uno de los hormigones.
- Efectuar un análisis costo-beneficio de cada mezcla.
- Llevar a cabo un análisis comparativo de resultados.



1.3. JUSTIFICACION

Día tras día se está tratando de mejorar el rendimiento de los distintos materiales para la construcción, entre ellos “el hormigón”, material que desempeña un papel muy importante en las obras de ingeniería; tomando en cuenta desde un principio que la elaboración y diseño del hormigón debe ser viable y a su vez beneficioso, contribuyendo de tal manera a la conservación del medio ambiente.

Con el fin realizar hormigones conformados por distintos tipos de agregados alternos o reciclables, los cuales permitirán demostrar los beneficios que pueden brindar cada uno de ellos, de manera constructiva y económica, al mismo tiempo descartando aquellos que presenten resultados contraproducentes dependiendo de la estructura en la que se emplee; se realizarán distintas muestras de hormigón, las cuales serán sometidas a cargas axiales, permitiendo obtener datos para realizar la comparación de resultados. Se debe tomar en cuenta que los diferentes agregados poseen propiedades no comunes, es por ello que, las resistencias, pesos y costos de cada hormigón varían consecuentemente.

Mediante la utilización de materiales alternos y reciclables, se contribuye de manera directa a la conservación del medio ambiente sabiendo que los problemas de contaminación del planeta, sigue creciendo de manera descomunal, es por ello que se requiere encontrar los materiales alternos o reciclables idóneos para un determinado tipo de hormigón y de resistencia adecuada.

El análisis que se va realizar en este estudio es de suma importancia para el ámbito de la construcción, el cual consiste en la toma de diferentes tipos de materiales alternos o reciclables que reemplacen en ciertos porcentajes al material tradicional. Principalmente el estudio se basa en un análisis comparativo de una mezcla estándar de hormigón, versus, distintas mezclas con agregados alternos.

Se debe de tomar en consideración que materiales alternos y reciclables usados en el hormigón, mejoren el ámbito de la construcción, es por ello que dentro del análisis realizado se puede verificar costos y beneficios que estos prestan, y de la misma manera las ventajas y desventajas que brindan.



1.4. OBTENCIÓN DE MATERIALES

Es necesario plasmar una vez más que los materiales utilizados para llevar a cabo este estudio, son encontrados exclusivamente dentro del territorio Ecuatoriano; principalmente de Provincias como la del Azuay y Zamora Chinchipe. En el capítulo 1 se detalla las ubicaciones de los lugares donde se obtuvieron cada uno de los agregados (materiales).

La ilustración 1 muestra las diferentes ubicaciones de donde se obtuvieron los agregados.

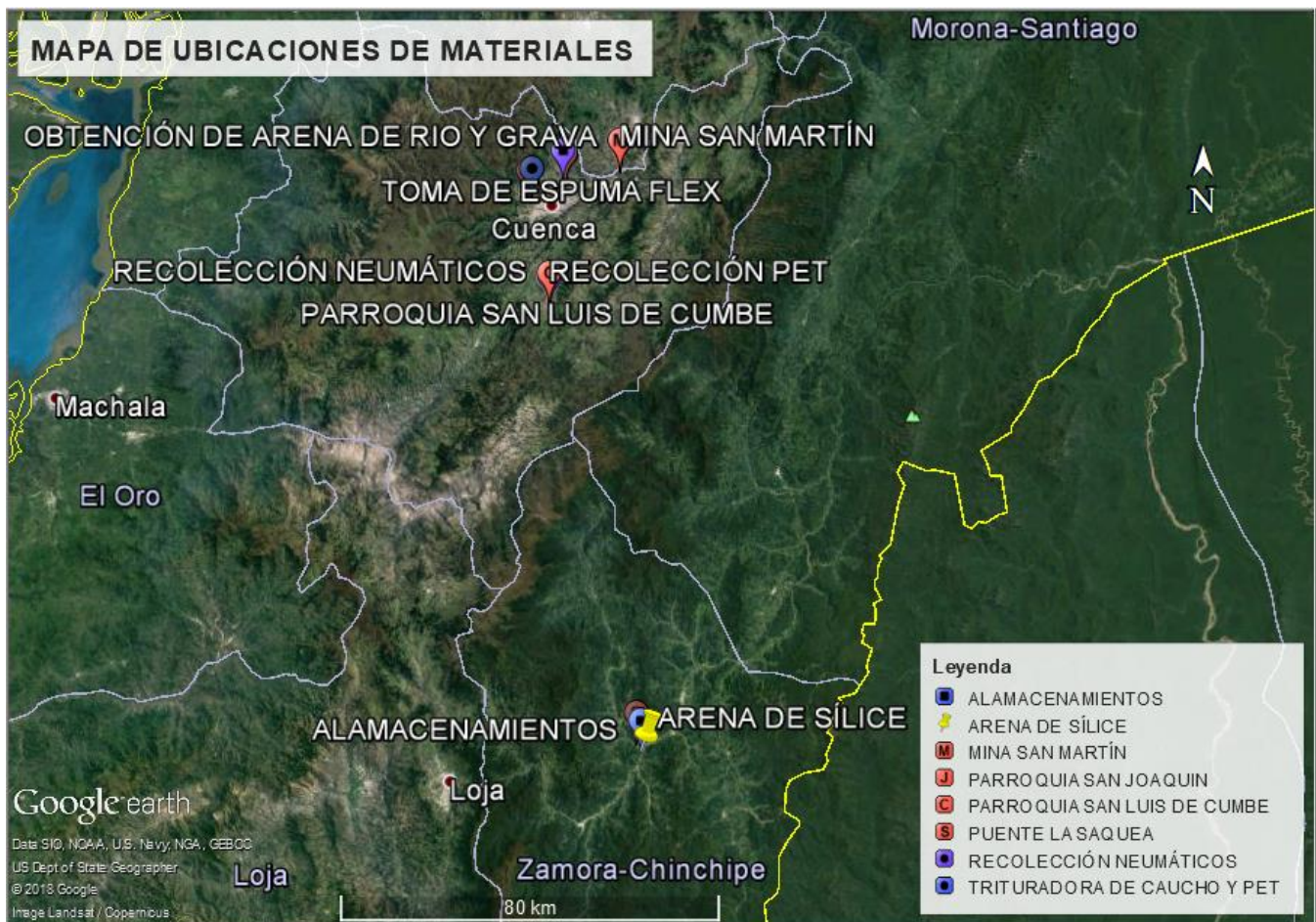


Ilustración 1.- Ubicación de los lugares de obtención de agregados dentro de Ecuador.

Fuente: (Google Earth)



1.5. AGREGADOS PÉTREOS

1.5.1. GRAVA Y ARENA DE RÍO

Estos agregados pétreos, se han convertido en los principales materiales de construcción en la ciudad de Cuenca, debido a que son muy comunes y por su fácil acceso, pudiendo ser, de ríos y canteras; se sabe que el destino final para su comercialización son lugares como ferreterías, sitios de stock para materiales granulares e inclusive las minas, entre otros lugares que permitan la fácil obtención para el constructor.

Los materiales pétreos ocupados para el estudio se obtuvieron de la mina San Martín, ubicada en la panamericana Norte, sector del descanso de la ciudad de Cuenca Provincia del Azuay.

La tabla 1 muestra la ubicación correspondiente al lugar de donde se obtuvieron los materiales pétreos.

UBICACIÓN		
Coord. Norte	Coord. Este	Altura (m)
9686135,75	735947,70	2324

*Tabla 1.- Coordenadas para obtención de materiales pétreos.
(Fuente: Autor)*

La ilustración 2 presenta el ingreso a la mina San Martín, lugar donde se obtuvieron la grava y arena.



*Ilustración 2.- Mina San Martín.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*



La ilustración 3 muestra la ubicación del lugar donde se obtuvieron la grava y arena.



Ilustración 3.- Ubicación del lugar de acopio de arena y grava.
Fuente: (Google Earth)

1.5.2. ARENA DE SÍLICE

Este material considerado como agregado fino es de fácil acceso para la provincia de Zamora Chinchipe, la cual se encuentra depositada en almacenamientos; para nuestro estudio tomamos una muestra de uno de los almacenamientos ubicada a 2.5 km de la Saquea.

La tabla 2 muestra la ubicación del almacenamiento de arena de sílice.

UBICACIÓN		
Coord. Norte	Coord. Este	Altura (m)
9565241,42	739758,70	1302

Tabla 2.- Coordenadas del lugar para la obtención de arena de sílice.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La ilustración 4 muestra el ingreso al almacenamiento de arena en Zamora Chinchipe.



*Ilustración 4.- Almacenamiento de Arena de Sílice.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

La ilustración 5 presenta la ubicación del lugar de almacenamiento de arena de sílice.



*Ilustración 5.- Ubicación del lugar de almacenamiento de Arena de Sílice.
Fuente: (Google Earth)*

1.5.3. CAUCHO DE NEUMÁTICO USADO

La conservación del medio ambiente es muy importante, es por ello que se busca reducir la contaminación del mismo; el caucho de neumático usado hoy en día se puede encontrar en cualquier lugar del mundo debido a su gran demanda. Para el presente estudio, se realizó una recolección en la parroquia Cumbe del Cantón Cuenca.

La tabla 3 muestra las coordenadas del lugar donde se encuentra reciclado el caucho de neumático.

UBICACIÓN		
Coord. Norte	Coord. Este	Altura (m)
9658036,13	721184,37	2086

Tabla 3.- Coordenadas para obtención de caucho de neumático usado.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 6 presenta el lugar donde están reciclados los neumáticos usados, los cuales no tienen ningún tipo de aprovechamiento.



Ilustración 6.- Ubicación de los neumáticos usados.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La ilustración 7 presenta la ubicación del lugar de recolección de los neumáticos usados.



Ilustración 7.- Ubicación del lugar de donde se recolectó neumático usado.
Fuente: (Google Earth)

1.5.4. PET (Botellas Plásticas de Bebida)

El plástico PET, siendo uno de los materiales más usados como envases para bebidas, ha generado una alta contaminación en el planeta; es por ello, que la reutilización de estos materiales después de su vida útil es esencial. Para el presente estudio se recolectó una gran cantidad de PET en la parroquia Cumbe del Cantón Cuenca.

La tabla 4 muestra la ubicación del lugar donde se encuentra reciclado las botellas de plástico PET.

UBICACIÓN		
Coord. Norte	Coord. Este	Altura (m)
9658000,80	721163,79	2087

Tabla 4.- Coordenadas para obtención de botellas plásticas PET.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 8 muestra un las botellas plásticas PET ubicadas dentro de un recipiente de reciclaje, parroquia Cumbe del Cantón Cuenca.



Ilustración 8.- Ubicación de las botellas plásticas PET en proceso de reciclaje.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La ilustración 9 presenta la ubicación del lugar de recolección del plástico PET.



Ilustración 9 Identificación del lugar donde se recolectó plástico PET.

Fuente: (Google Earth)

1.5.5. TRITURADORA DE NEUMÁTICO Y PET

La planta de trituración de los materiales reciclables como el caucho y PET, está ubicada en la parroquia San Joaquín del Cantón Cuenca. Esta planta es de vital importancia ya que prioriza el tamaño de los agregados y es mucho más uniforme el triturado.

La tabla 5 muestra la ubicación de la fábrica trituradora de neumático y plástico.

UBICACIÓN		
Coord. Norte	Coord. Este	Altura (m)
9680274,84	717488,19	2615

Tabla 5.- Coordenadas de la fábrica trituradora de material reciclado.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 10 muestra la máquina trituradora de PET y Caucho Ubicada en la parroquia San Joaquín.



*Ilustración 10.- Máquina trituradora de PET y Caucho.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

La ilustración 11 presenta la ubicación de la planta de trituración para el Caucho y PET.



*Ilustración 11.- Ubicación de la planta de trituración.
Fuente: (Google Earth)*

1.5.6. POLIESTIRENO (Espuma Flex)

La espuma Flex o Poliestireno es considerado en este estudio como un material alterno, el cual contribuirá para el alivianamiento del hormigón; siendo así, este material se encuentra con facilidad en una fábrica de nombre “Plastex” ubicadas en la ciudad de Cuenca vía Patamarca km 7.



La tabla 6 muestra la ubicación de la fábrica de Espuma Flex (Poliestireno).

UBICACIÓN		
Coord. Norte	Coord. Este	Altura (m)
9684112,14	723982,63	2278

Tabla 6.- Coordenadas para obtención de Espuma Flex.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La ilustración 12 muestra la fábrica de Espuma Flex (Poliestireno).



Ilustración 12.- Frente de la Fabrica "Plastex".

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La ilustración 13 muestra la ubicación del lugar de acopio de la espuma Flex (poliestireno).



Ilustración 13.- Ubicación de la fábrica de poliestireno "Plastex".

Fuente: (Google Earth)



2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. PRINCIPIOS DEL HORMIGÓN

El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes; agregados y pasta. La pasta compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

Según la norma ASTM generalmente los agregados que componen la mezcla se clasifican en arenas (finos) y gravas (gruesos). Los agregados finos que se refiere normalmente a las arenas naturales o artificiales (manufacturadas) con partículas de hasta 9,5mm (3/8 plg); agregados gruesos son partículas retenidas en la malla 1,18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6plg). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es de 19mm o de 25mm (3/4 o 1plg). Un agregado tamaño intermedio, cerca de 9,5 mm (3/8 plg), algunas veces adicionado para mejorar la granulometría general del agregado. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (interiormente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta el 40% del volumen total del concreto. El volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 0.2% hasta 3% del volumen. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales como arcilla o materia orgánica que puedan causar deterioro del hormigón. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

La calidad del hormigón depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un hormigón adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)



Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del hormigón endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con la relación de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento de hormigón). Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a la interperie.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento o fisuramiento)
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado.

Cuanta menos agua se usa, mejor es la calidad del hormigón, si es que la mezcla posee una trabajabilidad adecuada. Menores cantidades de agua utilizada para el mezclado, resulta mezclas más rígidas (secas); aun así, con vibración, dichas mezclas pueden ser fácilmente colocadas. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

Tanto las propiedades del hormigón fresco (plástico) como del hormigón endurecido se pueden cambiar con la adición al hormigón de aditivos químicos, normalmente en forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para, ajuste de tiempo de fraguado, reducción de la demanda de agua, aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad), la inclusión intencional de aire y el ajuste de otras propiedades de concreto fresco o endurecido. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, hormigonado, consolidación, terminado, y curado adecuados, el hormigón se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento). Además, el hormigón es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)



2.2. CEMENTOS PORTLAND.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el hormigón, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

El proceso de manufactura del cemento consiste, esencialmente, en la trituración de los materiales crudos (calizas y arcillas); su mezcla en proporciones apropiadas; y su calcinación a una temperatura aproximada de 1400°C, dentro de un cilindro rotativo, lo que provoca una fusión parcial del material, conformándose bolas del producto llamadas clinker. El clinker es enfriado y luego es molido junto con el yeso hasta convertirlo en un polvo fino llamado cemento Portland. (Marcelo Romo Proaño M.Sc., 2008)

Algunos Tipos de Cemento Portland son:

2.2.1. CEMENTO PORTLAND TIPO I

Se los conoce como cemento portland ordinario, que es de mayor utilización en el mercado. Se lo utiliza en hormigones normales que no están expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo. (Marcelo Romo Proaño M.Sc., 2008)

2.2.2. CEMENTO PORTLAND TIPO II

Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos antibacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se los emplea en la colocación de mampostería; cementos impermeabilizantes que se los utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc. (Marcelo Romo Proaño M.Sc., 2008)

2.2.3. CEMENTO PORTLAND TIPO III

Son los cementos de fraguado rápido, que suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con fluidos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción. (Marcelo Romo Proaño M.Sc., 2008)



2.2.4. CEMENTO PORTLAND TIPO IV

Son los cementos de fraguado lento, que produce poco calor e hidratación. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado. (Marcelo Romo Proaño M.Sc., 2008)

2.2.5. CEMENTO PORTLAND TIPO V

Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto. (Marcelo Romo Proaño M.Sc., 2008)

2.2.6. CEMENTO PORTLAND CON INCORPORADORES DE AIRE

Son aquellos a los que se les adiciona un material incorporador de aire durante la pulverización; para identificarlos se les coloca una "A" así por ejemplo cemento Portland tipo 1-A o tipo 3-A, etc. (Ing. Gerardo A. Rivera L., 2015)

2.2.7. CEMENTO PORTLAND BLANCO

Es el que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca; prácticamente cumple las especificaciones del cemento Portland tipo 1. (Ing. Gerardo A. Rivera L., 2015)

2.3. AGUA DE MEZCLA PARA EL CONCRETO

Como norma general se considera que el agua es adecuada para producir mortero u hormigón si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el mortero o el hormigón. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas, puede no servir para beberla.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencias del hormigón, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre



la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades. (Association & Steven H. Kosmatka, 2004)

Además, el agua puede extraerse de fuentes naturales cuando no se tienen redes de acueducto y puede contener elementos orgánicos indeseables o un alto contenido inaceptable de sales inorgánicas. Las aguas superficiales en particular, a menudo contienen materia en suspensión tales como: aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales; lo cual puede hacerla inadecuada para emplearla sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para permitir que dicha materia en suspensión se elimine. (Ing. Gerardo A. Rivera L., 2015)

El agua empleada en el mezclado de hormigón, debe cumplir con las disposiciones de la **norma NTE INEN 2617**. No serán utilizadas en la preparación de un hormigón, aguas servidas, aguas de desechos industriales, aguas blandas o de deshielo de montañas, aguas con elevadas concentraciones de sólidos disueltos o en suspensión. No se debe utilizar agua salada o de mar. (NEC-SE-HM, 2010)

2.4. AGREGADOS ALTERNOS Y RECICLABLES PARA LOS CONCRETOS

2.4.1. MATERIALES RECICLABLES

Se considera como desecho reciclable a todo producto manufacturado inservible no peligroso, tal como papel y cartón, vidrio, cristal y cerámica, desechos de lata y/o que contengan lata, madera, plásticos, gomas, cueros y cauchos, textiles (trapos, gasas, fibras). (CELEC EP, 2013)

2.4.1.1. CAUCHO NEUMÁTICO

El caucho se obtiene del árbol por medio de un tratamiento sistemático de "sangrado", que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza profundizando hasta el cambium. Una pequeña vasija que cuelga en el tronco del árbol para recoger el látex, jugo lechoso que fluye lentamente de la herida del árbol. El caucho es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, tanto más la planta regenera. (Irene del Pilar Urrea Carrasco, 2006)

El caucho es producido en el protoplasma por reacciones bioquímicas de polimerización catalizadas por enzimas. (Irene del Pilar Urrea Carrasco, 2006)



En la fabricación moderna de artículos de caucho natural, el caucho crudo se trata con varios compuestos mezclándolos en máquinas. La mezcla se aplica entonces mecánicamente a una base o molde, y el objeto revestido o formado de la mezcla se pone en moldes y vulcaniza. (Irene del Pilar Urrea Carrasco, 2006)

La Ilustración 14 muestra el Caucho triturado y listo para usar en la mezcla.



*Ilustración 14.- Caucho triturado.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

2.4.1.2. PLÁSTICO PET

Politereftalato de Etileno (PET) se considera un termoplástico de alta calidad que se identifica con el número uno o las siglas PET o PETE, rodeado por tres fechas en el fondo de los envases según el sistema de identificación de la SPI (Sociedad de Industrias de Plástico, por sus siglas en inglés). Químicamente pertenece a la familia de los poliésteres, cuya principal característica es la presencia de enlaces tipo éster ($-\text{CO}-\text{O}-$). El PET se constituye por grupos etileno y tereftalato. (Ávila C., Martínez B., Barrera D., Ureña N., & Loza Y., 2015)

A nivel laboratorio, el PET se obtiene mezclando ácido tereftálico y etilenglicol por calentamiento en presencia de un catalizador ácido. También se puede sintetizar a partir del cloruro de tereftaloilo y etilenglicol, siendo la última más sencilla, pero también más costosa y peligrosa. Así el PET es el plástico más ampliamente utilizado para contener bebidas carbonatadas y agua; cobrando gran importancia dadas sus numerosas aplicaciones. (Ávila C., Martínez B., Barrera D., Ureña N., & Loza Y., 2015)



La Ilustración 15 presenta el plástico PET triturado y listo para emplear en la mezcla.



*Ilustración 15.- Plástico PET.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

2.4.2. MATERIALES ALTERNOS

2.4.2.1. ESPUMA FLEX (Poliestireno)

La **espuma flex o poliestireno expandido** (EPS son sus siglas en inglés, “Expandable Polystyrene”), es un material plástico de textura esponjosa, del cual el 98% de su volumen es aire y el 2% materia sólida, se forma por un proceso que por medio de una máquina de energía térmica, aumenta la temperatura para que aumente su volumen mediante un agente expansor que a su vez ingresa aire a la masa del poliestireno, se lo ubica en el campo del envase y embalaje para diferentes actividades, últimamente la espuma flex se ha abierto campo en el sector de la construcción debido a su uso principalmente como aislante térmico y acústico, es usado como base para el hormigón proyectado en paredes prefabricadas, en bloques recuperables para el alivianamiento en losas, etc. (Escobar M. & Rivas R., 2016)

La espuma flex o EPS es un material preferido para empaçar electrodomésticos, de aislante, embalaje de alimentos. Inclusive siendo utilizado para el empaque, el ciclo de vida para este propósito es muy corto, por lo que, al llegar a su destino, no es usado más, y el lugar donde va este material, son los botaderos ocupando el 40% del volumen del relleno o en su defecto incinerado, es por este motivo que en otros países han optado por el reciclaje como una forma de mitigación al impacto ambiental que envuelve dichos desechos. (Saltos Barreiro, 2015)



La Ilustración 16 presenta la Espuma Flex o (Poliestireno) obtenido en la fábrica.



Ilustración 16.- Espuma flex (Poliestireno).
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

2.4.3. MINERALES Y AGREGADOS PÉTREOS

Son los principales constituyentes de las rocas de la corteza terrestre; se trata de sustancias sólidas naturales, y homogéneas de composición química definida, disposición atómica ordenada y fruto de procesos inorgánicos. Pocos minerales forman rocas a pesar de que se conocen cerca de 2000 especies diferentes, pues los silicatos y los óxidos son los principales constituyentes de la corteza, en razón de que ocho elementos lo hacen casi todo en la naturaleza. (Duque Escobar, 2002)

2.4.3.1. ARENA DE SÍLICE

Se entiende por Arena de Sílice, el producto natural o procesado constituido por granos cuyo principal constituyente es sílice. Tiene diversos usos entre los cuales se encuentran los siguientes: en la industria del vidrio para la elaboración del mismo, en la industria metalúrgica para la elaboración de moldes para fundición, etc. (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1969)

La arena es un compuesto de silicio y oxígeno, los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre, los cuales se combinan con diversos elementos metálicos para producir silicatos, cada silicio está rodeado de cuatro oxígenos. Las arenas de sílice y cuarzo que contienen más de un 98% de bióxido de silicio, son las de mayor uso comercial, así como las más abundantes. Además, es fuerte, dura, baja conductora de electricidad y químicamente inerte. (Mendoza, Barón G., & Parra V., 2007)



La Ilustración 17 presenta Arena de Sílice obtenida des el almacenamiento ubicado en Zamora.



Ilustración 17.- Arena de Sílice.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

2.4.4. GRAVA

Cantos, guijarros o guijos, dispuestos en una matriz, a veces parecen hormigón. Variable dependiendo del tipo de fragmentos de roca. Su granulosidad es variable, está compuesta de fragmentos redondeados de roca emplazados en una matriz de granos más finos. Proviene de playas, lagos y ríos que son depósitos de cantos, guijarros y gravilla. A menudo se encuentran cerca de depósitos de arena y arcosas. (Jaime Enrique López Olson, 2018)

La Ilustración 18 presenta la grava obtenida de la mina San Martín.



Ilustración 18.- Grava.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



2.4.5. ARENA DE RIO

La arena es el producto del desgaste de las piedras al darse golpes movidas por la corriente de los ríos. Igualmente es el origen y materia básica para la formación de piedras en los ríos, ya que al sedimentarse se aglutinan y compactan, pegándose un grano con otro ya sea con cementos naturales, con arcillas o simplemente por la acomodación que producen las grandes presiones. (CHINCHILLA PRÓSPERO., 1986)

Se presentan en granos, unos más grandes que otros, nunca mayores a 6,5 mm, lo que permite al cribarla (separar granos finos de gruesos), separarla y clasificarla por el tamaño de sus granos, obteniendo arena fina y gruesa. Esto se realiza por medio de tamices en laboratorios o en la obra. (CHINCHILLA PRÓSPERO., 1986)

La arena lavada es aquella que posterior a un proceso de lavado pierde el fango y las impurezas que la contaminan, esta es usada en la preparación de hormigones y morteros. (CHINCHILLA PRÓSPERO., 1986)

La Ilustración 19 presenta arena de río.



*Ilustración 19.- Arena de Río.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*



2.5. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN SIMPLE

Cuando se estudian los procedimientos para dosificar mezclas de concreto, se recomienda hacer mezclas de prueba, con el fin de determinar las proporciones del hormigón que cumplan con las características deseadas, para ser empleado en la construcción. (Ing. Gerardo A. Rivera L., 2015)

- a) Los requisitos para mezclas de hormigón se basan en la filosofía de que el hormigón debe proveer resistencia y durabilidad adecuadas, que garantice una inversión económica apropiada en la construcción de obras civiles. (ACI, 2014)
- b) La durabilidad del hormigón se ve afectada por la resistencia del mismo a la penetración de fluidos. Esta se ve principalmente afectada por la relación a/c y la composición de los materiales cementantes utilizados en dicho hormigón. (ACI, 2014)

2.6. DISEÑO DE HORMIGÓN SIMPLE MÉTODO ACI

El método de diseño empleado para la investigación corresponde al ACI 211. Mismo que consta de nueve pasos secuenciales a seguir de manera ordenada, el cual permitirá obtener un hormigón de resistencia normal. Además, se realiza un reajuste por humedad de los agregados, para obtener mejores resultados.

2.6.1. SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO

La prueba de revenimiento del hormigón es realizada mediante el cono de Abrams, donde se mide la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde. Esta distancia se expresa generalmente en cm y varía según la fluidez del hormigón. (ASTM C 143-00.)

La selección del revenimiento está especificada de acuerdo al tipo de estructura que se va construir.



La tabla 7 muestra los valores de revenimiento adecuado según el tipo de estructura que se está construyendo.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Revenimiento en cm	
	Máximo	Mínimo
<i>Muros de cimentación y zapatas reforzadas</i>	7,5	2,5
<i>Zapatas Campanas y muros de subestructura sencillos</i>	7,5	2,5
<i>Vigas y muros reforzados</i>	10	2,5
<i>Columnas para edificios</i>	10	2,5
<i>Pavimentos y losas</i>	7,5	2,5
<i>Concreto masivo</i>	7,5	2,5

Tabla 7.- Revenimiento de acuerdo al tipo de estructura a construir.
Fuente: (ACI 211, 2002)

2.6.2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Los grandes tamaños nominales máximos de agregados bien graduados tienen menos espacios que los tamaños más pequeños. Por lo tanto, los hormigones con los agregados de mayor tamaño requieren menos mortero por unidad de volumen de hormigón. Generalmente, el tamaño máximo nominal del agregado, debe ser el mayor posible de tal forma que mejore la resistencia de esta roca artificial, y que en lo posible, se pueda garantizar su economía. (ACI 211, 2002)

Dos características de los agregados tienen influencia importante en la dosificación de las mezclas de hormigón porque afectan la trabajabilidad del mismo cuando está fresco: (ACI 211, 2002)

- a) Granulometría
- b) Naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial.)

2.6.3. CALCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y EL CONTENIDO DE AIRE

La cantidad de agua requerida para obtener un determinado revenimiento en volumen unitario de hormigón depende del tamaño, forma y granulometría, así como la cantidad de aire incluido. (ACI 211, 2002)



La tabla 8 muestra la cantidad de agua por un metro cúbico de hormigón.

Requisitos aproximados. De agua de mezclado y contenido de aire para diferente revenimientos y tamaños maximos nominales de agregado								
Revenimiento (cm) Agua (kg/m ³) de concreto para los tamaños maximos nominales de agregado (mm)								
Trabajabilidad	Tamaño máximo del agregado (mm)							
(cm)	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido								
De 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
De 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
De 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	----
Cantidad de aire aproximada. Atrapada en concreto sin inclusion de aire (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
De 3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
De 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
De 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	----
Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo al nivel de exposicion.								
Ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Tabla 8.- cálculo de la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón.
Fuente: (ACI 211, 2002)

2.6.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO

El diseño de la mezcla debe producirse de manera que exista un mínimo de frecuencia de resistencias inferiores a la $f'c$ por lo que es necesario diseñar a una resistencia mayorizada a la cual se le conoce con el nombre de resistencia promedio simbolizada con $f'cr$ o f_m , esta resistencia promedio es calculada mediante las siguientes formulas.



La tabla 9 muestra las fórmulas para obtener la resistencia promedio cuando existe desviación estándar.

$f'_{cr} = f'_{c} + 1,34s$
$f'_{cr} = f'_{c} + 2,33s - 35$
Donde: s: desviación estándar f'cr: resistencia promedio f'c: resistencia requerida

Tabla 9.- Fórmulas para obtener la resistencia promedio.
Fuente: (ACI 211, 2002)

La resistencia a compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar, debido a que para utilizar el factor de modificación para la desviación estándar debe disponerse de 15 a 30 pruebas consecutivas

La tabla 10 muestra la resistencia a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar.

Resistencia a la compresión especificada f'c kg/cm ²	resistencia promedio a la compresión requerida, f'cr kg/cm ²
Menos de 210 kg/cm ²	f'c + 70
De 210 a 350	f'c + 84
Más de 350	f'c + 98

Tabla 10.- Resistencias promedio a compresión requerida.
Fuente: (ACI 211, 2002)

Además, existe la posibilidad de obtener la variabilidad de la resistencia del hormigón, misma que está en base al nivel de control de calidad del proceso de mezclado, y que se rige a la **tabla 11** mostrada posteriormente.

Un control de **calidad muy bueno** se obtiene solamente en laboratorios especializados que dosifican sus mezclas al peso. (ACI 211, 2002)

Un control de **calidad bueno** se consigue en obras que emplean hormigón premezclado en fábricas especializadas y controlan el asentamiento en el cono de Abrams, o en obras que mecanizan la producción de mezclas al peso. (ACI 211, 2002)

Un control de **calidad regular** se obtiene con dosificaciones volumétricas y control frecuente de la cantidad de agua mediante el asentamiento del cono de Abrams. (ACI 211, 2002)



Un control de **calidad deficiente** hace referencia a un control inferior al regular expuesto anteriormente. (ACI 211, 2002)

La tabla 11 presenta el nivel de control de calidad del hormigón al momento del mezclado.

NIVEL DE CONTROL DE CALIDAD	
TIPO DE CONTROL	DESVIACION ESTANDAR (s)
Muy Bueno	0,07 * fm
Bueno	0,14 * fm
Regular	0,21 * fm
Deficiente	0,28 * fm

Tabla 11.- Nivel de control de calidad.
Fuente: (ACI 211, 2002)

Una vez identificado el tipo de control en la tabla 11, es necesario aplicar la siguiente ecuación; $f'c = fm - 1,65 * fm$ (Ec. 1.) suponiendo que el 5% de muestras generadas no alcancen la resistencia requerida, lo cual permitirá obtener la resistencia media del hormigón, misma que será siempre mayor que la resistencia requerida.

2.6.5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

La relación agua-cemento no se encuentra determinada solo con la resistencia, sino que también depende de los factores de durabilidad y propiedades del acabado. Con materiales comunes y relaciones tabuladas agua-cemento la resistencia debe cumplir a los 28 días. (ACI 211, 2002)

La tabla 12 proporciona la correspondiente relación agua-cemento en función de la resistencia del Hormigón.

Correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión		
Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua-cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
420	0,41	---
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Tabla 12.- Relación agua-cemento según la resistencia del hormigón.
Fuente: (ACI 211, 2002)



2.6.6. CÁLCULO DE CONTENIDO DE CEMENTO

La cantidad de cemento por volumen unitario de hormigón se rige por las condiciones del tercer y cuarto paso. El cemento requerido es igual al contenido de agua del mezclado, dividido entre la relación agua-cemento, así como muestra la *Ec. 2*. (ACI 211, 2002)

$$\text{Cemento req.} = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\text{Relación agua - cemento}} \quad \text{Ec. 2.}$$

2.6.7. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

En la tabla 13 se puede apreciar la cantidad de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de hormigón, esto de acuerdo al módulo de finura correspondiente a la arena que fue sometida a ensayos de laboratorio.

La tabla 13 presenta la cantidad de agregado grueso que va formar parte de la mezcla, de acuerdo al módulo de finura de la arena.

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón				
tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de hormigón para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10.0	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20.0	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
40.0	0.77	0.73	0.71	0.69
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
70.0	0.87	0.80	0.78	0.76
150.0	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 13.- Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.
Fuente: (ACI 211, 2002)

2.6.8. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Existen dos métodos para determinar la cantidad de agregado fino que va en la mezcla:



- a) Método del peso
- b) Método del volumen absoluto

Para el estudio se emplea el método del peso que consiste en, la diferencia entre el peso total del hormigón y el peso de sus demás componentes. (ACI 211, 2002)

$C_a =$ Cantidad de agua

$C_{aire} =$ Cantidad de aire

$C_c =$ Cantidad de cemento

$C_{ag} =$ Cantidad de agregado grueso

$$C_{af} = 1m^3 - (C_a + C_{ai} + C_c + C_{ag}) \quad \text{Ec. 3.}$$

$C_{af} =$ Cantidad de agregado fino

2.6.9. AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Cuando se procede a pesar las cantidades de cada uno de los agregados para el hormigón se debe de considerar la humedad de cada uno de ellos, de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos ejecutados en el laboratorio.

$W.ar =$ Peso arena

$h.ar =$ Porcentaje de humedad de la arena (%)

$Abs.ar =$ Porcentaje de absorcion de la arena (%)

$W.g =$ Peso grava

$h.g =$ Porcentaje de humedad de la grava (%)

$Abs.g =$ Porcentaje de absorcion de la grava (%)

$$\text{Peso arena (corrección)} = W.ar \times \frac{100 + h.ar}{100 + Abs.ar} \quad \text{Ec. 4.}$$

$$\text{Peso grava (corrección)} = W.g \times \frac{100 + h.g}{100 + Abs.g} \quad \text{Ec. 5.}$$

$Cant. agua (corrección)$

$$\begin{aligned} &= C_a + W.ar \left(\frac{h.ar - Abs.ar}{100 + Abs.ar} \right) \times (-1) \\ &+ W.g \left(\frac{h.g - Abs.g}{100 + Abs.g} \right) \times (-1) \end{aligned} \quad \text{Ec. 6.}$$



3. CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. PROCESOS DE ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN

En el capítulo anterior se detalló el procedimiento para realizar el diseño de hormigón simple por el método ACI 211; de la misma manera se realizará el diseño adecuado siguiendo el proceso establecido, paso a paso.

Tomando en cuenta que los agregados a utilizar en el estudio, y principalmente para la mezcla estándar son el agua, cemento portland tipo IP, grava y arena; mismos que poseen sus parámetros definidos en laboratorio, los cuales definirán las cantidades de cada material en el diseño. Para el caso de los agregados reciclables y alternos únicamente se reemplazará el 10% y 20% del peso de la arena, sin tomar en cuenta los parámetros físicos del material de reemplazo debido a su bajo porcentaje a ocupar en la mezcla.

Una vez establecido las cantidades de material reciclable y alternativo a reemplazar en la mezcla estándar, las mezclas diseñadas serían las siguientes:

La tabla 14 muestra la mezcla estándar diseñada conjuntamente con las mezclas que contienen reemplazos de arena por materiales reciclables y alternos

# de Mezcla	Agregado Grueso	Agregado Fino	10 % Reemplazo	20% Reemplazo
	Estándar			
1	Grava	Arena de Río	-----	-----
	Material Reciclable			
2 y 6	Grava	Arena de Río	PET	PET
3 y 7	Grava	Arena de Río	Caucho	Caucho
	Material Alterno			
4 y 8	Grava	Arena de Río	Espuma Flex	Espuma Flex
5 y 9	Grava	Arena de Río	Arena de Sílice	Arena de Sílice

Tabla 14.- Diseño de mezcla estándar y reemplazo de materiales en porcentajes de 10% y 20%.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)



3.2. MATERIALES

Para facilitar la comprensión es necesario identificar los materiales a utilizar en este estudio; muy a parte de los materiales convencionales utilizados para la mezcla estándar como la grava, arena de río agua y cemento, los materiales son los expuestos a continuación.

Material cementante:

- Cemento Portland tipo IP

Agregado Grueso:

- Grava

Agregado Fino:

- Arena de Río

Material Reciclable:

- PET (Botellas plásticas)
- Caucho de Neumático

Material Alternativo:

- Espuma Flex (Poliestireno)
- Arena de Sílice (Mineral)

3.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Para llevar a cabo la investigación fue necesario considerar las diferentes necesidades que demanda; como es el caso de utilizar equipos e instrumentos que permitan resolver los problemas que se presentan y obtener los resultados requeridos.

A continuación, se detallan aquellos equipos e instrumentos utilizados de acuerdo al trabajo realizado, de acuerdo cada una de las etapas del estudio.



La tabla 15 muestra los Equipos e Instrumentos usados durante la investigación de acuerdo a las etapas de realización del mismo.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA LA INVESTIGACIÓN		
<i>Etapa</i>	<i>Trabajo</i>	<i>Equipos e Instrumentos</i>
1	Ensayos de Laboratorio para la Obtención de los parámetros de los diferentes materiales o agregados	Tamices (Agregado grueso y fino)
		Balanzas
		Matraz
		Picnómetros
		Palas
		Cocina
		Recipientes (Bandejas)
		Horno
2	Diseño, Elaboración y ruptura del Hormigón de Resistencia $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$	Balanzas
		Palas
		Flexómetro
		Encofrados (Moldes para cilindros de dimensiones $h = 21\text{cm} \times D = 10,5\text{cm}$)
		bailejos
		Prensa para realizar ensayos a compresión
3	Análisis de Datos obtenidos	Computadora
		Cámara
		Cuadernos, lápiz, etc.

Tabla 15.- Equipos e Instrumentos utilizados.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

3.4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CON MATERIALES ESTANDARIZADO

Tomando en cuenta que se va realizar un detalle de los pasos seguidos en el diseño del hormigón y la determinación de las cantidades de los agregados que lo componen, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio a los agregados, grueso y fino, de misma manera plasmar los datos referentes a las características del cemento portland. (ANEXO B).



La tabla 16 muestra los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos.

Propiedad	Cemento portland tipo I	Arena de río	Grava
Peso específico Aparente (gr/cm ³)	2.95	2,683	2,600
Tamaño máximo del agregado (mm)	----	----	25,00
Peso Volumétrico (kg/m ³)	----	1569	1530
Humedad (%)	----	8,365	0
Absorción (%)	----	4,112	2,248
Módulo de Finura	----	2,6	----

Tabla 16.- Propiedades de los agregados utilizados en el diseño de hormigón.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

Tomando en cuenta que el estudio consiste en reemplazar un porcentaje correspondiente al 10% y 20% del peso total de material fino (Arena), por material reciclable y alternativo respectivamente; aunque considerando que, en relación del peso de cada agregado a ocupar en el diseño, dicho material de reemplazo ocupa un mínimo porcentaje del peso total, por lo que se descarta su influencia de manera directa; y se emplea los datos, características y propiedades de los agregados que componen la mezcla estándar.

Aun así, se realizó la investigación de las propiedades correspondientes a los materiales reciclables y alternos a ocupar en el diseño de hormigón, lo cual servirá como información extra para estudios vinculados directamente con esta investigación; en el “ANEXO B” se podrá verificar cada uno de ellos respectivamente.

3.4.1. SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO

En función de la **Tabla 7**, la cual muestra los valores de revenimiento en **centímetros (cm)**, de acuerdo al tipo de construcción que se está realizando, se procedió a la selección del mismo; ya que se trata de un tema de investigación y que no va dirigido a algún tipo de construcción en específico, se tomó valores de revenimiento aleatoriamente los cuales permitan proceder de manera adecuada el estudio. Siendo así se toma como revenimiento los siguientes valores:



La tabla 17 muestra los valores de revenimiento seleccionados tomando en cuenta que se trata de un tema investigativo.

REVENIMIENTO	
Mínimo	Máximo
2	10

Tabla 17.- Revenimiento seleccionado.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

3.4.2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

De los ensayos realizados a la grava, en el laboratorio de mecánica de suelos de acuerdo con la granulometría realizada se obtuvo como tamaño máximo de dicho agregado un valor de 25 mm. Se debe tener en cuenta que los tamaños de los agregados gruesos en el hormigón determinan su trabajabilidad.

3.4.3. CÁLCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y EL CONTENIDO DE AIRE

El cálculo del agua de mezclado y contenido de aire existente en el hormigón está en función del revenimiento elegido y el tamaño máximo del agregado identificado en el paso anterior.

La **Tabla 8** mostrada en el capítulo anterior indica las cantidades de agua y aire que serán ocupadas en el diseño de la mezcla de hormigón; la cual muestra valores que están en función de los pasos anteriores.

La **tabla 18** presenta el cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire que va incluir en el hormigón.

AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE			
Revenimiento (cm)	Tamaño máximo del agregado	Cantidad Agua	Porcentaje Aire
2 - 10	25 mm	200 kg/m ³	2.0%

Tabla 18.- Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MAYORADA (f_m)

3.4.4.1. METODO I

La **Tabla 10** muestra las fórmulas a ocupar cuando no se posee datos para establecer una desviación estándar, y como resultado de aquello implica calcular la resistencia promedio f_m mediante dicha formulación.

La resistencia promedio está en función de la resistencia requerida, es por ello que se otorgan rangos para cada fórmula y se identifica la mayoración establecida de acuerdo al diseño que requiere obtener. Para este estudio la resistencia requerida es menor a 200 kg/cm^2 por lo tanto se ocupa la primera fórmula, como se muestra a continuación.

$$f'c = 180 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{Hormigón Requerido}$$

$$f_{m1} = f'c + 70 \quad \text{Hormigón Promedio}$$

$$f_{m1} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{Hormigón Promedio}$$

3.4.4.2. MÉTODO II

Consiste en la determinación de la **resistencia media** (f_{m2}) mediante la aplicación de la **Tabla 11**, la cual muestra los niveles de control de calidad del proceso de mezclado del hormigón, el cual considera que el 5% de las muestras no alcanzan la resistencia requerida de diseño.

Para este estudio se toma un nivel de control de calidad “**Bueno**”; $s = (0,14 f_m)$, considerando que “la producción de la mezcla es controlada al peso” y se realizará la corrección de dosificaciones por la humedad. Es por ello que se realiza el siguiente cálculo:

$$f'c = f_{m2} - 1,65 s \quad \text{Ec. 1.}$$

$$f'c = f_{m2} - (1,65 \times 0,14 f_m)$$

$$f'c = f_{m2} - 0,231 f_m$$

$$180 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 0,769 f_m$$

$$f_{m2} = 234,07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



3.4.5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

En el paso anterior aplicando el *método I* se obtuvo la resistencia promedio $f_{m1} = 250 \text{ kg/cm}^2$ y una resistencia media $f_{m2} = 234 \text{ kg/cm}^2$ aplicando el *método II*, de las cuales se utilizará f_{m1} por ser mayor que f_{m2} , ya que de esta manera se presume que el hormigón diseñado garantice un mejor rendimiento.

En función de f'_{cr} se procederá a determinar la relación agua-cemento, que es la finalidad en este apartado; así mismo se toma en consideración la **Tabla 12**, misma que proporciona el valor de dicha relación a/c, contemplando si el hormigón contiene o no aire incluido.

Puesto que en la **tabla 12** no existe valores de a/c para la resistencia del hormigón utilizada en el diseño se procede a interpolar en función de los valores ya existentes como se muestra a continuación.

La **tabla 19** muestra la interpolación de la relación agua-cemento según la resistencia de nuestro hormigón.

Relación Agua-Cemento	
Resistencia promedio f'_{cr} (kg/cm ²)	Relación a/c
280	0,57
250	0,62
210	0,68

Tabla 19.- Interpolación relación a/c.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

3.4.6. CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

La cantidad de material cementante depende principalmente de las cantidades obtenidas en los dos pasos anteriores; cantidad de agua de mezclado y relación a/c respectivamente. Siendo así, la cantidad de cemento se determina mediante la siguiente relación:

$$\text{Cant. cemento} = \frac{\text{cant. agua mezclado}}{\text{Relación a/c}} \quad \text{Ec. 2.}$$



$$Cant. cemento = \frac{200}{0,62}$$

$$Cant. cemento = 322,58 \text{ kg}$$

3.4.7. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

De acuerdo con la **Tabla 13** donde se especifica los distintos volúmenes de agregado grueso por volumen unitario de hormigón, los cuales están en función del módulo de finura de la arena y el tamaño máximo de la grava.

De esta manera se sabe que el módulo de finura obtenido para el estudio es 2,6 y el tamaño máximo del agregado grueso es de 25 mm. Obteniendo como resultado 0,69 (*ver Tabla 20*).

La **tabla 20** presenta la cantidad de agregado grueso para la mezcla de acuerdo al módulo de finura de la arena.

Volumen de agregado grueso			
Tamaño máximo del agregado	2,40	2,60	2,80
25 mm	0,71	0,69	0,67

Tabla 20.- Obtención del volumen de agregado grueso.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

El volumen de agregado grueso (grava) por volumen unitario de hormigón es: **0.69** y

Se sabe que el peso volumétrico de la grava, varillado en seco es = **1530 kg/m³**

Entonces:

$$Cant. Grava = Peso Vol. \times Vol. unitario grava$$

$$Cant. Grava = 1530 \frac{kg}{m^3} \times 0.69$$

$$Cant. Grava = 1055,7 \frac{kg}{m^3}$$



3.4.8. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Una vez obtenido las cantidades en peso de algunos de los agregados para el hormigón (grava, cemento, agua), y de la misma manera el peso específico aparente de cada uno de ellos (**ANEXO B**); se procede a determinar los volúmenes equivalentes respectivamente, a fin de obtener el volumen total de la arena de río a ocupar.

$$Vol. = \frac{Peso (kg)}{Peso\ específico\ aparente \frac{kg}{m^3}}$$

$$Vol. Cemento = \frac{322,58\ kg}{2950 \frac{kg}{m^3}} = 0,11\ m^3$$

$$Vol. Grava = \frac{1055,7\ kg}{2600 \frac{kg}{m^3}} = 0,41\ m^3$$

$$Vol. Agua = \frac{200\ kg}{1000 \frac{kg}{m^3}} = 0,2\ m^3$$

$$Vol. Aire = 2,0\% = 0,02\ m^3$$

Tal y como se había explicado en el capítulo anterior, el método para obtener el volumen y peso de la arena para el hormigón consiste en una resta (**Ec. 3**). Obteniendo de esta manera las respectivas cantidades correspondientes de cada agregado para un m³ de hormigón.

$$Vol. Arena = 1m^3 - (Vol. cemento - Vol. grava - Vol. agua - Vol. aire)$$

$$Vol. Arena = 1m^3 - (0,11 - 0,41 - 0,20 - 0,02) = 0,26\ m^3 \quad \text{Ec. 3.}$$

$$Peso Ar. = 0.26m^3 * 2683 \frac{kg}{m^3} = 697,58\ kg$$



La tabla 21 muestra el resumen de las cantidades a ocupar de cada uno de los agregados para un metro cúbico de hormigón.

Cantidades de los agregados en peso y volumen corregido, por metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1055,70
Arena	Kg	697,58
Agua	Lts	200,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	---	---

Tabla 21.- Resumen de cantidades.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

3.4.9. AJUSTES POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

En la **Tabla 21** del apartado anterior se exponen las cantidades en peso y volumen de los materiales que componen el hormigón, pero, es necesario tener en cuenta que los cálculos fueron realizados tomando en consideración que dichos materiales, están completamente secos.

En el capítulo anterior se planteó las ecuaciones con las cuales es posible ajustar los pesos de cada uno de los agregados, debido a que estos materiales poseen cierto porcentaje de humedad y absorción de agua (*Propiedades Físicas*). Es por ello que se realiza el ajuste de humedad con el siguiente procedimiento resuelto a continuación.

$W. ar =$ Peso arena

$h. ar =$ Porcentaje de humedad de la arena (%)

$Abs. ar =$ Porcentaje de absorción de la arena (%)

$W. g =$ Peso grava

$h. g =$ Porcentaje de humedad de la grava (%)

$Abs. g =$ Porcentaje de absorción de la grava (%)

$$\text{Peso arena (corrección)} = W. ar \times \frac{100 + h. ar}{100 + Abs. ar}$$

$$= 968,56 \times \frac{100 + 3,33}{100 + 2,407}$$

Ec. 4.



$$= 720,81 \text{ kg}$$

$$\text{Peso grava (corrección)} = W.g \times \frac{100 + h.g}{100 + Abs.g}$$

$$= 856,80 \times \frac{100 + 2,248}{100 + 1,7}$$

Ec. 5.

$$= 1079,43 \text{ kg}$$

Cant. agua (corrección)

$$= Ca + W.ar \left(\frac{h.ar - Abs.ar}{100 + Abs.ar} \right) \times (-1)$$

$$+ W.g \left(\frac{h.g - Abs.g}{100 + Abs.g} \right) \times (-1)$$

$$= 200 + 968,56 \left(\frac{3,33 - 2,407}{100 + 2,407} \right) \times (-1)$$

$$+ 856,80 \left(\frac{2,248 - 1,7}{100 + 1,7} \right) \times (-1)$$

Ec. 6.

$$= 158 \text{ Lts.}$$

La tabla 22 presenta el resumen de las cantidades de los materiales a utilizar por metro cúbico, corregido por humedad.

Cantidades de los agregados en peso y volumen corregido, por metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	720,81
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	---	---

Tabla 22.- Cantidades de los agregados, corregidos la humedad.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



3.5. ELABORACIÓN DE HORMIGONES CON MATERIALES ALTERNOS Y RECICLABLES UTILIZANDO LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA ESTANDARIZADA

En este apartado se muestra los distintos tipos de mezclas que contienen un porcentaje de materiales reciclables, y otros, materiales alternos, considerando como diseño base, la mezcla estándar de hormigón simple de $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$.

Así mismo es de suma importancia conocer que las cantidades de material alternativo y reciclable a utilizar en cada mezcla, corresponde al 10% y 20% del peso total de material fino (Arena) utilizado en la mezcla estándar respectivamente, los cuales reemplazan este último de acuerdo al número de mezcla empleada y que se puede verificar en la desde **Tabla 23** expuesta en este capítulo.

Además, como ya se dio a conocer en capítulos anteriores, las características y propiedades de los materiales de reemplazo (reciclables y alternos), no serán tomados en consideración por su poca influencia en el diseño, por lo cual se mantienen las características y propiedades del agregado fino original (Arena) utilizado para la mezcla estándar.

Existen 2 razones planteadas para este estudio a fin de no tomar en cuenta dichas propiedades físicas de los materiales de reemplazo; **a)** El laboratorio no posee una máquina que permita realizar una trituración del plástico, caucho y espuma flex a medidas deseadas, y, **b)** No se cuenta con máquinas adecuadas para la realización de los ensayos de estos materiales, por lo que sus resultados serían inexactos; aunque considerando que existe información respecto a ello, vía internet, no garantiza fiabilidad alguna.

De esta manera se pretende obtener resultados reales en cuanto a resistencia se refiere, tomando en consideración que dicho hormigón podría ser fabricado en obra directamente para losas u otros fines similares, con un control de calidad bueno o inclusive regular. Siendo así se espera que los resultados a obtener permitan comparar resistencias, pesos y precios respectivamente.

A continuación, se muestra las siguientes tablas, en donde se especifican las cantidades de agregados corregidos por humedad para las distintas mezclas preparadas por un metro cúbico, para el análisis.



SERIE I: 10% de reemplazo.

La tabla 23 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 2, contiene 10% de PET.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	648,73
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	----	----
10% PET	Kg	72,08

Tabla 23.- Cantidades; Mezcla 2.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 24 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 3, contiene 10% de Caucho de neumático.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	648,73
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	----	----
10% Caucho	Kg	72,08

Tabla 24.- Cantidades; Mezcla 3.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La tabla 25 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 4, contiene 10% de Espuma Flex.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	648,73
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	----	----
10% Espuma Flex	Kg	72,08

Tabla 25.- Cantidades; Mezcla 4.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 26 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 5, contiene 10% de Arena de Sílice.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	648,73
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	----	----
10% Sílice	Kg	72,08

Tabla 26.- Cantidades; Mezcla 5.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



SERIE II: 20% de reemplazo.

La tabla 27 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 6, contiene 20% de PET.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
<i>Grava</i>	<i>Kg</i>	1079,43
<i>Arena</i>	<i>Kg</i>	576,65
<i>Agua</i>	<i>Lts</i>	158,00
<i>Cemento</i>	<i>Kg</i>	322,58
<i>Aire</i>	----	----
<i>20% PET</i>	<i>Kg</i>	144,16

*Tabla 27.- Cantidades; Mezcla 6.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

La tabla 28 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 7, contiene 20% de Caucho de neumático.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
<i>Grava</i>	<i>Kg</i>	1079,43
<i>Arena</i>	<i>Kg</i>	576,65
<i>Agua</i>	<i>Lts</i>	158,00
<i>Cemento</i>	<i>Kg</i>	322,58
<i>Aire</i>	----	----
<i>20% Caucho</i>	<i>Kg</i>	144,16

*Tabla 28.- Cantidades; Mezcla 7.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*



La tabla 29 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 8, contiene 20% de Espuma Flex.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	576,65
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	----	----
20% Espuma Flex	Kg	144,16

Tabla 29.- Cantidades; Mezcla 8.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 30 presenta las cantidades de los materiales utilizados para la mezcla 9, contiene 20% de Arena de Sílice.

Cantidades de los agregados en peso, corregido, para un metro cúbico de hormigón		
Agregado	Unidad	Peso (kg)
Grava	Kg	1079,43
Arena	Kg	576,65
Agua	Lts	158,00
Cemento	Kg	322,58
Aire	----	----
20% Sílice	Kg	144,16

Tabla 30.- Cantidades; Mezcla 9.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



3.6. FABRICACIÓN DE MOLDES O ENCOFRADOS PARA TOMA DE MUESTRAS

Para agilizar el estudio y facilitar de la manera más adecuada la investigación en curso, y con el propósito de que los resultados no varíen al momento de realizar los ensayos a compresión del hormigón. Se dice que a medida que aumenta el tamaño de los cilindros, la resistencia a la compresión disminuye, debido a que en las probetas de mayor tamaño la probabilidad de ocurrencia de defectos aumenta. (Molano C. & Torres C., 2017)

Dentro de esta investigación es necesario realizar la fabricación de un número específico de moldes listos para ser ocupados en la fundición; es por ello que, se procedió a elaborar 30 moldes, de material y medidas especificadas como se muestra en la **Tabla 31**:

La tabla 31 contiene las especificaciones respecto a los moldes elaborados por el autor de este proyecto.

Especificaciones de los moldes			
Material	Diámetro	Altura	# moldes
PVC	105mm	210mm	30

Tabla 31.- Especificaciones, moldes.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

Según la norma INEN 3124 creada para hormigón, elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio dice que: los cilindros o moldes deben de ser elaborados en base a materiales que no absorban la humedad del hormigón, y además de ello teniendo muy en cuenta que sus dimensiones de diámetro y altura deben de cumplir con la relación **2:1**; para este estudio se tiene: (105mm x 210mm).

3.6.1. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MOLDES

El proceso seguido para la elaboración de los moldes o encofrados de los cilindros, utiliza diferentes materiales para cortar y pegar; tal es el caso de una máquina cortadora, pegamento, madera (plywood), etc. A continuación, se detalla cada uno de los pasos mediante las imágenes obtenidas.

Además, imágenes respecto al procedimiento seguido para el diseño y fabricación de las muestras se pueden verificar en el **“ANEXO A”**.



La imagen 1 muestra los moldes o encofrados con las dimensiones especificadas anteriormente y además los plywood como base de cada uno de ellos.



*Imagen 1.- Tubos y plywood cortados.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

La Imagen 2 muestra cada uno de los moldes y sus respectivas bases de plywood listos para colocar el hormigón.



*Imagen 2.- Moldes listos para colocar el hormigón.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*



4. CAPITULO IV: PROCESOS Y TIPOS DE PRUEBAS A REALIZAR

4.1. PRUEBAS A COMPRESIÓN O CARGA AXIAL

Para llevar a cabo las pruebas a compresión o carga axial en las diferentes muestras cilíndricas fabricadas, cuyas dimensiones cumplen con la relación 2 a 1 estipulada por el Código **ACI 318S-14**; para este estudio poseen las siguientes medidas; diámetro = 10cm y altura = 20cm cada una de ellas.

Si bien es cierto, estas pruebas se lo realizaron a los 7 y 28 días después del día de la fundición; y para ello se ha fabricado 3 muestras cilíndricas de cada una de las mezclas, con la finalidad de obtener resultados confiables. Posteriormente se puede apreciar la cantidad de muestras fabricadas, detalladas cada una de ellas.

La tabla 32 muestra los detalles y cantidad de muestras de hormigón realizadas para llevar a cabo el estudio.

Registro de mezclas realizadas de acuerdo a su composición					
N° de Mezcla	Combinación de Agregados	Material de Reemplazo	N° de Muestras	Tipo de Molde	Ensayos Aplicados
1	Grava y Arena de río	-----	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
2	Grava y Arena de río	PET (10%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
3	Grava y Arena de río	CAUCHO (10%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
4	Grava y Arena de río	Espuma Flex (10%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
5	Grava y Arena de río	Arena de Sílice (10%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
6	Grava y Arena de río	PET (20%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
7	Grava y Arena de río	CAUCHO (20%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
8	Grava y Arena de río	Espuma Flex (20%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial
9	Grava y Arena de río	Arena de Sílice (20%)	3	Cilindros	Compresión o Carga Axial

Tabla 32.- Registro del número de mezclas realizadas para el estudio.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

Pasadas las 24 horas posterior a la fundición de las muestras; se procede a desencofrar cada una de ellas y sumergirlas en agua para su respectivo curado; lo cual, según la Norma ASTM C31 "las probetas o muestras cilíndricas de hormigón después de haber sido removidos de los moldes, deben ser sumergidas en agua a una temperatura de entre 23 y 25 °C para su respectivo curado". Tomando en cuenta que algunas de las muestras serán sometidas al ensayo de compresión luego de 7 días, para finalmente después de 28 días ensayar en la prensa las muestras faltantes.



La prensa utilizada para efectuar el ensayo a compresión de cada una de las muestras posee una particularidad, y es que los datos que esta facilita digitalmente para carga ejercida, está en Kilo Newton (KN), la cual es transformada a Kilogramos (Kg). Además, se utilizó un deformímetro para llevar un registro de la deformación que sufría en función de la carga que se está aplicando.

La Imagen 3 muestra la prensa en donde se realizaron los ensayos de compresión lista para llevar a cabo dicho ensayo.



*Imagen 3.- Prensa para realizar ensayo a compresión.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

Luego de obtener la carga en Kilogramos, es necesario calcular la resistencia a la compresión que posee cada uno de los hormigones ensayados, obteniendo así el esfuerzo en las siguientes unidades $\frac{Kg}{cm^2}$; en el siguiente apartado se detalla la formulación empleada para el cálculo requerido.



4.1.1. FÓRMULAS PARA DETERMINAR LA CARGA EN (kg), Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN (kg/cm²)

La formulación para determinar la carga (P) ejercida sobre un cilindro de hormigón sometido al ensayo de compresión, está en función de la resistencia que ejerce el cuerpo y el área de contacto donde se aplica dicha carga.

Para llevar a cabo el ensayo de compresión, es necesario tomar las dimensiones y peso de cada una de las muestras para posteriormente aplicar las siguientes relaciones.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (cm^2) \quad \text{Ec. 7.}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad \text{Ec. 8.}$$

Donde:

D= Diámetro del cilindro. (cm)

$\pi = 3.1416$

P= Carga máxima aplicada. (kg)

A= Área del cilindro. (cm²)

σ = Esfuerzo o resistencia a la compresión. (kg/cm²)

La carga P aplicada sobre el cilindro es obtenida mediante lecturas registradas en la pantalla de la prensa donde se está realizando el ensayo, misma que muestra la carga en Kilonewton (KN); por lo tanto, se requiere realizar la conversión pertinente de dicha carga a Kilogramos (Kg).

Se sabe que **1KN = 101,937Kg.**

4.1.2. FORMULAS PARA DETERMINAR LOS MODULOS DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON

Para obtener los módulos de elasticidad de cada uno de los hormigones se tomaron en consideración dos métodos, sabiendo que los análisis y cálculos se lo hacen a las muestras ensayadas a los 7 y 28 días respectivamente.



4.1.2.1. METODO I

Este método está basado en la norma **NEC-SE-DS** en donde se establece que la ecuación 9 expuesta a continuación, es utilizada para hormigones de densidad normal.

$$E = 4,7 x \sqrt{f'c} \quad \text{Ec. 9.}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del hormigón. (GPa)

f'c = Resistencia a la compresión del hormigón. (MPa)

Como se puede ver, los resultados obtenidos al emplear la **Ec. 9** poseen como unidad (**GPa**), y para este estudio es necesario obtener el módulo de elasticidad en (**kg/cm²**); por lo que se debe multiplicar por **10193,68** de tal manera que dichos resultados adopten las unidades requeridas.

4.1.2.2. METODO II

Considerando que, en el *capítulo 19* (fórmula 19.2.2.1.b) del código **ACI 318S-14**, se plantea la ecuación 10, con la finalidad de obtener el módulo de elasticidad del hormigón referente a peso normal, la cual viene establecida de la siguiente manera.

$$E = 15100 x \sqrt{f'c} \quad \text{Ec. 10.}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del hormigón. (kg/cm²)

f'c = Resistencia a la compresión del hormigón. (kg/cm²)

4.1.3. CÁLCULO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD

Aplicando las **ecuaciones 9 y 10** presentadas en el apartado anterior se procede a calcular los distintos módulos de elasticidad de cada una de las mezclas de hormigón, así mismo el peso obtenido en laboratorio respectivamente.



La tabla 33 presenta los módulos de elasticidad obtenidos, de los cilindros ensayados a los 7 días.

Módulos de Elasticidad del Hormigón [7 días]					
N° Mezcla	Materiales-Agregados	Peso [Kg]	Esfuerzo σ [kg/cm ²]	E [kg/cm ²] NEC-SE-DS	E [kg/cm ²] ACI 318S-14
1	Grava y Arena de río	4,245	100,000	151505,659	151000,000
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	4,255	74,166	130476,195	130040,723
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	4,240	65,887	122978,367	122567,919
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	3,435	32,050	85771,473	85485,206
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	4,220	60,699	118037,397	117643,440
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	4,200	53,552	110870,678	110500,640
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	4,195	52,000	109252,284	108887,649
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	3,115	50,000	107130,679	106773,124
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	4,270	62,020	119314,915	118916,694

Tabla 33.- Módulos de elasticidad [7 Días]

Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La tabla 34 presenta los módulos de elasticidad obtenidos, de los cilindros ensayados a los 28 días.

Módulos de Elasticidad del Hormigón [28 días]					
N° Mezcla	Materiales-Agregados	Peso [Kg]	Esfuerzo σ [kg/cm ²]	E [kg/cm ²] NEC-SE-DS	E [kg/cm ²] ACI 318S-14
1	Grava y Arena de río	4,255	140,000	179263,913	178665,609
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	4,255	118,000	164577,271	164027,985
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	4,172	105,000	155247,103	154728,957
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	3,530	51,000	108196,682	107835,569
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	4,260	95,000	147669,450	147176,595
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	4,210	87,279	141541,481	141069,078
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	4,180	80,000	135510,781	135058,506
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	3,195	73,000	129446,492	129014,457
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	4,280	110,500	159261,203	158729,660

Tabla 34.- Módulos de elasticidad [28 Días]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 20 muestra el gráfico de barras que permite identificar los módulos de elasticidad obtenidos mediante el método de la NEC-SE-DS.

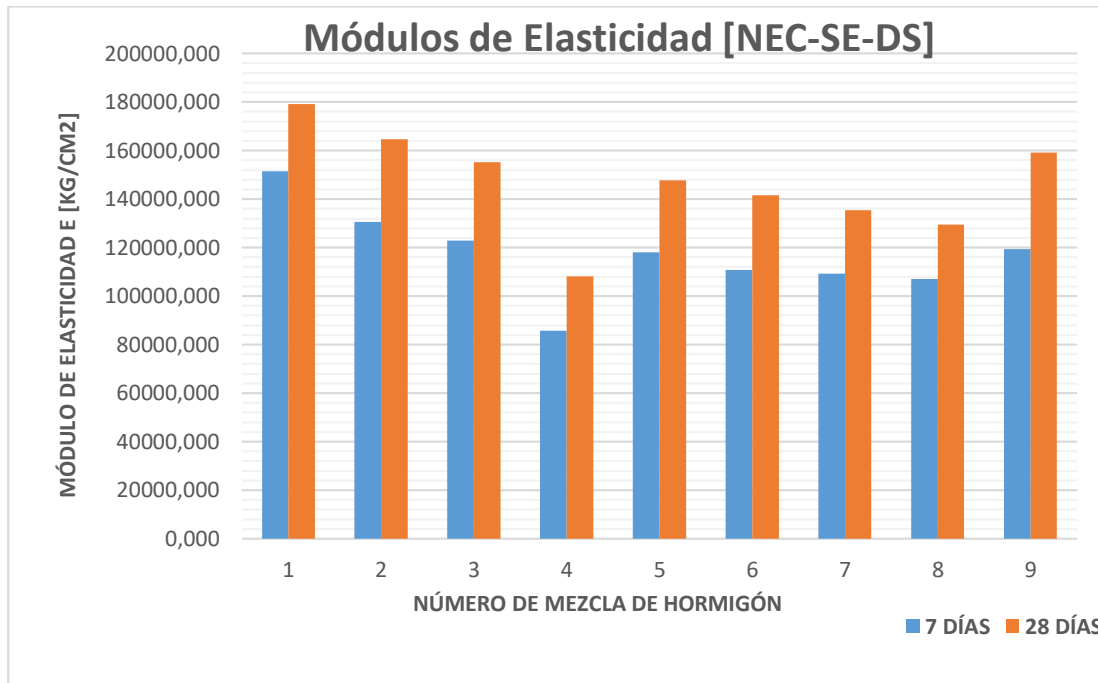


Ilustración 20.- Módulos de elasticidad [NEC-SE-DS]

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 35 muestra los datos resumidos, referentes a la ilustración 20

N° Mezcla	E [kg/cm²] NEC-SE-DS	
	7 Días	28 Días
1	151505,659	179263,913
2	130476,195	164577,271
3	122978,367	155247,103
4	85771,473	108196,682
5	118037,397	147669,450
6	110870,678	141541,481
7	109252,284	135510,781
8	107130,679	129446,492
9	119314,915	159261,203

Tabla 35.- Módulos de elasticidad según NEC-SE-DS.

(Fuente: Autor).



La Ilustración 21 muestra el gráfico de barras que permite identificar los módulos de elasticidad obtenidos mediante el método de la ACI 318S-14

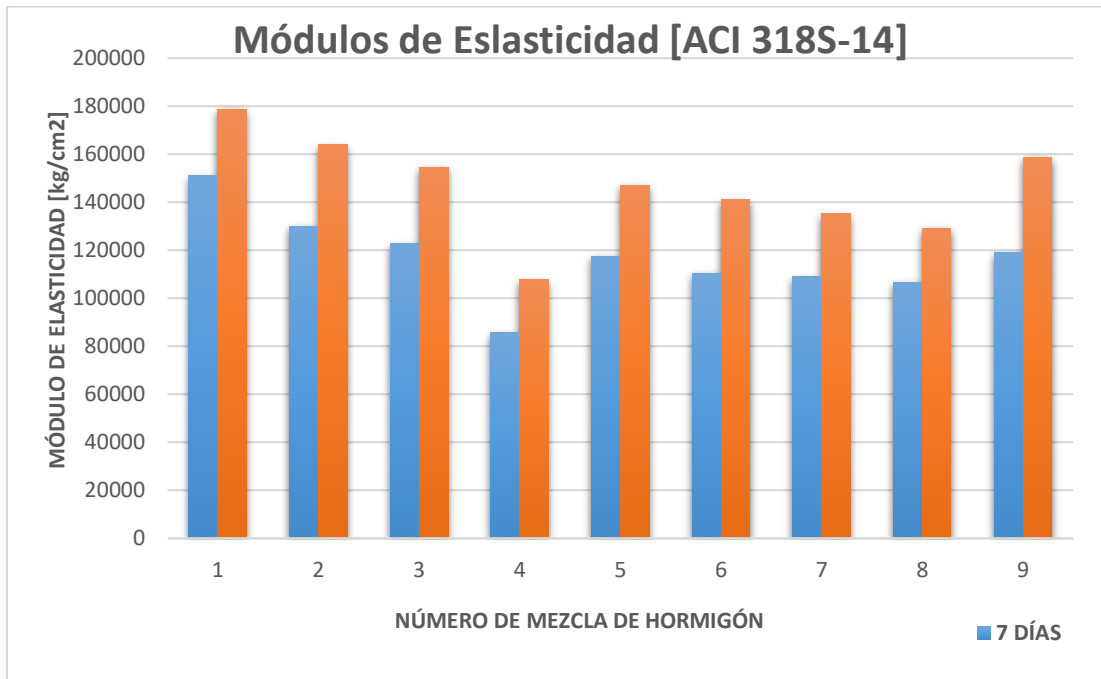


Ilustración 21.- Módulos de elasticidad [ACI 318S-14]

Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 36 muestra los datos resumidos referente a la ilustración 21.

N° Mezcla	E [kg/cm2] ACI 318S-14	
	7 Días	28 Días
1	151000,00	178665,609
2	130040,723	164027,985
3	122567,919	154728,957
4	85485,206	107835,569
5	117643,44	147176,595
6	110500,64	141069,078
7	108887,649	135058,506
8	106773,124	129014,457
9	118916,694	158729,660

Tabla 36.- Módulos de elasticidad según ACI 318S-14.

Fuente: (C.C."Autor", 2019)



4.1.4. DETERMINACIÓN DE LAS DEFORMACIONES UNITARIAS Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD EN FUNCIÓN DE GRÁFICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN

Para realizar lecturas de deformación correspondientes a las muestras de hormigón, durante el ensayo a compresión realizado en la prensa, se adhiere en la parte plana del pistón de carga un deformímetro de precisión [$\times 10^{-3} mm$], a fin de realizar lecturas del dial cada 10 múltiplos.

Es importante dar a conocer que las lecturas realizadas en el deformímetro al momento del ensayo, hacen referencia a deformaciones longitudinales generadas en el cilindro de hormigón al momento de aplicar carga mediante el pistón. Es por esta razón que necesariamente se debe tomar en cuenta el módulo de Poisson o también llamado relación de Poisson denotada por la letra griega ν (Nu).

El módulo de Poisson se define como la razón de la deformación unitaria transversal ϵ' a la deformación unitaria longitudinal ϵ y se expresa según la relación $\nu = \frac{\epsilon'}{\epsilon}$. (Catalán O, 2006)

Se sabe que el módulo de Poisson para concreto de peso normal oscila en un rango de 0.15 a 0.20 aproximadamente, para este estudio se toma en cuenta un valor de Poisson $\nu = 0.15$ considerando que el hormigón fabricado sea capaz de incrementar sus módulos de elasticidad. Siendo así se procedió a calcular la deformación transversal ϵ' , la cual es utilizada para encontrar los módulos de elasticidad del hormigón. (Catalán O, 2006)

En el **ANEXO B** se podrá verificar los cálculos realizados respecto de las deformaciones transversales. A continuación, se mostrará las gráficas esfuerzo-deformación obtenidas de cada una de las muestras de hormigón ensayadas en su debido tiempo.

La Ilustración 22 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón convencional, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

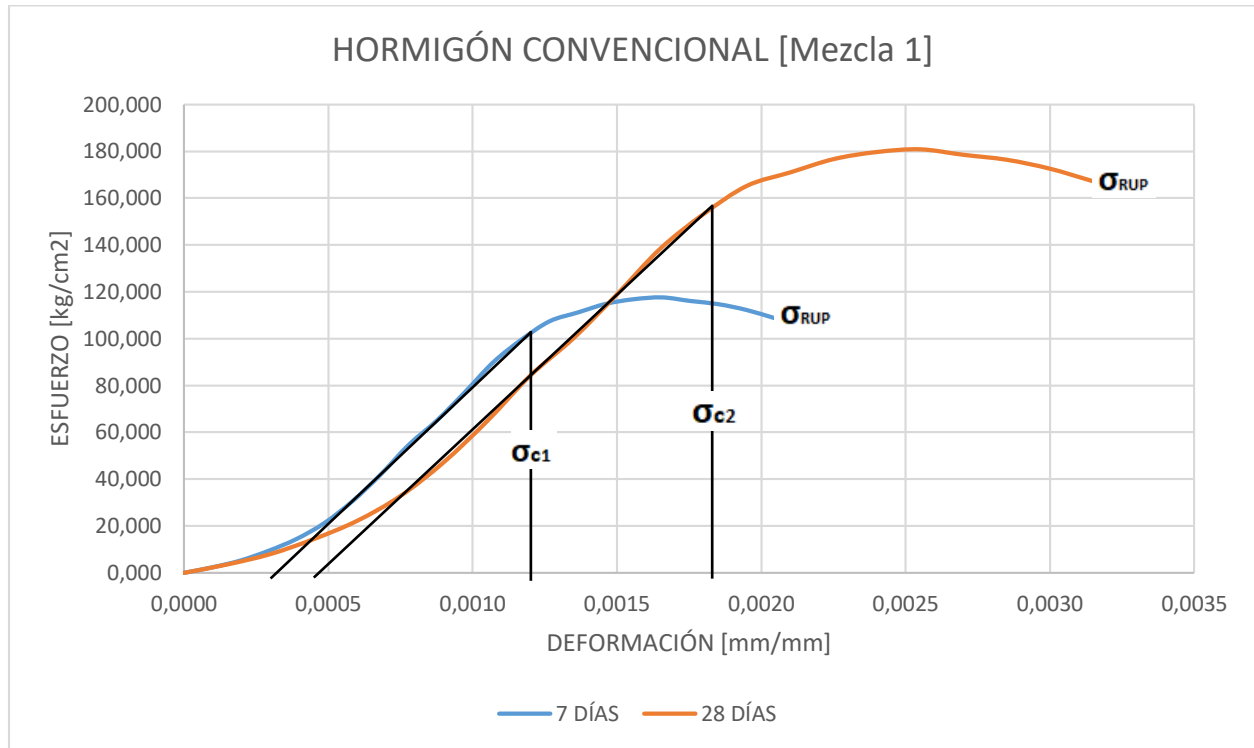


Ilustración 22.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 1]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 37 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 22.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL $f'c=180$ kg/cm ²				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	105	0,0009	116666,667
σ_{c2}	28 DÍAS	158	0,00135	117037,037

Tabla 37.- Módulos de elasticidad [mezcla 1]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 23 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 10% de PET como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

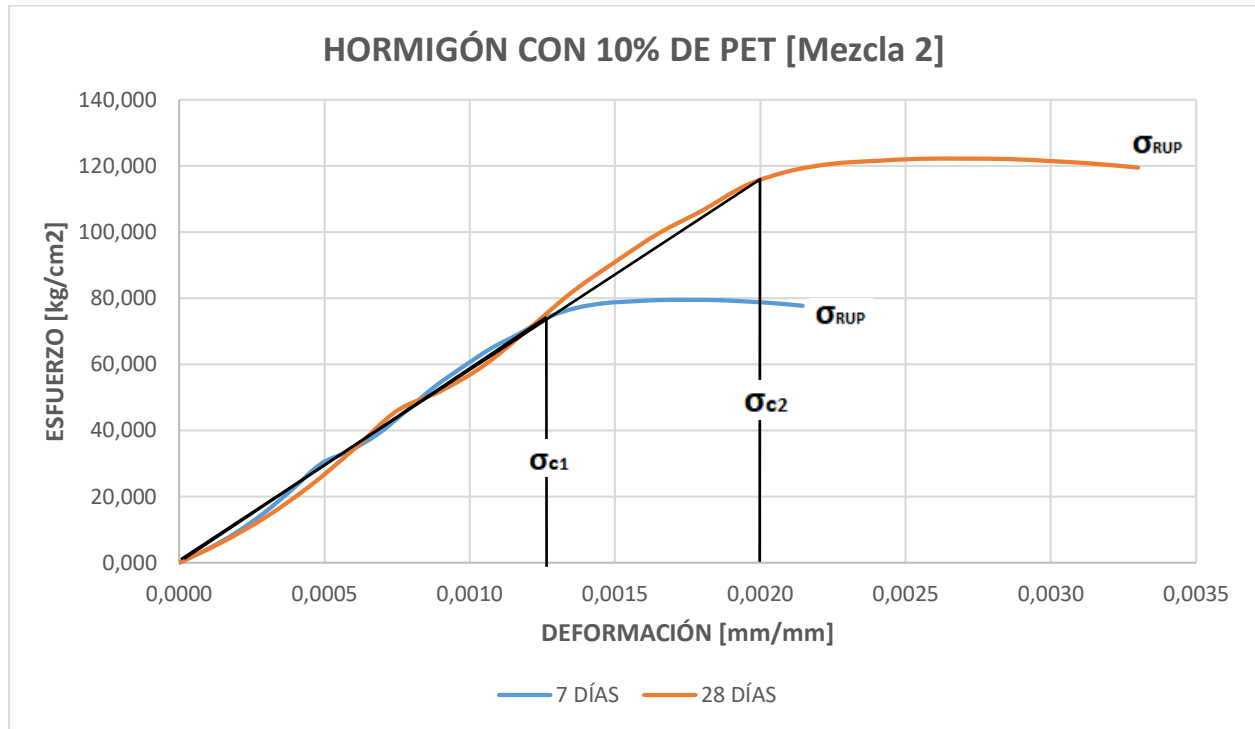


Ilustración 23.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 2]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 38 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 23.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 10% DE PET				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	77	0,00125	61600
σ_{c2}	28 DÍAS	118	0,002	59000

Tabla 38.- Módulos de elasticidad [mezcla 2]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 24 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 10% de Caucho de neumático como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

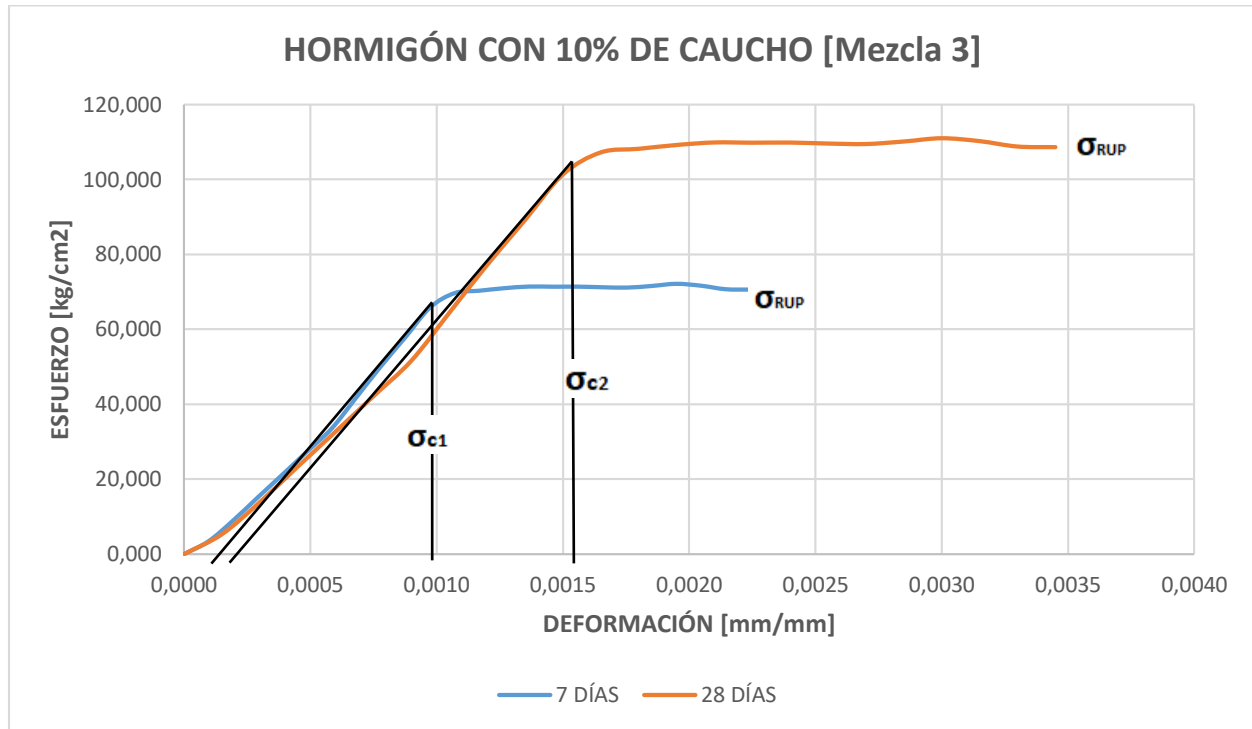


Ilustración 24.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 3]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 39 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 24.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 10% DE CAUCHO				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	67,5	0,0008	84375,000
σ_{c2}	28 DÍAS	115	0,00135	85185,1852

Tabla 39.- Módulos de elasticidad [mezcla3]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 25 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 10% de Espuma Flex como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

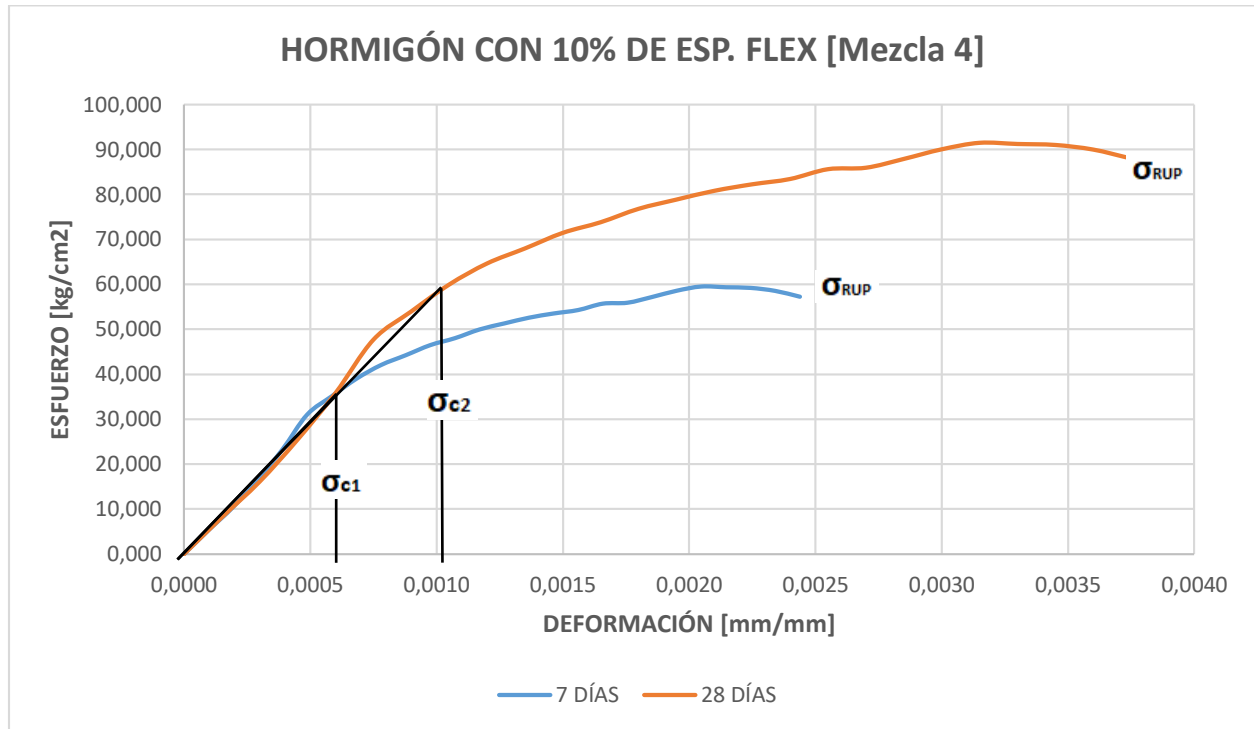


Ilustración 25.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 4]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 40 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 25.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 10% DE ESP. FLEX				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	45,5	0,0006	75833,3333
σ_{c2}	28 DÍAS	59,2	0,00105	56380,9524

Tabla 40.- Módulos de elasticidad [mezcla 4]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 26 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 10% de Arena de Sílice como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

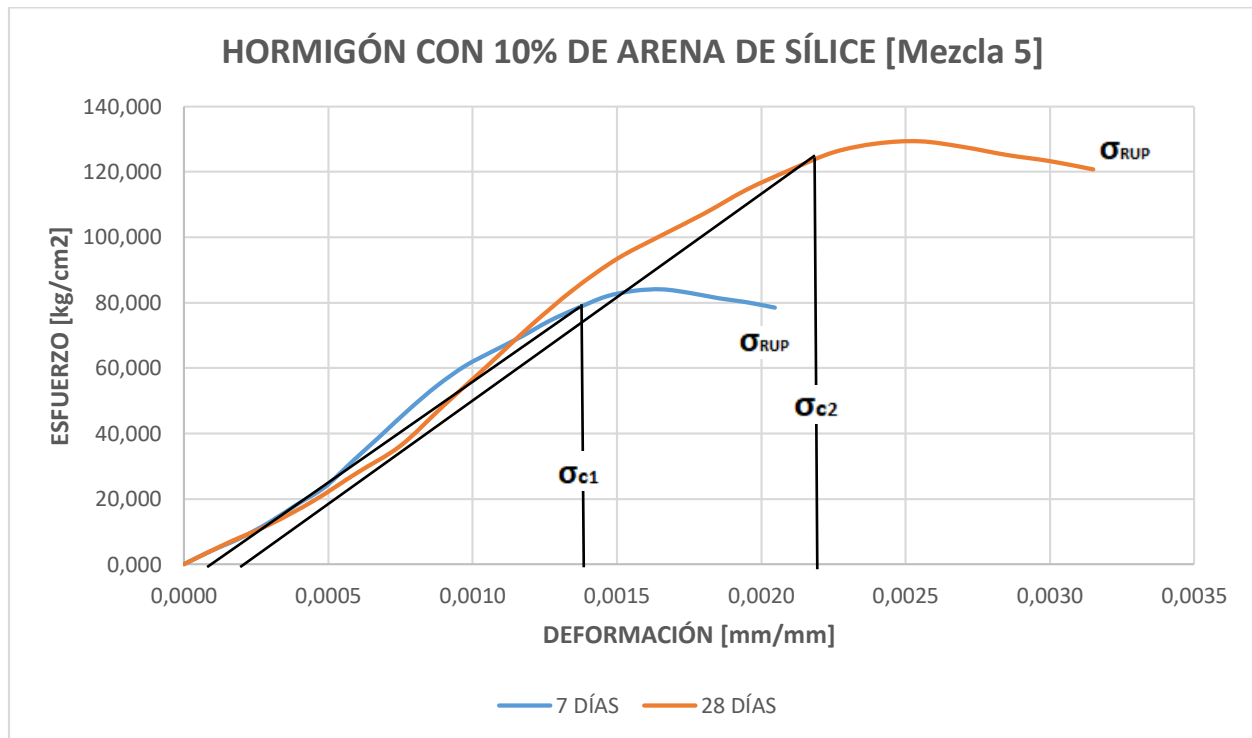


Ilustración 26.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 5]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 41 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 26.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 10% ARENA DE SÍLICE				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	80	0,0012	66666,6667
σ_{c2}	28 DÍAS	125	0,00185	67567,5676

Tabla 41.- Módulos de elasticidad [mezcla 5]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 27 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 20% de PET como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

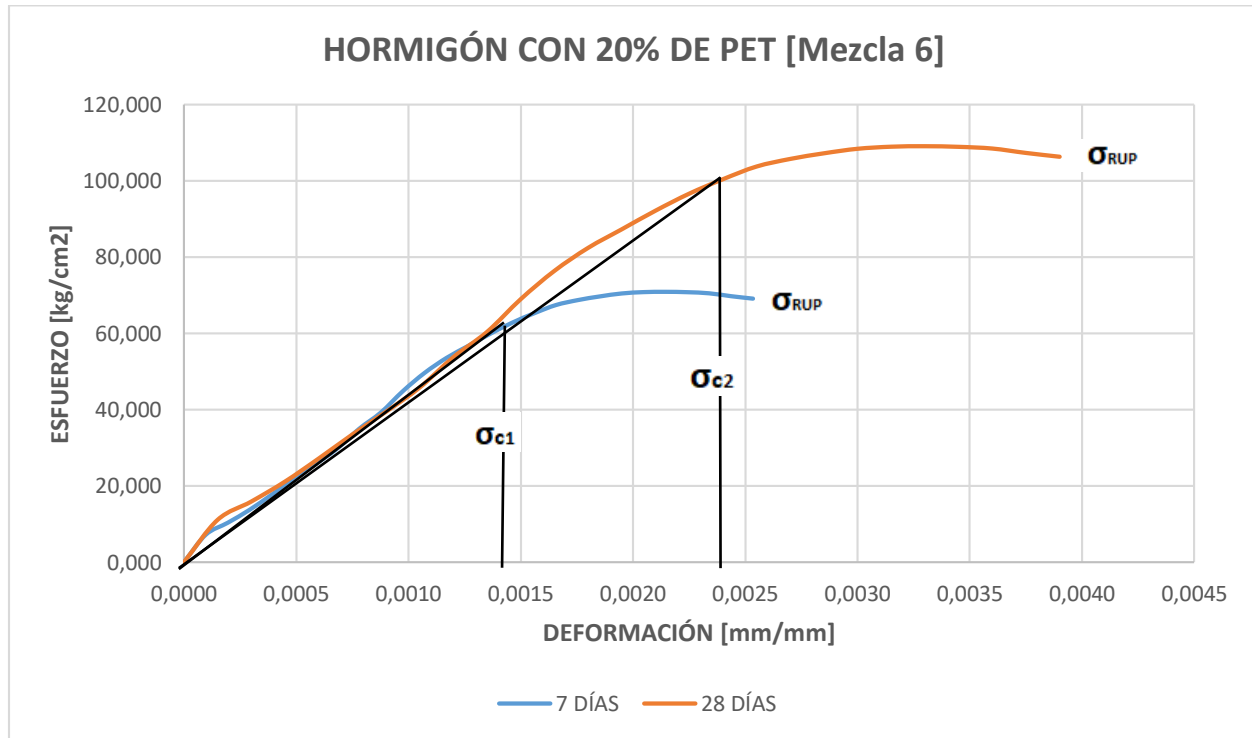


Ilustración 27.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 6]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 42 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 27.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 20% DE PET				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	63,1	0,0014	45071,4286
σ_{c2}	28 DÍAS	100,2	0,0024	41750,000

Tabla 42.- Módulos de elasticidad [mezcla 6]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 28 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 20% de Caucho de Neumático como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

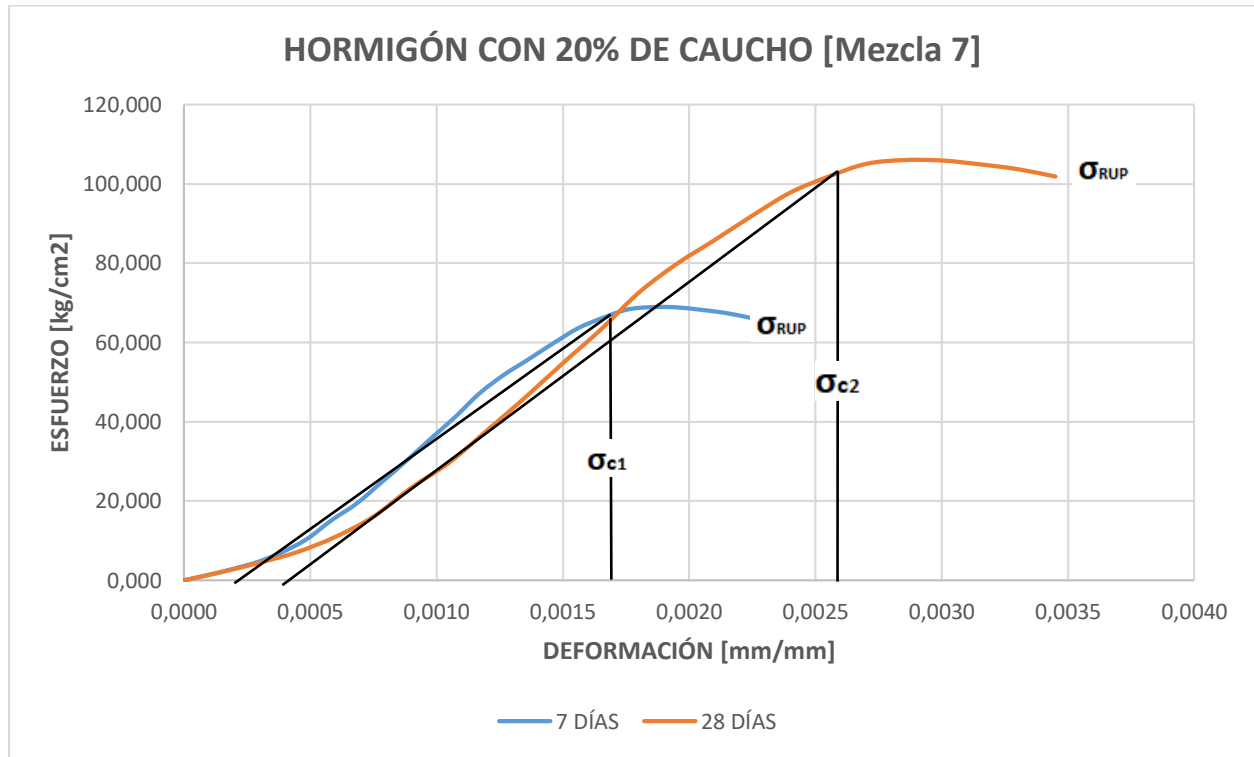


Ilustración 28.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 7]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 43 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 28.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 20% DE CAUCHO				
	Edad	σ _c [kg/cm ²]	ε	E [kg/cm ²]
σ _{c1}	7 DÍAS	66,8	0,0015	44533,3333
σ _{c2}	28 DÍAS	103,5	0,00215	48139,5349

Tabla 43.- Módulos de elasticidad [mezcla 7]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 29 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 20% de Espuma Flex como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

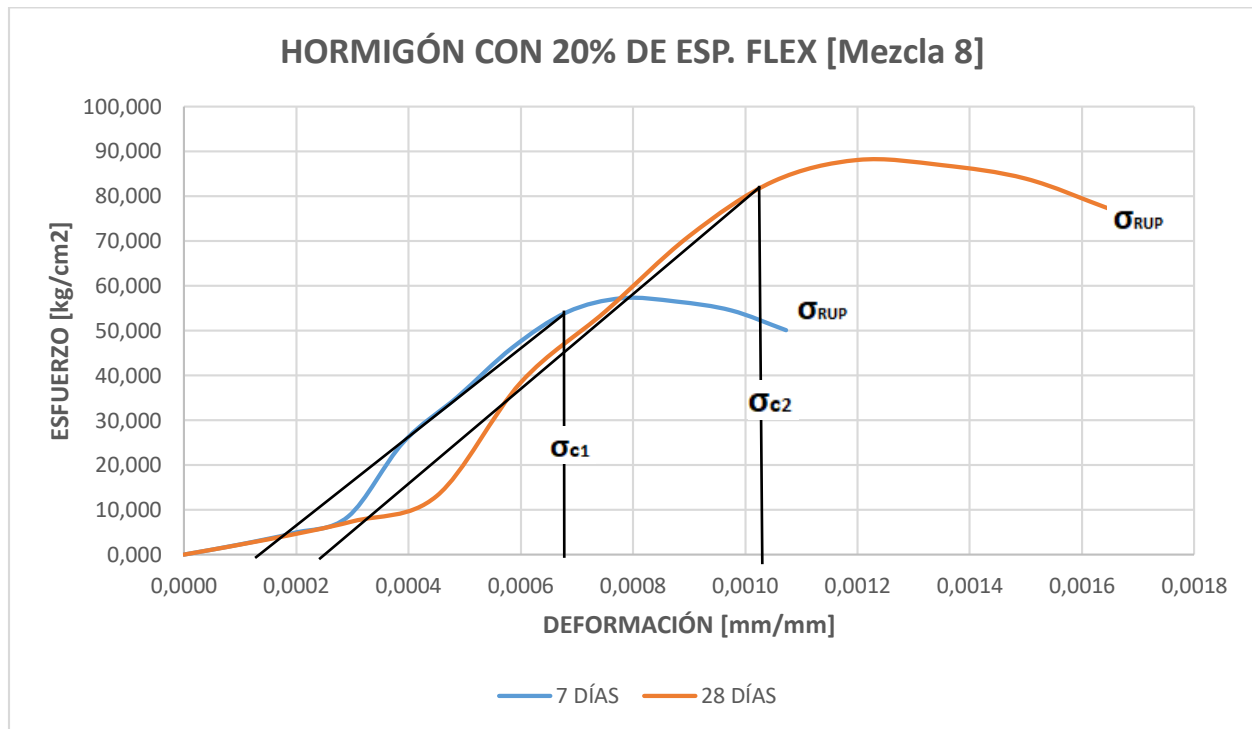


Ilustración 29.- Gráfica esfuerzo-deformación [mezcla 8]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 44 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 29.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 20% DE ESP. FLEX				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	55,2	0,00055	100363,636
σ_{c2}	28 DÍAS	82,21	0,0007	117442,857

Tabla 44.- Módulos de elasticidad [mezcla 8]
(Fuente: Autor)

La Ilustración 30 presenta los diagramas esfuerzo-deformación generados por las muestras de hormigón que contiene el 20% de Arena de Sílice como reemplazo, cuyo análisis permite encontrar los módulos de elasticidad correspondientes a la edad de 7 y 28 días.

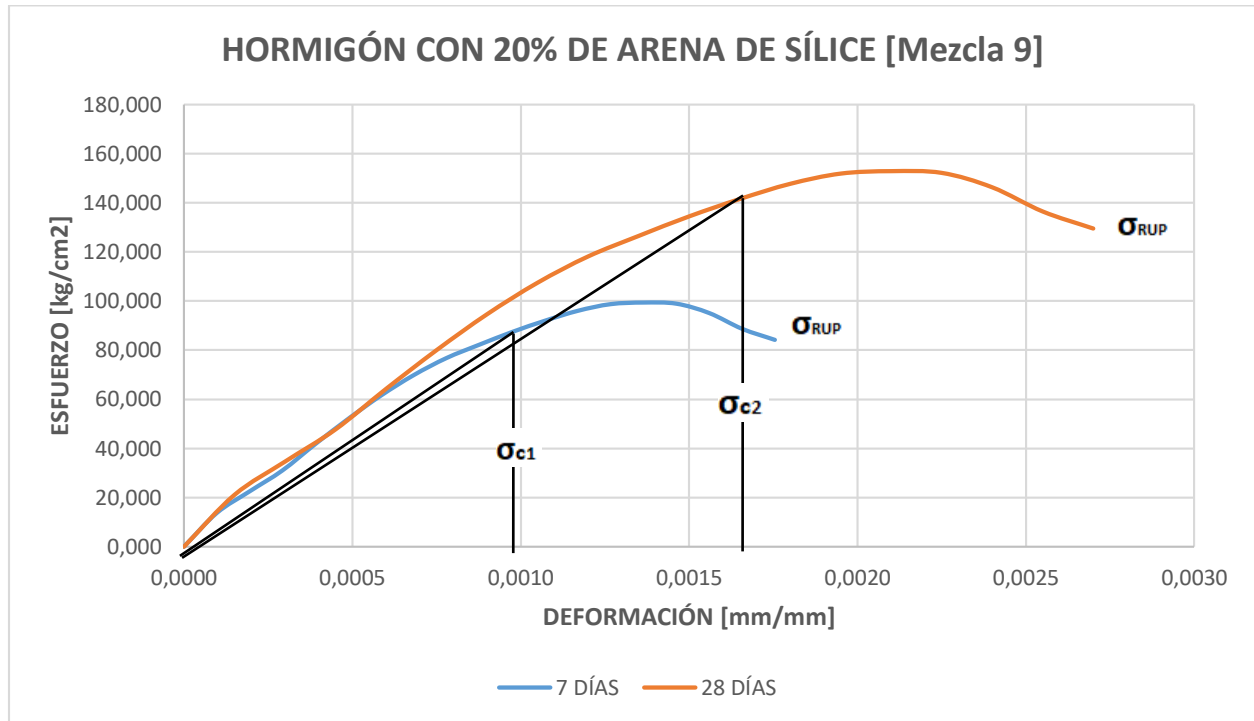


Ilustración 30.- Gráfica esfuerzo deformación [mezcla 9]
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 45 muestra los módulos de elasticidad obtenidos según el diagrama esfuerzo-deformación mostrado en la ilustración 30.

MÓDULO DE ELASTICIDAD				
HORMIGÓN CONVENCIONAL CON 20% ARENA DE SÍLICE				
	Edad	σ_c [kg/cm ²]	ϵ	E [kg/cm ²]
σ_{c1}	7 DÍAS	87,46	0,001	87460,00
σ_{c2}	28 DÍAS	141,5	0,0016	88437,50

Tabla 45.- Módulos de elasticidad [mezcla 9]
Fuente : (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 31 presenta los diagramas esfuerzo-deformación, en donde se identifica las resistencias máximas obtenidas de cada una de las muestras con el 10% de reemplazo a los 7 días.

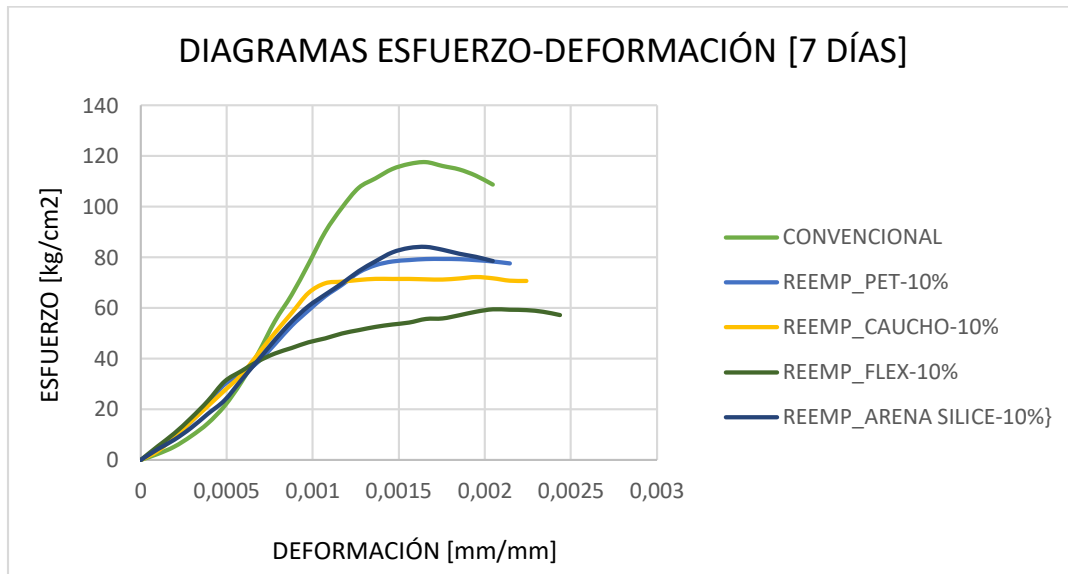


Ilustración 31.- Diagramas esfuerzo-deformación.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 32 presenta los diagramas esfuerzo-deformación, en donde se identifica las resistencias máximas obtenidas de cada una de las muestras con el 20% de reemplazo a los 7 días.

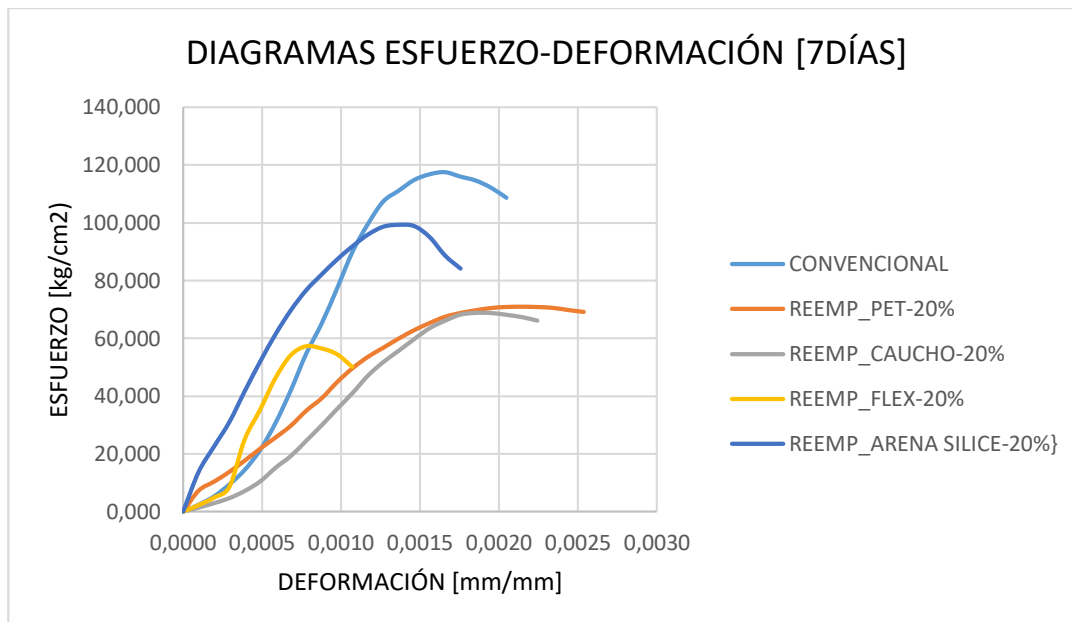


Ilustración 32.- Diagrama esfuerzo-deformación.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 33 presenta los diagramas esfuerzo-deformación, en donde se identifica las resistencias máximas obtenidas de cada una de las muestras con el 10% de reemplazo a los 28 días.

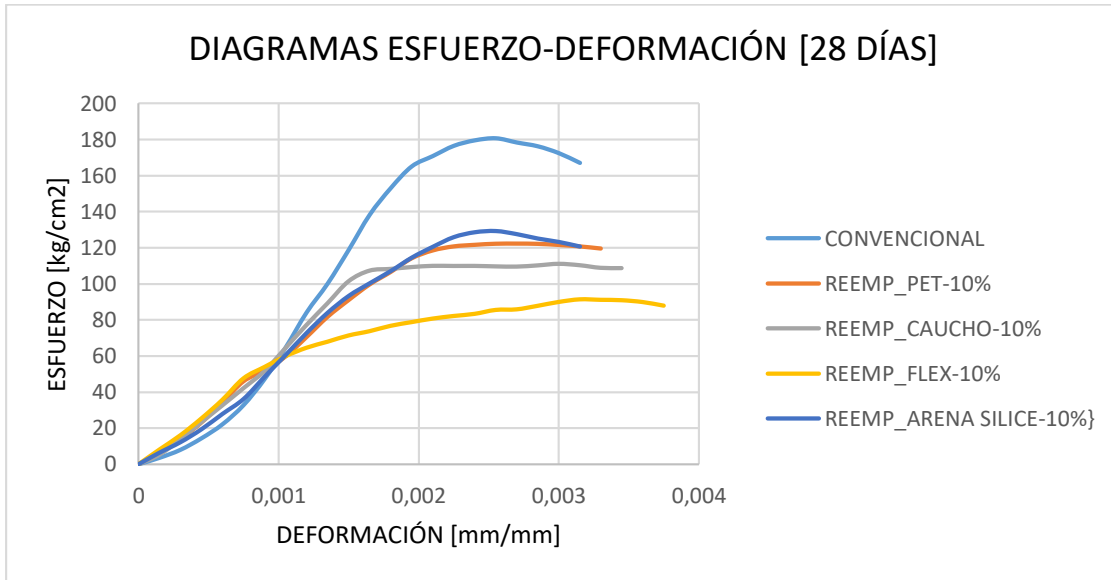


Ilustración 33.- Diagrama esfuerzo-deformación.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La Ilustración 34 presenta los diagramas esfuerzo-deformación, en donde se identifica las resistencias máximas obtenidas de cada una de las muestras con el 20% de reemplazo a los 28 días

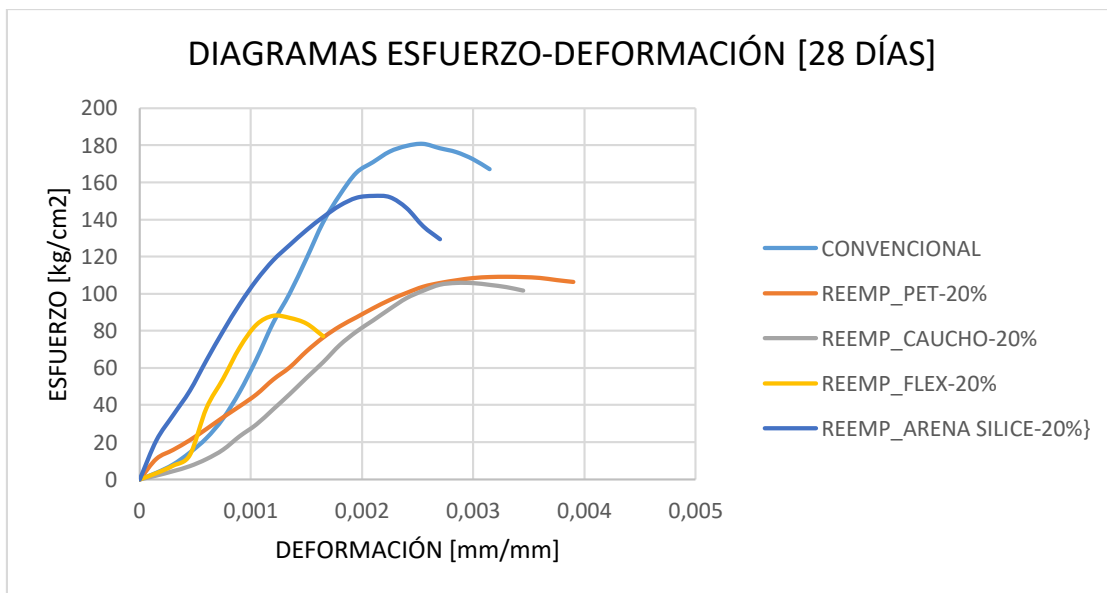


Ilustración 34.- Diagrama esfuerzo-deformación.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La tabla 46 muestra las resistencias máximas de acuerdo a los diagramas esfuerzo-deformación mostradas en las ilustraciones 31 y 32.

RESISTENCIA MÁXIMA OBTENIDA POR MUESTRA [7 días]			
N° Mezcla	Materiales-Agregados	Peso [Kg]	Esfuerzo σ [kg/cm ²]
1	Grava y Arena de río	4,255	117,563
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	4,255	79,463
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	4,170	72,184
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	3,530	59,490
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	4,260	84,093
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	4,215	70,870
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	4,181	68,868
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	3,195	57,281
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	4,280	99,310

Tabla 46.- Resistencias máximas de cada mezcla a los 7 días.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 47 muestra las resistencias máximas de acuerdo a los diagramas esfuerzo-deformación mostradas en las ilustraciones 33 y 34.

RESISTENCIA MÁXIMA OBTENIDA POR MUESTRA [28 días]			
N° Mezcla	Materiales-Agregados	Peso [Kg]	Esfuerzo σ [kg/cm ²]
1	Grava y Arena de río	4,245	180,866
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	4,255	122,250
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	4,172	111,053
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	3,465	91,523
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	4,260	129,374
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	4,210	109,031
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	4,195	105,950
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	3,115	88,125
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	4,270	152,784

Tabla 47.- Resistencias máximas de cada mezcla a los 28 días.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 35 muestra el diagrama resistencia-días de fraguado, en donde se puede apreciar el incremento de resistencia de cada una de las mezclas con el pasar de los días a partir desde el día de fundición.

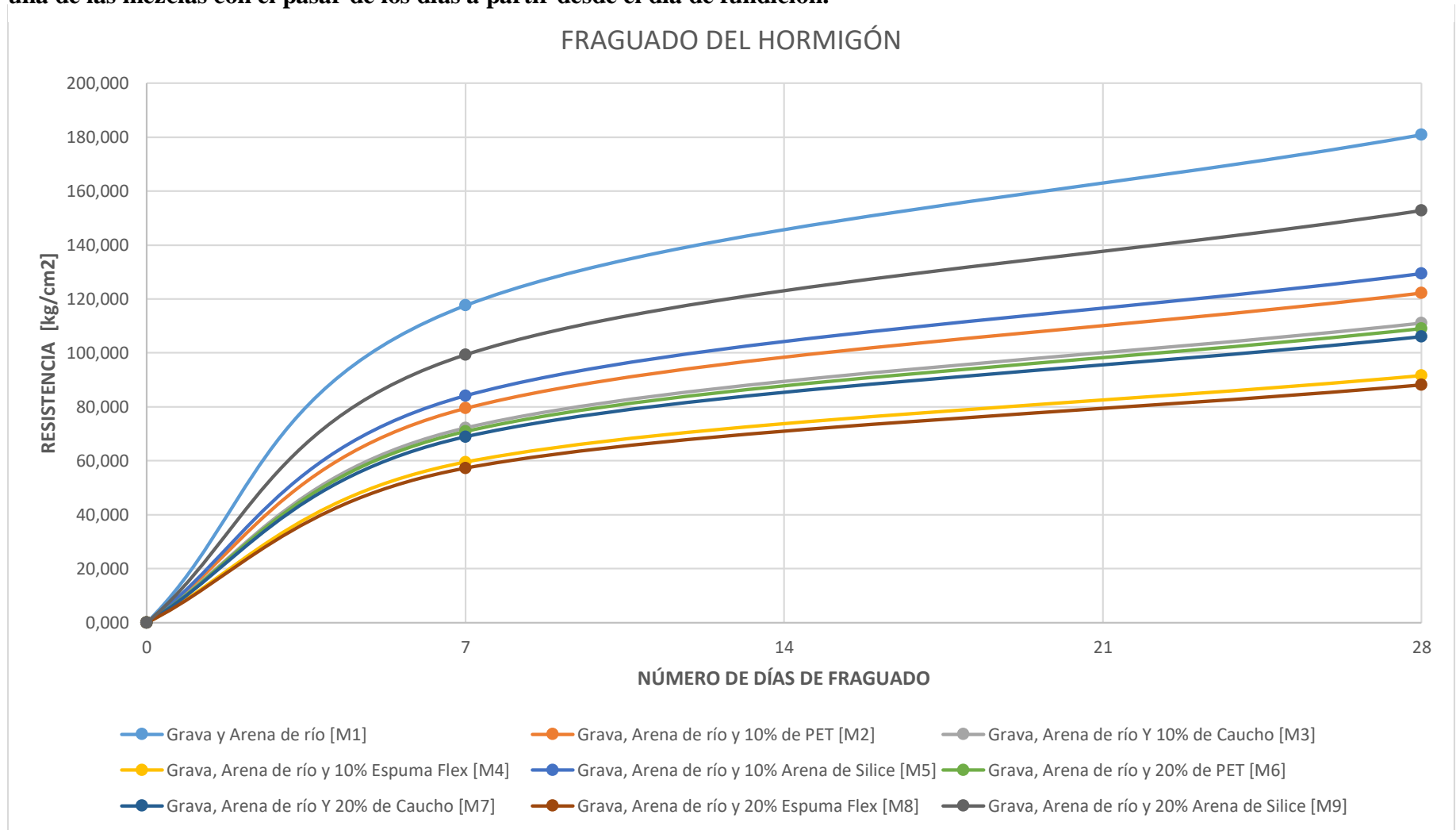


Ilustración 35.- diagrama resistencia-días de fraguado.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



5. CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos realizados en el laboratorio en especial la granulometría a cada uno de los agregados (grava y arena) utilizados para las distintas mezclas de hormigón respectivamente, permitieron identificar que los resultados obtenidos en dichos ensayos estaban dentro de los rangos establecidos por el método ACI 211.

Como se menciona en el párrafo anterior existen parámetros especificados por el método de diseño de hormigón ACI 211; para este estudio se comprueba de manera directa el módulo de finura (M_f) de cada una de las arenas utilizadas. La arena de río posee un $M_f = 2,69$ el cual está dentro del rango establecido (2,4 a 3), por otro lado, la arena de sílice posee una valor similar al anterior, estando dentro de los límites del rango mencionado al poseer un $M_f = 2.45$. (ACI 211, 2002)

Si bien los materiales (Alternos y Reciclables) utilizados como reemplazo de la arena de río poseen sus respectivas propiedades física (M_f); los cuales no son tomados en consideración para las mezclas de hormigón, y, de manera general se utiliza el M_f de la arena de río para todas las muestras.

Así mismo todos los materiales pétreos, alternos y reciclables de las mezclas de hormigón se utilizaron directamente en las condiciones encontradas, refiriéndose principalmente a la presencia de materia orgánica y otras impurezas que por alguna razón desconocida se encontraron y se encuentran comúnmente al momento de preparar el hormigón en la obra. La finalidad de no realizar ningún tipo de lavado a estos materiales se basa en observar y comparar el comportamiento que poseen los hormigones en condiciones naturales.

5.1.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN

En el diseño de mezclas de hormigón se tomaron en cuenta distintos factores, tales como su fabricación, curado y por último los materiales para someterlos a los respectivos ensayos a la compresión, para ello se elaboró 3 muestras cilíndricas correspondientes a cada diseño y basándose de manera especial en las normas NTE INEN 1576 ó ASTM C31. Tomando en consideración que los ensayos de compresión o carga axial se lo realizó a los 7 y 28 días para el respectivo análisis.

En función de los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las muestras cilíndricas de hormigón; en este capítulo se expone los resultados obtenidos (Resistencias) de cada mezcla, estos resultados pertenecen a las edades de 7 y 28 días respectivamente, los cuales permiten realizar un



análisis minucioso del comportamiento y su variación de resistencia respecto de la mezcla convencional, de la misma manera ayuda a definir las causas por las que se generan aquellos resultados obtenidos.

De manera general es de vital importancia dar a conocer los pesos volumétricos pertenecientes a cada muestra de acuerdo a la edad del ensayo, los cuales varían debido a la pérdida de humedad y a la madurez obtenida con el pasar de los días al igual que las resistencias que aquellos poseen.

5.1.2. TABULACION DE RESULTADOS Y DATOS GENERALES

En este apartado se especifica los datos referentes de las mezclas fabricadas, tales como; los agregados de los que está compuesto el diseño correspondiente, el peso (kg), volumen (cm³) considerados de importancia del autor.

La Imagen 4 muestra los cilindros listos para tomar las medidas para posteriormente someterlos a carga.



*Imagen 4.- Toma de medidas de los cilindros a ensayar.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)*

De esta manera, se procedió al cálculo de los pesos volumétricos de cada muestra, considerando que dicho peso para un hormigón de características similares al convencional en este estudio de $f'c$ 180kg/cm², se coloca dentro de un rango [2200 kg/m³ a 2500 kg/m³].

Para la obtención de resistencias o esfuerzos del hormigón, el cual es el objeto principal de este estudio es necesario dar a conocer que la prensa utilizada para el ensayo genera datos de la carga Kilonewton (KN), para lo cual en capítulos anteriores se detalló la transformación de dicha carga a Kilogramos (kg); esto con la finalidad de obtener la resistencia en kg/cm². Posteriormente se muestran las tablas de resumen, donde se puede apreciar los resultados generales.



La tabla 48 presenta los resultados obtenidos de las muestras de hormigón a los 7 días de edad.

RESISTENCIA MÁXIMA Y PESO VOLUMETRICO OBTENIDOS POR MUESTRA [7 días]						
Nº Mezcla	Materiales-Agregados	Peso [Kg]	Volumen [cm3]	Peso Vol. [kg/m3]	Esfuerzo σ [MPa]	Esfuerzo σ [kg/cm2]
1	Grava y Arena de río	4,255	1818,393	2339,978	11,756	117,563
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	4,255	1818,393	2339,978	7,946	79,463
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	4,170	1818,393	2293,234	7,218	72,184
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	3,530	1818,393	1941,274	5,949	59,490
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	4,260	1818,393	2342,728	8,409	84,093
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	4,215	1818,393	2317,981	7,087	70,870
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	4,181	1818,393	2299,283	6,887	68,868
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	3,195	1818,393	1757,046	5,728	57,281
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	4,280	1818,393	2353,726	9,931	99,310

Tabla 48.- Resultados de ensayos a compresión [7 Días]. Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 49 presenta los resultados obtenidos de las muestras de hormigón a los 28 días de edad.

RESISTENCIA MÁXIMA Y PESO VOLUMETRICO OBTENIDOS POR MUESTRA [28 días]						
Nº Mezcla	Materiales-Agregados	Peso [Kg]	Volumen [cm3]	Peso Vol. [kg/m3]	Esfuerzo σ [MPa]	Esfuerzo σ [kg/cm2]
1	Grava y Arena de río	4,245	1818,393	2334,479	18,087	180,866
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	4,225	1818,393	2323,480	12,225	122,250
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	4,172	1818,393	2294,333	11,105	111,053
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	3,465	1818,393	1905,529	9,152	91,523
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	4,260	1818,393	2342,728	12,937	129,374
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	4,210	1818,393	2315,231	10,903	109,031
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	4,195	1818,393	2306,982	10,595	105,950
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	3,115	1818,393	1713,051	8,813	88,125
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	4,270	1818,393	2348,227	15,278	152,784

Tabla 49.- Resultados de ensayos a compresión [28 Días]. Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 36 muestra los resultados obtenidos como resistencias máximas de cada muestra a las edades de 7 y 28 días respectivamente.

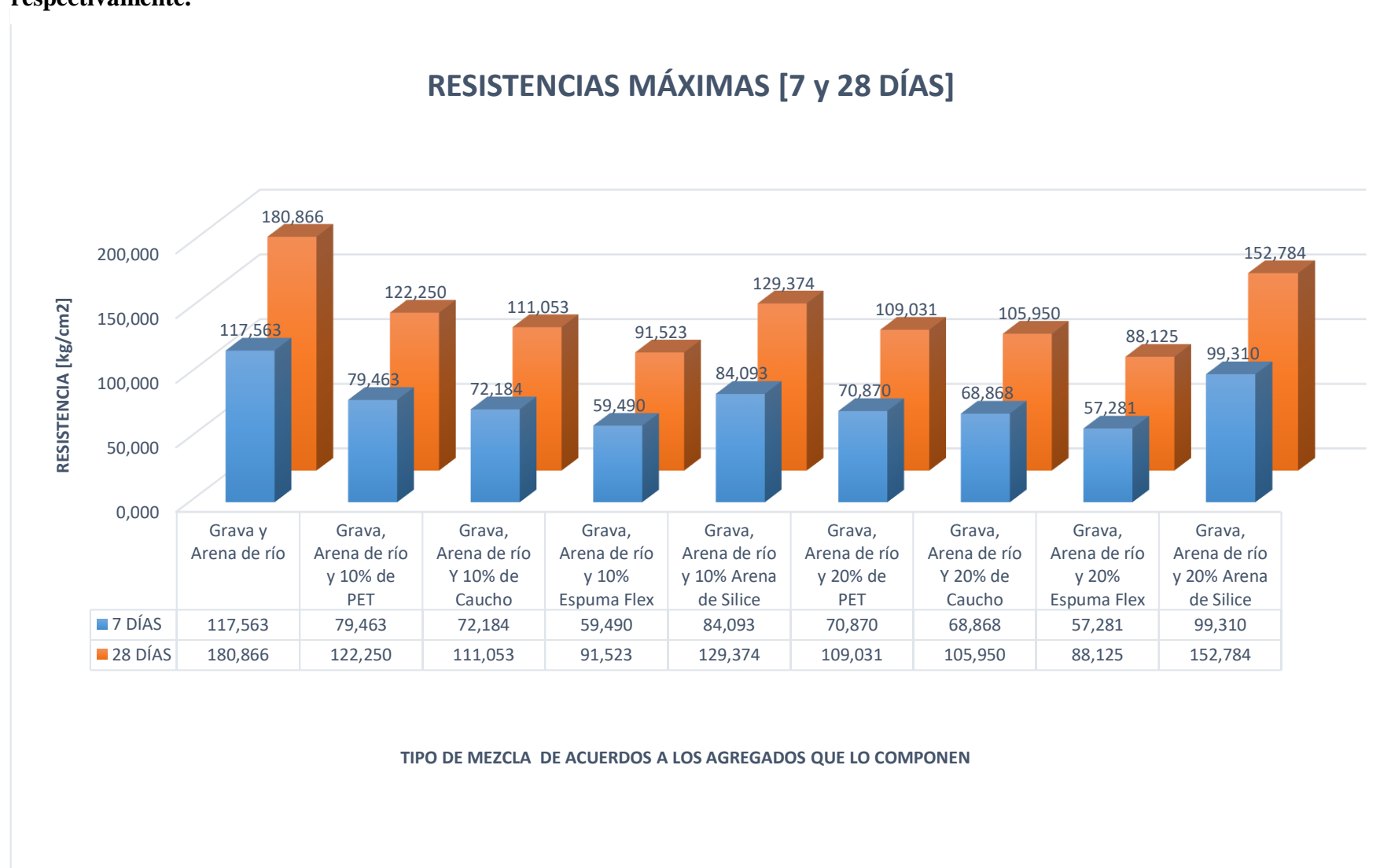


Ilustración 36.- Resistencias máximas obtenidas [Gráfico de barras].
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La Ilustración 37 muestra los resultados graficados los cuales fueron obtenidos como resistencias dentro del rango elástico de cada muestra a las edades de 7 y 28 días respectivamente.



Ilustración 37.- Resistencias dentro del rango elástico [Gráfico de barras].

Fuente: (C.C."Autor", 2019)



5.1.3. ANÁLISIS COSTOS Y BENEFICIOS

Mediante los análisis de los costos que representa invertir en los diseños de hormigones con materiales alternos y reciclables, y a su vez los beneficios que estos pueden prestar de alguna manera en obras de tipo civil; es necesario generar los desgloses en cuanto a precios para tener una idea fundamentada respecto a ello.

Para justificar los costos que implica invertir en hormigones con materiales alternos y reciclables se realizó el desglose de costos para materiales y agregados, y de la misma manera beneficios que estos prestan en los ámbitos sociales y económicos.

5.1.3.1. DESGLOSE DE COSTOS PARA MATERIALES Y AGREGADOS

Consiste en plasmar de manera minuciosa los costos unitarios de cada uno de los materiales, agregados y otros tipos de procedimientos realizados para su obtención, es por ello que se generó un análisis de costos que al final se llegó a un total aproximado de inversión para este estudio.

La tabla 50 presenta un análisis de precios o costos invertidos para la realización del estudio.

APUs PARA DISEÑO DE HORMIGONES				
Agregados para elaboración hormigones				
Materiales	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Cemento (55 Kg)	saco	\$8,00	1	\$8,00
Grava	saco	\$2,50	2	\$5,00
Arena de Rio	saco	\$2,20	1,5	\$3,30
Agua	litros	\$0,03	50	\$1,50
Transporte	viaje	\$10,00	20	\$200,00
PET (Triturado)	Kg	\$0,30	10	\$3,00
Caucho (Triturado)	Kg	\$0,30	10	\$3,00
Espuma Flex	saco	\$5,00	1	\$5,00
Arena de Sílice	saco	\$10,00	1	\$10,00
Materiales para elaboración de moldes				
Tubos PVC 110 mm	tubo 3 m (u)	\$6,50	6	\$39,00
Plywood 8 mm	plancha	\$20,00	1	\$20,00
Herramienta menor	u	\$30,00	1	\$30,00



Almacenamiento de los materiales, mezclado y curado				
Valdes	u	\$2,50	12	\$30,00
Balanza	u	\$35,00	1	\$35,00
Tanque	u	\$12,00	1	\$12,00
Agua (curado)	litros	\$0,03	50	\$1,50
Mano de obra aplicada				
Oficial (mezclado)	hora	\$3,43	10	\$34,30
Ensayo de laboratorio				
Transporte	viaje	\$10,00	7	\$70,00
Total (Incluye IVA)				\$510,60

Tabla 50.- APU para realización de hormigones dentro del estudio.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

5.1.3.2. ANÁLISIS DE COSTOS POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN PARA CADA MEZCLA

Con la finalidad de comparar las diferencias y variaciones en cuanto a costos de inversión para un metro cúbico (m³) de hormigón en específico, este estudio muestra a continuación la tabulación detallada de precios para cada mezcla o diseño del mismo.

La tabla 51 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla convencional (mezcla 1), y su costo por 1 m³ de hormigón.

HORMIGÓN CONVENCIONAL (Mezcla 1)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	180 kg/cm ²
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	720,81	\$0,02	\$14,42	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Total (m³)				\$102,59	

Tabla 51.- Precio por m³ de hormigón.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La tabla 52 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 10% de PET como reemplazo de arena (mezcla 2), y su costo por 1 m³.

HORMIGÓN CON 10% DE PET [Reemplazo] (Mezcla 2)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida.
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	122,25 kg/cm ²
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	648,73	\$0,02	\$12,97	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
PET	kg	72,08	\$0,00	\$0,00	
Total (m3)				\$101,14	

Tabla 52.- Precio por m³ de hormigón. Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 53 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 10% de Caucho como reemplazo de arena (mezcla 3), y su costo por 1 m³.

HORMIGÓN CON 10% DE CAUCHO [Reemplazo] (Mezcla 3)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	111,053 kg/cm ²
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	648,73	\$0,02	\$12,97	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Caucho	kg	72,08	\$0,00	\$0,00	
Total (m3)				\$101,14	

Tabla 53.- Precio por m³ de hormigón. Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 54 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 10% de Espuma Flex como reemplazo de arena (mezcla 4), y su costo por 1 m³.

HORMIGÓN CON 10% DE ESP. FLEX [Reemplazo] (Mezcla 4)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	91,523 kg/cm ²
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	648,73	\$0,02	\$12,97	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Esp. Flex	kg	72,08	\$0,01	\$0,36	
Total (m3)				\$101,50	

Tabla 54.- Precio por m³ de hormigón. Fuente: (C.C."Autor", 2019)



La tabla 55 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 10% de Arena de Sílice como reemplazo de arena (mezcla 5), y su costo por 1 m3.

HORMIGÓN CON 10% DE AR. SÍLICE [Reemplazo] (Mezcla 5)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	129,374 kg/cm2
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	648,73	\$0,02	\$12,97	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Ar. Sílice	kg	72,08	\$0,05	\$3,60	
Total (m3)				\$104,75	

Tabla 55.- Precio por m3 de hormigón. Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 56 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 20% de PET como reemplazo de arena (mezcla 6), y su costo por 1 m3.

HORMIGÓN CON 20% DE PET [Reemplazo] (Mezcla 6)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	109,031 kg/cm2
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	576,65	\$0,02	\$11,53	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
PET	kg	144,16	\$0,00	\$0,00	
Total (m3)				\$99,70	

Tabla 56.- Precio por m3 de hormigón. Fuente: (C.C."Autor", 2019)

La tabla 57 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 20% de Caucho como reemplazo de arena (mezcla 7), y su costo por 1 m3.

HORMIGÓN CON 20% DE CAUCHO [Reemplazo] (Mezcla 7)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	105,95 kg/cm2
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	576,65	\$0,02	\$11,53	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Caucho	kg	144,16	\$0,00	\$0,00	
Total (m3)				\$99,70	

Tabla 57.- Precio por m3 de hormigón. (C.C."Autor", 2019)



La tabla 58 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 20% de Espuma Flex como reemplazo de arena (mezcla 8), y su costo por 1 m³.

HORMIGÓN CON 20% DE ESP. FLEX [Reemplazo] (Mezcla 8)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	88,125 kg/cm ²
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	576,65	\$0,02	\$11,53	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Esp. Flex	kg	144,16	\$0,01	\$0,72	
Total (m³)				\$100,42	

Tabla 58.- Precio por m³ de hormigón. (C.C."Autor", 2019)

La tabla 59 presenta los precios unitarios de cada agregado para la mezcla con 20% de Arena de Sílice como reemplazo de arena (mezcla 9), y su costo por 1 m³.

HORMIGÓN CON 20% DE AR. SÍLICE [Reemplazo] (Mezcla 9)					
Agregado	Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total	Res. Obtenida.
Cemento	kg	322,58	\$0,17	\$54,84	152,784 kg/cm ²
Grava	kg	1079,43	\$0,03	\$32,38	
Arena de río	kg	576,65	\$0,02	\$11,53	
Agua	Lt	158,00	\$0,01	\$0,95	
Ar. Sílice	kg	144,16	\$0,05	\$7,21	
Total (m³)				\$106,91	

Tabla 59.- Precio por m³ de hormigón. (C.C."Autor", 2019)



La tabla 60 presenta el resumen de resultados correspondientes a las mezclas de hormigón. (peso volumétrico, resistencia, precios y variaciones porcentuales de las mezclas 2 a 9 con respecto a la mezcla 1.

RESUMEN DE RESULTADOS [Peso volumétrico, Resistencia, Precio (m3)]							
N° Mezcla	Materiales-Agregados	Peso Vol. [kg/m3]	Esfuerzo σ [kg/cm2]	Precio por m3	Variación porcentual respecto [mezcla 1] (%)		
					P. V.	σ	\$
1	Grava y Arena de río	2334,479	180,866	\$102,59			
2	Grava, Arena de río y 10% de PET	2323,480	122,250	\$101,14	0,5%	32,4%	1,4%
3	Grava, Arena de río Y 10% de Caucho	2294,333	111,053	\$101,14	1,7%	38,6%	1,4%
4	Grava, Arena de río y 10% Espuma Flex	1905,529	91,523	\$101,50	18,4%	49,4%	1,1%
5	Grava, Arena de río y 10% Arena de Sílice	2342,728	129,374	\$104,75	-0,4%	28,5%	-2,1%
6	Grava, Arena de río y 20% de PET	2315,231	109,031	\$99,70	0,8%	39,7%	2,8%
7	Grava, Arena de río Y 20% de Caucho	2306,982	105,950	\$99,70	1,2%	41,4%	2,8%
8	Grava, Arena de río y 20% Espuma Flex	1713,051	88,125	\$100,42	26,6%	51,3%	2,1%
9	Grava, Arena de río y 20% Arena de Sílice	2348,227	152,784	\$106,91	-0,6%	15,5%	-4,2%

Tabla 60.- Resumen de resultados.
Fuente: (C.C."Autor", 2019)

5.1.3.3. BENEFICIOS PRESTADOS

Se sabe que este estudio tiene por objeto realizar un análisis comparativo de las mezclas de hormigón con agregados alternos y reciclables versus una mezcla convencional, buscando beneficios en cualquier ámbito, y, que estos resultados sean capaces de reemplazar y satisfacer las necesidades que demanda la construcción. De la misma manera se busca concientizar la conservación del medio ambiente ayudando a reducir la contaminación con la reutilización de materiales reciclables.

A continuación, se da conocer los beneficios identificados durante el desarrollo del estudio en la presente investigación.

- Tener un conocimiento más extenso a cerca de las propiedades de los materiales usados como agregados para las mezclas de hormigón.



- Extender la practica en el diseño de hormigones de peso normal, y a su vez hormigones con materiales alternos y reciclables.
- Potencializar la utilización de materiales reciclables en la construcción, lo cual garantice un menor peso muerto de la estructura.
- Generar hormigones con materiales alternos, con la finalidad de encontrar un aprovechamiento ideal para distintos materiales (arena de sílice).
- Potencializar los conocimientos referentes a los módulos de elasticidad y al comportamiento que presenta cada mezcla al aplicar una carga.
- Identificar los pesos volumétricos que presenta cada mezcla.
- Identificar la mezcla más favorable en comparación con la mezcla convencional, con el fin de implementar en las futuras construcciones.
- Conocer el comportamiento que poseen los hormigones con materiales alternos y reciclables cuando se les aplican carga. (Resistencia, Costos, Pesos Volumétricos).
- Mediante los resultados obtenidos, buscar la manera de implementar los diferentes tipos de hormigones estudiados para obras ecológicas, económicas, resistentes y sustentables futuras.



La Ilustración 38 muestra la variación porcentual de resultados referente a pesos volumétricos, costos y resistencias obtenidas de las mezclas 2-9 y comparadas con la mezcla 1.

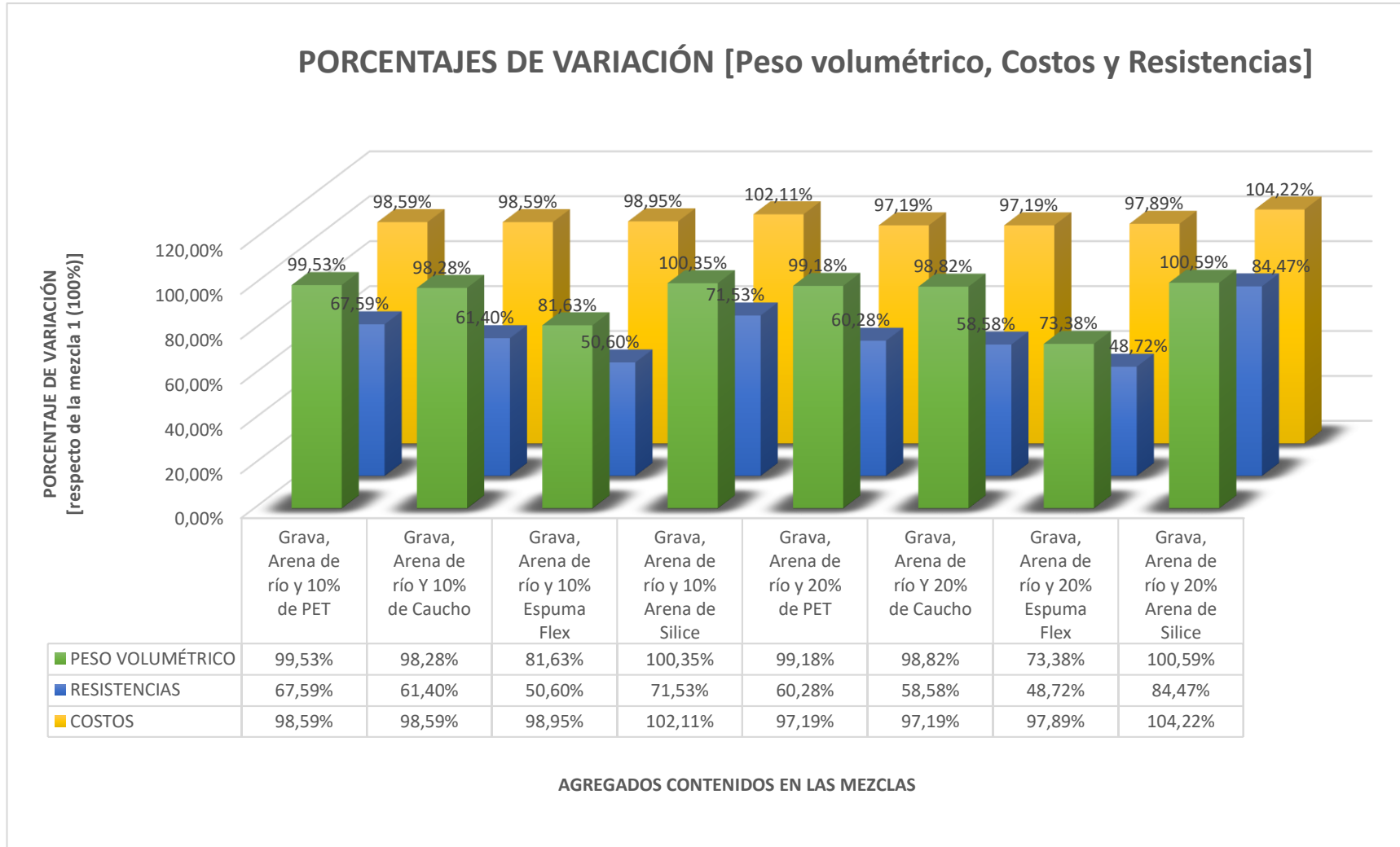


Ilustración 38.- Variación porcentual de pesos volumétricos, resistencias y costos para cada mezcla versus la mezcla estándar.
 Fuente: (C.C."Autor", 2019)



6. CONCLUSIONES

- a. El diseño de hormigón tomado como base para este estudio, se refiere a la mezcla estándar, la cual fue tomada para la realización de las otras mezclas en proporciones similares de sus agregados; con la única diferencia de que se reemplazó material reciclable y alterno en porcentajes de 10% y 20% respectivamente por material fino (arena).
Siendo así podemos afirmar que las mezclas variaron su homogeneidad debido a las propiedades de los materiales de reemplazo, a pesar de no haber sido considerados durante el desarrollo del estudio. Una de las propiedades físicas que se alteró notablemente fue el peso específico, la cual podemos verificar en la **tabla 60**.
- b. La mezcla 1 considerada así a la mezcla estándar, la cual está constituida por materiales convencionales (grava, arena de río, cemento y agua), a la edad de 28 días alcanzó una resistencia de 180 kg/cm² justamente para la que fue diseñada; sin embargo, de manera general las mezclas con materiales reciclables y alternos redujeron notablemente la resistencia, siendo las más próximas a la mezcla estándar, las siguientes: Con material alterno **mezcla 9** con 152,784 kg/cm² (posee 15,5% menos resistencia que la mezcla 1), la **mezcla 5** con 129,374 kg/cm² (posee 28,5% menos resistencia que la mezcla 1) y con material reciclable **mezcla 2** con 122,250 kg/cm² (posee 32,4% menos resistencia que la mezcla 1), y, la **mezcla 3** con 111,053 kg/cm² (posee 38,60% menos resistencia que la mezcla 1).
- c. Las **mezclas 4 y 8** que pertenecen al grupo de los que ocupan materiales alternos (espuma flex) de 10% y 20% respectivamente, adquieren las resistencias más bajas del estudio; con 91,523 kg/cm² (mezcla 4) y 88,125 kg/cm² (mezcla 8), y, favorablemente considerando también que los pesos volumétricos obtenidos de estas mezclas como resultados, son satisfactorios para construcciones que requieran de aliviamiento. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que los costos casi se mantienen con referencia a la mezcla 1, ya que también implica inversión económica para conseguir dichos.
- d. Las **mezclas 3 y 7** pertenecientes al grupo de los que ocupan materiales reciclables (caucho) de 10% y 20% respectivamente, las cuales llegan a resistencias menores que la estándar (mezcla 1) obteniendo así el siguiente análisis; para la **mezcla 3** una resistencia de 111,053 kg/cm²; 38,6% menos que la estándar; de la misma manera la **mezcla 7** posee una resistencia de 105,95 kg/cm²; lo que significa el 41,4% menos que la mezcla 1. Por otro lado, el peso volumétrico y el costo de la mezcla se reducen en porcentajes mínimos (**Tabla 60**), lo que implicaría utilizar este tipo de hormigón solo en caso de construcciones con estructuras ecológicas y que requieran aliviamientos.



- e. En cuanto a las **mezclas 2 y 6** pertenecientes al grupo de los que ocupan materiales reciclables (PET) de 10% y 20% respectivamente, las cuales obtienen resistencias menores que la estandarizada (mezcla 1), pudiendo así plantear el siguiente análisis; para la **mezcla 2** una resistencia de 122,25 kg/cm²; 32,4% menos que la estándar; de la misma manera la **mezcla 6** posee una resistencia de 109,031 kg/cm²; lo que significa el 39,7% menos que la mezcla 1. Sin embargo, estas resistencias son mayores y sin duda las más satisfactorias respecto de las que contienen material de reemplazo, a pesar de que el peso volumétrico y el costo de la mezcla se reducen en porcentajes mínimos igual a las mezclas que contienen caucho (**Tabla 60**), lo que implicaría utilizar este tipo de hormigón solo en caso de construcciones con estructuras ecológicas y que requieran alivianamientos.
- f. El tipo de falla que poseen los cilindros en general, se refieren a una falla **tipo III**, lo cual significa que las *“fisuras son verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos mal formados”* (ASTM C39, 2005); esto se debe a que los agregados que componen cada una de las muestras incluidos los materiales de reemplazo, en especial el caucho, PET y espuma flex no poseen buena adherencia entre sí. Sin duda alguna la textura de estos agregados por presentar paredes lisas dificulta dicha adherencia.
- Si bien es cierto el ACI 211 dice que para aumentar el $f'c$ de una mezcla, aquella debe presentar mayor cantidad de agregado grueso y mejor aún si el agregado fino posee un M_f alto, algo que dentro de este estudio no sucede al momento de reemplazar arena de sílice el cual tiene un $M_f = 2.45$, por lo tanto, la cantidad de agregado fino aumenta y consecuentemente la resistencia se reduce. ANEXO A
- g. Según el diagrama esfuerzo-deformación de las mezclas que contienen el 10% de material de reemplazo, en general poseen mayor deformación al presentar resistencias y módulos de elasticidad bajos; esto se da porque al momento de someter a carga el cilindro, éste falla lentamente debido a su baja resistencia; lo contrario ocurriría si la resistencia fuese alta, producto de aquello, produciría una falla brusca.
- h. En cambio, el diagrama esfuerzo-deformación de las mezclas que contienen el 20% de material de reemplazo, a diferencia de las otras mezclas, la mezcla que contiene 20% de arena de sílice presenta un comportamiento mejorado de resistencia a la compresión, convirtiéndole en hormigón frágil por fallar bruscamente. Sin embargo, el módulo de elasticidad sigue siendo bajo comparado con la mezcla convencional, a pesar de que la deformación unitaria redujo.



- i. Mientras mayor sea el módulo de elasticidad en el hormigón menor deformación unitaria presenta, aunque la resistencia a la compresión sea la misma, la manera de reaccionar al momento de ejercer carga sobre dicha muestra define su comportamiento.

- j. Los materiales reciclables pueden ser fácilmente incorporados para construcciones de hormigón con la finalidad de reducir los pesos muertos de la estructura, ya que según la **Tabla 60** las **mezclas (2, 3, 6 y 7)** poseen los siguientes pesos volumétricos [2323,48; 2294,33; 23,15 y 23,06,98]kg/m³ respectivamente; lo cual significa que reducen el peso hasta 1,7% según este estudio, aproximadamente 40.15 kg/m³ menos que la **mezcla 1** (2334,48 kg/m³).

Por otro lado, los materiales alternos buscan un espacio en el ámbito de la construcción al presentar beneficios como es el caso de alivianamiento a fin de reducir cargas de diseño para las obras civiles y buscar su aprovechamiento en la construcción.

De alguna manera las mezclas presentadas en el estudio pueden ser escogidas de acuerdo al tipo de construcción que vaya emplazar considerando las propiedades, los costos y los beneficios que estos pueden prestar.



7. RECOMENDACIONES

- a. Los agregados pétreos (grava y arena) utilizados para la mezcla convencional deberían cumplir con un lavado minucioso, ya que las impurezas contenidas en ellos evitan obtener una mezcla homogénea que garantice la obtención de la resistencia deseada.
- b. Para los agregados pétreos y reciclables, las trituradoras deberían cumplir de una manera más exigente los estándares de calidad con la finalidad de que cumplan con una buena granulometría, con la finalidad de que no afecten al diseño de la mezcla.
- c. Las muestras cilíndricas (probetas) deberían ser sometidas a un curado adecuado, esto refiriéndose al agua, el cual debe cumplir con temperaturas establecidas de acuerdo a la norma ASTM C31, evitando así la pérdida de humedad en las muestras; ya que en el laboratorio no existe la posibilidad de controlar la temperatura adecuadamente.
- d. La transportación de las muestras debe ser en envases donde se garantice el buen trato de los mismos, con la finalidad de evitar roturas que afecten la realización de los ensayos y evitar obtener resultados erróneos.
- e. Utilizar materiales reciclables en hormigones para reducir la contaminación en el medio ambiente, contribuyendo a la construcción de estructuras ecológicas. Si se desea mejorar la adherencia de estos agregados con los otros que componen la mezcla, se recomienda utilizar algún tipo de aditivo que permita adherirse entre si, debido a las caras lisas que poseen.
- f. Dentro de las estructuras se recomienda utilizar materiales alternos que permitan obtener mejores resultados en aspectos como el peso, costos y resistencias.
- g. Apoyar campañas de reciclaje de materiales como el plástico y caucho; para luego plantear algún tipo de aprovechamiento en los hormigones, ya sea como agregado o algún otro medio.



8. BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural- (ACI-318RS-14)*. EE.UU: American Concrete Institute.
- ACI 211. (2002). *DISEÑO DE CONCRETO*. Centro de Procesos Industriales y Construcción SENA Regional Caldas.
- Association, P. C., & Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. EE.UU: Portland Cement Association.
- ASTM C 143-00. (s.f.).
- ASTM C39. (2005). *CONCRETES. STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS*. United States.
- Ávila C., L. I., Martínez B., G., Barrera D., C. E., Ureña N., F., & Loza Y., A. (2015). PET de desecho y su Uso en Concreto. *OmniaScience*, 95-122.
- Catalán O, C. R. (2006). *ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL MÓDULO DE POISSON*. SAN SALVADOR: MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE, Y VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO.
- CELEC EP. (2013). *INSTRUCTIVO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS*. CUENCA-ECUADOR: COOPERACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR.
- CHINCHILLA PRÓSPERO. (1986). *Materiales para construcción*. Universidad Santo Tomás.
- Duque Escobar, G. (2002). *Manual de Geología para Ingenieros*. Manizales-Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Escobar M., X. S., & Rivas R., J. E. (2016). *Uso de espuma Flex como agregado para la elaboración de adoquines*. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Ing. Gerardo A. Rivera L. (2015). *CONCRETO SIMPLE*. CAUCA-COLOMBIA: UNIVERSIDAD DEL CAUCA.
- Irene del Pilar Urrea Carrasco. (2006). *"HORMIGÓN CON CAUCHO; DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD"*. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile.
- Jaime Enrique López Olson. (2018). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIAS DE UNA MEZCLA ESTÁNDAR DE CONCRETO CON AGREGADOS ALTERNOS Y CONVENCIONALES*. Cuenca- Ecuador: Universidad Católica de Cuenca.
- Marcelo Romo Proaño M.Sc. (2008). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. ESPE-ECUADOR.
- Mendoza, H. H., Barón G., A. J., & Parra V., A. C. (2007). *CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL DE SÍLICE DE RAMIRIQUÍ BOYACÁ*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.



Molano C., M. C., & Torres C., N. (2017). *PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE MATERIALES PARA OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL*. ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO CARAVIJO.

NEC-SE-HM. (2010). *ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC*. ECUADOR.

Salto Barreiro, P. V. (2015). *Diseño del proceso de reciclaje de poliestireno expandido por el método de disolución-precipitación*. Quito-Ecuador: Escuela Politecnica Nacional.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1969). *Arena de Sílice*. Norma Mexicana (NMX-C-33031964).



9. ANEXOS

ANEXO A (FOTOGRAFÍAS) Y, ANEXO B (DOCUMENTOS DE ENSAYOS REALIZADOS)









UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

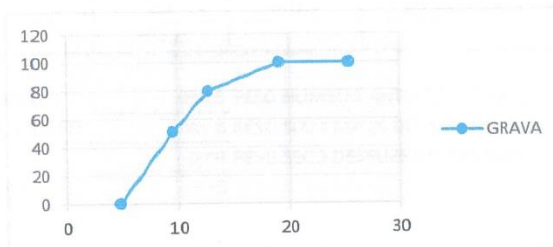


ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA GRAVA

PROYECTO: Análisis granulométrico de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclables.
SOLICITADO POR: Ing. Msc. Luis Mario Almache
FECHA: _____

TAMIZ N°	ABERTURA MM.	PESO RET. GR.	RET.ACUM. GR.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2					
2 1/2"	63,5					
2"	50,8					
1 1/2"	38,1					
1"	25,4				100	
3/4"	19,1	25,3	25,3	0,20	99,80	
1/2"	12,7	2599,0	2624,3	20,25	79,75	
3/8"	9,52	3717,5	6341,8	48,93	51,07	
N°4	4,76	6586,5	12928,3	99,75	0,25	
PASA N°4		35,5	12963,8	100,00		

PESO ANTES DEL ENSAYO 12974
PESO DESPUÉS DEL ENSAYO 129435,5 TAMAÑO MÁXIMO 3/4"



ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA DE SÍLICE

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclables.

SOLICITADO POR : Ing. Msc. Luis Mario Almache

FECHA _____



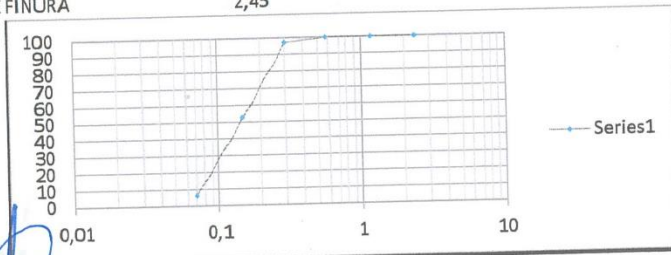
TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2					
2 1/2"	63,5					
2"	50,8					
1 1/2"	38,1					
1"	25,4					
3/4"	19,1					
1/2"	12,7					
3/8"	9,52					
Nº4	4,76					
8	2,38	0,1	0,1	0	100	
16	1,19	0,2	0,3	0,01	99,99	
30	0,580	27,6	27,9	0,03	99,97	
50	0,3	441,0	468,9	2,81	97,19	
100	0,15	462,0	930,9	47,21	52,79	
200	0,07	50,6	981,5	93,73	6,27	
PASA No200		2,1	983,6	98,83	1,17	
TOTAL		983,6				

PESO ANTES DEL ENSAYO 984,5 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO 1000

PESO DESPUES DEL ENSAYO 983,6 PESO SECO ANTES DEL LAVADO 993,15

% DE HUMEDD 0,69 PESO SECO DESPUES DEL LAVADO 984,5

MODULO DE FINURA 2,45



ING. Luis Mario Almache
 JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
 LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA DE RÍO

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclables.

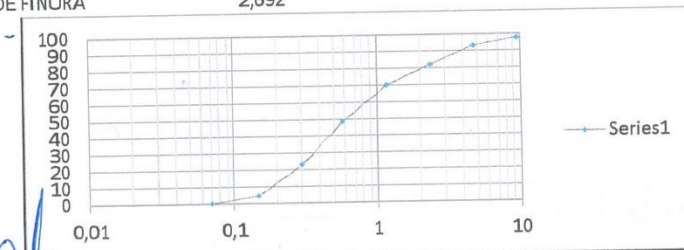
SOLICITADO POR : Ing. Msc. Luis Mario Almache

FECHA _____



TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2					
2 1/2"	63,5					
2"	50,8					
1 1/2"	38,1					
1"	25,4					
3/4"	19,1					
1/2"	12,7					
3/8"	9,52	6,2	6,2	0,672	97,833	
Nº4	4,76	42,1	48,3	5,23	93,275	
8	2,38	101,7	150,0	16,255	82,25	
16	1,19	111,0	261,0	28,283	70,222	
30	0,580	198,5	459,5	49,794	48,711	
50	0,3	236,0	695,5	75,368	23,137	
100	0,15	168,0	863,5	93,573	4,932	
200	0,07	43,7	907,2	98,308	0,197	
PASA No200		1,8	909,0	98,505	0	
TOTAL						

PESO ANTES DEL ENSAYO	909,0	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	1000
PESO DESPUES DEL ENSAYO	909,0	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	922,81
% DE HUMEDD	8,365	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	909,0
MODULO DE FINURA	2,692		



ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
LABORATORISTA



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS**

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de
hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclables
SOLICITADO POR Ing. Msc Luis Mario Almache
FECHA _____

MÉTODO DEL PIGNÓMETRO (MATERIAL "GRAVA")

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	1.728,5	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	6338,00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	5278,50	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	1690,50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{PESO ESPECÍFICO SECO} = \frac{D}{A - (B - C)} = 2,527 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = 2,584 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PESO ESPECÍFICO APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = 2,6 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{100(A - D)}{D} = 2,248 \%$$



ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO



ING. Marcos González
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS

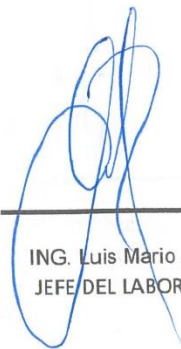
PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de
hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclables
SOLICITADO POR Ing. Msc Luis Mario Almache
FECHA _____

MÉTODO DEL PIGNÓMETRO (MATERIAL "ARENA")

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	200,0	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	778,00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	657,50	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	192,10	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

PESO ESPECÍFICO SECO	$\frac{D}{A - (B - C)}$	=	2,416	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO	$\frac{A}{A - (B - C)}$	=	2,532	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	$\frac{D}{D - (B - C)}$	=	2,682	gr/cm ³
% DE ABSORCIÓN	$\frac{100(A - D)}{D}$	=	4,112	%



ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO



ING. Marcos González
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA



FACULTAD CDE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELO

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

(Método de la ASTM - C 20)

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclab.

MATERIAL Arena

FECHA

DATOS		ENSAYOS		
		1	2	3
PESO DEL RECIPIENTE	(gr)	3403,0	3403,0	3403,0
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	(cm3)	2894,8	2894,8	2894,8
RECIPIENTE + MATERIAL	(gr)	7955,0	7970,0	7911,5
PESO DEL MATERIAL	(gr)	4552,0	4567,0	4508,5
PESO VOLUMÉTRICO	(gr/cm3)	1,57	1,58	1,56

PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO 1,57 gr/cm3

ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA



FACULTAD CDE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELO

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

(Método de la ASTM - C 20)

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclab.

MATERIAL Caucho

FECHA

D A T O S		E N S A Y O S		
		1	2	3
PESO DEL RECIPIENTE	(gr)	3402	3402	3402
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	(cm ³)	2930,53	2930,53	2930,53
RECIPIENTE + MATERIAL	(gr)	4735	4701	4707,5
PESO DEL MATERIAL	(gr)	1333	1299	1305,5
PESO VOLUMÉTRICO	(gr/cm ³)	0,455	0,443	0,445

PESO VOLUMÉTRICO
PROMEDIO 0,45 gr/cm³

ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD CDE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELO

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

(Método de la ASTM - C 20)

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclados.
MATERIAL Grava varillada.
FECHA

D A T O S		E N S A Y O S		
		1	2	3
PESO DEL RECIPIENTE	(gr)	5782,5	5782,5	5782,5
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	(cm3)	9448,48	9448,48	9448,48
RECIPIENTE + MATERIAL	(gr)	20151,5	20268,5	20300
PESO DEL MATERIAL	(gr)	14369	14486	14517,5
PESO VOLUMÉTRICO	(gr/cm3)	1,521	1,533	1,536

PESO VOLUMÉTRICO 1,53 gr/cm3
PROMEDIO

ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA



FACULTAD CDE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELO

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

(Método de la ASTM - C 20)

PROYECTO Análisis comparativo de resistencias de una mezcla estándar de hormigón, con agregados y materiales alternos y reciclados.

MATERIAL Grava sin varillar.

FECHA

DATOS		ENSAYOS		
		1	2	3
PESO DEL RECIPIENTE	(gr)	5782,5	5782,5	5782,5
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	(cm ³)	9448,48	9448,48	9448,48
RECIPIENTE + MATERIAL	(gr)	19154	19178,5	19157,5
PESO DEL MATERIAL	(gr)	13371,5	13396,5	13375
PESO VOLUMÉTRICO	(gr/cm ³)	1,415	1,418	1,416

PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO 1,42 gr/cm³

ING. Luis Mario Almache
JEFE DEL LABORATORIO

ING. Marcos González
LABORATORISTA



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL

Yo, **Christian Miguel Chinchilima Guamán** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0104663257. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA MEZCLA ESTÁNDAR DE HORMIGÓN, CON AGREGADOS Y MATERIALES ALTERNOS Y RECICLAABLES"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de Julio de 2019

F:
CHRISTIAN MIGUEL CHINCHILIMA GUAMÁN
C.I. 0104663257