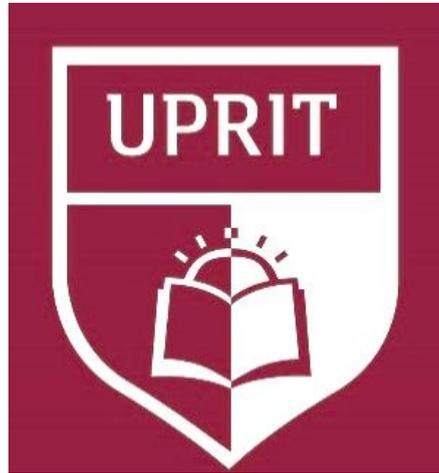


# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EFECTO DEL VIDRIO MOLIDO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS  
Y MECÁNICAS DEL CONCRETO, TRUJILLO 2019”**

**TESIS**

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

**AUTORES:**

**Bach. RODRIGUEZ NUÑEZ, ABIGAIL ROXANA**

**Bach. RODRIGUEZ RODRIGUEZ, PASCUALA MAGDALENA**

**ASESOR:**

**MG. ING. DURAND BAZAN, ENRIQUE MANUEL**

**TRUJILLO – PERÚ**



## HOJA DE FIRMAS

---

PRESIDENTE

---

SECRETARIO

---

VOCAL



## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios por su inmensa misericordia y su gran amor, por guiarme por el camino del bien, por darme fuerzas para salir adelante y nunca desmayar ante alguna dificultad, por haberme bendecido con un angelito maravilloso al que amo con todas las fuerzas de mí corazón. A mis padres Marleni y Sequiel, por su apoyo incondicional, por sus consejos ya que sin ellos no hubiera sido posible este logro, ellos son la fortaleza más grande que tengo en mi vida. A mis queridos hermanos Praxi y Yulisa, gracias por confiar en mí, en especial a mi hermana, por impulsarme a conseguir todos mis objetivos. A mi hijo Patrick y a mi esposo Félix, gracias a ustedes por cada palabra y gesto de amor, por inspirarme para ser mejor cada día. A mis amigas y colegas de la universidad, en especial a mi compañera de tesis, porque tenemos muchas cosas en común, pues somos perseverantes ante cualquier problema.

**Roxana Rodríguez Nuñez**



## DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y la oportunidad de seguir este camino, por estar conmigo en cada momento de mi vida, por fortalecer mi corazón, por llenarme de coraje para sobreponerme ante cada adversidad. A mis padres Teotista y Felipe por su apoyo y consejos, A mis hermanos Teresa, María, Santiago, Luz Clarita y Daniel por su apoyo incondicional y moral. Gracias por confiar en mi María. A mi sobrino Jhanpier porque desde que llegaste a nuestras vidas nos diste la alegría que como familia en ese entonces habíamos perdido, esto es por ti también. A mi esposo Jonny Honorio por tu apoyo y amor incondicional, por haber formado parte de mi vida universitaria y por ser una de las razones que trae como resultado mi nuevo presente, gracias por enseñarme que los tiempos de Dios son perfectos y todo llega cuando tiene que llegar, ni antes ni después solo en el momento justo. A mi colega y compañera de tesis porque ya tenemos algo más en común para recordar en nuestras vidas.

**Pascuala Magdalena Rodríguez Rodríguez**



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser forjador y guía de nuestras vidas y de este camino recorrido en toda nuestra etapa universitaria, a nuestra casa de estudios Universidad Privada de Trujillo, por haber sido parte de nuestra formación académica, A los docentes de la escuela de ingeniería civil por inculcarnos los conocimientos necesarios para nuestra vida profesional. A nuestro asesor Mg. Ing. Enrique M. Durand Bazán, por su calidad profesional durante el tiempo que se llevó a cabo este proyecto en las aulas y las horas de asesoramiento para poder llevar a cabo la realización de este proyecto. Agradecemos a todos los que fueron nuestros compañeros de clase durante los niveles. Nuestro agradecimiento a la empresa "Premezclados Ken" por brindarnos sus instalaciones para la realización de nuestra tesis.

**Los autores**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Realidad Problemática.....	1
1.2. Formulación del problema .....	2
1.3. Línea de investigación .....	2
1.4. Justificación del problema.....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	3
1.6. Antecedentes.....	4
1.7. Bases Teóricas .....	6
A. Concreto.....	6
A.1. Tipos de concreto.....	7
A.2. Composición del concreto .....	7
A.3. Propiedades físicas y mecánicas .....	14
A.3.1. Propiedades del concreto fresco .....	14
A.3.2. Propiedades del concreto endurecido .....	16
B. Vidrio .....	22
B.1. Composición.....	22
B.2. Fabricación de Vidrio.....	23
B.3. El vidrio y el medio ambiente.....	25
B.4. Reciclaje del vidrio .....	26
B.5. Propiedades del vidrio.....	27
B.6. Tipos de Vidrio .....	29
C. Botellas de vidrio.....	29
D. Bases Normativas .....	30
1.8. Definición de términos básicos .....	31
1.9. Hipótesis .....	32
1.9.1. Planteamiento de la hipótesis .....	32
1.9.2. Tipo y diseño de investigación.....	32
1.9.2.1. Tipo de acuerdo al fin que persigue.....	32
1.9.2.2. Tipo de acuerdo al diseño.....	32
1.9.2.3. Diseño de investigación .....	33
1.9.3. Variables.....	33
CAPÍTULO 2 : MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
2.1. Materiales .....	35
2.2. Material de estudio.....	35
2.2.1. Población .....	35
2.2.2. Muestra.....	36



2.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	37
2.3.1.	Para recolectar datos.....	37
2.3.2.	Para procesar datos.....	38
2.4.	Operacionalización de variables.....	39
CAPÍTULO 3 : RESULTADOS.....		40
3.1.	Ensayos de los agregados.....	40
3.1.1.	Granulometría.....	40
3.1.2.	Peso específico.....	54
3.1.3.	Absorción.....	59
3.1.4.	Peso unitario suelto y compactado.....	59
3.1.5.	Porcentaje de Humedad.....	65
3.2.	Dosificación del concreto por el método ACI.....	66
3.2.1.	Diseño de la mezcla patrón.....	66
3.2.2.	Resultados para la elección del diseño de mezclas patrón.....	81
3.3.	Resultados del concreto en estado endurecido.....	
3.3.1.	Ensayo a compresión.....	97
3.3.2.	Ensayo a flexión.....	109
3.3.3.	Módulo de elasticidad.....	117
CAPÍTULO 4 : DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		118
4.1.	Respecto a las propiedades del concreto.....	120
4.1.1.	Trabajabilidad del concreto (Slump).....	120
4.1.2.	Peso unitario.....	121
4.1.3.	Contenido de Aire.....	122
4.1.4.	Resultados de ensayos a compresión.....	123
4.1.5.	Resistencia a la Flexión.....	125
4.1.6.	Peso unitario y módulo de elasticidad.....	126
4.1.7.	Módulo de elasticidad.....	127
CAPÍTULO 5 : CONCLUSIONES.....		128
CAPÍTULO 6 : RECOMENDACIONES.....		130
CAPÍTULO 7 : FERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		131
CAPÍTULO 8 ANEXOS.....		133

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del concreto.....	7
Figura 2. Presentación del cemento fortimax Pacasmayo.....	11
Figura 3. Agua utilizada en la mezcla.....	12
Figura 4. Agregado fino.....	13
Figura 5. Agregado fino.....	13
Figura 6. Agregado grueso utilizado en el diseño de mezcla.....	15
Figura 7. Tipos de fracturas de esfuerzo a compresión.....	17
Figura 8. Ensayo a Tracción.....	18
Figura 9. Ensayo de Flexión en vigas.....	19
Figura 10. Esfuerzos y deformaciones.....	21
Figura 11. Etapas básicas del proceso de producción del vidrio.....	25
Figura 12. Juego de tamices.....	40
Figura 13. Tamizado de agregado fino.....	44
Figura 14. Agregado grueso.....	48
Figura 15. Tamizado de agregado grueso.....	48
Figura 16. Molino de bolas para vidrio reciclado.....	49
Figura 17. Llenado de vidrio reciclado a molino.....	50
Figura 18. Vidrio molido.....	53
Figura 19. Tamizado de vidrio molido.....	53
Figura 20. Tamizado de vidrio molido.....	53
Figura 21. Fiola.....	55
Figura 22. peso de muestra seca.....	56
Figura 23. Instrumentos a utilizar.....	56
Figura 24. Peso de muestra de agregado grueso.....	58
Figura 25. Canastilla a utilizar.....	58
Figura 26. Cuarteo de agregado fino.....	62
Figura 27. Llenado de agregado fino a olla.....	62
Figura 28. Proceso de varillado.....	62
Figura 29. División de agregado grueso.....	64
Figura 30. Peso de olla de washington.....	64
Figura 31. Curva de resistencia a compresión vs. A/C.....	82
Figura 32. Grafica de barras de 03 diseños.....	82
Figura 33. Medición de slump.....	89
Figura 34. Peso unitario.....	90
Figura 35. Contenido de aire.....	91
Figura 36. Ensayo a compresión.....	98
Figura 37. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño patrón 0% V.M.....	100
Figura 38. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño 1% V.M.....	102
Figura 39. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño 3% V.M.....	104
Figura 40. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño 5% V.M.....	106
Figura 41. Resistencia a compresión de los 04 diseños.....	107
Figura 42. Curva de avance de resistencia de 04 diseños.....	108
Figura 43. Marco para ensayo a flexión.....	109
Figura 44. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 0% V.M.....	111
Figura 45. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 1% V.M.....	112
Figura 46. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 3% V.M.....	113
Figura 47. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 5% V.M.....	114
Figura 48. Resultados de ensayo a flexión de vigas.....	115
Figura 49. Curva de ensayo a flexión de vigas.....	116
Figura 50. Trabajabilidad inicia.....	120
Figura 51. Trabajabilidad a 30 min.....	121
Figura 52. Trabajabilidad 60 min.....	121
Figura 53. Peso unitario.....	122
Figura 54. Porcentaje de reemplazo óptimo entre los cuatro porcentajes 0%, 1%, 3% y 5% a los 28 días de curado.....	124
Figura 55. Porcentaje de incremento de la resistencia a la flexión.....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos de cemento portland .....	8
Tabla 2. Trabajabilidad del concreto .....	14
Tabla 3. Componentes del vidrio .....	23
Tabla 4. Normas a utilizar .....	31
Tabla 5. Cantidad de probetas a utilizar .....	37
Tabla 6. % que pasa según tamiz .....	41
Tabla 7. Análisis granulométrico de agregado fino .....	42
Tabla 8. Curva granulométrica del agregado fino .....	43
Tabla 9. Número de tamices del agregado grueso .....	44
Tabla 10. tamaño de muestra del agregado .....	45
Tabla 11. Análisis granulométrico de agregado grueso .....	46
Tabla 12. Curva granulométrica de agregado grueso .....	47
Tabla 13. Análisis granulométrico de vidrio molido .....	51
Tabla 14. Curva granulométrica de vidrio molido .....	52
Tabla 15. Peso específico y absorción de agregado fino .....	55
Tabla 16. Peso específico y absorción de agregado grueso .....	57
Tabla 17. Peso unitario de agregado fino .....	61
Tabla 18. Peso unitario de agregado grueso .....	63
Tabla 19. Contenido de humedad a.f. ....	66
Tabla 20. Contenido de humedad a.g. ....	66
Tabla 21. Datos generales de diseño de mezcla .....	67
Tabla 22. Datos de agregados .....	67
Tabla 23. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos. ....	68
Tabla 24. Asentamiento recomendado para diversos tipos de estructuras. ....	68
Tabla 25. contenido de agua .....	69
Tabla 26. Relación A/C .....	69
Tabla 27. Cantidad de cemento para relación a/c .....	70
Tabla 28. Módulo de fineza .....	71
Tabla 29. Suma de materiales para relación a/c .....	72
Tabla 30. Cantidad de agregado fino para 1m <sup>3</sup> de concreto .....	72
Tabla 31. Corrección por humedad y absorción .....	72
Tabla 32. Proporciones requeridas .....	73
Tabla 33. Dosificaciones para tres relaciones a/c .....	73
Tabla 34. Cálculo de dosificación para a/c=0.57 .....	74
Tabla 35. Cálculo de dosificación para a/c=0.55 .....	75
Tabla 36. Cálculo de dosificación para a/c=0.53 .....	76
Tabla 37. Datos generales para dosificación final .....	77
Tabla 38. Datos de los agregados para dosificación final .....	77
Tabla 39. Corrección por humedad y absorción de dosificación final .....	78
Tabla 40. Dosificación para 1m <sup>3</sup> de concreto - a/c=0.55 .....	78
Tabla 41. Proporcionamiento de diseño final a/c=0.55 .....	78
Tabla 42. Cantidad de materiales a utilizar .....	79
Tabla 43. Resultados de ensayos de prueba .....	81
Tabla 44. Resultados de 07 días .....	81
Tabla 45. Cálculo de dosificación de muestra patrón - 0% V.M .....	84
Tabla 46. Cálculo de dosificación de muestra con 1% V.M .....	85
Tabla 47. Cálculo de dosificación de muestra con 3% V.M .....	86
Tabla 48. Cálculo de dosificación de muestra con 5% V.M .....	87
Tabla 49. Trabajabilidad de 4 diseños .....	89
Tabla 50. Peso unitario de 04 diseños .....	90
Tabla 51. Contenido de aire de 04 diseños .....	92
Tabla 52. Resultado de ensayo a compresión de diseño patrón 0% a 7, 14 y 28 días .....	99
Tabla 53. Resultado de ensayo a compresión de diseño 1% a 7, 14 y 28 días .....	101
Tabla 54. Resultado de ensayo a compresión de diseño 3% a 7, 14 y 28 días .....	103
Tabla 55. Resultado de ensayo a compresión de diseño 5% a 7, 14 y 28 días .....	105
Tabla 56. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 0% V.M .....	111



Tabla 57. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 1% V.M.....	112
Tabla 58. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 3% V.M.....	113
Tabla 59. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 5% V.M.....	114
Tabla 60. Trabajabilidad cada 30 minutos .....	120
Tabla 61. Resultado del porcentaje de incremento del contenido de aire .....	122
Tabla 62. Resumen de resultados totales de ensayo a compresión.....	123
Tabla 63. Resultado del porcentaje de incremento de la resistencia a la compresión.....	124
Tabla 64. Resultados totales de ensayo a flexión .....	125
Tabla 65. Resultado del porcentaje de incremento de la resistencia a la flexión.....	126
Tabla 66. Peso unitario del concreto .....	126

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo N° 1 Análisis granulométrico de agregado fino.....	133
Anexo N° 2 Curva granulométrica de agregado fino.....	134
Anexo N° 3 Análisis granulométrico de agregado grueso.....	135
Anexo N° 4 Peso específico de agregado fino y agregado grueso.....	136
Anexo N° 5 Peso unitario de agregado fino.....	137
Anexo N° 6 Peso unitario de agregado grueso.....	138
Anexo N° 7 Cálculo de dosificación.....	139
Anexo N° 8 Cálculo de volumen (tanda) total a utilizar.....	140
Anexo N° 9 Fiola con agua.....	142
Anexo N° 10 Toma de temperatura ambiente.....	142
Anexo N° 11 Llenado de cono de Abrams.....	143
Anexo N° 12 Engrasado de cilindros.....	143
Anexo N° 13 Colocación de cilindros para ser llenados de mezcla.....	144
Anexo N° 14 Llenado de cono de Abrams.....	144
Anexo N° 15 Toma de medida de asentamiento.....	145
Anexo N° 16 Instrumentos que se utilizó en la elaboración de probetas.....	145
Anexo N° 17 Toma de contenido de aire.....	146
Anexo N° 18 Retirando exceso de mezcla en cilindros.....	146
Anexo N° 19 Peso de elementos a usar en mezcla.....	147
Anexo N° 20 Peso de agregado fino a utilizar.....	147
Anexo N° 21 Incorporación de materiales a mezcladora.....	148
Anexo N° 22 Llenado de cono de Abrams.....	148
Anexo N° 23 Medición de asentamiento.....	149
Anexo N° 24 09 Probetas preliminares.....	149
Anexo N° 25 Extracción de probetas de poza de curado.....	150
Anexo N° 26 Elementos a utilizar en mezcla.....	150
Anexo N° 27 Engrasado de molde para viga.....	151
Anexo N° 28 Medición de asentamiento.....	151
Anexo N° 29 Eliminación de exceso en vigas.....	152
Anexo N° 30 Incorporación de vidrio molido a mezcladora.....	152
Anexo N° 31 Elaboración de 36 probetas.....	153
Anexo N° 32 <i>Extracción de probetas de sus moldes</i> .....	153
Anexo N° 33 Codificación de las 36 probetas a ensayar.....	154
Anexo N° 34 Probetas terminadas.....	154
Anexo N° 35 Colocación de probetas en poza de curado.....	155
Anexo N° 36 Colocación de probetas a poza de curado.....	155
Anexo N° 37 Codificación de 08 vigas.....	156
Anexo N° 38 Vigas codificadas.....	156
Anexo N° 39 Rotura de probetas.....	157
Anexo N° 40 Probeta después de ensayo a compresión.....	157
Anexo N° 41 Probeta después de ensayo a compresión.....	158
Anexo N° 42 Muestra probeta en ensayo a compresión.....	158
Anexo N° 43 Rotura de vigas.....	159
Anexo N° 44. Rotura de vigas a flexión.....	159
Anexo N° 45. Toma de datos de ensayo a flexión.....	160
Anexo N° 46. Toma de datos de ensayo a flexión.....	160
Anexo N° 47 Vigas después de ser sometidas a ensayo a flexión.....	161
Anexo N° 48 Vigas después de ensayo a flexión.....	162
Anexo N° 49 Toma de medidas en vigas.....	162
Anexo N° 50 Viga después de rotura donde se ve el vidrio molido.....	163
Anexo N° 51 Toma de medidas con calibre (pie de rey).....	163
Anexo N° 52 Toma de medidas con calibre para mas precisión.....	164
Anexo N° 53 Vigas después de ser sometidas a flexión.....	164

## RESUMEN

La presente investigación titulada "EFECTO DEL VIDRIO MOLIDO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL CONCRETO, TRUJILLO 2019", tiene por objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y en estado endurecido, tales como: trabajabilidad, peso unitario, contenido de aire, resistencia a compresión y flexión. Para el desarrollo de esta investigación se utilizó vidrio molido reciclado (vidrio común proveniente de botellas recicladas de distintos colores), este componente se reemplazará por agregado fino en diferentes porcentajes de 0%,1%, 3% y 5% respectivamente. Se realizaron los ensayos de granulometría para los agregados, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción.

Para realizar esta investigación se realizó cuatro diseños (01 diseño patrón y 3 diseños con adición de vidrio) de cada diseño se realizarán 09 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, las cuales se realizó el ensayo a compresión a 7, 14 y 28 días. También se realizaron moldes rectangulares de 6" X 6" X 21", para ensayos de resistencia a flexión en vigas, 02 moldes para cada diseño, las cuales se romperán a los 28 días de edad. En total se ensayaron 03 moldes cilíndricos y 2 moldes rectangulares para cada diseño, obteniendo un total de 36 probetas cilíndricas y 08 especímenes de vigas.

Los resultados muestran que el concreto con adición de vidrio molido con un 5% de reemplazo de agregado fino logró aumentar la resistencia a la compresión del concreto con un porcentaje de 114% respecto al diseño patrón que llegó hasta 102%, siendo esta característica la más sobresaliente. En cuanto a su resistencia a flexión en vigas ninguno de los diseños tiene variaciones significativas, el diseño con 3% tiene una resistencia a flexión de 45.61 kg/cm<sup>2</sup> siendo este el mayor valor obtenido con respecto a los otros diseños. Con estos resultados se puede afirmar que el reemplazo parcial del agregado fino por vidrio molido es favorable para el concreto, validando así la hipótesis propuesta.

**PALABRAS CLAVES:** Concreto, Resistencia a la compresión, vidrio molido reciclado, mezclas, diseño de mezcla.



## ABSTRACT

This research entitled "EFFECT OF THE GRINDED GLASS IN THE FISCAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE CONCRETE, TRUJILLO 2019", aims to evaluate the physical and mechanical properties of concrete in the fresh and hardened state, such as: workability, unit weight, content of air, resistance to compression and flexion. For the development of this research, recycled ground glass (common glass from recycled bottles of different colors) was used, this component will be replaced by fine aggregate in different percentages of 0%, 1%, 3% and 5% respectively. Granulometry tests were performed for aggregates, moisture content, loose and compacted unit weight, specific weight and absorption.

In order to carry out this research, four designs (01 standard design and 3 designs with glass addition) were carried out for each design, 09 cylindrical specimens of 10 cm in diameter and 20 cm in height will be made, which were carried out with the compression test at 7, 14 and 28 days. Rectangular molds of 6 "X 6" X 21 "were also made, for bending strength tests on beams, 02 molds for each design, which will break at 28 days of age. In total, 03 cylindrical molds and 2 rectangular molds were tested for each design, obtaining a total of 36 cylindrical specimens and 08 specimens of beams.

The results show that the concrete with the addition of ground glass with a 5% replacement of fine aggregate managed to increase the compressive strength of the concrete with a percentage of 114% compared to the standard design that reached up to 102%, this characteristic being the most outstanding. As for its bending strength in beams, none of the designs has significant variations, the 3% design has a flexural strength of 45.61 kg / cm<sup>2</sup>, this being the highest value obtained with respect to the other designs. With these results it can be affirmed that the partial replacement of the fine aggregate with ground glass is favorable for the concrete, thus validating the proposed hypothesis.

**KEY WORDS:** Concrete, Compressive strength, recycled ground glass, mixtures, mix design.

## **CAPÍTULO I. : INTRODUCCIÓN**

### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.**

Una de las ramas más importantes dentro del campo de la ingeniería civil, es la de ingeniería de materiales, esta rama estudia las propiedades de los materiales utilizados en la construcción de obras civiles como es el caso del concreto, el cual es un material indispensable para la industria de la construcción, es por ello que en muchos países se busca incorporar diversos materiales (aditivos) con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas del concreto. El uso del vidrio molido como un refuerzo secundario es una manera de proporcionar al concreto una mejor resistencia los cuales contribuirán a mejorar la fisuración en el concreto. (Valera, Moren, Solis, & Sánchez , 2013).

En Bogotá - Colombia, según Mejía (2009), una mezcla de concreto está formado por agua, aire, cemento, y conglomerantes (calcáreos, bituminosos, áridos finos y gruesos), adicionalmente al concreto se le puede incluir aditivos de fibra de vidrio, con el propósito de mejorar e incrementar la oferta y la tecnología, ya que si se logra una mejor calidad, la vida útil de este, será más prolongada, por otro lado el proceso de elaboración del concreto comienza cuando el cemento se hidrata con el agua, a partir de ello empiezan las reacciones químicas que permiten el endurecimiento de la mezcla, al final se tiene una consistencia dura en forma de piedra capaz de soportar cargas a compresión. En estos últimos años, varios estudios nacionales e internacionales han demostrado que las propiedades mecánicas y físicas del concreto constituido de áridos reciclados en una mezcla garantizan la utilización adecuada para así lograr un concreto más resistente.

En el Perú, según Blanco (2014), el uso del concreto se inicia entre 1910 y 1920, con la llegada del cemento se inician las obras de concreto armado, sin embargo a pesar de usar elementos aporricados no desaparecen los muros de albañilería. Los primeros diseños en concreto se hacen por compañías extranjeras. Desde aquellos tiempos hasta la actualidad ha ido cambiando los criterios de estructuración debido a las enseñanzas de los terremotos, los cuales debilitaban las estructuras, es así que por primera vez se incluye un capítulo de diseño sismoresistente. En la actualidad se busca reforzar estas estructuras para salvaguardar el bienestar de los habitantes, innovando ciertos materiales en la preparación del concreto, tal es el caso de incorporación de aditivos (fibras de vidrio, acero, polipropileno, etc.), que en ciertos casos ayudan a fortalecer la resistencia del concreto de acuerdo a su dosificación.

La presente investigación está dirigida a nuevas alternativas de construcción para afrontar los problemas que se presentan en las edificaciones, siendo una de ellas mejorar la resistencia la compresión y con mayor durabilidad del concreto, asimismo reducir la contaminación que genera el material en evaluación. Con los antecedentes investigados existe probabilidades significativas de obtener resultados beneficiosos en el efecto de las propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando vidrio molido reciclado en la ciudad de Trujillo.

Para nosotros, la incorporación de este nuevo material contribuye a mejorar tres aspectos importantes, el uso del vidrio molido favorece a mitigar la contaminación ambiental puesto que esta ciudad no cuenta con una planta recicladora o de tratamiento del vidrio, pues el vidrio tarda en degradarse 4000 años. Es por ello que cada día grandes volúmenes de vidrio terminan arrojados en los rellenos sanitarios y otra parte de ello termina arrojado en el mar. El vidrio como un elemento adicional para una mezcla de concreto es poco común en esta ciudad, la mayoría de empresas concreteras e incluso las mezclas que se hacen manualmente añaden aditivos que ya viene preparados en sus distintas marcas tal es el caso de Chema y Sika, las cuales ofrecen una variedad de aditivos de acuerdo al requerimiento del cliente lo cual genera un costo adicional. Es por ello que se pretende demostrar que con el uso de este material reciclable aportara beneficios al concreto en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el efecto del vidrio molido en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, en Trujillo en el año 2019?

## **1.3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación para la tesis es: "Gestión, innovación y tecnología en infraestructura y sistemas constructivos". Por qué genera nuevos productos a través de la innovación, desarrollo e investigación aplicando principios científicos de cálculo, ensayos mecánicos entre otros. Utilizando materiales tradicionales y nuevos materiales para generar mayor durabilidad en la construcción.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Por su relevancia social, busca contribuir a la industria de la construcción adicionando vidrio molido al concreto, aplicando nuevos elementos para mejorar la resistencia del concreto. Además de usar un material que es comúnmente desechado y así buscar reducir de alguna manera la contaminación.

Se justifica académicamente porque permitirá aplicar procedimientos y metodologías ya aprendidas y normadas para realizar ensayos a las probetas de concreto con adición de vidrio. Se espera que la información obtenida sea de beneficio para futuros tesis.

El proyecto es viable porque cuenta con el financiamiento por parte de los tesis, y ha logrado superar sus limitaciones. Entre estas podemos mencionar:

<b>Obstáculos</b>	<b>Solución</b>
Para realizar los ensayos se necesita de un laboratorio, el cual no se tiene disponible.	Se pedirá en alquiler a empresas particulares y/o instituciones particulares.
Para la obtención del vidrio reciclado y/o molienda del mismo. Es difícil conseguir un molino para poder triturar el vidrio.	Se buscará un molino adecuado para este tipo de trabajo, el cual se pedirá en alquiler. La recolección del vidrio lo realizarán los investigadores hasta juntar la cantidad adecuada.

## 1.5. OBJETIVOS.

### 1.5.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar el efecto del vidrio molido en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, preparado con agregados pétreos de la Cantera "El Milagro" en Trujillo.

### 1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Realizar ensayos en laboratorio para determinar las características de los agregados que se requiere para el diseño de mezclas.
2. Elaborar diseño de mezcla de concreto para prueba con tres relaciones agua-cemento de acuerdo a la norma E060 Concreto Armado.
3. Diseñar tres tipos de mezclas de concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, con distintos porcentajes de incorporación del vidrio molido 1%, 3% y 5% teniendo como base un diseño patrón para comparar resultados.
4. Elaborar mezclas de concreto con las dosificaciones diseñadas, luego extraer probetas y vigas.
5. Determinar las propiedades en estado fresco de las dosificaciones preparadas con 0%, 1%, 3% y 5% de reemplazo del agregado fino por vidrio molido.
6. Determinar las propiedades en estado endurecido de las dosificaciones preparadas con 0%, 1%, 3% y 5% de reemplazo del agregado fino por vidrio molido.

7. Establecer el porcentaje óptimo de reemplazo de vidrio molido para la resistencia a compresión, flexión y módulo de elasticidad.

## 1.6. ANTECEDENTES.

Peñafiel (2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino", tuvo como objetivo analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto dosificadas para un  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Se aplica la norma ASTM C192 para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo, además se aplica el ensayo de granulometría correspondiente a áridos finos para comprobar en los límites otorgados por ASTM C33. Los resultados están en función de 7, 14 y 28 días. Ensayando 3 probetas para cada porcentaje de vidrio, los porcentajes usados de adición de vidrio fueron 10%, 20% ,30% y 40%. Siendo el resultado más notable a los 28 días pues el concreto ensayado a compresión muestra que a mayor contenido de vidrio la resistencia disminuye sutilmente. Este antecedente es considerado en la investigación ya que muestra los estudios realizados a diferentes edades para luego ser analizados, además es una referencia para determinar nuestro procedimiento de recolección de datos con porcentajes de vidrio adicionado al concreto ya que utilizaron cantidades mayores a los que serán ensayados en la presente investigación.

Guayanay & Morales (2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Análisis del comportamiento del hormigón con inclusión de vidrio reciclado en hormigones de resistencia normal", tuvo como objetivo analizar el comportamiento de las propiedades físicas del hormigón con inclusión de vidrio en hormigones de resistencia normal, mediante ensayos comparativos entre una mezcla patrón de hormigón diseñada para una resistencia de 28 MPa y cinco mezclas donde se reemplazara agregado fino y grueso por vidrio en diferentes proporciones de peso y tamaños de partículas. Con lo cual se preparan probetas cilíndricas según las especificaciones de INEN. Los resultados que se observan es la resistencia a la compresión de los especímenes reduce mientras mayor sea la cantidad de vidrio que se reemplaza y mayor tamaño de la partícula. De esto se puede decir que una práctica que estaría totalmente negada es la reemplazar vidrio grueso por agregado grueso, hacer esto crea un efecto nocivo en el hormigón llegando a reducir la resistencia en hasta un 25% del valor que se estima debería tener a los 28 días. Este antecedente es considerado en la investigación pues se toma como referencia el resultado obtenido para diseñar nuestra investigación reemplazando el vidrio por el agregado fino, es así que se trabaja con vidrio molido en porcentajes bajos de reemplazo de arena.

Correa & Sarraff (2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Sustitución parcial del agregado fino por vidrio para la elaboración de hormigón", tuvo como objetivo general determinar si el vidrio puede parcialmente sustituir

al agregado fino para elaborar hormigón, mediante la elaboración de probetas para luego ser sometidas al ensayo respectivo para conocer la resistencia a compresión, elaborándose para 3 tipos de concreto ( $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ ,  $f'c = 220\text{kg/cm}^2$ ,  $f'c = 280\text{kg/cm}^2$  y con un porcentaje de vidrio de un 10, 15 y 20%). Se aplica el Método de ACI siendo este de ayuda significativa para esta investigación pues parte de la resistencia del concreto, la razón agua-cemento, el volumen de hueco de los agregados, tamaño/dimensión de los agregados, uso del concreto y módulo de finura de los agregados. Los resultados que se concluye es que el vidrio puede ser considerado como un nuevo elemento en la fabricación del concreto, también que las probetas patrón la resistencia fue mayor que la diseñada y las probetas con vidrio incluido solo se obtuvo el 87% de la resistencia esperada. Este antecedente es considerado en la investigación pues se trabaja con 04 diseños de mezcla para 0%, 10%, 15% y 20%, en esta investigación se trabajará con 0%, 1%, 3% y 5% que son cantidades menores de vidrio para calcular el efecto del vidrio molido como reemplazo parcial de agregado fino. Además, en este antecedente se tiene en consideración cálculos para cada uno de las muestras, algo que no se tiene en cuenta en otras investigaciones realizadas.

Rodríguez & Ruiz (2016), en el artículo publicado en la Revista facultad de ciencias exactas, físicas y naturales. Denominado "Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio", tuvo como objetivo contrastar resultados obtenidos por otros investigadores con ensayos propios, llevados a cabo con materiales de su medio y con la tecnología disponible en la Universidad Nacional de Córdoba-Argentina. Los resultados de la investigación realizada fueron satisfactorios, aunque se contó con algunas limitaciones por parte de la tecnología pues no les permitió realizar los ensayos como se tenía planeado. Sin embargo, se detectó claramente la actividad de reacciones de largo plazo debido a la incorporación del vidrio como puzolana. Esto es evidente por el aumento de la resistencia en el tiempo del concreto, como lo confirman los ensayos de probetas de hasta 270 días de edad. Las probetas con incorporación de micro partículas de vidrio llegaron a incrementar su resistencia 250% en relación a la resistencia inicial a 7 días, mientras que las probetas de control (sin adición de vidrio en la mezcla) sólo incrementaron la resistencia en un 100%. Este antecedente es considerado en la investigación ya que se reemplaza el vidrio por cemento, lo que nos permitirá hacer una posible comparación con el reemplazo de agregado fino por vidrio. Se evaluará las variaciones que presentan con cada una de las combinaciones.

Rojas (2015), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$  adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico" Tuvo como objetivo realizar el estudio experimental para obtener la resistencia de un concreto de  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$  adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico, usando cemento fortimax 3 (Pacasmayo). Los

resultados obtenidos fueron que no existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión de un concreto normal con un concreto adicionado de un porcentaje mínimo de vidrio. Considerando que la trabajabilidad para un concreto depende del asentamiento (slump) que tiene la mezcla, realizada la dosificación resultó 8cm, prueba que fue realizada con el cono de Abrams, por lo que concluye que la adherencia del vidrio molido a la mezcla no afecta su consistencia en su estado fresco. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en sus diferentes edades de 7, 14, 21 y 28 días y finalmente se analizaron los resultados mediante gráficos y cuadros obteniéndose resultados que cumplieron con los usos granulométricos de la norma técnica peruana 400.037 (Agregados: Especificaciones normalizadas para agregados de concreto). Este antecedente es considerado en la investigación por el uso de vidrio sódico cálcico molido, vidrio común y corriente que encontramos a diario en lugares de reciclaje, se puede incorporar como un elemento más en la fabricación de concreto aprovechando que este material. Además, que concluye que agregando cantidades mínimas de vidrio no genera cambios significativos en la resistencia lo cual será verificado en esta investigación.

## 1.7. BASES TEÓRICAS

### A. Concreto

De acuerdo a muchos historiadores se dice que al mismo tiempo que el hombre dominó el fuego también descubrió el concreto. Se cree que gracias al fuego que utilizaban los primitivos dentro de sus cavernas de piedras calcáreas, yeso y arcilla, se generaban altas temperaturas que transformaban la piedra en polvo. Luego, las piedras encontradas en el suelo, el polvo y el agua proveniente de lluvia se unirían formando una masa sólidamente cementada.

Según Lara (2016) considera al concreto como una piedra artificial; formada al mezclar apropiadamente cuatro componentes básicos: agregados (finos y gruesos), cemento, agua e involuntariamente se inserta aire. Siendo las propiedades del concreto que dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los elementos que componen la mezcla.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, teniendo en cambio muy poca resistencia a esfuerzos de tracción, flexión y cortante, por esta razón es frecuente usarlo asociado al acero como parte complementaria para absorber esfuerzos (flexión, tracción y cortante) en los cuales el concreto no trabaja adecuadamente. (Lara, 2016)

Cemento + Agua = Pasta + Agregado fino + agregado grueso = concreto Cemento + agregado fino + Agua = Mortero
--

Etapas de una buena producción de un buen concreto:

1. Dosificación
2. Mezclado
3. Transporte
4. Colocación
5. Consolidación
6. Curado



Figura 1. Componentes del concreto.

## A.1. Tipos de concreto

### A.1.1. Concreto simple

Es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta de cemento, el agregado fino, deberá rellenar los espacios entre el agregado grueso y a la vez estar cubierto por la misma pasta.

Cemento + agregado fino+ agregado grueso + agua = concreto simple

### A.1.2. Concreto armado

Es cuando el agregado simple lleva armadura de acero como refuerzo, actuando la armadura para poder soportar esfuerzos de tracción.

Concreto simple + armadura = concreto armado

## A.2. Composición del concreto

### A.2.1. Cemento

Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la

molienda entre las rocas es llamada Clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. (Jimenez, 2011)

El Clinker Portland es el ingrediente del cemento que se presenta de forma granulada; está constituido básicamente de silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio. Éste se logra mediante a la cocción de sus elementos hasta el punto en que ocurre una fusión parcial de una mezcla proporcionada y homogenizada con los materiales indicados y apropiadamente seleccionados. (Jimenez, 2011)

El cemento Portland generalmente se constituye en su gran mayoría por silicato bicálcico ( $C_2S$ ) y silicato tricálcico ( $C_3S$ ); estos dos componentes forman entre el 70% y 80% del cemento y son los encargados de aportar la resistencia. El silicato tricálcico ( $C_3S$ ) fragua y obtiene la resistencia inicial que varía desde las 24 horas y los 7 días, es este elemento el que genera endurecimiento y aporta la resistencia en el día número siete. El silicato bicálcico ( $C_2S$ ) obtiene su resistencia de manera más lenta, usualmente la obtiene entre los 7 y 28 días, pero puede continuar obteniendo resistencia por periodos de hasta 12 meses. Los silicatos se diferencian del aluminato tricálcico tiene hidratación veloz y es el encargado de generar elevadas temperaturas en el material compuesto, pero solo contribuye a la resistencia las primeras 24 horas (Jimenez, 2011)

Se puede establecer dos tipos básicos de cementos.

- De origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
- De origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

*Tabla 1. Compuestos de cemento portland*

COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	$C_3S$
Silicato bicálcico	$2CaO.SiO_2$	$C_2S$
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	$C_3A$
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_4AF$

Nota: En la siguiente tabla se muestra la composición química del cemento.

(Jimenez, 2011)

#### **A.2.1.1. Propiedades generales del cemento**

Según Huamán (2015, pág. 11) las propiedades más importantes de un buen cemento son:

- Buena resistencia al ataque químico.
- Resistencia a temperaturas elevadas.
- Resistencia inicial elevada que disminuye con el tiempo.  
Conversión interna.
- Uso apropiado para bajas temperaturas por ser muy exotérmico.

#### **A.2.1.2. Tipos de cemento**

##### **Tipo I**

Es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado. Sus aplicaciones más importantes son: Obras de concreto y concreto armado en general, estructuras que requieren un rápido desencofrado, concreto en clima frío, productos prefabricados, etc. (Huamán, 2015, pág. 11)

##### **Tipo II**

De moderada resistencia al ataque a los sulfatos, se recomienda usar en ambientes agresivos. Los sulfatos son sustancias que aparecen en las aguas subterráneas o en los suelos, que cuando entran en contacto con el concreto, lo deterioran. Este cemento requiere más tiempo de fraguado. (Huamán, 2015, pág. 11)

##### **Tipo III**

Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 7 días tiene la misma resistencia que en concreto tipo I o II en 28 días. Se recomienda usar cuando se quiera adelantar el desencofrado. Al fraguar, produce alto calor, por lo que es aplicable en climas fríos. (Huamán, 2015, pág. 11)

##### **Tipo IV**

Este es un cemento de secado lento por lo que produce bajo calor de hidratación, recomendable para vaciados de grandes masas de concreto que no requieran una alta resistencia inicial. Por ejemplo, en presas de concreto. (Huamán, 2015, pág. 11)

##### **Tipo V**

De muy alta resistencia al ataque de sales, recomendable cuando el elemento de concreto esté en contacto con agua o ambientes salinos

(estructuras hidráulicas). (Huamán, 2015, pág. 11)

Los cementos tipo III y IV no son fabricados en nuestro país.

### **Antisalitre con Fortimax 3 Pacasmayo**

Para nuestro diseño de mezcla se ha utilizado el cemento Antisalitre con Fortimax 3 en la marca Pacasmayo en su presentación de 42.5 kg por bolsa.

Cemento de resistencia moderada a los sulfatos (componente MS), al moderado calor de hidratación (componente MH) y resistente a los agregados álcali-reativos (componente R).

### **Propiedades**

- Moderada resistencia a los sulfatos.
- Resistente al agua de mar.
- Moderado calor de hidratación.
- Baja reactividad con agregados álcali-reativos.

### **Aplicaciones**

- Concreto con exposición moderada a los sulfatos.
- Estructuras en contacto con ambientes y suelos húmedos salitrosos.
- Estructuras en ambiente marino.
- Concreto en clima cálido.
- Estructuras de concreto masivo.
- Concreto compactado con rodillo.
- Obra en presencia de agregados reactivos.
- Pavimentos y losas.
- Obras con presencia de agregados reactivos.
- Obras hidráulicas, canales y alcantarillas.
- Pavimentos y losas.
- Obras portuarias.
- Plantas industriales y mineras.
- Desagües pluviales.
- Estructuras de concreto masivo.
- Concreto compactado con rodillo.



Figura 2. Presentación del cemento fortimax Pacasmayo

Fuente: *página oficial de cementos Pacasmayo la libertad*

### A.2.2. Agua

El agua cumple con dos funciones vitales en el desarrollo del concreto, como agua de mezclado y como agua de curado. Para la primera, casi cualquier agua natural potable, sin tener un sabor u olor notable, puede servir para el mezclado, pues el agua cuando funciona como un ingrediente en la fabricación de la mezcla ocupa entre 10% - 25% de cada m<sup>3</sup> producido. Se debe evitar a toda costa que esté contaminada de sulfatos pues estos son agresivos al cemento. Si no se tiene cuidado en eliminar las impurezas excesivas contenidas en el agua de mezcla, estas pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto y la consistencia de volumen, sino que a su vez pueden producir eflorescencia o corrosión del refuerzo. (Jimenez, 2011)

Además, el agua influye de manera notoria en la resistencia de las mezclas de concreto: a mayor agua menor es la resistencia obtenida. Por lo anterior, en los casos en que se requiere mezclas con alta trabajabilidad es conveniente adicionar aditivos plastificantes o superplastificantes que dan trabajabilidad a la mezcla sin necesidad de aumentar la cantidad de agua. La cantidad de agua introducida en la mezcla generalmente se mide con la relación agua/cemento, siendo esta la cantidad de agua requerida por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese mismo volumen, para lograr producir una pasta lo suficientemente hidratada, que obtenga una fluidez que permita la lubricación adecuada de los agregados de la mezcla cuando ésta se encuentra aún en un estado plástico y obtenga la resistencia deseada en estado sólido. (Jimenez, 2011)



Figura 3. Agua utilizada en la mezcla

Fuente: *Propia*

### A.2.3. Agregados

Se definen como materiales que constituyen entre el 60 y el 80% del volumen total del concreto y se usan con un medio cementante como la lechada, para formar mortero o concreto. Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta al cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. (Huamán, 2015, pág. 11)

#### A.2.3.1. Agregado fino

Se define como las partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75  $\mu$ m, o también como la porción de material que pasa la malla N°. 4 (4.75 mm) y es retenido en la malla N°. 200 (0.075 mm). (Jimenez, 2011)

Según Jiménez (2011) el tamaño de sus partículas puede ser:

- Arenas gruesas: Con tamaños de partícula entre el tamiz n°4 y n°10 y el módulo de finura  $> 3.0$
- Arenas medias: Con tamaños de partícula entre el tamiz n°10 y n°40 y el módulo de finura  $= 2.5$
- Arenas finas: Con tamaños de partícula entre el tamiz n°40 y n°200 y el módulo de finura  $< 2.0$

Según su procedencia pueden ser:

- Arenas de río: redondas, uniformes y limpias.

- Arena de mina: generalmente heterogéneas y sucias.
- Arena de playa: con alto contenido de cloruros



Figura 4. Agregado fino

Fuente: Propia

#### A.2.3.2. Agregado grueso

Según Jiménez (2011), Son aquellos en que la mayor parte del material es retenido por el tamiz n°4, generalmente se obtienen a través de la explotación en canteras, estos son cortados para darle la forma y el tamaño requeridos en obra, deben presentar ciertas propiedades que lo hagan apto para ser utilizados en procesos de construcción, tales como:

El agregado a utilizar debe ser uniforme y consistente. Por otro lado, no debe tener grietas, nódulos ni restos orgánicos. También debe ser resistente a las cargas que debe soportar al desgaste y a los procesos abrasivos. No debe ser absorbente. No debe ser permeable. Debe ser resistente al fuego. No debe tener adherencia a los morteros. Debe estar dentro de los parámetros referidos al control de calidad establecidos. (Jimenez, 2011)



Figura 5. Agregado fino

Fuente: Propia

### A.3. Propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas son características o cualidades que presenta el concreto y se puede dividir en dos etapas:

- Concreto fresco
- Concreto endurecido

#### A.3.1. Propiedades del concreto fresco

Al principio el concreto parece una masa blanda que puede ser trabajado o moldeado de diferentes formas como sea conveniente. Las propiedades más importantes del concreto fresco según (Carrasco, 2013, pág. 4) son:

##### A.3.1.1. Trabajabilidad:

Es la cantidad de trabajo interno útil que se necesita para producir una compactación completa de la mezcla de concreto. Se habla de trabajo útil porque parte de la energía que se gasta en vibrar los encofrados, capas de concreto ya compactadas o endurecidas. También es la calidad o el conjunto de cualidades que hace al concreto más o menos fácil de ser colocado a una estructura la cual es destinada. (Carrasco, 2013, pág. 4)

*Tabla 2. Trabajabilidad del concreto*

CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO		
<i>Consistencia</i>	<i>Asiento en cono de Abrams (cm)</i>	<i>Compactación</i>
Seca	0 – 2	Vibrado
Plástica	3 – 5	Vibrado
Blanda	6 – 9	Picado con barra
Fluida	10 – 15	Picado con barra
Líquida	16 -20	Picado con barra

*Nota: En la siguiente tabla se muestra los parámetros para medir la consistencia del concreto en estado fresco. (Gamarra, 2018)*

##### A.3.1.2. Exudación:

Propiedad por la cual una parte del agua de la mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan en la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes de que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. (Carrasco, 2013, pág. 4)

La prueba estándar para medir la exudación está definida por la norma ASTM C-232 necesitándose solo una pipeta como equipo adicional de las

balanzas, moldes, y probetas graduadas que constituyen lo normal en laboratorio. (Carrasco, 2013, pág. 4)

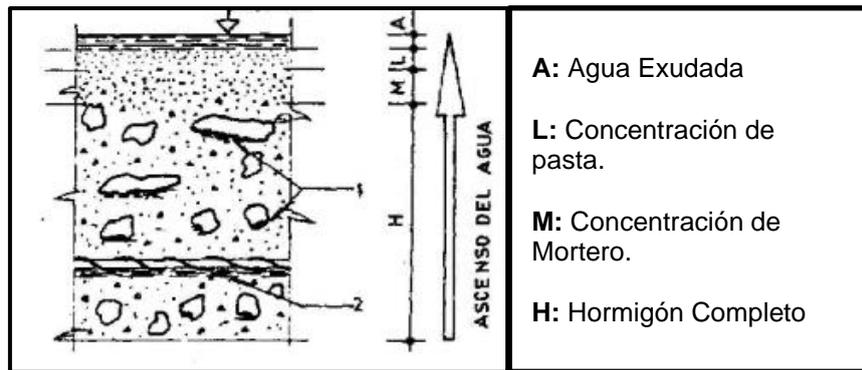


Figura 6. Agregado grueso utilizado en el diseño de mezcla

Fuente: (Bascoy, 1992)

#### A.3.1.3. Segregación:

Es la separación de los contribuyentes de una mezcla heterogénea de modo que la distribución de tamaños de las partículas componentes deja de ser uniforme. Las diferencias en tamaño y densidad de las partículas son las causas principales de la segregación, pero su magnitud puede disminuirse con la selección de una granulometría adecuada y su manejo cuidadoso del material. (Carrasco, 2013, pág. 4)

Existen dos tipos de segregación:

*Segregación interna:*

En este caso las partículas grandes tienden a separarse, (por asentamiento o por cohesión) o la pasta se separa de los agregados.

*Segregación externa:*

Las fuerzas exteriores que actúan sobre el concreto fresco superan las fuerzas internas de cohesión. Esto ocurre durante el transporte, colocación y vibrado.

#### A.3.1.4. Compactibilidad:

Es la medida de factibilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado "factor de compactación", que evalúa el factor de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre las densidades del concreto compactado. (Carrasco, 2013, pág. 4)

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las unidades del encofrado. Esta es la propiedad que se conoce como tixotropía y es la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde. (Carrasco, 2013, pág. 4)

#### **A.3.1.5. Peso Unitario:**

El peso unitario es el peso varillado expresado en kilos por metro cubico (kg/m<sup>3</sup>), de una muestra representativa del concreto. Cuando las mezclas de concreto experimentan incremento de aire, disminuye el peso unitario. La mayor compactación incrementa el peso unitario. Pero las modificaciones del peso unitario son debidas al tipo de agregado empleado. (Carrasco, 2013, pág. 4)

$$\text{Peso unitario del concreto} = \frac{\text{peso total} - \text{Peso Molde}}{\text{Volumen de Molde}}$$

#### **A.3.1.6. Contenido de Aire:**

Esta prueba determina la cantidad de aire que puede contener el concreto recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados. Por esta razón este ensayo es aplicado para concretos con agregados relativamente densos y que requiera la determinación del factor de corrección de agregados. (Carrasco, 2013, pág. 4)

Esta prueba no es aplicable al concreto de agregados ligeros, escorias de fundición enfriadas por aire o agregados con alta porosidad; en este caso el ensayo correspondiente sería de acuerdo a la norma ASTM C-173. Lo cual son utilizados comúnmente en las unidades de albañilería. (Carrasco, 2013, pág. 4)

### **A.3.2. Propiedades del concreto endurecido**

#### **A.3.2.1. Comprensión:**

La resistencia a la compresión del concreto se realiza mediante la norma ASTM C39 (ensayo de compresión en cilindros) y ASTM C31 (curado de muestras) y NTP 339.034, el concreto colocado en la estructura alcanzara la resistencia especificada, pero eso no ocurre siempre. Son varios los factores (forma de preparación, cantidad de materiales utilizados, calidad de los agregados, etc.) afectan positiva o negativamente esta importante propiedad del concreto. (Niño Hernandez, 2010)

La resistencia a la compresión se mide en una máquina de compresión de

cilindros, la cual aplica cargas sobre la superficie del cilindro a una cierta velocidad, esto puede tardar entre dos o tres minutos mientras ocurre la falla, la carga con la que se rompe la probeta queda registrado en la máquina, el valor de la carga se divide sobre el área de la sección transversal del cilindro, finalmente se obtiene la resistencia del concreto. (Niño Hernandez, 2010)

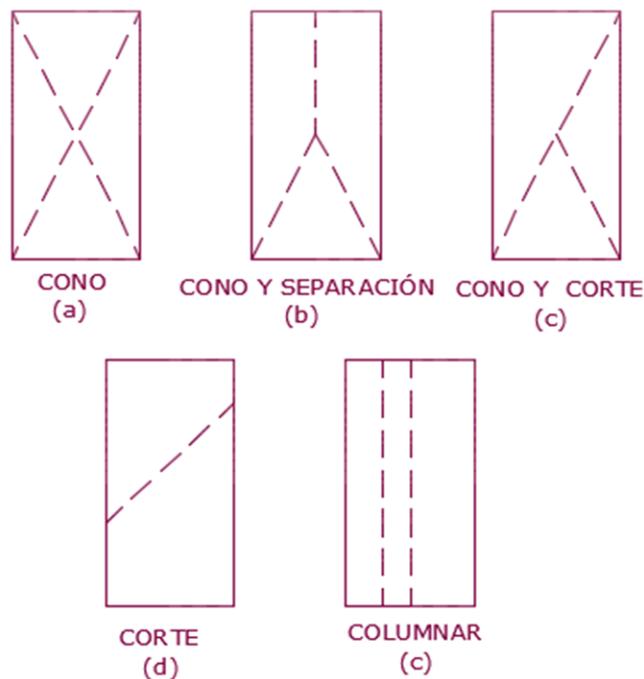


Figura 7. Tipos de fracturas de esfuerzo a compresión

Fuente: Universidad Nacional de Cajamarca

#### A.3.2.2. Resistencia a tensión por compresión diametral o Tracción:

La resistencia a la tensión del concreto, depende también de la tensión propia de la pasta de cemento y de los agregados y de la adherencia que se genera, para su medición se realiza pruebas mediante de ensayos de especímenes cilíndricos, sujetos a una carga de compresión diametral. Al diseñar las estructuras se procura que el concreto no trabaje a tensión, pero esto es inevitable, pues el concreto debe soportar ciertos esfuerzos a tensión, ya sea como consecuencia de la aplicación de alguna carga que involucran flexión y cortante. (Huamán, 2015, pág. 33)

La determinación de la resistencia a la tracción pura es muy difícil de llevar a cabo debido a las tensiones secundarias que se suelen introducir en los ensayos. Se puede determinar de forma indirecta la resistencia a la tracción del concreto usando probetas cilíndricas que se someten a rotura por compresión diametral, este ensayo es conocido como ensayo brasileño y

permite determinar el valor de la tracción indirecta. (Huamán, 2015, pág. 33)

El ensayo se realiza mediante la norma ASTM C-496M, y la NTP 339.084 y el esfuerzo de tracción ( $F_t$ ) se determina con la siguiente expresión:

$$F_t = \frac{2 \times P}{t \times d \times \pi}$$

Donde:

$F_t$  = Esfuerzo a tracción.

$P$  = Carga aplicada.

$t$  = Altura de la probeta.

$d$  = Diámetro del cilindro.



Figura 8. *Ensayo a Tracción*

#### **A.3.2.3. Flexión:**

La resistencia a flexión del hormigón es una medida indirecta de la resistencia a la tracción, el parámetro que refleja este estado de carga se conoce como módulo de rotura, se determina mediante ensayos a vigas de sección cuadrada de 6 "X 6" de lado y 20" de longitud, se debe ensayar de acuerdo con las normas ASTM C78, ASTM C293 describen el procedimiento para realizar el ensayo sobre concretos convencionales cargando las vigas de uno a dos puntos en el medio. (Niño Hernandez, 2010)

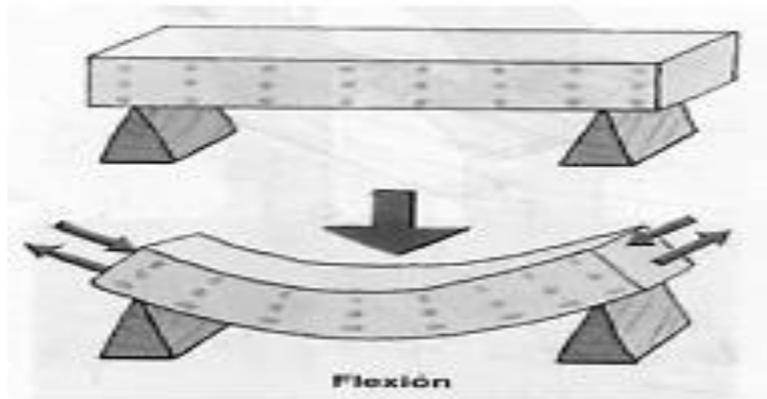


Figura 9. *Ensayo de Flexión en vigas*  
Fuente: (Niño Hernández, 2010)

Según Niño Hernández (2010) Para determinar el valor numérico del módulo de rotura se tendrá que analizar la posición de la falla, es así que si la fractura se inicia en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la luz o longitud de separación entre los apoyos se calcula el módulo de rotura con:

$$Fr = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

Fr = Módulo de rotura en MPa

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo en N.

L = Longitud de separación entre los apoyos mm.

b= ancho promedio de la viga mm.

d = Altura o espesor promedio de viga.

Según (Niño Hernández, 2010), cuando la falla ocurre fuera del tercio medio de la vigueta, pero no está separada de el por más de una longitud equivalente al 5% de la luz libre, la resistencia a la flexión o módulo de rotura se debe calcular por medio de la siguiente:

$$Fr = \frac{3P * a}{b * d^2}$$

Donde:

Fr = Módulo de ruptura.

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo.

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión de la viga.

b = Ancho promedio de la viga.

d= Altura de viga en mm.

#### A.3.2.4. Densidad:

La densidad del concreto se define como el peso por unidad de volumen. Depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del concreto. (Huamán, 2015, pág. 80)

La densidad sufre pequeñas variaciones con el pasar del tiempo debido a que el agua se evapora teniendo una variación de hasta un 7% de su densidad inicial. (Huamán, 2015, pág. 80)

##### *Concreto liviano:*

Se obtiene por medio de la incorporación de aire, ya sea directamente en la masa del concreto o incorporada en los agregados livianos. Se utiliza principalmente cuando se desea obtener aislación térmica y acústica mayores a la del concreto convencional. (Huamán, 2015, pág. 80)

##### *Concreto pesado:*

Se obtiene mediante el uso de los agregados mineralizados, cuya densidad real es mayor que la de los agregados normales, se utiliza principalmente cuando se desea obtener aislación contra partículas radioactivas. (Huamán, 2015, pág. 80)

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

Donde:

W= Masa del espécimen (kg)

V= Volumen del espécimen determinado del diámetro promedio y longitud promedio o del peso cilindro en el aire y sumergido en el agua (m<sup>3</sup>)

#### A.3.2.5. Módulo de Elasticidad:

Según Osorio (2011), El módulo de elasticidad de un material es la relación entre un esfuerzo al que está sometido un material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga

impuesta sobre el mismo. Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a la que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke.

El módulo de elasticidad del concreto representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad, tiene como antecedente la norma ASTM C469 y tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.

*Tiene dos fases:*

Primera fase: Zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto.

Segunda fase: Representa una línea curva como consecuencia de una micro fisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interface agregado- pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto.

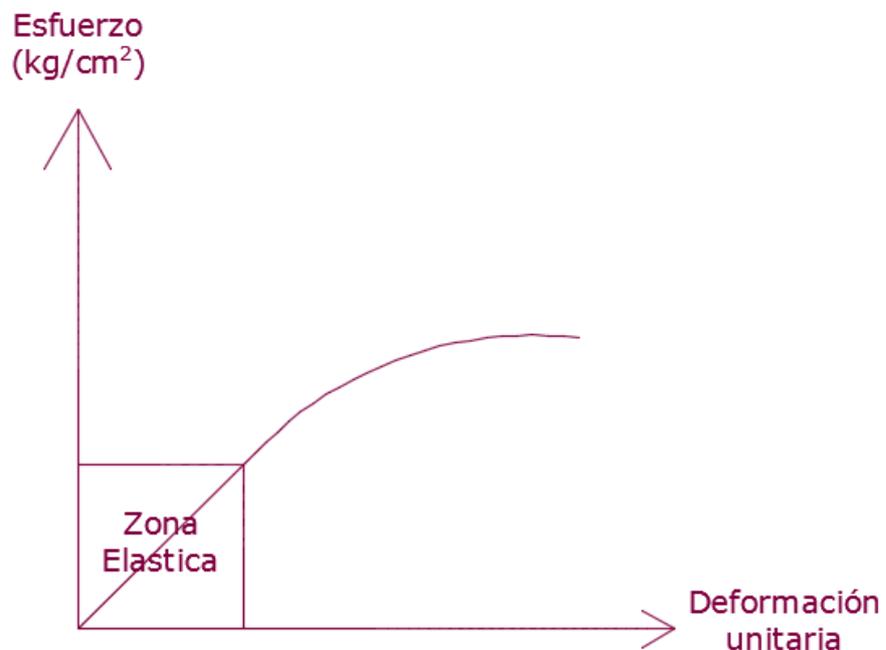


Figura 10. *Esfuerzos y deformaciones*  
Fuente: (Osorio, 2011)

## B. Vidrio

Según Morales (2017), la evolución del vidrio se ve reflejada en la aparición constante de nuevos productos y soluciones que nos hacen olvidar el concepto tradicional de vidrio y nos traen nuevas aplicaciones que años atrás hubieran sido impensables para nosotros. Escaleras de vidrio, pasarelas, vidrios táctiles, piscinas... Aplicaciones que día tras día nos demuestran que el vidrio es un material que está en constante evolución, que ha conseguido adaptarse a un método de construcción en constante evolución que cada vez exige más de los materiales.

Para Fernández (2003), el vidrio es como un producto inorgánico amorfo, constituido predominantemente por sílice, duro, frágil y transparente, de elevada resistencia química y deformable a alta temperatura. Otra definición es de la normativa ATSM C 162-80 "Definición of terms relating to glass and glass products": Producto inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización.

El vidrio común (también llamado vidrio de sílice, cal y sosa), es con una gran diferencia el tipo de vidrio más utilizado para una gran variedad de aplicaciones, como ventanas, envases como botellas de bebidas, alimentos, fármacos y otros muchos artículos. Utensilios de cocina a menudo están hechos con vidrio común templado. Supone aproximadamente el 90% del total del vidrio fabricado. Es relativamente económico, químicamente estable, razonablemente duro, y extremadamente versátil. Debido a que puede ser refundido cuantas veces se desee, es ideal para su reciclado. (Rincon, Hernandez, & Romero, 2008)

Según (Rincon, Hernandez, & Romero, 2008) divide al vidrio de manera más técnica:

- Vidrio el usado para ventanas
- Vidrio usado para envases

Los dos tipos difieren en sus aplicaciones, método de producción (proceso de flotación para ventanas, soplado y moldeado para envases), y composición química. El vidrio plano tiene un contenido más alto de óxido de magnesio y de óxido de sodio que el vidrio de envases, y un contenido menor de sílice, óxido de calcio, y óxido de aluminio. Del contenido más bajo de iones altamente solubles en agua (sodio y magnesio) depende la durabilidad química necesaria para el vidrio de los envases destinados al almacenamiento de bebidas y alimentos.

### B.1. Composición

Según centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX), Como ya se mencionó, el componente principal del vidrio es la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), este elemento es utilizado por las altas temperaturas adecuadas para su fusión además de la dificultad para darle forma (obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo) (CEDEX,

2015)

Desde el punto de vista estructural el vidrio está constituido por:

- a. Óxidos formadores de la red vítrea, vitrificantes, tales como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  o  $\text{P}_2\text{O}_5$  para los tipos de productos vítreos más generales o tradicionales. (Catalan, 2013, pág. 17)
- b. óxidos modificadores de la red vítrea, fundentes, que aportan enlaces por los denominados "oxígenos no-puente", tales como óxidos alcalinos:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , u óxidos alcalinotérreos como  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . (Catalan, 2013, pág. 18)
- c. óxidos estabilizantes que tienen un carácter intermedio o anfótero, aportando los denominados "oxígenos puente", tales como:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . (Catalan, 2013, pág. 18)
- d. Además de estos componentes básicos los productos vítreos incorporan otros óxidos que cumplen diversas funciones secundarias: afinantes, colorantes, decolorantes, opacificantes, fluidificantes, catalizadores, de la cristalización. (Rincon, Hernandez, & Romero, 2008)

*Tabla 3. Componentes del vidrio*

COMPONENTE	DESDE...%	... HASTA %
$\text{SiO}_2$	68,0	74,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,0	4,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,0	0,45
$\text{CaO}$	9,0	14,0
$\text{MgO}$	0,0	4,0
$\text{Na}_2\text{O}$	10,0	16,0
$\text{K}_2\text{O}$	0,0	4,0
$\text{SO}_3$	0,0	0,3

Nota: A continuación, se presenta la composición del vidrio (Rincon, Hernandez, & Romero, 2008)

## B.2. Fabricación de Vidrio

### Materias primas

Para la fabricación de vidrio se usan como materias primas arena silíceo (arcillas) y una mezcla de óxidos metálicos secos pulverizados o granulados, puesto que las arcillas son productos geológicos del envejecimiento de la corteza terrestre, es un material muy abundante en la naturaleza. (Catalan, 2013, pág. 19)

## **Fabricación**

El proceso de fabricación propiamente tal, puede resumirse de la siguiente manera.

A medida que materias primas son recibidas (principalmente arena), se muelen y almacenan en depósitos en altura, llegado el momento adecuado son transferidas por un sistema de alimentación por gravedad a los pesadores y mezcladores. En estos últimos las materias primas son dosificadas y son combinadas con vidrio reciclado para formar una mezcla homogénea, la cual se trasladada por medio de cintas transportadoras a un sistema de almacenamiento de cargas donde es contenida antes de ser depositada en el alimentador del horno de fundición. (Catalan, 2013, pág. 19)

Según el Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE), entrar la carga al horno a través de los alimentadores, ésta se eleva hasta la superficie de la masa de vidrio fundida. Una vez que se funde, pasa al frente del baño y eventualmente fluye a través de la garganta de carga al refinador, donde es acondicionada térmicamente para descargar al proceso de formado. En la figura puede verse un esquema del proceso básico, dicho gráfico es una representación simplificada del proceso, además los materiales base mostrados no necesariamente son los utilizados para elaborar todo el vidrio que se comercializa, distintos tipos de vidrio son elaborados con fines específicos. (ILCE, 2012)

A nivel de resumen, las fases por las que pasa el vidrio durante el proceso de fabricación serían las siguientes:

- Reacción de los componentes y formación del vidrio.
- Disolución del excedente de sílice que no ha reaccionado.
- Afinado y homogeneización de la mezcla.
- Reposo y acondicionamiento térmico.
- Conformación.
- Enfriamiento y recocido

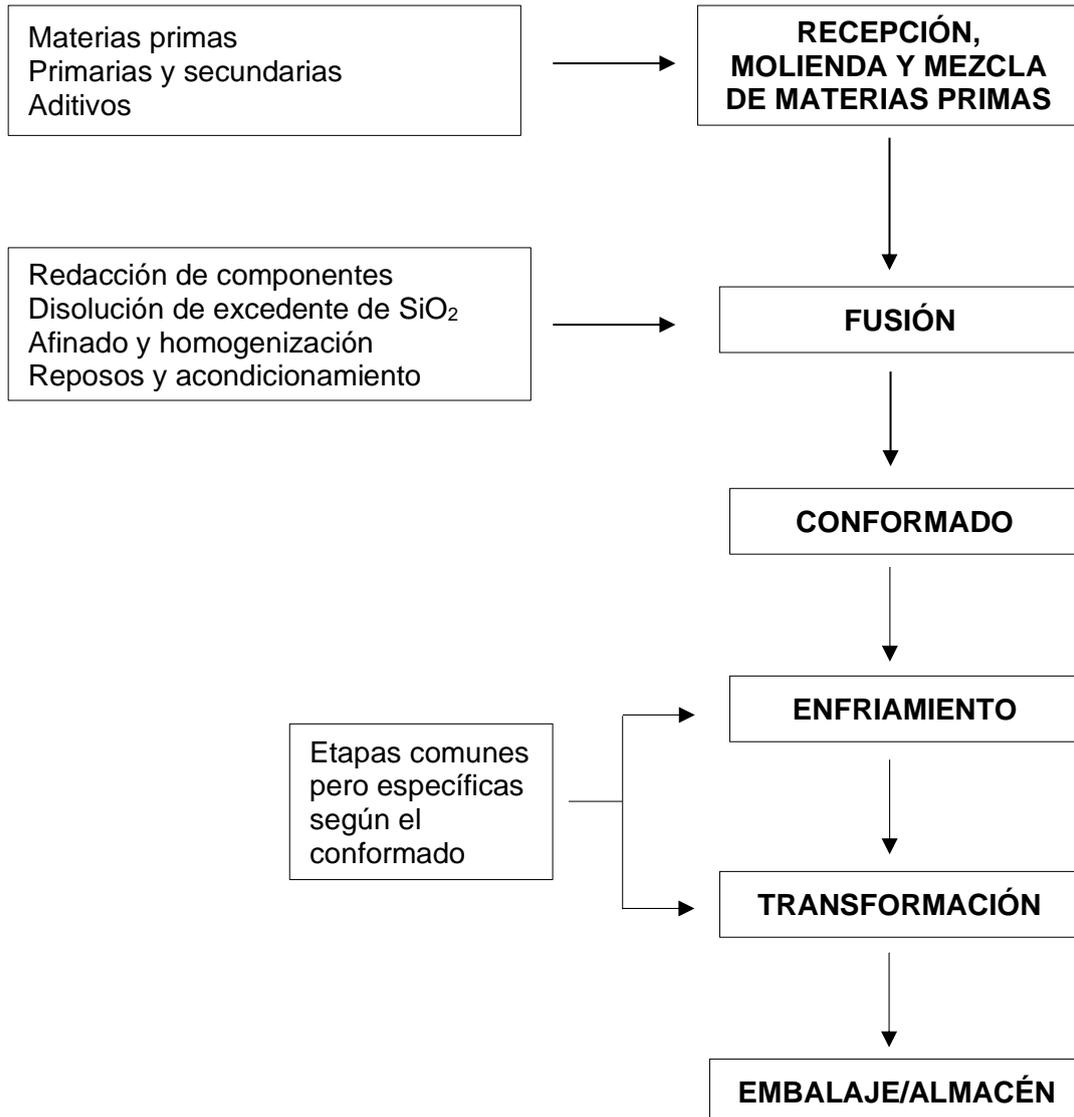


Figura 11. Etapas básicas del proceso de producción del vidrio

Fuente: Universidad de Oviedo

### B.3. El vidrio y el medio ambiente

Los hornos que se utilizan para fundir la materia prima del vidrio y obtener el producto final, consumen una cantidad significativa de energía. La capacidad de producción de las distintas empresas que fabrican vidrio varía mucho. Por ejemplo, los hornos de crisol (para metal fundido) presentan un rendimiento de 3-8 t/día, mientras que la producción de las cubetas para vidrios planos alcanza capacidades de entre 600 y 1000 t/día. (Fernández, 2003). Las temperaturas de fusión del vidrio oscilan generalmente entre 1200°C y 1500°C, dependiendo en gran parte de la mezcla y del producto a elaborar. La energía necesaria para la fusión de 1 kg de vidrio varía entre 3700 y 6000 kJ. A parte del gran consumo energético, la fabricación del vidrio también contamina medioambientalmente en otros ámbitos. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX, 2015)

Algunas acciones negativas en contra del medio ambiente son por ejemplo: gases residuales por la quema de los combustibles necesarios para la fundición esto conlleva la contaminación del aire, partículas de polvo (plomo, cadmio, selenio, Arsenio, antimonio, etc.), la contaminación acústica en las fases de fundido, moldeado y enfriamiento se obtiene valores de hasta 1110 dB, esto conlleva a que en las viviendas aledañas a empresas no deben superar los 50 dB durante el día y los 35 dB durante la noche. Otro aspecto es el uso del agua que suele ser inferior a 1m<sup>3</sup>/t de vidrio producido. Para la fundición de una tonelada de vidrio se necesitan aprox. 1,2 - 1,3 t de materias primas (Fernández, 2003).

#### **B.4. Reciclaje del vidrio**

Una característica importante del vidrio es un material 100% reciclable, además de que no tiene límite para ser procesado esto lo hace reutilizable a diferencia de otros elementos que se usan en la vida diaria (papel, cartón, plástico). Lo más importante del vidrio es que durante los procesos de reciclado no disminuye o pierde sus propiedades, además de ahorrar cierta cantidad de energía de aproximadamente el 30% con respecto al vidrio nuevo. En el proceso de reciclaje se establece un orden para su adecuado tratamiento, primero el vidrio es separado de los demás elementos que se encuentran a su alrededor, luego es clasificado por su tipo de uso también por su color. A grandes rasgos en reciclaje se asignan 3 grupos: verde, ámbar o café y traslucido. El proceso de reciclado después de la clasificación del vidrio requiere que todo material ajeno sea separado como son tapas metálicas y etiquetas, luego el vidrio es triturado y fundido junto con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales. Formando parte de la concientización sobre el uso adecuado y reciclaje de vidrio algunas ciudades del mundo ya tienen en su gestión un sistema de programas enfocado al reciclaje de vidrio, en estas ciudades en los espacios públicos se han implementado contenedores acondicionados especialmente para vidrio. En algunos casos el vidrio es reutilizado, antes de ser reciclado. No se funde, sino que se vuelve a utilizar únicamente lavándolo (en el caso de los recipientes). En acristalamientos (vidrierías), también se puede aprovechar el vidrio cortándolo nuevamente hasta que quede reutilizable (siempre que se necesite una unidad más pequeña). (Rincon, Hernandez, & Romero, 2008)

##### **B.4.1. Beneficios ambientales**

En la actualidad, la demanda de desperdicios de vidrio es mayor a la oferta, los envases representan la mayor fuente de vidrio generado y reciclado, es por ello que cada kilogramo de vidrio esconde un sin número de beneficios para el medio ambiente, el reciclaje de vidrio necesita un 26% menos de energía que la producción del original, Disminuye la contaminación atmosférica un 20% y

en las aguas un 40%, también Ahorra de recursos naturales, coste de reciclaje de vidrio es inferior al de cualquier otro material, cada tonelada evita la emisión de 315 kilogramos de dióxido de carbono. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX, 2015)

#### **B.4.2. Ventajas del reciclado del vidrio**

Según (Catalan, 2013) las ventajas del vidrio reciclado son:

- La fusión de los materiales se consigue a temperaturas más bajas, lo que se traduce en un ahorro de energía con respecto a la fabricación de vidrio nuevo.
- Se ahorran alrededor de 1200kg de materias primas por cada tonelada de vidrio usado.
- Ahorro de energía al no tener que extraer materias primas.
- Reducción de la erosión producida al extraer las materias primas necesarias para su fabricación.
- Disminuye el número de residuos urbanos que van a vertedero y por tanto costos asociados de recolección, disposición y tratamiento.

#### **B.5. Propiedades del vidrio**

El problema básico con el que nos encontramos al analizar las características de los vidrios es que éstos no tienen ninguna composición ni estructura única, por ello sus propiedades varían mucho de un tipo de vidrio a otro. Las propiedades que se enumerarán a continuación son datos teóricos, dado que las características del vidrio dependen muchísimo del estado de la superficie (Fernández, 2003).

##### **B.5.1. Propiedades físicas**

Las partículas de vidrio reciclado y machacado (calcín) son en general angulosas, con una proporción de lascas y agujas que depende entre otros aspectos del proceso de machaqueo. Las partículas pequeñas suelen tener menos angulosidad y menos proporción de agujas y lascas. Dependiendo de la composición, algunos vidrios funden a temperaturas muy bajas, como 500°C, mientras que otros necesitan 1650°C, aunque por lo general, al presentar un elevado contenido de sílice, la temperatura final de fusión es más cercana a este último valor. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX, 2015)

En cuanto a resistencia mecánica, presenta normalmente una resistencia a la tracción entre 3.000 y 5.500N/cm<sup>2</sup>, aunque puede llegar a sobrepasar los 70.000 N/cm<sup>2</sup> si el vidrio ha recibido un tratamiento especial. El vidrio es un mal conductor de calor y electricidad, por lo que resulta práctico para el aislamiento térmico y eléctrico.

Según el Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX, 2015), las propiedades físicas del vidrio reciclado son:

- Composición del vidrio: Si bien existen infinidad de formas de hacer vidrio, en líneas generales el vidrio está compuesto por materiales de origen mineral fusionados térmicamente. Específicamente contiene arena de cuarzo de sosa, cal, óxido de magnesio y óxido de aluminio.
- Color: El color se origina por los elementos que se agregan al momento de su fusión. Así por ejemplo un color rojo azulado se conseguirá por la utilización de óxido de cobalto; un color amarillo se conseguirá por usar óxido férrico y una coloración azulada se logrará por la utilización de óxido ferroso.
- Textura: La textura puede variar el brillo del vidrio. Este depende del proceso de fundido que se haya llevado a cabo.
- Maleabilidad: Son maleables cuando se hallan en su etapa de fundición. Los principales métodos de moldeado son: Prensado, Soplado, Estirado, Laminado.

#### B.5.2. Propiedades mecánicas

El vidrio es un material frágil frente a esfuerzos de tracción. Las partículas de tamaño de grava (4.75mm) presentan una durabilidad baja comparada con otros áridos convencionales. Su reforzamiento interno y la capacidad portante del material mezclado son altas. Su compactación es poco sensible al contenido de agua. (CEDEX, 2015)

Según Uriarte (2019) las propiedades mecánicas del vidrio reciclado son:

- **Ablandamiento:** El vidrio se ablanda aproximadamente a los 730°C.
- **Dureza:** Por norma general, se define a la dureza como lo opuesto a un elemento frágil, pero si observamos con detenimiento la definición de dureza veremos que, en términos generales, se denomina dureza a la capacidad de un material a resistir el desgaste o a la producción de marcas o fisuras en su superficie cuando se lo somete a una carga mecánica concentrada. Es de 4609 MPa.
- **Resistencia a la compresión:** Oscila entre 800-1000 MPa.  
La resistencia del vidrio a la compresión es muy elevada, es de unos 1000 N/mm<sup>2</sup>. En general, las tensiones de compresión en un vidrio templado oscilan entre 80 y 150 N/mm<sup>2</sup>. Para ser considerado un vidrio de seguridad no debe ser menor a 100 N/mm<sup>2</sup>. Los resultados experimentales de los ensayos más comunes muestran siempre que el vidrio rompe siempre por tracción, y la fractura tiene siempre su origen en un punto de la superficie.

- **Elasticidad del vidrio:** Hace referencia al alargamiento elástico de una barra delgada de vidrio y cuán resistente es esta barra. Se ha demostrado que el vidrio posee una resistencia a la elasticidad de 70.000 MPa.
- **Resistencia a la flexión:**  
Un vidrio sometido a flexión tiene una de sus caras en compresión y la otra en tracción. La resistencia a ruptura a flexión de un vidrio es:  
Según ensayos se ha determinado que dicho material tiene una resistencia a la flexión de 45 MPa.

## **B.6. Tipos de Vidrio**

Entre los tipos de vidrio más comunes podemos separarlos entre vidrios comerciales, los cuales son producidos a gran escala, y vidrios especiales, menos masivos pero elaborados con fines específicos. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX, 2015).

### **B.6.1. Vidrio sodocálcico**

Es el tipo de vidrio más utilizado para fabricar todo tipo de contenedores (botellas, cristalerías de mesa, ampollitas, vidrios para ventanas y vidrios laminados), los recipientes hechos a partir de vidrio sodocálcico son prácticamente inertes, de modo que no contaminan el contenido del mismo. Son poco resistentes al choque térmico. (Catalan, 2013, pág. 20)

### **B.6.2. Vidrio al plomo**

Es el resultado de fórmulas que combinan óxidos de potasio con óxido de plomo, y es también conocido como cristal al plomo. El vidrio al plomo es pesado y tiene un alto índice de refracción, por lo que es útil para proteger al personal en instalaciones nucleares. (Catalan, 2013, pág. 20)

### **B.6.3. Vidrio de borosilicato**

Este vidrio contiene óxido bórico entre sus ingredientes fundamentales, junto con sílice y álcali. Destaca por su durabilidad, resistencia a los ataques químicos y choques térmicos, por lo que se utiliza en muchos utensilios de cocina, aparatos de laboratorio y equipos para procesos químicos. (Catalan, 2013, pág. 20)

Existen otros tipos de vidrio menos masivos, como la sílice vítrea, que en su composición es casi completamente sílice, o el vidrio de aluminosilicato, entre otros.

## **C. Botellas de vidrio**

Para la presente investigación, se recolectaron botellas de vidrio de uso doméstico en la ciudad de Trujillo, Los colores que se usaron fueron claros, café y verde.

Las botellas fueron lavadas con agua y detergente para eliminar cualquier contaminante orgánico, se eliminó las etiquetas y se secó a ambiente. Se pulverizó 13 kg de vidrio doméstico por 3 horas en un molino de bolas proporcionado por la Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Obteniendo vidrio molido con 80% de partículas de diámetro  $>74 \mu\text{m}$  (retenidos en la malla N° 200) con el cual se hicieron las pruebas correspondientes.

#### **D. Bases Normativas**

Las normas que serán utilizadas según los tesisistas para elaborar esta investigación son las siguientes:

##### **Para los Agregados**

- Granulometría, Módulo de Finura y Tamaño Máximo: NTP 400.012-2013 y ASTM C136/C33.
- Peso específico y Absorción
  - o Agregado Grueso NTP 400.021-2002 y ASTM C127.
  - o Agregado Fino NTP 400.022-2002 y ASTM C128.
- Peso unitario
  - o Agregado Grueso NTP 400.017-2011 y ASTM C29.
  - o Agregado Fino NTP 400.017-2011 y ASTM C29.
- Contenido de humedad
  - o Agregado Grueso NTP 339.185-2002 y ASTM C566-97.
  - o Agregado Fino NTP 339.185-2002 y ASTM C566-97.

##### **Para el Concreto**

- Curado del concreto: E.060 RNE, NTP 339.183-2013 y ASTM C31/C31M.
- Asentamiento (SLUMP) NTP 339.045-2015 y ASTM C134.
- Contenido de aire. NTP 339.083 y ASTM C231.
- Compresión. NTP 339.034 y ASTM C039.
- Flexión NTP 339.078 y ASTM C78
- Densidad NTP 339.230-2010 y ASTM C567-05
- Módulo de elasticidad ASTM 469-94

Tabla 4. Normas a utilizar

	DENOMINACIÓN	NTP	ASTM
PARA LOS AGREGADOS	Granulometría, Módulo de Finura y Tamaño Máximo	400.012-2013	C136/C33
	Peso específico y Absorción		
	Agregado Grueso	400.021-2002	C127
	Agregado Fino	400.022-2002	C128
	Peso unitario		
	Agregado Grueso	400.017-2011	C29
PARA EL CONCRETO	Agregado Fino	400.017-2011	C29
	contenido de humedad		
	Agregado Grueso	339.185-2002	C566-97
	Agregado Fino	339.185-2002	C566-97
	Curado del concreto	RNE. E060 / 339.183-2013	C31/C31M.
	Asentamiento (SLUMP)	339.045-2015	C134
	Contenido de aire.	339.083	C231
	Compresión	339.034	C039
	Flexión	339.078	C78
	Densidad	339.230-2010	C567-05
Módulo de elasticidad		469-94	

## 1.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### - Efecto

Consecuencia o cambio que el vidrio molido genera en la elaboración del concreto siendo positivos o negativos estos cambios.

### - Vidrio

Según la American Society for Testing Materials (ASTM), el vidrio es un: "Producto inorgánico de fusión, el cual se ha enfriado hasta un estado rígido, pero sin sufrir cristalización."

El Reglamento Nacional de edificaciones define vidrio como una sustancia sólida, sobre fundida, amorfa, dura, frágil, que es complejo químico de silicatos sólidos y de cal que corresponde a la fórmula:  $\text{SiO}_2 (\text{Na}_2\text{O})^m (\text{CaO})^n$ . El silicato  $\text{SiO}_2$  que constituye el elemento ácido proviene de la arena silícea, limpia y seca. (RNE, 2006)

### - Vidrio molido

Según (Trezza & Rahhal, 2018) El vidrio es un material 100% reciclable que no pierde sus propiedades físicas ni disminuye su calidad en el proceso de reciclado. Es decir, que a partir de un envase utilizado puede fabricarse uno nuevo o en su defecto productos que pueden tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad pueda autogestionarse de una manera fácil para el beneficio de su medioambiente.

- **Concreto**

El concreto o también llamado hormigón, puede definirse como una mezcla del material aglutinante, el cual es el cemento Portland Hidráulico, los agregados o árido como material de relleno, agua y en algunos casos aditivos, que al endurecerse forman como una piedra artificial; la cual después de cierto tiempo puede soportar grandes esfuerzos de compresión (Sánchez, 2001).

- **Propiedad**

Atributo o cualidad esencial de los materiales.

- **Propiedades físicas**

Propiedad física es aquella que se basa principalmente en la estructura de los materiales, es visible y medible. Sufren cambios y se transforman en un periodo de tiempo.

- **Propiedades mecánicas**

Propiedades mecánicas de un material son características propias de su composición, que permiten diferenciar uno del otro. Además, que son estas las que determinan el comportamiento de los materiales ante fuerzas aplicadas del exterior.

## 1.9. HIPÓTESIS

### 1.9.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Al adicionar porcentajes de 1%, 3% y 5% de vidrio molido mejorarán los resultados en sus propiedades físicas (trabajabilidad, peso unitario, contenido de aire) y propiedades mecánicas (mejorar la resistencia a la compresión y flexión).

### 1.9.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

#### 1.9.2.1. TIPO DE ACUERDO AL FIN QUE PERSIGUE.

El estudio de investigación es de tipo aplicada, porque busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática se basa en la aplicación inmediata, con el objetivo de lograr resultados más satisfactorios y que sean válidos.

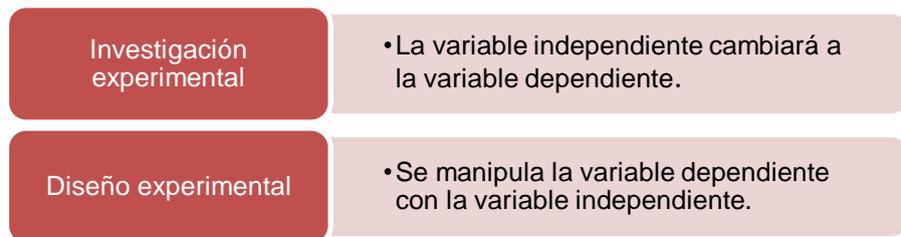
#### 1.9.2.2. TIPO DE ACUERDO AL DISEÑO.

El estudio a realizar de acuerdo al diseño es de tipo cuantitativo porque consta de dos variables (VI: vidrio molido VD: propiedades físicas y

mecánicas del concreto) que se relacionan entre sí

### 1.9.2.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El estudio a realizar según el diseño de la investigación es experimental porque se manipula de manera intencional la variable independiente para luego analizar el efecto que tiene sobre la variable dependiente.



### 1.9.3. VARIABLES

- **Objeto de estudio:**

El concreto. - El concreto: el concreto o también llamado hormigón, puede definirse como una mezcla del material aglutinante, el cual es el cemento Portland Hidráulico, los agregados o áridos como material de relleno, agua y en algunos casos aditivos, que al endurecerse forman como una piedra artificial; la cual después de cierto tiempo puede soportar grandes esfuerzos de compresión. (Sánchez, 2001).

- **Variable independiente:**

Vidrio molido en reemplazo del agregado fino para Concreto. - Vidrio molido: Según (Trezza & Rahhal, 2018) El vidrio es un material 100% reciclable que no pierde sus propiedades físicas ni disminuye su calidad en el proceso de reciclado. Es decir, que a partir de un envase utilizado puede fabricarse uno nuevo o en su defecto productos que pueden tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad pueda autogestionarse de una manera fácil para el beneficio de su medioambiente.

- **Variable dependiente:**

***Propiedades físicas y mecánicas***

***Propiedades físicas***

Propiedad física es aquella que se basa principalmente en la estructura de los materiales, es visible y medible. Sufren cambios y se transforman en un periodo de tiempo.

### ***Propiedades mecánicas***

Propiedades mecánicas de un material son características propias de su composición, que permiten diferenciar uno del otro. Además, que son estas las que determinan el comportamiento de los materiales ante fuerzas aplicadas del exterior.



## CAPÍTULO II. : MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. MATERIALES

#### a) Materiales

Materiales para realizar los ensayos

- Agua
- Agregado grueso, Cantera "El Milagro"
- Agregado fino, Cantera "El Milagro".
- Cemento Tipo MS, Marca Pacasmayo.
- Vidrio molido común reciclado
- Mezcladora de concreto

Materiales de escritorio

- Papel bon A4
- Impresiones
- Anillados
- Computadora
- Software
- Libros

#### b) Humanos

- Autores
- Asesor
- Laboratorista

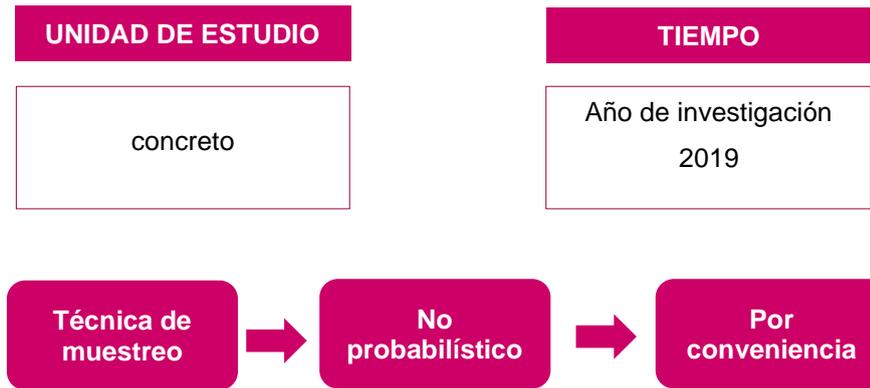
#### c) Servicios

- Internet
- Movilidad
- Laboratorio de concreto
- Asesoramiento del proyecto

### 2.2. MATERIAL DE ESTUDIO

#### 2.2.1. POBLACIÓN

En esta investigación, la población son las 36 probetas que se ensayarán a compresión y 8 vigas que se ensayarán a flexión, probetas patrones y probetas con diferentes porcentajes de vidrio molido. Se utilizará agregados de la cantera "El Milagro" del Distrito de El Milagro Provincia de Trujillo y el cemento "Pacasmayo Fortimax", aplicado en la ciudad de Trujillo.



### 2.2.2. MUESTRA

La muestra ha sido seleccionada por conveniencia de los autores y está distribuida de la siguiente manera:

Se elaboró 36 probetas cilíndricas de concreto con medidas estándar para realizar pruebas a compresión de las cuales:

- 9 probetas con 0% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán a 3 a 7 días, 3 a 14 días y 3 a 28 días.
- 9 probetas con 1% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán a 3 a 7 días, 3 a 14 días y 3 a 28 días.
- 09 probetas con 3% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán a 3 a 7 días, 3 a 14 días y 3 a 28 días.
- 09 probetas con 5% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán a 3 a 7 días, 3 a 14 días y 3 a 28 días.

Se elaboró 8 probetas rectangulares de concreto con medidas estándar para realizar pruebas a flexión de las cuales:

- 2 probetas con 0% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán 2 a 28 días.
- 2 probetas con 1% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán 2 a 28 días.
- 2 probetas con 3% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán 2 a 28 días.
- 2 probetas con 5% de adición de vidrio reciclado, los cuales se romperán 2 a 28 días.

Para la elección del número de muestras se tomó como referencia la E060, que está basado en la norma ASTM C-192 "Practica Normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio", donde se indica que para un análisis estadístico debe ensayarse mínimo dos o más especímenes para cada edad de ensayo (7,14,28 días).

Tipo de Muestreo no probabilístico por conveniencia pues los resultados serán validados con la opinión de expertos.

*Tabla 5. Cantidad de probetas a utilizar*

PROBETAS	COMPRESION	FLEXION
Concreto sin vidrio	9	2
Concreto con 1% de vidrio molido	9	2
Concreto con 3% de vidrio molido	9	2
Concreto con 5% de vidrio molido	9	2
Total	36	8

*Nota: La siguiente tabla muestra un resumen de los especímenes que serán analizados y ensayados en el laboratorio (Autor)*

## 2.3. TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS

### 2.3.1. PARA RECOLECTAR DATOS

En esta investigación se utilizará la observación como técnica de recolección de información, pues se podrá analizar los hechos reales. La clase de observación es directa porque habrá contacto directo con el hecho o fenómeno a investigar.



El instrumento que se utilizara para esta investigación es una guía de observación, porque se basa en una lista de indicadores donde se lleva un registro de los datos observados y proporcionados por el ensayo.



Para la investigación se usarán los siguientes formatos o guías de observación:

- Formato para hallar el peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.
- Formato para hallar el peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.
- Formato para hallar el peso unitario suelto y peso compactado del agregado fino y agregado grueso.
- formato para calcular la granulometría del agregado fino.

- formato para la representación de la curva granulométrica del agregado fino.
- formato para calcular la granulometría del agregado grueso.
- formato para la representación de la curva granulométrica del agregado grueso.
- formato para calcular los diseños de mezclas (sin Vidrio, con 1%, 3%, 5% de vidrio molido).
- Formato para toma de datos de rotura de probetas
- Formato para toma de datos de rotura de vigas

Los instrumentos se validarán por opinión de expertos.

### 2.3.2. PARA PROCESAR DATOS

La presente investigación es diseño experimental por lo tanto se usará el método de estadística descriptiva, porque permite obtener el procesamiento y muestreo de datos mediante gráficos estadísticos, pues estos gráficos son los más adecuados para expresar y observar en porcentajes la información recolectada y los resultados que se obtendrán del análisis.



#### Gráficos Estadísticos

Una gráfica de barras, tiene barras rectangulares con longitudes proporcionales, dichas barras pueden ser horizontales y/o verticales, estas graficas se utilizan para comparar dos o más valores.

Por otro lado, también se utilizará materiales de escritorio, programas y equipos de laboratorio para realizar los diferentes ensayos.

- Computadora
- Excel, Word
- Equipos para Ensayos de los materiales a utilizar

## 2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS
Vidrio molido en reemplazo de agregado fino	El vidrio es un material 100% reciclable que no pierde sus propiedades físicas ni disminuye su calidad en el proceso de reciclado. Es decir, que a partir de un envase utilizado puede fabricarse uno nuevo o en su defecto productos que pueden tener las mismas características del primero.	Se usará diferentes porcentajes	Cantidad: 1%,3%,5%	granulometría	%
Propiedades físicas y mecánicas del concreto	Las propiedades del concreto se obtienen en estado fresco y endurecido.	Se realizarán 36 probetas para ensayo a compresión y 8 para ensayo a flexión.	Concreto fresco 1%, 3%, 5% y sin adición de vidrio molido.  Concreto endurecido 1%, 3%, 5% y sin adición de vidrio molido.	Trabajabilidad Peso unitario Contenido de aire Compresión Flexión Densidad Módulo de elasticidad	Pulgadas Kg/m <sup>3</sup> % Mpa Mpa Kg/m <sup>3</sup> Kg/cm <sup>2</sup>

## CAPÍTULO III. : RESULTADOS

### 3.1. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

#### 3.1.1. GRANULOMETRÍA

La granulometría es una propiedad de los agregados la cual contribuye en el diseño de mezclas de concreto y consiste en la distribución de tamaños de las partículas de una muestra, se debe elaborar el análisis granulométrico para determinar las características físicas de los agregados, se realiza de acuerdo a la norma NTP 400.012:2001 (ASTM-C33), la misma que establece el método para agregados finos y gruesos. (Hale, 2012)

Según la norma técnica peruana E.060, La granulometría seleccionada para el agregado deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

- **Curva granulométrica.**

Los resultados del análisis se representa en forma gráfica como curvas, la cual se obtiene colocando ejes de las ordenadas el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas las abertura del tamiz, esto permite conocer mejor la separación de tamaños dentro de una masa de agregados por otro lado también se puede conocer el módulo de fineza de los agregados finos y gruesos. (Hale, 2012)

#### **Equipos Necesarios**

Para llevara a cabo fueron necesarios los siguientes equipos: Balanza con precisión, juego de tamices, horno, bandejas para la colocación de muestras, envases adecuados para el manejo de las muestras y secado de las muestras, cepillo y brocha para limpiar las mallas de los tamices.



Figura 12. *Juego de tamices*

*Fuente: Propia*

### 3.1.1.1. AGREGADO FINO

Son arenas provenientes de la desintegración del suelo, que se produce por agentes físicos, según la NTP 400.012:2001 establece la gradación requerida para el agregado fino, la cual especifica un rango superior y un rango inferior dentro de la cual puede variar la curva granulométrica. (Hale, 2012)

Tabla 6. % que pasa según tamiz

Tamiz (ASTM C33)	Porcentaje que pasa
9.52mm (3/8)	100
4.75mm (N°4)	95 a 100
2.36mm (N°8)	80 a 100
1.18mm (N°16)	50 a 85
0.60mm (N°30)	25 a 60
0.30mm (N°50)	10 a 30
0.15mm (N° 100)	2 a 10

Fuente: NTP 400.012. Agregados para concreto

- **Tamaño de muestras.**

El tamaño de muestra es una cantidad representativa del agregado fino, los cuales deben ser obtenidos de acuerdo a la NTP 400.012:2001 (Reducción de muestras a tamaño de ensayo) que tiene el objetivo de minimizar las variaciones entre las características medidas en las muestras reducidas. La cantidad mínima de muestra representativa es 300gr para agregado fino.

- **Módulo de fineza**

Este parámetro, da una idea del grosor o finura del agregado, se lo obtiene mediante la norma ASTM C-136, sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma para 100. Este valor no debe ser menor que 2.3 ni mayor a 3.1 según las especificaciones.

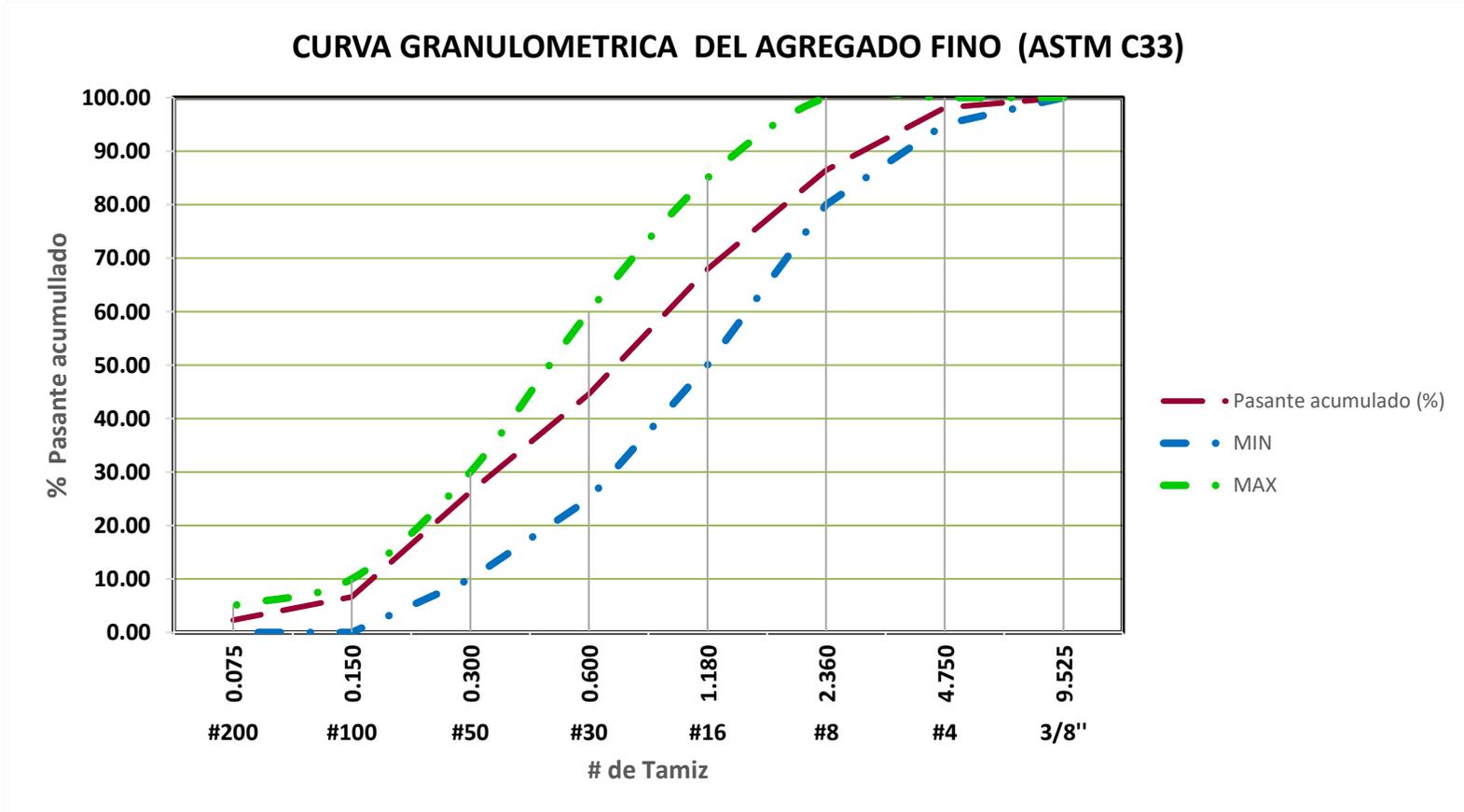
$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ retenido acum } (3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Tabla 7. Análisis granulométrico de agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33								
MATERIAL		AGREGADO FINO						
PROCEDENCIA		CANTERA " EL MILAGRO " – TRUJILLO						
FECHA DE ENSAYO		19-ago						
APLICACIÓN		DISEÑO DE MEZCLAS						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							Peso de la muestra (gr)	2000
Tamiz N°	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33	% PASANTE MALLA N° 200 ( ASTM C117)	
							(A)Peso de la muestra seca (g)	704
3"	76.200						(B)Peso de la muestra lavada secada al horno (g)	666
2 1/2"	63.500						% pasante malla N°200 (A-B/A) *100	5.40
2"	50.800						CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566)	
1 1/2"	38.100						(D)Peso húmedo de la muestra(g)	712
1"	25.400						(E)Peso seco de la muestra(g)	704
3/4"	19.050						% de humedad ((D-E) /E) *100	1.14
1/2"	12.700						PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL	
3/8"	9.525	0.0	0.00	0.00	100.00	100 - 100	Módulo de fineza	2.7
#4	4.750	37.0	1.85	1.85	98.15	95 - 100	Tamaño máximo TM	3/8"
#8	2.360	234.0	11.70	13.55	86.45	80 - 100	Tamaño máximo nominal TMN (mm)	#4
#16	1.180	370.0	18.50	32.05	67.95	50 - 85	Peso específico	---
#30	0.600	468.0	23.40	55.45	44.55	25 - 60	Peso unitario suelto	---
#50	0.300	366.0	18.30	73.75	26.25	10 - 30	Peso unitario compactado	---
#100	0.150	392.0	19.60	93.35	6.65	0 - 10	Abrasión	---
#200	0.075	87.0	4.35	97.70	2.30	0 - 5	OBSERVACIONES	
FONDO		46.0	2.30	100.00	0.00			
TOTAL		2000.0		Mf	2.70			

Fuente: Propia

Tabla 8. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Propia



Figura 13. Tamizado de agregado fino

Fuente: Propia

### 3.1.1.2. AGREGADO GRUESO

La gradación del agregado grueso se determina dependiendo del tamaño máximo nominal de la muestra, para esta investigación el tamaño máximo nominal del agregado grueso es 1/2" y la NTP 400.012:2013 determina la gradación requerida para dicho tamaño nominal. (Hale, 2012)

Tabla 9. Número de tamices del agregado grueso

Tamiz (NTP 400.012)	Porcentaje que pasa
37.5mm (1 1/2")	100
25mm (1")	95 a 100
19mm (3/4")	-
12.5mm (1/2")	25 a 60
9.5mm (3/8")	-
4.75mm (Nº4)	0 a 10
2.36mm (Nº 8)	0 a 5

Fuente: NTP 400.013. Agregados para concretos.

- **Tamaño de muestras.**

La cantidad especificada para árido grueso se determina en base al tamaño máximo nominal de sus partículas, y se necesita mayor cantidad de muestra con respecto al árido fino debido al tamaño de sus partículas.

*Tabla 10. tamaño de muestra del agregado*

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en (mm).	Tamaño de la muestra del ensayo mínimo (Kg)
9.5	1
12.5	2
19.0	5
25.0	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: NTP 400.013. Agregados, análisis granulométrico en el Agregado grueso.

- **Módulo de fineza**

Se determina de forma similar al agregado fino, pero con una serie diferente de tamices, debido al tamaño de sus partículas.

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido acum} (11/2" + 3/4 + 3/8 + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16)}{100}$$

- **Tamaño máximo nominal.**

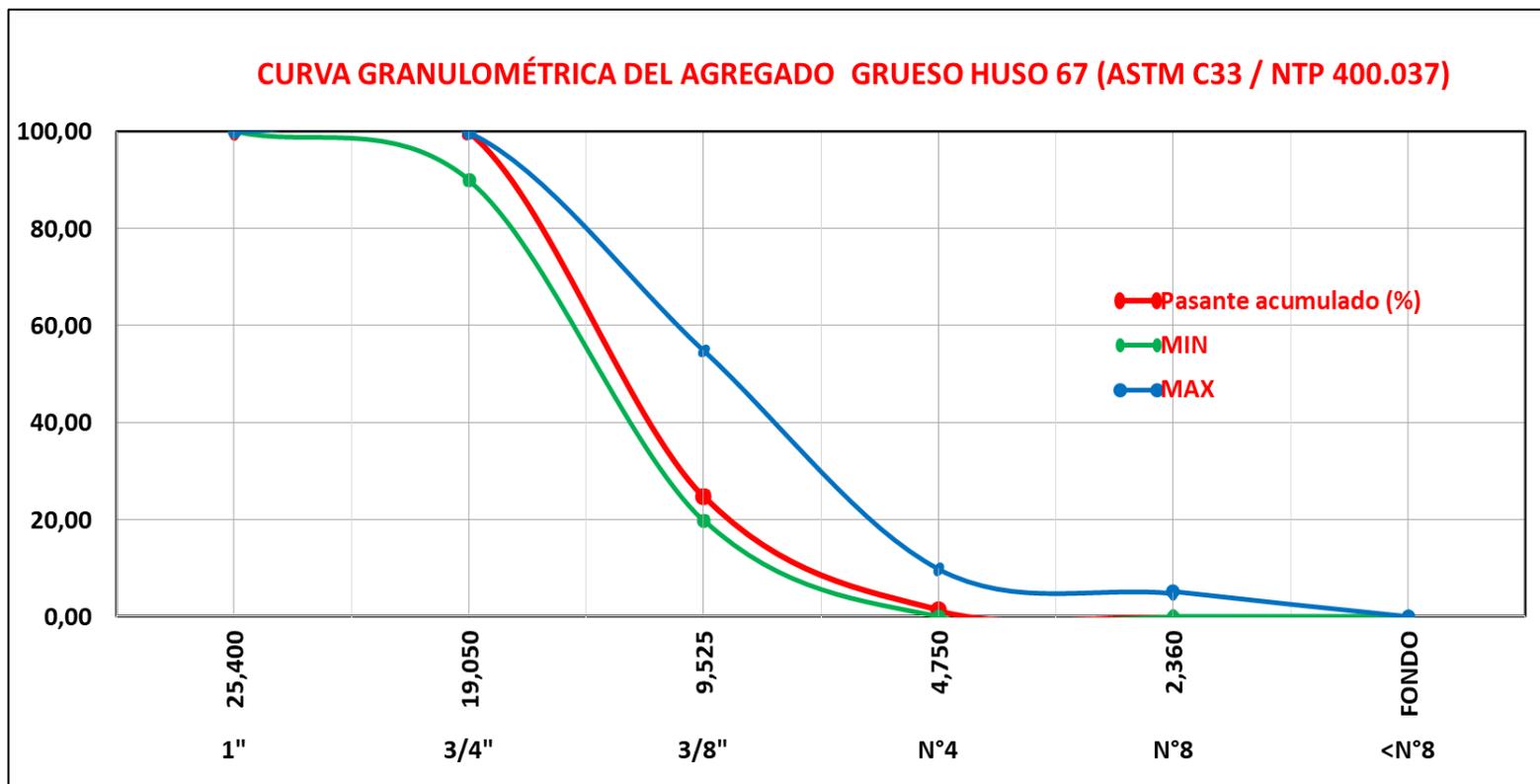
El tamaño máximo nominal es un parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. La mayoría de especificaciones para la fabricación de concreto se dan en función del tamaño nominal y para la elaboración de cilindros define el tamaño de las probetas estándar cilíndricas que se pueden emplear en la elaboración de muestras de prueba para ensayos a compresión y tracción

Tabla 11. Análisis granulométrico de agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33 NTP400.012 / NTP400.037								
<b>MATERIAL</b>			<b>AGREGADO FINO</b>					
<b>PROCEDENCIA</b>			<b>CANtera " EL MILAGRO " - TRUJILLO</b>					
<b>FECHA DE ENSAYO</b>			<b>19-Ago</b>					
<b>APLICACIÓN</b>			<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b>					
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C136/C33 NTP 400.012 / NTP 400.037</b>							<b>Peso de la muestra (gr)</b>	<b>5000</b>
Tamiz N°	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33 / NTP 400.037	% PASANTE MALLA N° 200 (ASTM C117 / NTP 400.018)	
							(A)Peso de la muestra seca (g)	610
5"	127.000						(B)Peso de la muestra lavada secada al horno (g)	
4"	101.000						% pasante malla N°200 (A-B/A) *100	
3"	76.200						<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566 / NTP330.185)</b>	
2 1/2"	63.500						(D)Peso húmedo de la muestra(g)	614
2"	50.800						(E)Peso seco de la muestra(g)	610
1 1/2"	38.100	0	0.00	0.00	100.00		% de humedad ((D-E) /E) *100	0.656
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00	100 - 100	<b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL</b>	
3/4"	19.050	5.0	0.10	0.10	99.90	90 - 100	Módulo de fineza	<b>6.73</b>
1/2"	12.700	2231.0	44.62	44.72	55.28		Tamaño máximo TM	3/4"
3/8"	9.525	1517.0	30.34	75.06	24.94	20 - 55	Tamaño máximo nominal TMN	1/2"
N°4	4.750	1172.0	23.44	98.50	1.50	0 - 10	Peso específico	---
N°8	2.360	52.0	1.04	99.54	0.46	0 - 5	Peso unitario suelto	---
<N°8	<b>FONDO</b>	23.0	0.46	100.00	0.00		Peso unitario compactado	---
<b>TOTAL</b>		5000.0					Abrasión	---
<b>OBSERVACIONES</b>								

Fuente: Propia

Tabla 12. Curva granulométrica de agregado grueso



Fuente: Propia



*Figura 14. Agregado grueso*  
*Fuente: Propia*



*Figura 15. Tamizado de agregado grueso*  
*Fuente: Propia*

### **3.1.1.3. VIDRIO RECICLADO**

Para adicionar el vidrio molido en el diseño de mezcla y reemplazarlo en 1%,3%,5%, con respecto al agregado fino, se realizó la granulometría considerando las disipaciones de la norma ASTM C33 para agregado fino, el vidrio utilizado en esta investigación proviene de la recolección de botellas de diferentes colores, de diferentes formas y texturas.

Las botellas recolectadas se someten a un lavado con agua y detergente, con el fin de remover algunos residuos, restos orgánicos, además de remover el etiquetado de cada envase, este proceso es muy sencillo debido a la naturaleza soluble de los adhesivos utilizados para la demarcación de las mismas.

Luego de limpiar y secar las botellas, primero se rompen las botellas parcialmente utilizando un martillo, luego se trasladó al laboratorio de metalurgia de la facultad de ingeniería metalurgia de la universidad nacional de Trujillo, donde se cuenta con un molino de bolas, el cual se utilizó para la molienda del vidrio, una vez que pasa este proceso el vidrio se tamiza el laboratorio de metalurgia, utilizando tamices normalizados, se separan los finos menores 0.08mm y partículas mayores a 5mm.

Para una correcta consecución de todos los pasos, se tomaron las medidas de seguridad correspondiente tales como, guantes, mascarillas, lentes, zapatos de seguridad, teniendo especial cuidado con el material particulado más fino.

El material resultante de la molienda tiene una contextura similar a la arena, con una cantidad considerable de finos debido a los ajustes hechos durante la fase de la molienda, al estar sometido las partículas a desgaste entre partículas, las cuales se van puliendo a medida que se ejecuta el proceso, el vidrio utilizado, al provenir de botellas, está compuesto básicamente por dióxido de silicio (conocido como sílice  $\text{SiO}_2$ ), y óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), es químicamente inerte y transparente.



*Figura 16.* Molino de bolas para vidrio reciclado

*Fuente:* Propia



*Figura 17.* Llenado de vidrio reciclado a molino

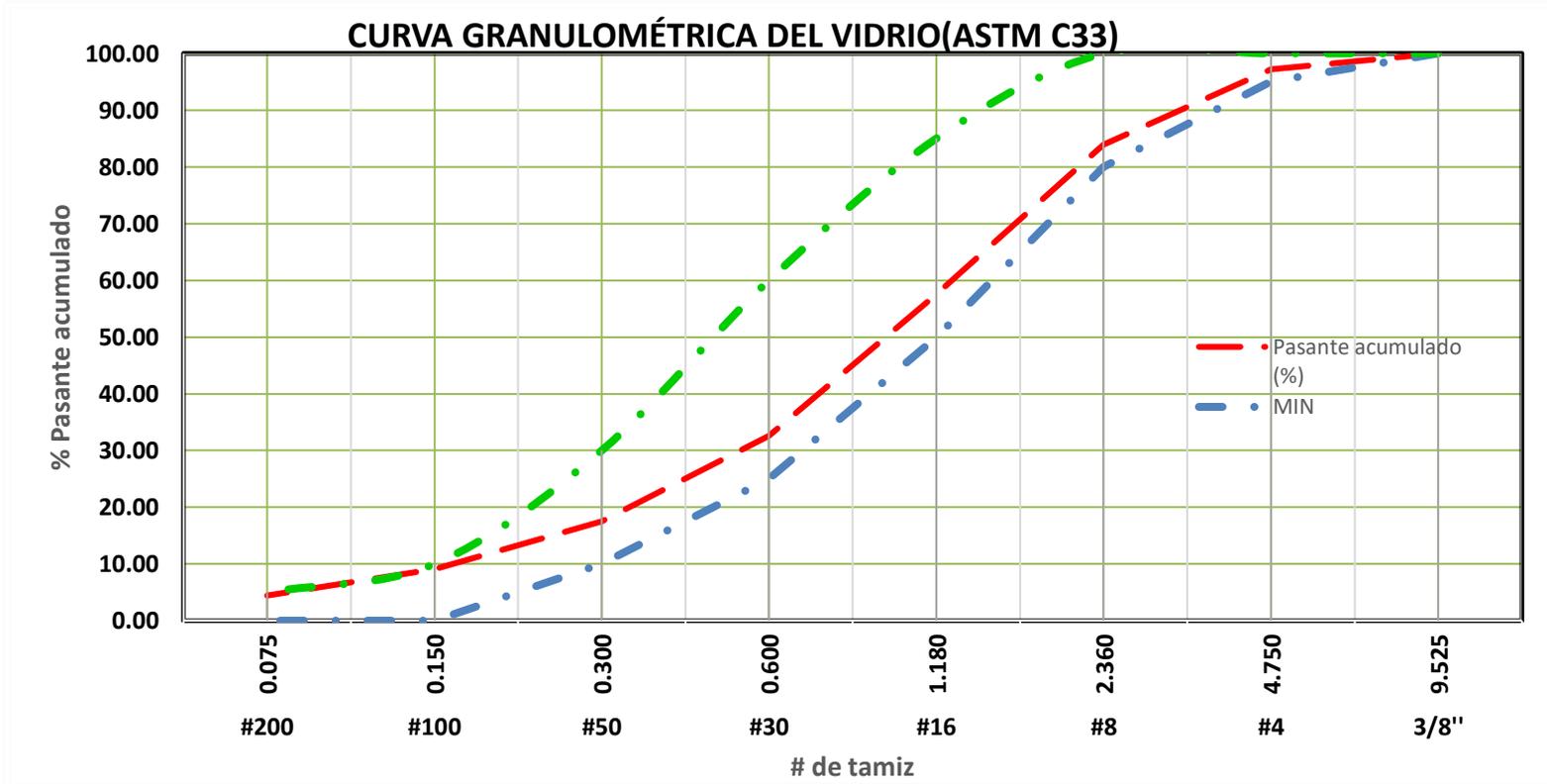
*Fuente:* Propia

Tabla 13. Análisis granulométrico de vidrio molido

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE VIDRIO MOLIDO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33								
MATERIAL		AGREGADO FINO						
PROCEDENCIA		VIDRIO RECICLADO - TRUJILLO						
FECHA DE ENSAYO		19/08/2019						
APLICACIÓN		DISEÑO DE MEZCLAS						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							Peso de la muestra (gr)	5000
Tamiz N°	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33	% PASANTE MALLA N° 200 ( ASTM C117)	
3"	76.200						(A)Peso de la muestra seca (g)	
2 1/2"	63.500						(B)Peso de la muestra lavada secada al horno (g)	
2"	50.800						% pasante malla N°200 (A-B/A)*100	
							<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566)</b>	
1 1/2"	38.100						(D)Peso húmedo de la muestra(g)	
1"	25.400						(E)Peso seco de la muestra(g)	
3/4"	19.050						% de humedad ((D-E)/E)*100	
1/2"	12.700						<b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL</b>	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100	Módulo de fineza	3.02
#4	4.750	140.20	2.80	2.80	97.20	95 - 100	Tamaño máximo TM	
#8	2.360	662.10	13.24	16.05	83.95	80 - 100	Tamaño máximo nominal TMN (mm)	
#16	1.180	1322.80	26.46	42.50	57.50	50 - 85	Peso específico	---
#30	0.600	1247.80	24.96	67.46	32.54	25 - 60	Peso unitario suelto	---
#50	0.300	753.00	15.06	82.52	17.48	10 - 30	Peso unitario compactado	---
#100	0.150	418.50	8.37	90.89	9.11	0 - 10	Abrasión	---
#200	0.075	233.90	4.68	95.57	4.43	0 - 5	<b>OBSERVACIONES</b>	
FONDO		221.70	4.43	100.00	0.00			
TOTAL		5000.0		Mf	3.02			

Fuente: Propia

Tabla 14. Curva granulométrica de vidrio molido



Fuente: Propia



Figura 19. Tamizado de vidrio molido

Fuente: Propia



Figura 18. Vidrio molido

Fuente: Propia



Figura 20. Tamizado de vidrio molido

Fuente: Propia

### 3.1.2. PESO ESPECÍFICO

La densidad es una propiedad física de los sólidos que relaciona la masa y el volumen, generalmente las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, se genera una serie de estados de humedad seca, húmedo al ambiente, saturado superficie seca, y sobre saturado. (Hale, 2012)

- Densidad absoluta: es la relación entre la masa de los agregados y su volumen en estado seco, excluyendo vacíos entre sus partículas y poros permeables.
- Densidad aparente: Es la relación entre la masa de los agregados, incluyendo sus poros saturables y no saturables para el volumen que ocupan sus agregados.
- Densidad estado superficie seca (SSS): es la relación entre la masa de los agregados, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, pero sin incluir los vacíos entre las partículas.

Cada una de estas densidades representa una característica específica en cada uno de los estados, para el diseño de mezclas de concreto es necesario conocer la densidad real en la cual se consideran las porosidades y vacíos de las partículas.

#### 3.1.2.1. AGREGADO FINO

Para la determinación del peso específico del agregado fino se utilizará la norma ASTM C-128(NTP 400.022), la cual describe el procedimiento para determinar el peso específico utilizando un picnómetro con arena en estado SSS (partículas del agregado saturado superficialmente seco), la mayoría de los agregados naturales tiene una masa específica relativa varía de 2,4 a 2,9, con masa específica correspondiente a las partículas de 2400 a 2900 kg/m<sup>3</sup>. (Hale, 2012)

#### Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{W_o}{(V - V_a)} * 100$$

**Donde:**

**Pem** = Peso específico de la masa.

**Wo** = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, gramos.

**V** = Volumen de la Fiola en cm<sup>3</sup>

**Va** = peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> añadida a la Fiola.

**Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pe. sss)**

$$P_{esss} = \frac{500}{(V - V_a)} * 100$$

**Peso específico aparente. (Pea)**

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} * 100$$

Tabla 15. Peso específico y absorción de agregado fino

<b>PESO ESPÉCIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO (NORMA ASTM C127)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>Agregado fino</b>			
<b>PROCEDENCIA</b>	<b>cantera el Milagro - Trujillo</b>			
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	<b>23/08/2019</b>			
<b>APLICACIÓN</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b>			
<b>AGREGADO FINO (NORMA ASTM C127)</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso mat. Sat. Sup. Seco al aire (Psss) (gr)	500	500	500	
B. Peso de fiola (gr)	167	167	167	
C. Peso de fiola + agua (gr)	665	665	665	
D. Peso de fiola + agua + material introducido a fiola	978	976	975	
E. Peso de fiola + agua + Pss (C + A)	1165	1165	1165	
F. Peso de material secado en horno (gr)	492	493	495	
Peso específico (base sss) ((A/(E-D))	2.67	2.65	2.63	<b>2.65</b>
Peso específico (base seca) ((F/(E-D))	2.67	2.65	2.63	
% Absorción ((A-F) /F) *100	1.63	1.42	1.01	<b>1.35</b>

Fuente: Propia



Figura 21. Fiola

Fuente: Propia



Figura 22. peso de muestra seca

Fuente: Propia



Figura 23. Instrumentos a utilizar

Fuente: Propia

### 3.1.2.2. AGREGADO GRUESO

Para determinar el peso específico del agregado grueso se utilizará la norma ASTM C-127(NTP 400.0211), la cual describe el procedimiento para hallar la densidad real de una porción sólida de agregado grueso.

La muestra de agregado es inmersa en agua por 24 horas para llenar los poros, según norma se debe ensayar 2kg, luego se remueve del agua, luego se pesa la cesta, posteriormente se añade el material, el volumen de la muestra sumergida en el agua es determinado por el método de desplazamiento de agua, finalmente la muestra es secada al horno por 24 horas., entonces usando los valores de la masa y formulas ya establecidas

se logra realizar el ensayo. La cesta es sumergida a una profundidad suficiente de tal manera que sea cubierta por el agua, el alambre del cual se suspende el contenedor debe ser del tamaño más pequeño, finalmente la muestra de ensayo determina la masa aparente del agua. (Hale, 2012)

#### Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

Donde:

Pem = Peso específico de la masa.

A = Peso de la muestra seca en el aire.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en aire, gramos.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

#### Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pss)

$$Pss = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

#### Peso específico aparente. (Pea)

$$Pea = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

Tabla 16. Peso específico y absorción de agregado grueso

PESO ESPÉCIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESO (NORMA ASTM C128)				
MATERIAL	Agregado fino			
PROCEDENCIA	cantera el Milagro - Trujillo			
FECHA DE ENSAYO	23-Ago-19			
APLICACIÓN	DISEÑO DE MEZCLAS			
AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C128)				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso mat. Sat. Sup. Seco al aire (Pss) (gr)	2000	2000	2000	
B. Peso de cesta (gr)	1029.3	1029.3	1029.3	
C. Peso de cesta sumergida en agua (gr)	897.5	897.5	897.5	
D. Peso de cesta + material sumergido en agua (gr)	2145.7	2146.6	2144.5	
E. Peso aparente de material sumergido en agua (gr)	1248.2	1249.1	1247	
F. Peso de material secado en horno (gr)	1954.1	1955.7	1954.5	
Peso específico (base seca) ((F/(A-E))	2.60	2.60	2.60	
Peso específico (base SSS) ((A/(A-E))	2.66	2.66	2.66	<b>2.66</b>
Peso específico aparente (base seca) (F/(F-E))	2.77	2.77	2.76	
% Absorción ((A-F) /F) * 100	2.35	2.27	2.33	<b>2.31</b>

Fuente: Propia



*Figura 24. Peso de muestra de agregado grueso*

*Fuente: Propia*



*Figura 25. Canastilla a utilizar*

*Fuente: Propia*

### 3.1.3. ABSORCIÓN

La absorción es un parámetro que interviene en el diseño de mezclas (dosificación), se realiza en base a la norma ASTM C-128 (NTP 400.022, 2013), la capacidad de absorción se determina encontrando la masa del agregado bajo condición saturada y seca, las diferencias entre estas masas se multiplican por cien y se obtiene como resultado la capacidad de absorción el mismo principio se aplica para el agregado fino y grueso. (Hale, 2012)

$$\text{Coeficiente de absorción} = \frac{\text{masa en estado SSS} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}} * 100$$

#### 3.1.3.1. AGREGADO FINO

Es la cantidad de agua que el agregado absorbe, Según norma NTP 400.022.2013, el procedimiento para realizar el ensayo es el siguiente, primero se pesa el agregado en estado seco, luego el agregado se deja en agua por 24 horas, posteriormente se seca el material en el horno a una temperatura de 110°C, finalmente se realiza las restas de las masas en estado seco y en estado SSS (saturado superficialmente seco).

$$Ab = \frac{500 - W_o}{(W_o)} * 100$$

#### 3.1.3.2. AGREGADO GRUESO

Es la cantidad de agua que el agregado absorbe luego de ser sumergido en el agua por 24 horas, se expresa como un porcentaje del peso seco, el agregado se considera seco cuando se mantiene a una temperatura de 110 ° C, tiempo suficiente para remover el agua sin combinar.

$$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

### 3.1.4. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Se define como densidad bulk "peso unitario" del agregado, en una condición compactada o suelta, se calcula los vacíos entre las partículas del agregado fino y grueso, para este ensayo se hace uso de la norma ASTM C-29 (NTP 400.017.2011). Este método es aplicable para agregados que no excedan en 5 pulg (125 mm) de tamaño máximo nominal, se expresa en peso por unidad de volumen. (Hale, 2012)

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

**Donde:**

- M** = Densidad bruta del agregado, lb/pie<sup>3</sup> (Kg. /m<sup>3</sup>)  
**G** = Masa del agregado más recipiente, lb (Kg.)  
**T** = Masa del recipiente, lb (Kg.)  
**V** = Volumen del recipiente, pie<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>)

**Equipo necesario**

- Balanza con aproximación de 0.05kg, la cual permite leer con exactitud de 0.1% del peso de la muestra.
- Varilla recta lisa de acero de 16mm (5/8") de diámetro y de 60 cm de longitud.
- Olla de Washington.
- Cucharón de mano con capacidad suficiente para llenar el recipiente.
- Martillo de goma.

**3.1.4.1. PESO UNITARIO SUELTO**

Para realizar el ensayo, el material debe estar seco, el cual se consigue poniéndolo a secar a temperatura ambiente, el procedimiento es el siguiente:

Se debe llenar con el cucharón el molde (olla de Washington) de 3.392 kg de capacidad, dejando caer el material desde una altura no menor de (50 mm) o 2" por encima de la parte superior del recipiente, luego se debe enrasar el recipiente con la varilla, luego se procede a tomar la masa del recipiente más su contenido, el ensayo se realiza tres veces para tener mejor precisión de los resultados. El mismo procedimiento se realiza para el agregado fino y grueso. (Hale, 2012)

**Cálculos**

- A. Peso de material + molde (kg)
- B. Peso de molde (kg)
- C. Peso de material (kg) (A - B)
- D. Volumen del molde
- E. Peso unitario del material (kg/m<sup>3</sup>) (C / D)

Fórmula válida para el peso unitario suelto y compactado. Para obtener mejores resultados se realizarán 3 ensayos de Peso unitario, tomando como valor el promedio. Estos valores deben estar muy próximos entre sí, de lo contrario se vuelve a realizar el ensayo a fin de eliminar el valor equivocado.

### 3.1.4.2. PESO UNITARIO COMPACTADO

Para realizar el ensayo, el material debe estar seco, el cual se consigue poniéndolo a secar a temperatura ambiente, el procedimiento es el siguiente:

Se debe llenar el material con el cucharón en tres capas proporcionales a la altura del molde, por cada capa se debe apisonar 25 veces con la varilla de acero, cuando se termina de apisonar la última capa, el agregado sobrante se elimina enrasando el molde con la varilla. (Hale, 2012)

Tabla 17. Peso unitario de agregado fino

<b>PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO (NORMA ASTM C29)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>Agregado fino</b>			
<b>PROCEDENCIA</b>	<b>cantera el Milagro - Trujillo</b>			
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	<b>21/08/2019</b>			
<b>APLICACIÓN</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b>			
<b>VOLUMEN DE MOLDE CILÍNDRICO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso de molde (kg)	3.392	3.392	3.392	
B. Peso de molde + agua (kg)	10.432	10.432	10.432	
C. Peso de agua (Kg)	7.04	7.04	7.04	
D. Factor de calibración del agua (kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000	
E. Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	0.00704	0.00704	0.00704	<b>0.00704</b>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso de material + molde (kg)	14.242	14.33	14.46	
B. Peso de molde (kg)	3.392	3.392	3.392	
C. Peso de material (kg) (A - B)	10.85	10.938	11.068	
D. Volumen del molde	0.00704	0.00704	0.00704	
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C / D)	1541.19	1553.69	1572.16	<b>1555.68</b>
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso de material + molde (kg)	15.864	15.804	15.694	
B. Peso de molde (kg)	3.392	3.392	3.392	
C. Peso de material (kg) (A - B)	12.472	12.412	12.302	
D. Volumen del molde	0.00704	0.00704	0.00704	
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C - D)	1771.59	1763.07	1747.44	<b>1760.70</b>

Fuente: Propia



Figura 26. Cuarteo de agregado fino  
Fuente: Propia



Figura 27. Llenado de agregado fino a olla  
Fuente: Propia



Figura 28. Proceso de varillado  
Fuente: Propia

Tabla 18. Peso unitario de agregado grueso

<b>PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C29)</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>Agregado fino</b>			
<b>PROCEDENCIA</b>	<b>cantera el Milagro - Trujillo</b>			
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	<b>21/08/2019</b>			
<b>APLICACIÓN</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b>			
<b>VOLUMEN DE MOLDE CILÍNDRICO</b>				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso de molde (kg)	3.392	3.392	3.392	
B. Peso de molde + agua (kg)	10.432	10.432	10.432	
C. Peso de agua (Kg)	7.04	7.04	7.04	
D. Factor de calibración del agua (kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000	
E. Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	0.00704	0.00704	0.00704	<b>0.00704</b>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso de material + molde (kg)	13.357	13.685	13.54	
B. Peso de molde (kg)	3.392	3.392	3.392	
C. Peso de material (kg) (A - B)	9.965	10.293	10.148	
D. Volumen del molde	0.00704	0.00704	0.00704	
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C / D)	1415.48	1462.07	1441.48	<b>1439.68</b>
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso de material + molde (kg)	14.727	14.78	14.86	
B. Peso de molde (kg)	3.392	3.392	3.392	
C. Peso de material (kg) (A - B)	11.335	11.388	11.468	
D. Volumen del molde	0.00704	0.00704	0.00704	
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C - D)	1610.09	1617.61	1628.98	<b>1618.89</b>

Fuente: Propia



Figura 29. División de agregado grueso  
Fuente: Propia



Figura 30. Peso de olla de washington  
Fuente: Propia

### 3.1.5. PORCENTAJE DE HUMEDAD

El contenido de humedad o agua es la diferencia entre el estado actual de humedad del mismo y el estado en seco, el procedimiento se realiza teniendo en cuenta la norma ASTM C – 566 (NTP 339.185.2002), donde se indica la cantidad de agua que contiene una muestra, expresándola como un porcentaje del peso del agua entre el peso del material seco. Este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas pueden variar. Este método de ensayo es suficientemente exacto para propósitos usuales, tales como ajuste en peso de las cantidades de materiales en una revoltura de concreto. Es por ello que se recomienda realizara este ensayo y trabajar rápidamente con el resultado, para evitar cambios al momento de realizar los cálculos.

$$P = \frac{(D-E)}{E} * 100$$

**Donde:**

**P** = Contenido de humedad de la muestra, (%)

**D** = Masa de la muestra original, (g)

**E** = Masa de la muestra seca, (g)

#### **Equipo necesario**

- Balanza con sensibilidad (con dos decimales)
- Horno con gradación de temperatura de hasta 110°C.
- Tara o vasija resistente al calor con tapa.

#### **Procedimiento para realizar el ensayo**

- Se anota el peso de la tara.
- Se coloca la muestra en la tara.
- Se pesa la muestra húmeda más la tara.
- Se coloca la tara con la muestra en el horno a temperatura de 110°C por 24 horas hasta obtener un peso constante. Si el material es arcilloso o contiene impurezas orgánicas la temperatura debe ser de 60°C aproximadamente.
- Se retira la muestra del horno, se deja enfriar y el peso debe hacerse después de sacada la muestra del horno y comprobado que está seca.

Tabla 19. Contenido de humedad a.f

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566)	
(D)Peso húmedo de la muestra(g)	712
(E)Peso seco de la muestra(g)	704
% de humedad $((D-E) / E) * 100$	1.14

Fuente: Propia

Tabla 20. Contenido de humedad a.g

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566 / NTP330.185)	
(D)Peso húmedo de la muestra(g)	614
(E)Peso seco de la muestra(g)	610
% de humedad $((D-E) / E) * 100$	0.656

Fuente: Propia

### 3.2. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO POR EL MÉTODO ACI

Según norma E060 Concreto Armado, la dosificación de los materiales para concreto debe hacerse de tal forma que se logre la consistencia y trabajabilidad que permita colocar fácilmente el concreto bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin que haya segregación ni exudación excesiva.

Dosificar, consiste en encontrar las proporciones adecuadas de todos los elementos que constituyen la mezcla de concreto con propiedades físicas y mecánicas esperadas. Existen muchas investigaciones relacionadas con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte como un procedimiento empírico. Aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión a los 28 días de edad.

Para la investigación se usará el método de dosificación del ACI. Basándose en la norma E.060 de concreto armado cumpliendo el Reglamento Nacional De Edificaciones (RNE).

#### 3.2.1. DISEÑO DE LA MEZCLA PATRÓN

Según la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en el capítulo 5 (calidad del concreto, mezclado y colocación), Artículo 5.3.3.2 Menciona que cuando no se disponga de un registro de resultados de ensayos se deben realizar muestras de prueba las cuales deben cumplir las siguientes condiciones: las mezclas de prueba cuyas dosificaciones y consistencias son las requeridas en obra deben prepararse empleando tres relaciones agua – material cementante o contenidos de cementos diferentes que produzcan un rango de resistencias que abarquen  $f'_{cr}$ . Debe producir un asentamiento (Slump) de +/- 20mm del máximo

permitido. Para cada relación agua/cemento debe confeccionarse por lo menos tres probetas cilíndricas para cada edad de ensayo. A partir de los resultados de los ensayos deben construirse una curva que muestre la relación entre la resistencia a la compresión vs. relación agua-cemento. La máxima relación agua cemento debe ser la que indica la curva para producir la resistencia requerida.

### 3.2.1.1. DISEÑO DE LA MEZCLA DE PRUEBA

El diseño de mezclas permite comprobar si la dosificación planteada logra cumplir los requerimientos de diseño, esto permite corregir (aumentando o disminuyendo) los elementos constitutivos de la mezcla antes de realizar las mezclas definitivas.

Tabla 21. Datos generales de diseño de mezcla

Datos Generales			
Descripción	valor	unidad	
Tipo de Cemento	Pacasmayo MS		
Resistencia	F'c	210	kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	cemento	3.15	kg/cm <sup>3</sup>
	Agua	1000	kg/cm <sup>3</sup>
Slump	Asentamiento	3" - 4"	pulg

Fuente: Propia

Tabla 22. Datos de agregados

Datos de Agregados			
Agregado	Fino	Grueso	Unidad
peso unitario suelto	1555.68	1439.68	kg/m <sup>3</sup>
peso unitario compactado	1760.70	1618.89	kg/m <sup>3</sup>
peso específico	2.65	2.66	kg/m <sup>3</sup>
módulo de fineza	2.70	-	-
TMN	#4	1/2"	pulg
% absorción	1.35	2.32	-
% humedad	1.14	0.65	-

Fuente: Propia

## PASOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

### 1. Resistencia requerida.

Para encontrar la resistencia requerida se debe sumar a la resistencia especificada de diseño un factor de seguridad de 85 kg/cm<sup>2</sup>, establecida de acuerdo a norma. E060 concreto armado, a partir de allí los cálculos se realizarán en base a la resistencia requerida.

Tabla 23. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos.

Resistencia especificada a la compresión (Mpa)	Resistencia promedio requerida a la compresión (Mpa)
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7.0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8.5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1.1 f'c + 5.0$

Fuente: ACI 211

$$f'c=210 + 85 =295 \text{ kg/cm}^2$$

## 2. Selección del asentamiento.

Para la elección del asentamiento de acuerdo a norma ACI 211, se selecciona el tipo de estructura sobre la cual se desea trabajar, conociendo este factor se procede a elegir el asentamiento correspondiente.

Tabla 24. Asentamiento recomendado para diversos tipos de estructuras.

Tipo de estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatasy muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	3"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: ACI 211

$$\text{Columnas} = \text{Slump} = 3'' - 4'' \text{ pulgadas}$$

## 3. Contenido de agua.

Para la elección del contenido de agua se toma en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso, en nuestro caso se trabajó con un agregado de canto rodado de ½" de TMN, y con un asentamiento de 3 – 4 pulgadas, el valor se obtuvo de la tabla 25.

Tabla 25. contenido de agua

Agua en l/m3, ara los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----

Fuente: ACI 211

**Agua = 216 lt /m3**

#### 4. Relación agua cemento.

Para encontrar el factor cemento se tomó en cuenta la tabla 26, establecida por el ACI. La relación agua cemento se calcula con la siguiente formula, en esta investigación se diseñó con los valores de concreto sin aire incorporado para una resistencia base de 210 kg/cm2.

$$R = \frac{A}{C}$$

Donde:

A: agua C: cemento

Tabla 26. Relación A/C

Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	----
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: ACI 211

Si los valores no se encuentran en la siguiente tabla entonces se debe encontrar el valor realizando una interpolación como se realizó a continuación.

**Interpolando para la resistencia requerida de  $f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$** 

280	0,57
295	X
350	0,48
X=	0,5507

$$a/c = 0.5507$$

De acuerdo a norma E060 concreto armado para una muestra de prueba se debe trabajar con tres relaciones de agua - cemento. Por lo cual se asume una relación agua cemento para una resistencia de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , lo mismo para un concreto de  $310 \text{ kg/cm}^2$ .

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

$$a/c = 0.57$$

**Interpolando para una  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$** 

280	0,57
310	X
350	0,48
X=	0,5314

$$a/c = 0.5314$$

**5. Cantidad de cemento**

Habiendo encontrado la cantidad de agua (216 lts) tal como se muestra en la tabla 25, se procede a realizar una simple operación matemática con la siguiente fórmula a fin de encontrar el peso en kg de cemento para cada relación agua material cementante.

$$C = \frac{A}{A/C}$$

Tabla 27. Cantidad de cemento para relación a/c

R= A/C	
a/c= 0.57	C= 378.95 Kg
a/c=0.55	C= 392.22 Kg
a/c=0.53	C= 406.45 Kg

## 6. Cantidad de agregado grueso.

Para encontrar el peso del agregado grueso se trabaja con la tabla 28 establecida por el ACI. Conociendo el módulo de fineza del fino (2.7) tal como se muestra en la tabla 22, el cálculo se efectúa conociendo el tamaño máximo nominal del agregado grueso, en seguida se procede tomar los valores correspondientes.

*Tabla 28. Módulo de fineza*

Tamaño máximo de agregado (mm)	Volumen de agregado grueso *varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	<b>MF=2.40</b>	<b>2.60</b>	<b>2.80</b>	<b>3.00</b>
9.5 (3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.6
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.8	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211

De esta manera si los valores no se encuentran en la tabla se debe tomar los valores más próximos e interpolar hasta encontrar el valor exacto para nuestro diseño de mezclas.

### Interpolando

2,6	0,57
2,7	X
2,8	0,55
X=	0,5600

**Peso de agregado grueso = Peso unitario compactado \* Modulo de fineza**

**Peso del agregado grueso = 906.58 kg**

## 7. Suma de materiales.

Para calcular la cantidad de materiales que se requiere para un 1m<sup>3</sup> de volumen de concreto, es necesario dividir el peso (kg) de cada material entre el peso específico de cada uno de ellos. Para el diseño de nuestras muestras de prueba se obtuvo lo siguiente volúmenes de materiales para cada relación agua cemento, con la finalidad de obtener el volumen de agregado fino que se requiere para diseñar las mezclas de prueba como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29. Suma de materiales para relación a/c

Datos	a/c=0.57		a/c=0.55		a/c=0.53	
	peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Agua	216.00	0.22	216.00	0.22	216.00	0.22
Cemento	378.95	0.12	392.22	0.12	406.45	0.13
A.g.	906.58	0.34	906.58	0.34	906.58	0.34
Total		0.68		0.68		0.69
V. de A.f		0.32		0.32		0.31

Fuente: Propia

### 8. Cantidad de agregado fino.

Para obtener el peso del agregado fino para las tres relaciones a/c, se debe multiplicar el volumen por el peso específico del agregado fino.

 Tabla 30. Cantidad de agregado fino para 1m<sup>3</sup> de concreto

Cantidad de a.f para 1m <sup>3</sup> de concreto		
Relación A/C	Peso	Unidad
a/c=0.57	855.59	kg
a/c=0.55	844.65	kg
a/c=0.53	832.87	kg

Fuente: Propia

### 9. Corrección por humedad y absorción.

Es necesario hacer una corrección a todos los materiales para garantizar que el concreto pueda alcanzar la resistencia especificada. Este ensayo se realiza un día anterior a la confección de las mezclas, se procede a mojar los áridos para asegurar una condición de humedad homogénea. El día anterior de la preparación de las muestras se mide la humedad de cada fracción de los áridos, antes de ser pesados, con el objetivo de corregir la cantidad de agua en cada mezcla, como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Corrección por humedad y absorción

Datos	Unidad	Cantidad	Humedad (%)	Corrección	Absorción (%)	Corrección	Total
<b>a/c=0.57</b>	Agregado fino	kg	855.59	1.14	9.75	1.35	853.79
	Agregado grueso	kg	906.58	0.66	5.98	2.31	891.62
	Agua	lts	216.00		-15.74		232.76
<b>a/c=0.55</b>	Agregado fino	kg	844.65	1.14	9.63	1.35	842.88
	Agregado grueso	kg	906.58	0.66	5.98	2.31	891.62
	Agua	lts	216.00		-15.61		232.73
<b>a/c= 0.53</b>	Agregado fino	kg	832.87	1.14	9.49	1.35	831.13
	Agregado grueso	kg	906.58	0.66	5.98	2.31	891.62
	Agua	lts	216.00		-15.48		232.71

Fuente: Propia

## 10. Proporciones requeridas.

Finalmente se obtuvo los resultados de la dosificación en kg para 1m<sup>3</sup> de mezcla, para cada resistencia. Con las cantidades obtenidas se realiza el diseño de mezcla para cada prueba. Según la siguiente tabla 32.

Tabla 32. Proporciones requeridas

Elemento	Peso (kg)		
	a/c= 0.57	a/c=0.55	a/c=0.53
<b>cemento</b>	379	392	406
<b>Agregado fino</b>	853.79	842.88	831.13
<b>Agregado grueso</b>	891.62	891.62	891.62
<b>Agua</b>	232.76	232.73	232.71

Fuente: Propia

## 11. Dosificaciones para tres relaciones agua cemento a/c.

El volumen de amasado se determinó considerando 3 probetas por dosificación, más el volumen del cono de abrams para la prueba de asentamiento y considerando un 30% de desperdicio, de esta manera se trata de un volumen pequeño. La dosificación calculada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33. Dosificaciones para tres relaciones a/c

Elemento	Peso (kg)		
	a/c=0.57	a/c=0.55	a/c=0.53
cemento	12.80	13.25	13.73
Agregado fino	29.23	28.84	28.43
Agregado grueso	30.82	30.82	30.82
Agua	7.87	7.87	7.87

Fuente: Propia

Tabla 34. Cálculo de dosificación para  $a/c=0.57$ 

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DISEÑO 1																	
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																	
f'c=		280		Propiedades físicas del agregado y cemento							Formulación del diseño						
ITEM	Material		Procedencia	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación n real (kg)
													Humedad		Absorción		
													%	kg	%	kg	
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							378.95	0.120					378.95
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		-15.70		32.45	232.75
3	Arena gruesa	100%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.14	5.40	852.222	0.322	1.14	9.72	1.35	-11.51	850.433
4	Agregado grueso TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	-20.94	891.620
5	% Aire atrapado	1.50%										0.015					
										Peso total=	<b>2353.75</b>	1.00					<b>2353.75</b>

Fuente: Propia

Tabla 35. Cálculo de dosificación para  $a/c=0.55$ 

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DISEÑO 2																	
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																	
f'c=		295	Propiedades físicas del agregado y cemento							Formulación del diseño							
ITEM	Material		Procedencia	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación real (kg)
													Humedad		Absorción		
													%	kg	%	kg	
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							392.00	0.124					392.00
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		-15.57		32.30	232.73
3	Arena gruesa	100%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.14	5.40	841.244	0.317	1.14	9.59	1.35	-11.36	839.477
4	Agregado grueso TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	-20.94	891.620
5	% Aire atrapado	1.50%										0.015					
										Peso total=	<b>2355.82</b>	1.00					<b>2355.82</b>

Fuente: Propia

Tabla 36. Cálculo de dosificación para  $a/c=0.53$ 

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DISEÑO 3																		
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																		
f'c=		310	Procedencia	Propiedades físicas del agregado y cemento						Formulación del diseño								
ITEM	Material			Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación real (kg)	
													Humedad		Absorción			
													%	kg	%	kg		
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							406.45	0.129					406.45	
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		-		32.13	232.70	
3	Arena gruesa	100%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.14	5.40	829.087	0.313	1.14	9.45	1.35	11.19	827.346	
4	Agregado grueso TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	20.94	891.620	
5	% Aire atrapado	1.50%										0.015						
											Peso total=	<b>2358.12</b>	1.00					<b>2358.12</b>

Fuente: Propia

### 3.2.1.2. DISEÑO DE MEZCLAS ACI 211 PARA LA DOSIFICACIÓN FINAL

Luego de obtener los resultados de los ensayos a 07 días de resistencia a la compresión para las tres relaciones de agua cemento, para los tres diseños de mezclas de prueba, se optó por trabajar con una relación agua cemento de 0.55 para una resistencia base de 210 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia requerida de 295 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Datos generales

Como los agregados son de la misma cantera no es necesario realizar todos los ensayos a los agregados, solo es necesario recalcular los porcentajes de absorción y humedad para los áridos, con las correcciones realizadas se procede a medir las cantidades de materiales para confeccionar las mezclas.

El agregado fino proviene de la cantera "El Milagro" – Trujillo.

El agregado grueso (canto rodado) proviene de la cantera "El Milagro" – Trujillo.

Tabla 37. Datos generales para dosificación final

DATOS GENERALES			
Descripción		valor	unidad
tipo de Cemento	Pacasmayo MS		
Resistencia	f'c	210	kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	De cemento	3,15	kg/cm <sup>3</sup>
	De agua	1000	kg/cm <sup>3</sup>
Slump	Asentamiento	3" - 4"	pulg

Fuente: Propia

Tabla 38. Datos de los agregados para dosificación final

DATOS DE AGREGADOS			
Agregado	Fino	Grueso	Unidad
Peso unitario suelto	1555,68	1439,68	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1760,70	1618,89	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	2,65	2,66	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de fineza	2,70	-	-
TMN	#4	1/2"	pulg
% absorción	1,35	2,32	-
% humedad	1,15	0,65	-

Fuente: Propia

### Corrección por humedad y absorción.

Tabla 39. Corrección por humedad y absorción de dosificación final

Datos		Unidad	Cantidad	Humedad (%)	Corrección	Absorción (%)	Corrección	Total
<b>a/c=0.55</b>	Agregado fino	kg	844.47	1.15	9.71	1.35	-11.40	842.78
	Agregado grueso	kg	906.58	0.66	5.98	2.31	-20.94	891.62
	Agua	lts	216.00		-15.69		32.34	232.65

Fuente: Propia

### Proporciones requeridas para 1m<sup>3</sup> corregidas por absorción y humedad.

Cuando se realizó la corrección por humedad y absorción se modificó la cantidad de agua, ya que el porcentaje de humedad aumento el día en que preparo las muestras.

Tabla 40. Dosificación para 1m<sup>3</sup> de concreto - a/c=0.55

Elemento	Peso (kg) F'c =210
Cemento (Kg)	392.22
Agregado fino (Kg)	842.78
Agregado grueso (Kg)	891.6
Agua (Lts)	232.65

Fuente: Propia

$$\text{Factor cemento} = 392.22 / 42.5 = 9.23 \text{ bls}$$

Tabla 41. Proporcionamiento de diseño final a/c=0.55

Proporcionamiento del diseño final a/c=0.55			
Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
1	2.15	2.27	25.21

Fuente: Propia

- **Volumen requerido para la dosificación**

El volumen de material requerido para cada diseño, se determinó considerando 09 probetas cilíndricas de 10cm de radio por 20cm de altura, más el volumen de 03 cono de abrams para medir el slump (asentamiento), también considerando 02 probetas rectangulares de 6" X 6" X 21 para someterlos a ensayos de flexión y el volumen de la olla washington para calcular el peso unitario., adicionado un 30% de desperdicio. El resultado en volumen es de 0.0812 m<sup>3</sup>. El cálculo del volumen se muestra en el Anexo N° 08

En la tabla 42, se muestra la cantidad de materiales para cada diseño, (Volumen total =  $0.0812 \text{ m}^3$ ) considerando que una parte de agregado fino es reemplazada por vidrio molido reciclado.

Tabla 42. Cantidad de materiales a utilizar

Elemento	$f'c=295$		$a/c = 0,55$	
	Peso (kg)			
	Patrón – 0% V.M	1% VM	3% VM	5% VM
cimento	31.84	31.84	31.84	31.84
Agregado fino	68.42	67.74	66.37	65.00
Vidrio molido		0.68	2.05	3.42
Agregado grueso	72.38	72.38	72.38	72.38
Agua	18.89	18.89	18.89	18.89

Fuente: Propia

### 3.2.1.3. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

#### A. Aparatos

- **Recipientes:** Se utilizaron recipientes de variados volúmenes para medir masa, secar y transportar áridos, entre otros usos.
- **Balanza:** se utiliza una balanza electrónica, de precisión superior al 0,1%.
- **Mezcladora:** se utilizó una mezcladora tipo trompo, con capacidad de carga de 120lt aprox.
- **Pala:** se utiliza una pala metálica de tamaño estándar.
- **Moldes:** se usaron moldes cúbicos metálicos, de dimensiones 10 cm x 20cm.

#### B. Materiales

- **Cemento:** se utilizó cemento Pacasmayo MS.
- **Áridos:** de canto rodado, Provenientes de cantera "El Milagro"
- **Vidrio:** proveniente de botellas, triturado, debidamente limpio y seco.

### 3.2.1.4. PROCESO DE MEZCLADO

El proceso de mezclado es el siguiente:

- Se debe pesar todos los materiales (agregado grueso, agregado fino, cemento, agua, vidrio molido) por separado tal como se muestra en la

tabla 42.

- Se vierte un 75% de la cantidad de agua necesaria.
- Se agregan los áridos y el cemento, en la mezcladora que incluya vidrio, es agregado en esta fase.
- Se agrega el resto de agua, y se mezcla hasta tener una masa homogénea.
- Revolver los agregados y todos los materiales hasta lograr que todos los materiales se adhieran entre si. Por 3 minutos.
- Descargar en carretillas, previamente humedecidas para evitar que estas consuman el agua de la mezcla.
- Amasar durante 1 minuto más en la carretilla para asegurarse que el vidrio molido se haya mezclado uniformemente.
- Medir el asentamiento de la mezcla a través del cono de abrams.
- Determinar el peso unitario del concreto fresco.
- Poner la tanda de concreto en las probetas (cilíndricas y rectangulares) para los ensayos correspondientes.

### **3.2.1.5. PREPARACIÓN DE MOLDES**

- Los moldes se limpian de tal forma que se elimine cualquier agente contaminante.
- Se lubrica el interior de cada molde (molde cilíndrico y molde rectangular) con aceite mineral para prevenir la adherencia con la mezcla.
- Para probetas cilíndricas el material se añade en dos capas (Según la Norma NTP 339.138) para un molde de diámetro de 10 cm, luego de depositar una capa esta será apisonada con una varilla graduada de 60 cm de largo de 5/8" de diámetro, distribuyendo los golpes en toda la sección del molde 25 golpes por capa, al terminar el apisonado se golpeó con un mazo de goma dando 12 golpes. Al terminar se procede a engrazar.
- Para probetas rectangulares al igual que en el caso anterior, la mezcla fue adicionada a los moldes previamente engrasadas, en tres capas, la cual se realizará chuzadas con una varilla de 60cm de largo por 5/8" de diámetro, distribuyendo 55 golpes por cada capa terminando el apisonado se procedió al alisado superficial.

### 3.2.2. RESULTADOS PARA LA ELECCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS PATRÓN

#### 3.2.2.1. EN ESTADO ENDURECIDO

Luego de la elaboración de las probetas cilíndricas se procede a realizar los ensayos a compresión en 7 días de curado en las pozas tal como indica la NTP 339.034 así como también la norma ASTM C39.

En la norma técnica peruana se indica que al cabo de 7 días de curado la resistencia debe ser superior o igual a 65% tal como se muestra en la Figura 31.

Tabla 43. Resultados de ensayos de prueba

Resultado de Ensayo de prueba													
Nombre de probeta	Fecha de elaboración	Número de días	D	H	Ac	V	M	D	Carga	Resistencia	Promedio	Porcentaje	
			cm	Cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	gr	gr/cm <sup>3</sup>	Kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	% Promedio
D1 - 280 MS	29/08/2019	7	10	20	785.4	1570	3780	2.4	14294	182	184	65.00	65.71
			10	20	785.4	1570	3780	2.4	14608	186		66.43	
			10	20	785.4	1570	3780	2.4	14451	184		65.71	
D2 - 295 MS	29/08/2019	7	10	20	785.4	1570	3780	2.4	15001	191	194	68.21	69.17
			10	20	785.4	1570	3780	2.4	15394	196		70.00	
			10	20	785.4	1570	3780	2.4	15237	194		69.29	
D3 - 310 MS	29/08/2019	7	10	20	785.4	1570	3780	2.4	16572	211	208	75.36	74.17
			10	20	785.4	1570	3780	2.4	16101	205		73.21	
			10	20	785.4	1570	3780	2.4	16258	207		73.93	

Fuente: Propia

Tabla 44. Resultados de 07 días

Resultados de 07 días			
Diseño	f'c	A/C	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
D1	280	0.57	184
D2	295	0.55	194
D3	310	0.53	208

Fuente: Propia

En la figura 31 se muestra la ecuación que se usara para calcular la relación agua-cemento que se usara en los ensayos. Desarrollando se tiene que para una  $f'_{cr}=295 \text{ kg/cm}^2$  al 65% equivalente a  $191.75 \text{ kg/cm}^2$ . se obtiene un valor de relación a/c de 0.5538. Siendo este valor de la relación A/C con el que se desarrollara los ensayos correspondientes.

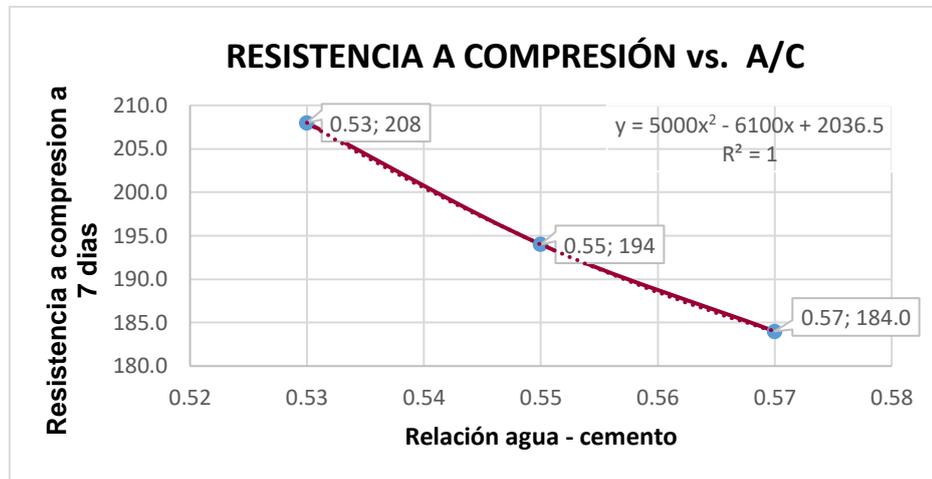


Figura 31. Curva de resistencia a compresión vs. A/C

Fuente: Propia

En la figura 32, muestra los resultados de los tres ensayos de prueba con tres relaciones de agua cemento ensayados a 07 días, se puede apreciar la variación de la resistencia de acuerdo a la relación agua cemento se puede verificar que con una relación agua cemento de 0.55 se logra alcanzar una resistencia de 191.75 lo que representa un 65% de la resistencia requerida. Valor que se tomó para realizar el diseño de mezcla final.

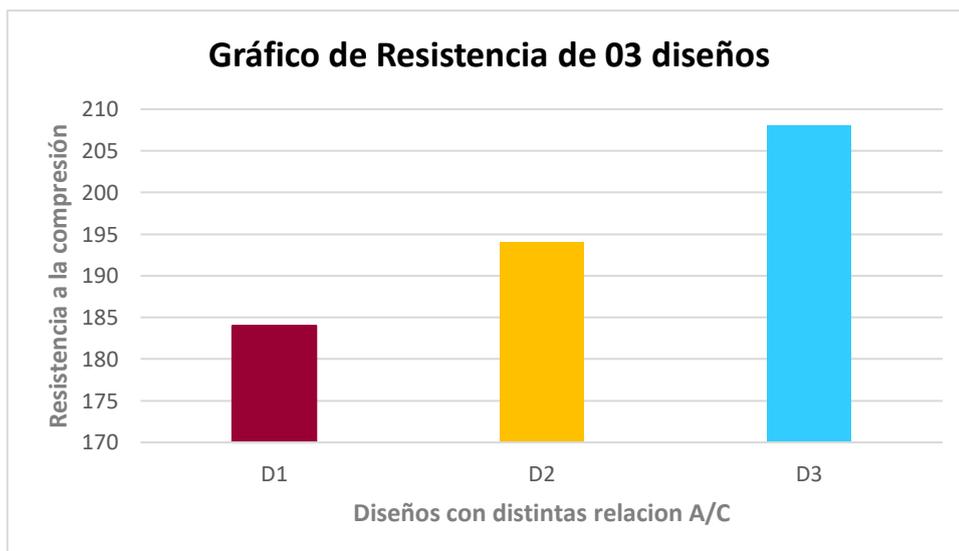


Figura 32. Grafica de barras de 03 diseños

Fuente: Propia



### **3.2.2.1.1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS PARA ENSAYOS**

Se tiene elegido la relación agua-cemento ( $A/C= 0.55$ ) se procede a realizar la dosificación con el reemplazo de vidrio molido por un porcentaje de agregado fino.

Tal como se muestra en las tablas N° 46, N° 47, N° 48 y N° 49.

Tabla 45. Cálculo de dosificación de muestra patrón - 0% V.M

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DE MUESTRA PATRÓN																		
PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																		
f'c=		295		Propiedades físicas del agregado y cemento							Formulación del diseño							
ITEM	Material		Procedencia	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación real (kg)	
													Humedad		Absorción			
													%	kg	%	kg		
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							392.00	0.124					392.00	
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		- 15.57		32.30	232.73	
3	Arena gruesa	100%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.15	5.40	841.244	0.317	1.14	9.59	1.35	- 11.36	839.477	
4	Piedra chancada TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	- 20.94	891.620	
5	% Aire atrapado	2.00%										0.020						
											Peso total=	<b>2355.82</b>	1.02					<b>2355.82</b>

Fuente: Propia

Tabla 46. Cálculo de dosificación de muestra con 1% V.M

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DE MUESTRA CON 1% DE VIDRIO MOLIDO																	
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																	
f'c=		295		Propiedades físicas del agregado y cemento							Formulación del diseño						
ITEM	Material		Procedencia	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación real (kg)
													Humedad		Absorción		
													%	kg	%	kg	
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							392.00	0.124					392.00
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		- 15.57		32.30	232.73
3	Arena gruesa	99%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.15	5.40	841.244	0.317	1.14	9.59	1.35	- 11.36	831.082
4	Piedra chancada TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	- 20.94	891.620
5	% Aire atrapado	2.00%										0.020					
6	vidrio molido	1.00%	reciclaje														8.39
Peso total=											<b>2355.82</b>	1.02					<b>2355.82</b>

Fuente: Propia

Tabla 47. Cálculo de dosificación de muestra con 3% V.M

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DE MUESTRA CON 3% DE VIDRIO MOLIDO																		
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																		
f'c=		295		Propiedades físicas del agregado y cemento							Formulación del diseño							
ITEM	Material		Procedencia	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación real (kg)	
													Humedad		Absorción			
													%	kg	%	kg		
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							392.00	0.124					392.00	
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		- 15.57		32.30	232.73	
3	Arena gruesa	97%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.15	5.40	841.244	0.317	1.14	9.59	1.35	- 11.36	814.293	
4	Piedra chancada TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	- 20.94	891.620	
5	% Aire atrapado	2.00%										0.020						
6	vidrio molido	3.00%	reciclaje														25.18	
Peso total=											<b>2355.82</b>	1.02						<b>2355.82</b>

Fuente: Propia

Tabla 48. Cálculo de dosificación de muestra con 5% V.M

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DE MUESTRA CON 5% DE VIDRIO MOLIDO																		
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																		
f'c=		295		Propiedades físicas del agregado y cemento							Formulación del diseño							
ITEM	Material		Procedencia	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	corrección por humedad y absorción				Dosificación real (kg)	
													Humedad		Absorción			
													%	kg	%	kg		
1	Cemento tipo MS		Pacasmayo	3150.00							392.00	0.124					392.00	
2	Agua		laboratorio	1000.00							216.00	0.216		- 15.57		32.30	232.73	
3	Arena gruesa	95%	Cantera El Milagro	2650.00	1.35	2.70	1555.68	1760.70	1.15	5.40	841.244	0.317	1.14	9.59	1.35	- 11.36	797.503	
4	Piedra chancada TMN 1/2"	100%	Cantera El Milagro	2660.00	2.31	6.73	1439.68	1618.89	0.66	1.64	906.58	0.341	0.66	5.98	2.31	- 20.94	891.620	
5	% Aire atrapado	2.00%										0.020						
6	vidrio molido	5.00%	reciclaje														41.97	
Peso total=											<b>2355.82</b>	1.02						<b>2355.82</b>

Fuente: Propia

### **3.2.2.2. RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

#### **3.2.2.2.1. TRABAJABILIDAD (SLUMP)**

Este ensayo se le hace al concreto fresco para determinar, su consistencia o fluidez. Las muestras a las que se aplica este procedimiento deberán estar dentro de 3" a 4" de asentamiento.

Según la norma NTP 339.035 y ASTM C 143 Este método de ensayo fue originalmente desarrollado para proporcionar una técnica para monitorear la consistencia de un concreto no endurecido. Bajo condiciones de laboratorio, con estricto control de todos los materiales del concreto, el revenimiento es generalmente encontrado para incrementar proporcionalmente con el contenido de agua de una mezcla de concreto dada, y por lo tanto ser inversamente vinculado con la resistencia del concreto. Bajo condiciones de campo, sin embargo, como una relación de resistencia no está clara y consistentemente demostrado.

El espécimen de ensayo será formado en un molde metálico que no sea susceptible al ataque de la pasta de cemento. La lámina metálica no será menor que el calibre No. 16 (BWG) y la unión estará formada por un proceso de doblado, este no tendrá puntos en el molde, en el cual su espesor es menor que 0.045 pulg. (1.14 mm). El molde tendrá la forma en la superficie lateral de un cono truncado con una base de 8 pulg. (203 mm) de diámetro, en la parte superior 4 pulg. (102 mm) de diámetro y una altura de 12 pulg. (305 mm). Los diámetros individuales y la altura tendrán una tolerancia de 1/8 pulg. (3.2 mm) en las dimensiones prescritas. La base y la parte superior serán abiertas y paralelas uno respecto a la otra y en ángulo recto con el eje del cono. El molde estará provisto con piezas para el pie y agarraderos. El molde puede ser construido con o sin costura. Cuando se requiera costura. El interior del molde será relativamente liso y libre de proyecciones tales como remaches salientes. El molde estará libre de abolladuras. Un molde que tiene una sujeción firme a una base no absorbente es aceptable en lugar del ilustrado, provisto de sujetadores convenientemente dispuestos para que pueda quitarse completamente sin mover el molde. El apisonador será una varilla de acero recta y lisa de 5/8 pulg. (16 mm) de diámetro y aproximadamente 24 pulg. (600 mm) de longitud, teniendo un extremo redondeado de tipo semiesférico con diámetro de 5/8 pulg.

Tabla 49. Trabajabilidad de 4 diseños

Slump (Trabajabilidad)			
Datos	Inicial	30 min	60 min
Patrón	4"	3 1/2"	2"
1% V.M	4 "	3 1/2"	2"
3% V.M	4 1/4 "	3"	2"
5% V.M	4 1/2"	3 1/2"	2"

Fuente: Propia



Figura 33. Medición de slump

Fuente: Propia

### 3.2.2.2. PESO UNITARIO

Según esta la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.046 establece un método de ensayo para determinar la densidad del concreto fresco y da las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen de (concreto) producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales componentes.

Seleccionar el método de consolidación del concreto en ensayo, en función del asentamiento del mismo, a menos que el método esté definido en las especificaciones del trabajo que se está realizando. Los métodos de consolidación son apisonado y vibración interior. Para concretos con un asentamiento mayor que 75 mm se debe aplicar el método de apisonado. Para concretos con asentamiento entre 25 mm a 75 mm se aplica apisonado o vibrado. Hormigones (concretos) con asentamiento menor de 25 mm se debe aplicar el método de consolidación por vibración.

Se utiliza la siguiente formula:

$$\text{peso unitario del concreto} = \frac{\text{Peso total} - \text{peso de molde}}{\text{volumen del molde}}$$

Tabla 50. Peso unitario de 04 diseños

Datos	Peso Unitario				
	Unidad	Patrón	1% V.M	3% V.M	5% V.M
peso de concreto + molde	Kg	20.1	19.98	20.03	20.15
peso de molde	Kg	3.392	3.392	3.392	3.392
volumen del molde	m <sup>3</sup>	0.00704	0.00704	0.00704	0.00704
Peso unitario del concreto	kg/m <sup>3</sup>	2373.30	2356.25	2363.35	2380.40

Fuente: Propia



Figura 34. Peso unitario

Fuente: Propia

### 3.2.2.3. CONTENIDO DE AIRE

Según la norma técnica peruana 339.083 este ensayo es aplicado para la determinación del contenido de aire en mezcla de concreto fresco. El ensayo determina el contenido de aire de la mezcla fresca, excluyendo el aire contenido dentro de los poros del agregado. Por esta razón es aplicable al concreto elaborado con agregados relativamente densos y requiere la determinación del factor de corrección del agregado.

La norma ASTM C231 el significado del uso de este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire en una mezcla de concreto fresco. Este ensayo determina el contenido de aire de una mezcla de concreto fresco excluyendo cualquier aire que pueda estar dentro de los vacíos de las partículas de agregado. Por esta razón, es aplicable a concreto hecho con partículas de agregado relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección de agregados.

Se utiliza la siguiente formula:

$$A1 = h1 - h2$$

Donde:

A1 = Contenido aparente de aire

h1 = Lectura del nivel de agua a la presión

h2 = Lectura del nivel de agua a presión cero, después de liberar la presión.



*Figura 35. Contenido de aire*

*Fuente: Propia*

Tabla 51. Contenido de aire de 04 diseños

Dato	Patrón	1% V.M	3% V.M	5% V.M
Contenido de aire	1.5	1.5	2.0	2.0

Fuente: Propia

### 3.3. VALIDACIÓN DE DATOS SEGÚN ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A continuación, se presenta los resultados de los ensayos en estado endurecido de la resistencia a la compresión y resistencia a flexión.

DISEÑO 0% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a compresión
1	7	160
2		168
3		175
4	14	245
5		238
6		265
7	28	304
8		300
9		297

DISEÑO 1% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a compresión
1	7	147
2		181
3		188
4	14	238
5		231
6		295
7	28	301
8		303
9		298

DISEÑO 3% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a compresión
1	7	166
2		164
3		184
4	14	247
5		285
6		261
7	28	321
8		298
9		344

DISEÑO 5% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a compresión
1	7	177
2		156
3		201
4	14	281
5		268
6		252
7	28	333
8		339
9		335

DISEÑO 0% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a flexión
1	28	37.00
2		42.90

DISEÑO 1% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a flexión
1	28	43.00
2		42.70

DISEÑO 3% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a flexión
1	28	45.10
2		46.10

DISEÑO 5% V.M		
N° de probetas	días	Resistencia a flexión
1	28	44.50
2		43.30

## Análisis estadísticos de la Resistencia a la Compresión a los 7 días

### Hipótesis nula (H0):

No existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a compresión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 07 días de curado.

### Hipótesis alterna (H1):

Existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a compresión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 07 días de curado.

### Análisis de varianza de un factor

#### Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	503	167.67	56.33
Columna 2	3	516	172.00	481.00
Columna 3	3	514	171.33	121.33
Columna 4	3	534	178.00	507.00

### Análisis de varianza – tabla ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	164.92	3	54.97	0.19	<b>0.90</b>	4.07
Dentro de los grupos	2331.33	8	291.42			
Total	2496.25	11				

Según el método estadístico Anova, indica que la hipótesis nula planteada a 7 días es viable debido a que la probabilidad del análisis de varianza es mayor que (0.05), por tanto, se opta rechazar la hipótesis alterna.

## Análisis estadísticos de la Resistencia a la Compresión a los 14 días

### Hipótesis nula (H0):

No existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a compresión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 14 días de curado.

### Hipótesis alterna (H1):

Existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a compresión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 14 días de curado.

*Análisis de varianza de un factor*

### Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	748.00	249.33	196.33
Columna 2	3	764.00	254.67	1232.33
Columna 3	3	793.00	264.33	369.33
Columna 4	3	801.00	267.00	211.00

Análisis de varianza – tabla ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	613.67	3	204.56	0.41	0.75	4.07
Dentro de los grupos	4018.00	8	502.25			
Total	4631.67	11				

Según el método estadístico Anova, indica que la hipótesis nula planteada a 14 días es viable debido a que la probabilidad del análisis de varianza es mayor que (0.05), por tanto se opta rechazar la hipótesis alterna.

## Análisis estadísticos de la Resistencia a la Compresión a los 28 días

### Hipótesis nula (H0):

No existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a compresión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 28 días de curado.

### Hipótesis alterna (H1):

Existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a compresión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 28 días de curado.

Análisis de varianza de un factor

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	901	300.33	12.33
Columna 2	3	902	300.67	6.33
Columna 3	3	963	321	529
Columna 4	3	1007	335.67	9.33

Análisis de varianza – tabla ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2646.92	3	882.31	6.34	0.02	4.07
Dentro de los grupos	1114.00	8	139.25			
Total	3760.92	11				

Según el método estadístico Anova, indica que la hipótesis nula planteada a 28 días no es viable debido a que la probabilidad del análisis de varianza es menor que (0.05), por tanto, se opta a elegir la hipótesis alterna.

## Análisis estadísticos de la Resistencia a la flexión a los 28 días

### Hipótesis nula (H0):

No existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a flexión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 28 días de curado.

### Hipótesis alterna (H1):

Existe diferencia significativa entre los valores de resistencia a flexión del grupo de probetas patrón con 0% de vidrio molido y el grupo de probetas con 1%, 3% y 5% de vidrio molido con 28 días de curado.

*Análisis de varianza de un factor*

*Resumen*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	2	79.90	39.95	17.41
Columna 2	2	85.70	42.85	0.04
Columna 3	2	91.20	45.60	0.50
Columna 4	2	88.80	44.40	2.42

Análisis de varianza – tabla ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	35.77	3	11.92	2.34	0.21	6.59
Dentro de los grupos	20.37	4	5.09			
Total	56.14	7				

Según el método estadístico nova, indica que la hipótesis nula planteada a 28 días es viable debido a que la probabilidad del análisis de varianza es mayor que (0.05), por tanto, se opta a rechazar la hipótesis alterna.

Nota: El valor crítico de F está en la tabla "Valores críticos de la distribución F(0,05) "

### 3.4. RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

#### 3.4.1. ENSAYO A COMPRESIÓN

El concreto hoy cumple un papel importante en la estructura de casi todas las obras. Justamente, porque una de sus principales propiedades es su alta capacidad para soportar diversas cargas de compresión. La norma ASTM C039. Indica que este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene una densidad mayor que 800 kg/m<sup>3</sup> [50 lb/ft<sup>3</sup>].

Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados como los estándares. Las unidades pulgada-libra se muestran entre corchetes. Los valores indicados en cada sistema no son exactamente equivalentes; por eso, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con esta especificación.

Esta norma no pretende tener en cuenta todo lo relativo a seguridad. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias previo al uso. (Peligro—Deben ser provistos los medios para contener los fragmentos de concreto durante la rotura repentina de especímenes. El método de ensayo según la NTP 339.034 Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos o corazones en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

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

Donde:

R<sub>c</sub> = Es la resistencia de rotura a la compresión, en kilogramos por centímetro cuadrado.

G = La carga máxima de rotura en kilogramos.

D = Es el diámetro de la probeta cilíndrica, en centímetros.

Tal como se puede apreciar en la Figura 36, la probeta está sometiendo a la prensa hidráulica para calcular su resistencia a la compresión.



Figura 36. Ensayo a compresión

Fuente: Propia

### 3.4.1.1. RESULTADOS DE ENSAYOS 7, 14 Y 28 DÍAS.

Tabla 52. Resultado de ensayo a compresión de diseño patrón 0% a 7, 14 y 28 días

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	D	H	Ac	V	M	D	Asentamiento	Temperatura	Temperatura del ambiente	Carga aplicada	Resistencia	Promedio	% Promedio de Resistencia requerida	
				cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	gr	g/cm <sup>3</sup>								pulg
Ensayo Patrón - 0% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	10	20	785	1570	3780	2.4	4	22.10	18.50	12566	160	168	80	
				10	20	785	1570	3780	2.4				13195	168			
				10	20	785	1570	3780	2.4				13744	175			
		14	24/09/2019	10	20	785	1570	3780	2.4				19242	245	249		119
				10	20	785	1570	3785	2.4				18692	238			
				10	20	785	1570	3780	2.4				20813	265			
	28	08/09/2019	10	20	785	1570	3783	2.4	23876				304	300	143		
			10	20	785	1570	3780	2.4	23562				300				
			10	20	785	1570	3778	2.4	23326				297				

Fuente: Propia

En la figura 37, se puede observar claramente que a los 28 días de curado el concreto logra alcanzar la máxima resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , para el diseño sin incorporación de vidrio molido en la mezcla. Este gráfico servirá de patrón para comparar con los otros diseños.

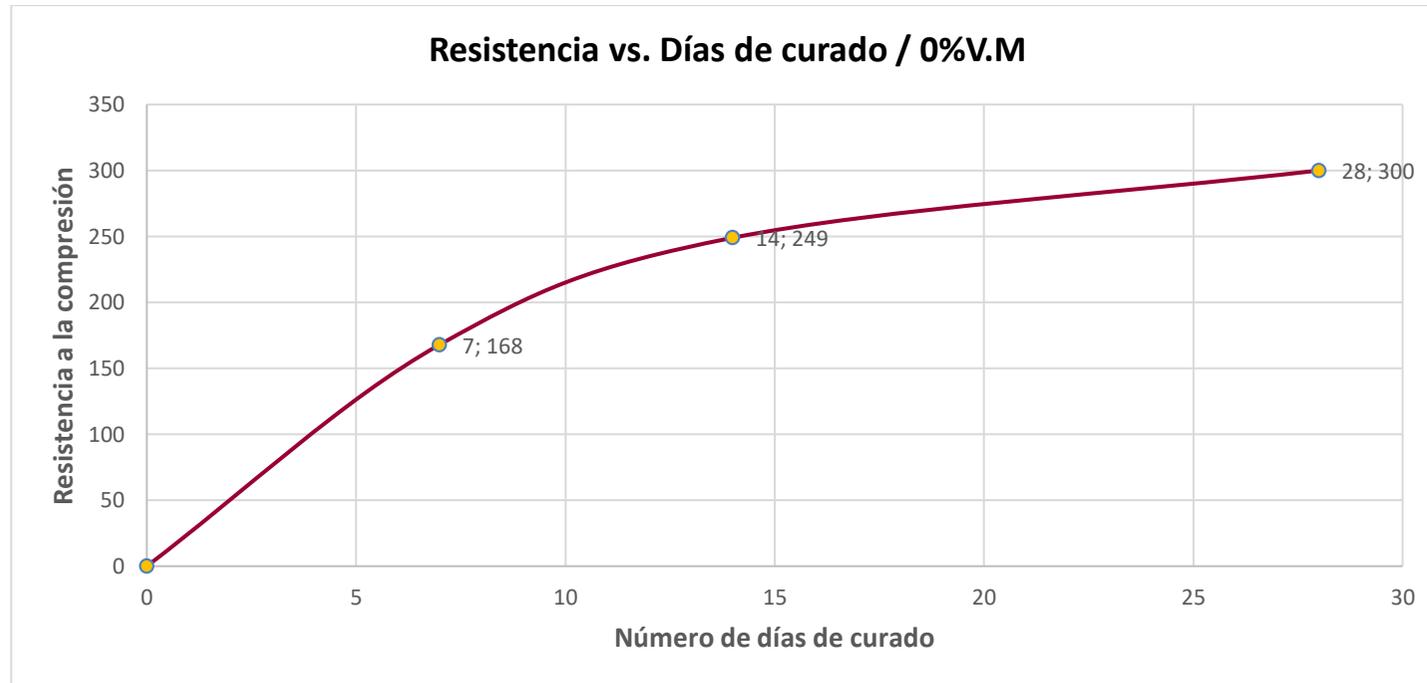


Figura 37. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño patrón 0% V.M

Fuente: Propia

Tabla 53. Resultado de ensayo a compresión de diseño 1% a 7, 14 y 28 días

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	D	H	Ac	V	M	D	Asentamiento	Temperatura	Temperatura del ambiente	Carga aplicada	Resistencia	Promedio	% promedio de Resistencia requerida
				cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	gr	g/cm <sup>3</sup>							
Ensayo 1% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	10	20	785	1570	3780	2.4	4	23.00	18.5	11600	147	172	82
				10	20	785	1570	3783	2.4				14252	181		
				10	20	785	1570	3778	2.4				14826	188		
		14	24/09/2019	10	20	785	1570	3780	2.4				18750	238	255	121
				10	20	785	1570	3780	2.4				18200	231		
				10	20	785	1570	3785	2.4				23193	295		
		28	08/09/2019	10	20	785	1570	3780	2.4				23648	301	301	143
				10	20	785	1570	3782	2.4				23849	303		
				10	20	785	1570	3780	2.4				23423	298		

Fuente: Propia

En la figura 38, se puede apreciar la variación de la resistencia de acuerdo a los días de curado, teniendo en cuenta que para este diseño incorporo 1% de vidrio molido reciclado a la mezcla, en este gráfico se observa que a medida que aumenta los días de curado aumenta su resistencia del concreto

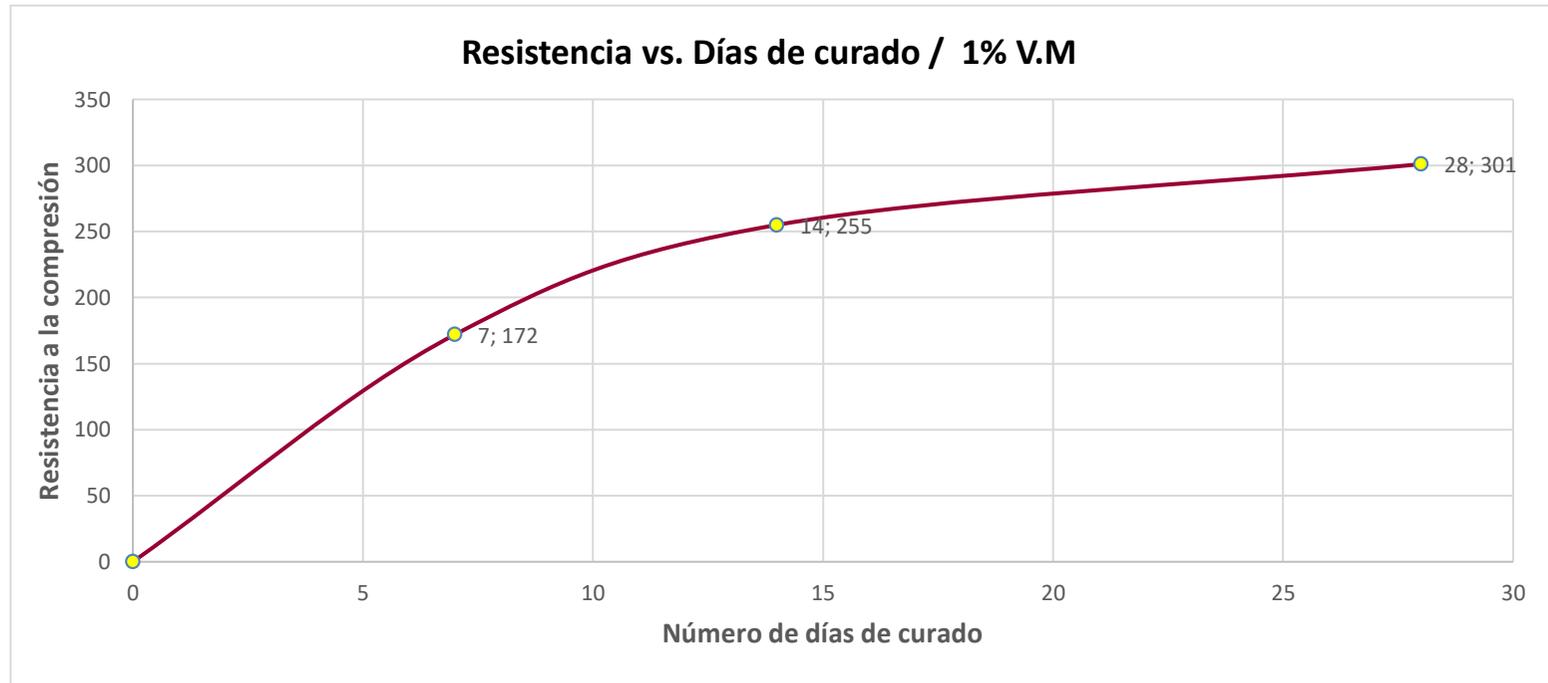


Figura 38. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño 1% V.M

Fuente: Propia

Tabla 54. Resultado de ensayo a compresión de diseño 3% a 7, 14 y 28 días

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	D	H	Ac	V	M	D	Asentamiento	Temperatura	Temperatura del ambiente	Carga aplicada	Resistencia	Promedio	% Promedio de Resistencia requerida														
				cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	gr	g/cm <sup>3</sup>								pulg	°C	°C	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>									
Ensayo 3% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	10	20	785	1570	3778	2.4	4 1/4"	21.00	18.5	13061	166	171	82														
				10	20	785	1570	3775	2.4																					
				10	20	785	1570	3780	2.4																					
		14	24/09/2019	10	20	785	1570	3785	2.4								4 1/4"	21.00	18.5	19416	247	264	126							
				10	20	785	1570	3775	2.4																					
				10	20	785	1570	3780	2.4																					
		28	08/09/2019	10	20	785	1570	3770	2.4															4 1/4"	21.00	18.5	25221	321	321	153
				10	20	785	1570	3780	2.4																					
				10	20	785	1570	3780	2.4																					

Fuente: Propia

En la figura 39, se muestra la variación de la resistencia del concreto vs los días de curado, incorporando un 3% de vidrio molido reciclado, se observa claramente que el vidrio molido si influye en los resultados, a medida que aumenta los días de curado aumenta también la resistencia a la compresión del concreto.

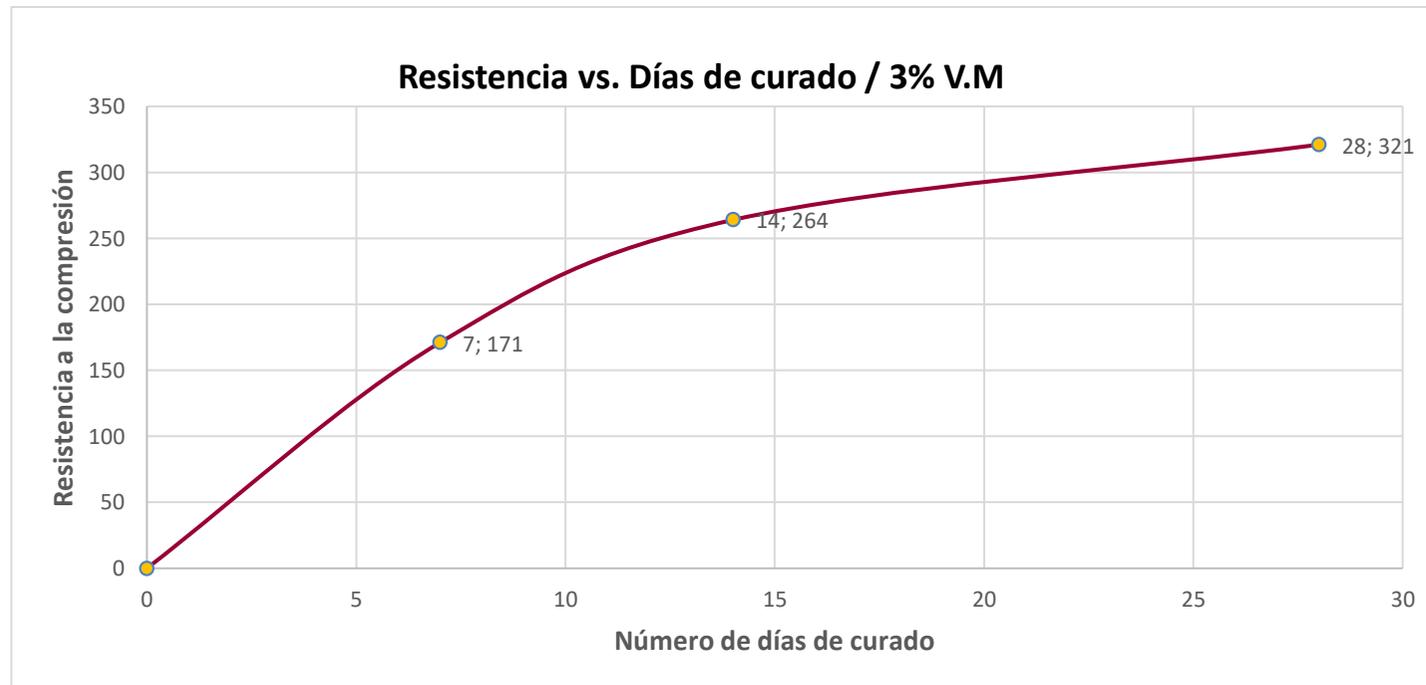


Figura 39. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño 3% V.M

Fuente: Propia

Tabla 55. Resultado de ensayo a compresión de diseño 5% a 7, 14 y 28 días

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	D	H	Ac	V	M	D	Asentamiento	Temperatura	Temperatura del ambiente	Carga aplicada	Resistencia	Promedio	% Promedio de Resistencia requerid										
				cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	gr	g/cm <sup>3</sup>								pulg	°C	°C	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>					
Ensayo 5% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	10	20	785	1570	3770	2.4	4 1/2"	22.10	18.5	13961	177	178	85										
				10	20	785	1570	3775	2.4																	
				10	20	785	1570	3778	2.4																	
		14	24/09/2019	10	20	785	1570	3779	2.4						4 1/2"	22.10	18.5	22138	281	267	127					
				10	20	785	1570	3780	2.4																	
				10	20	785	1570	3780	2.4																	
		28	08/09/2019	10	20	785	1570	3785	2.4											4 1/2"	22.10	18.5	26212	333	336	160
				10	20	785	1570	3780	2.4																	
				10	20	785	1570	3780	2.4																	

Fuente: Propia

En la figura 40, se muestra que con un 5% de vidrio molido reciclado incorporado al diseño de mezcla, influye directamente en la resistencia del concreto, a medida que aumentan los días de curado aumentan también esta propiedad del concreto.

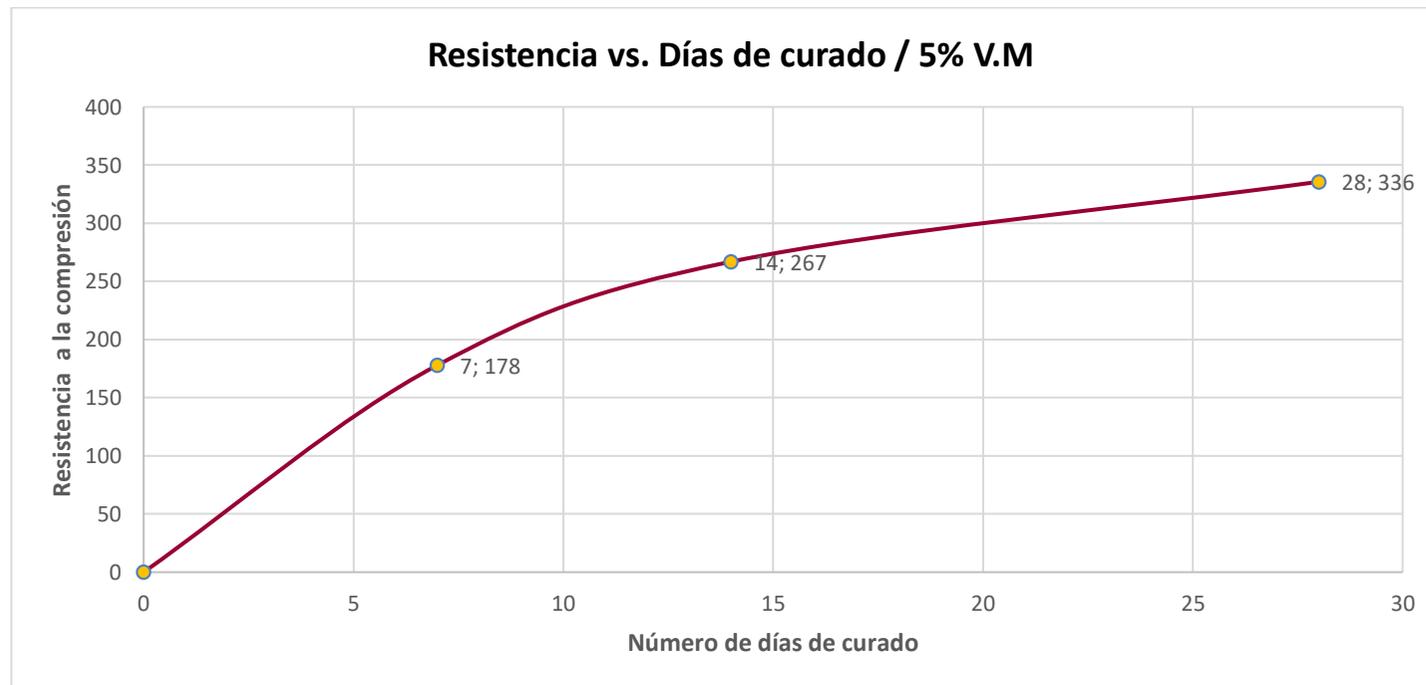


Figura 40. Curva de Resistencia vs. Días de curado de diseño 5% V.M

Fuente: Propia

En la figura 40, se muestra un resumen de los 04 diseños ensayados a 07, 14,28 días, de los cuales podemos observar que a mayor porcentaje de vidrio molido incrementa su resistencia a la compresión, con respecto a los 07 días de curado podemos afirmar que con un 5% de vidrio alcanzó una resistencia de 178 kg/cm<sup>2</sup>, y así sucesivamente podemos afirmar para 14 días y 28 días respectivamente también incrementa esta propiedad del concreto.

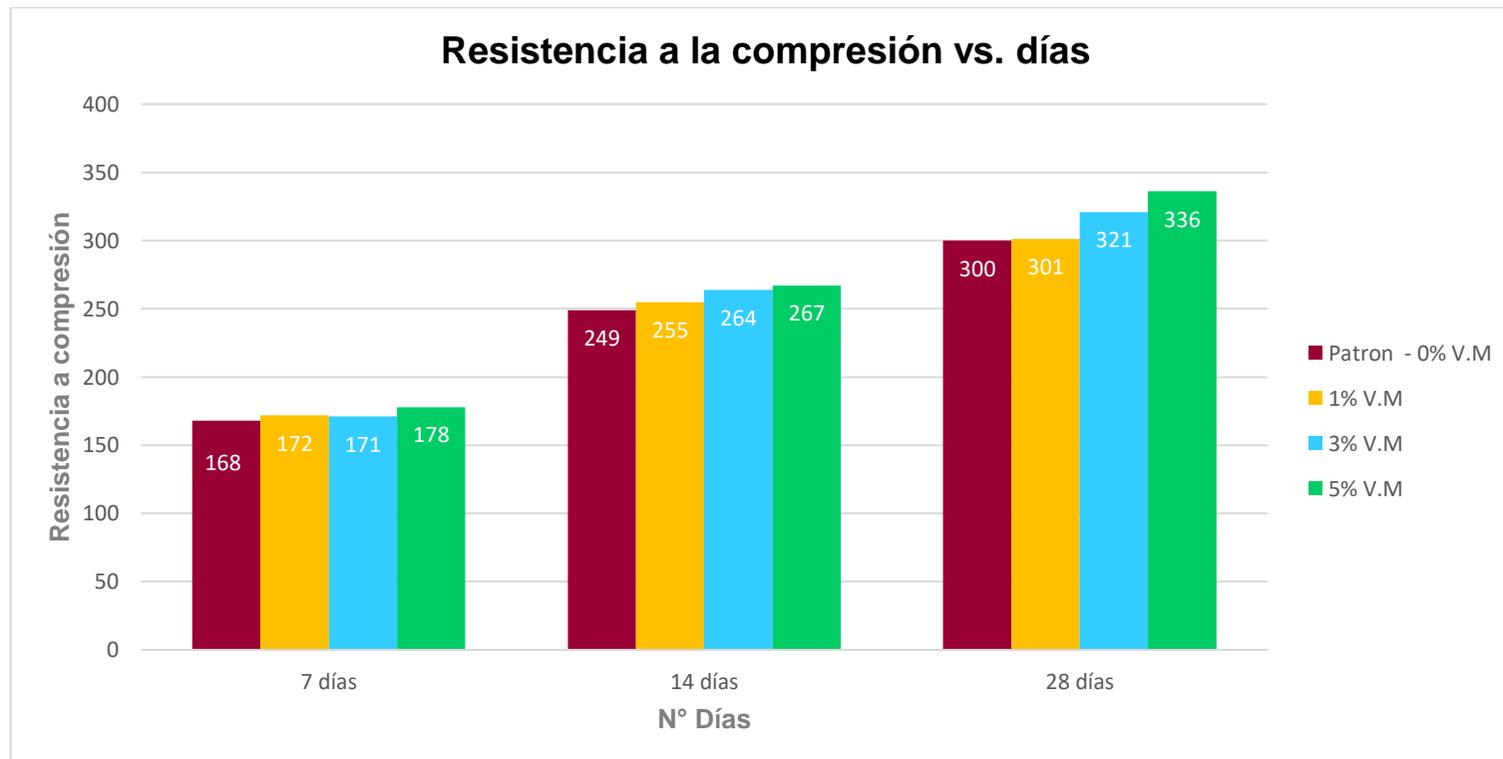


Figura 41. Resistencia a compresión de los 04 diseños

Fuente: Propia

En la figura 42, en el gráfico de intersección de curvas de los 04 diseños se puede apreciar que en el diseño con incorporación de 5% de vidrio molido se encuentra por encima de los otros diseños, sobre estos datos podemos concluir que con este porcentaje de vidrio el concreto logra alcanzar su máxima resistencia de 336 kg/cm<sup>2</sup> lo cual afirma nuestra hipótesis pues el vidrio si mejora la resistencia a la compresión del concreto.

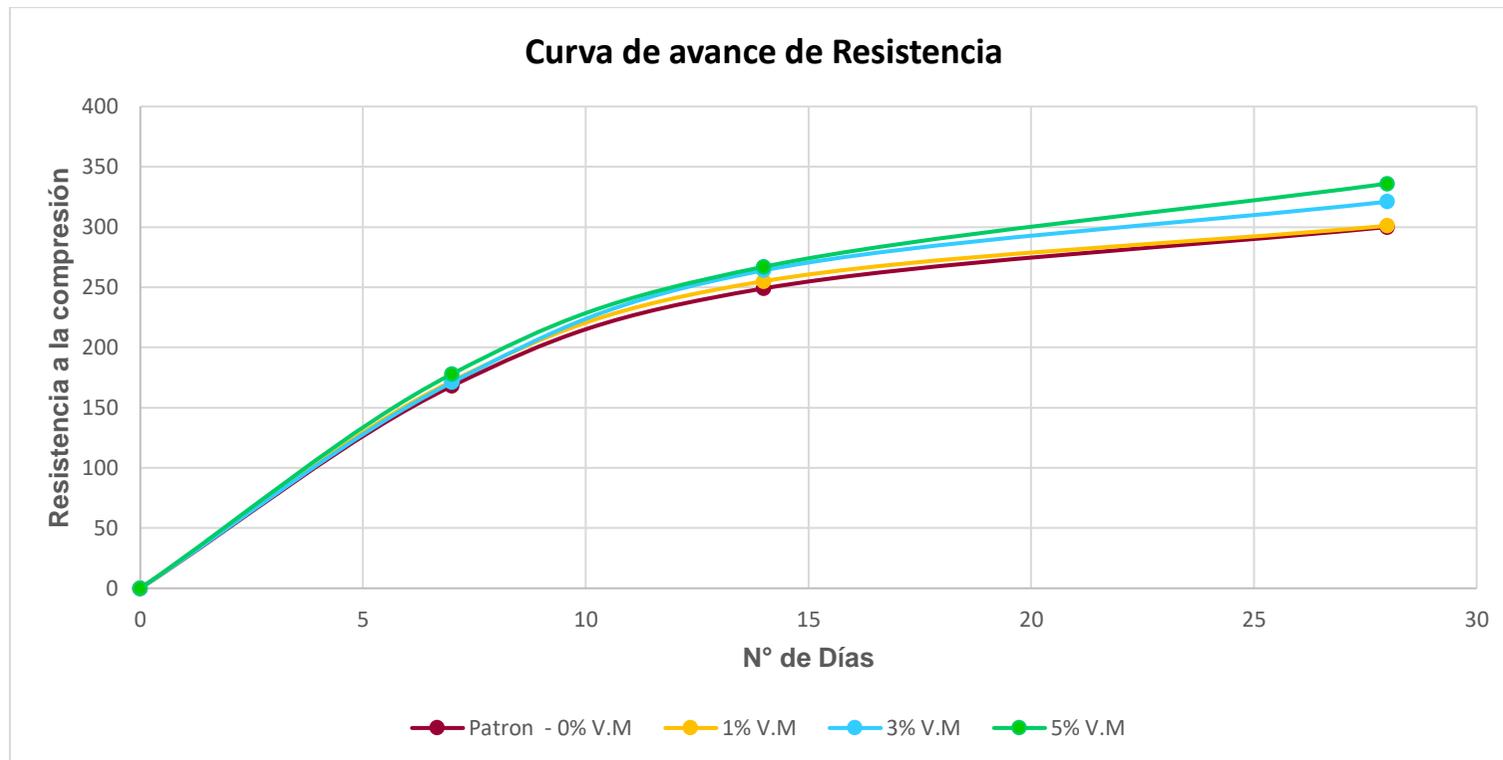


Figura 42. Curva de avance de resistencia de 04 diseños  
Fuente: Propia

### 3.4.2. ENSAYO A FLEXIÓN

Este ensayo presenta los resultados obtenidos al someter vigas de concreto según la norma ASTM C78 se ocupa de ensayos de flexión del concreto que se usa en la construcción de bloques y pavimentos con un aparato de flexión llamado marco para flexión de vigas. La probeta tiene forma de viga de 6 x 6 pulgadas, con una longitud de 21 pulgadas.

Según la NTP 339.078 (2012), la prueba de flexión se realizará tan pronto como sea posible, luego de retirar la viga de la cámara de curado. Las vigas con superficie seca arrojan resultados menores en mediciones del módulo de rotura. Después de realizado el ensayo se toma las medidas correspondientes para el cálculo de módulo de ruptura de una de las caras fracturadas después de la prueba. Para cada dimensión, tomar una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Tomar tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada extremo y al centro), para determinar el ancho promedio y altura promedio.

Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$Mr = PL/bh^2$$

En donde:

Mr = es el módulo de rotura, en MPa. (N/mm<sup>2</sup> )

P = Es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N

L = Es la luz libre entre apoyos, en mm

b = Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm

h = Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.



*Figura 43.* Marco para ensayo a flexión

*Fuente:* Empresa Elle



Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = 3Pa/bh^2$$

En donde:

a = Es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este mayor del 5% de la luz libre, se rechaza el ensayo.

Tabla 56. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 0% V.M

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	Bv	Hv	Lv	Vv	L/3	L	Dv	Mv	Asent.	Temp.	T. A .	Carga aplicada		Resistencia		Promedio	
				cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm	mm	gr/cm <sup>3</sup>	g				pulg	°C	°C	Kg	N	Kg/cm <sup>2</sup>
Ensayo Patrón 0% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	15.3	15.4	53.3	12558.5	15	46.5	2.38	29850	4"	22.10	18.5	2891	28331.8	37.05	3.70	39.95	19.03
				15.3	15.6	53.3	12721.6	15	46.5	2.35	29880				3432	33633.6	42.86	4.29		

Fuente: Propia

Figura 44, Se muestra la resistencia vs días de curado para nuestro diseño patrón, se realizó dos ensayos a los 28 días, el promedio de estos dos ensayos es de 39.95 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) tal como se muestra en la gráfica.

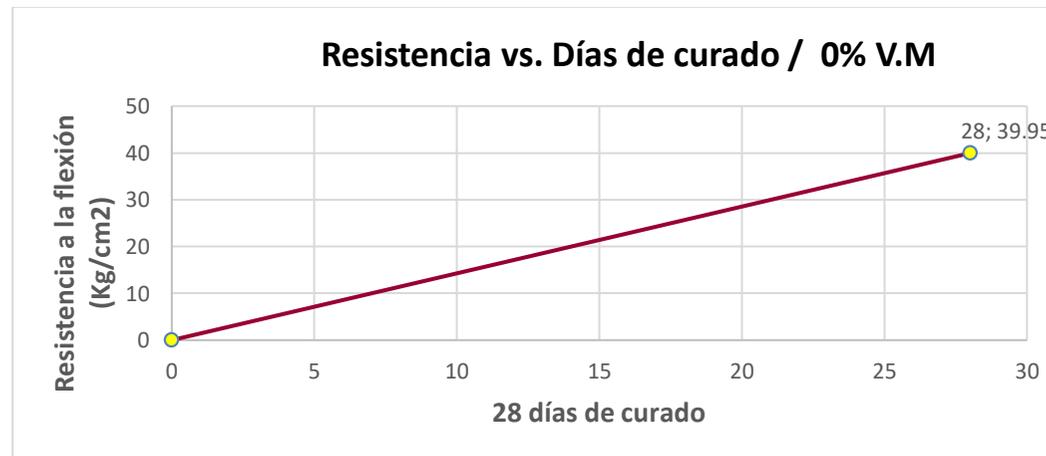


Figura 44. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 0% V.M.

Fuente: Propia

Tabla 57. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 1% V.M

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	Bv	Hv	Lv	Vv	L/3	L	Dv	Mv	Asent.	Temp.	T. A.	Carga aplicada		Resistencia		Promedio	
				cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm	mm	g/cm <sup>3</sup>	gr				Kg	N	Kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia	%
Ensayo 1% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	15.4	15.5	53.3	12558.6	15	46.5	2.37	29790	4"	23.00	18.5	3425	33565	43.05	4.30	42.87	20.41
				15.4	15.6	53.3	12558.6	15	46.5	2.37	29820				3441	33721.8	42.69	4.27		

Fuente: Propia

Figura 45, Muestra la resistencia vs días de curado para nuestro diseño con 1% de vidrio molido reciclado, se realizó dos ensayos a los 28 días, el promedio de estos dos ensayos es de 42.87 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) tal como se muestra en la gráfica.

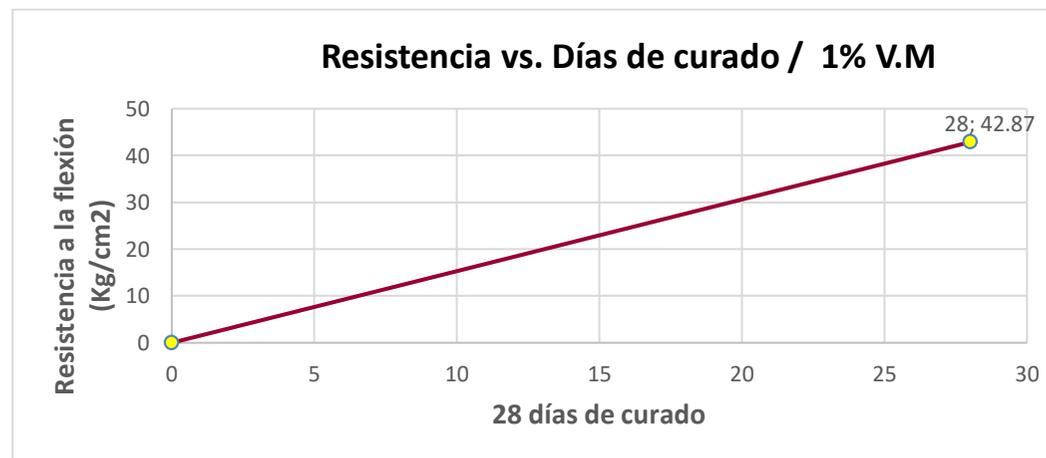


Figura 45. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 1% V.M

Fuente: Propia

Tabla 58. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 3% V.M

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	Bv	Hv	Lv	Vv	L/3	L	Dv	Mv	Asent.	Temp.	T. A .	Carga aplicada		Resistencia		Promedio	
				cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm	mm	g/cm <sup>3</sup>	gr				Kg	N	Kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Resistencia	%
Ensayo 3% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	15.3	15.2	53.3	12395.448	15	46.5	2.40	29780	4 1/4"	21.00	18.5	3428	33594.4	45.09	4.51	45.61	21.72
				15.4	15.2	53.3	12476.464	15	46.5	2.39	29800				3529	34584.2	46.12	4.61		

Fuente: Propia

Figura 46, Muestra la resistencia vs días de curado para nuestro diseño con 3% de vidrio molido reciclado, se realizó dos ensayos a los 28 días, el promedio de estos dos ensayos es de 45.61 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) tal como se muestra en la gráfica. La resistencia por flexión aumento con este porcentaje de incorporación de vidrio molido.

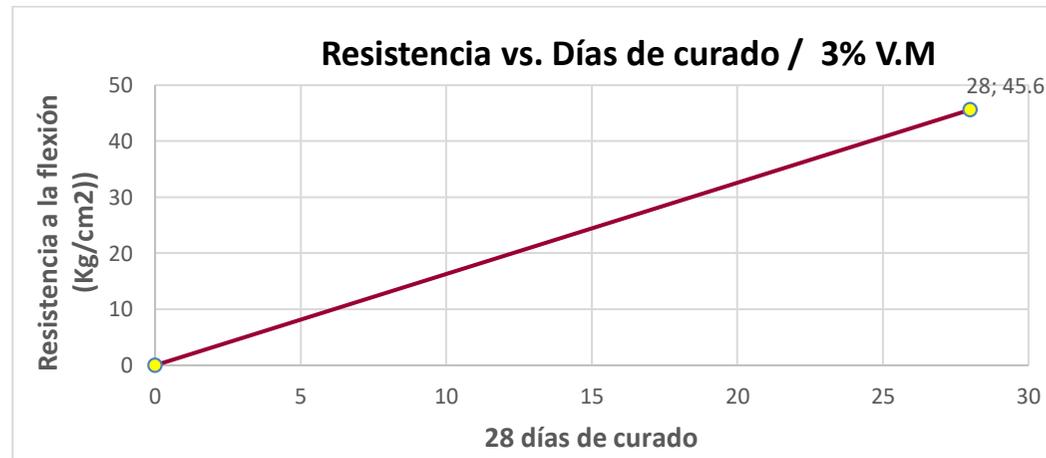


Figura 46. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 3% V.M  
Fuente: Propia

Tabla 59. Resultado de ensayo a flexión de vigas patrón – 5% V.M

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizo ensayo	Bv	Hv	Lv	Vv	L/3	L	Dv	Mv	Asent.	Temp.	T. A .	Carga aplicada		Resistencia		Promedio	
				cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm	mm	g/cm <sup>3</sup>	gr				pulg	°C	°C	Kg	N	Kg/cm <sup>2</sup>
Ensayo 5% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	15.3	15.4	53.3	12558.546	15	46.5	2.37	29770	4 1/2"	23.70	18.5	3476	34064.8	44.55	4.45	43.90	20.90
				15.3	15.4	53.3	12558.546	15	46.5	2.37	29780				3375	33075	43.25	4.33		

Fuente: Propia

Figura 47, Muestra la resistencia vs días de curado para nuestro diseño con 5% de vidrio molido reciclado, se realizó dos ensayos a los 28 días, el promedio de estos dos ensayos es de 43.90 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) tal como se muestra en la gráfica.

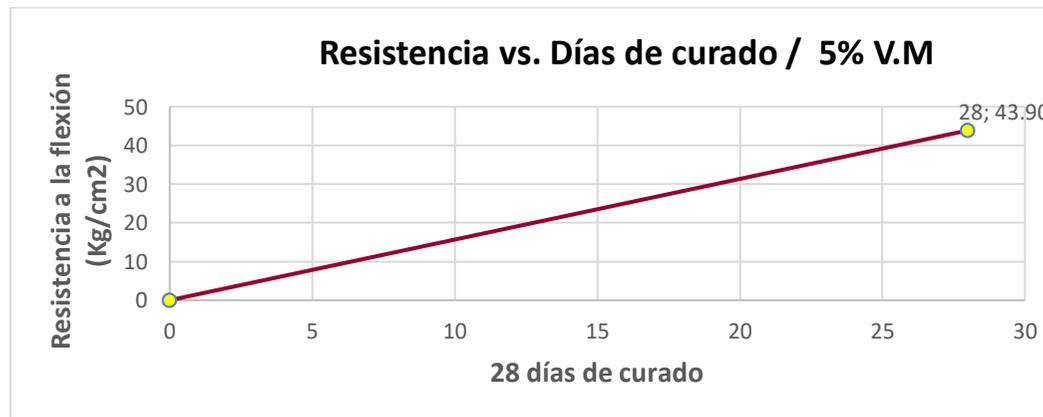


Figura 47. Curva de Resistencia vs. días de vigas patrón - 5% V.M

Fuente: Propia

En la figura 48, se muestran los resultados de los 04 diseños, se realizó 2 ensayos para cada diseño, el promedio de estos dos ensayos se puede visualizar en la siguiente gráfica, de estos resultados podemos concluir que con 3% de vidrio molido reciclado se obtuvo la mayor resistencia a la flexión de 45.61 kg/cm<sup>2</sup> a diferencia de los otros diseños, estos resultados nos permite validar nuestra hipótesis, ya que el vidrio si ayuda a mejorar esta propiedad del concreto en estado endurecido.

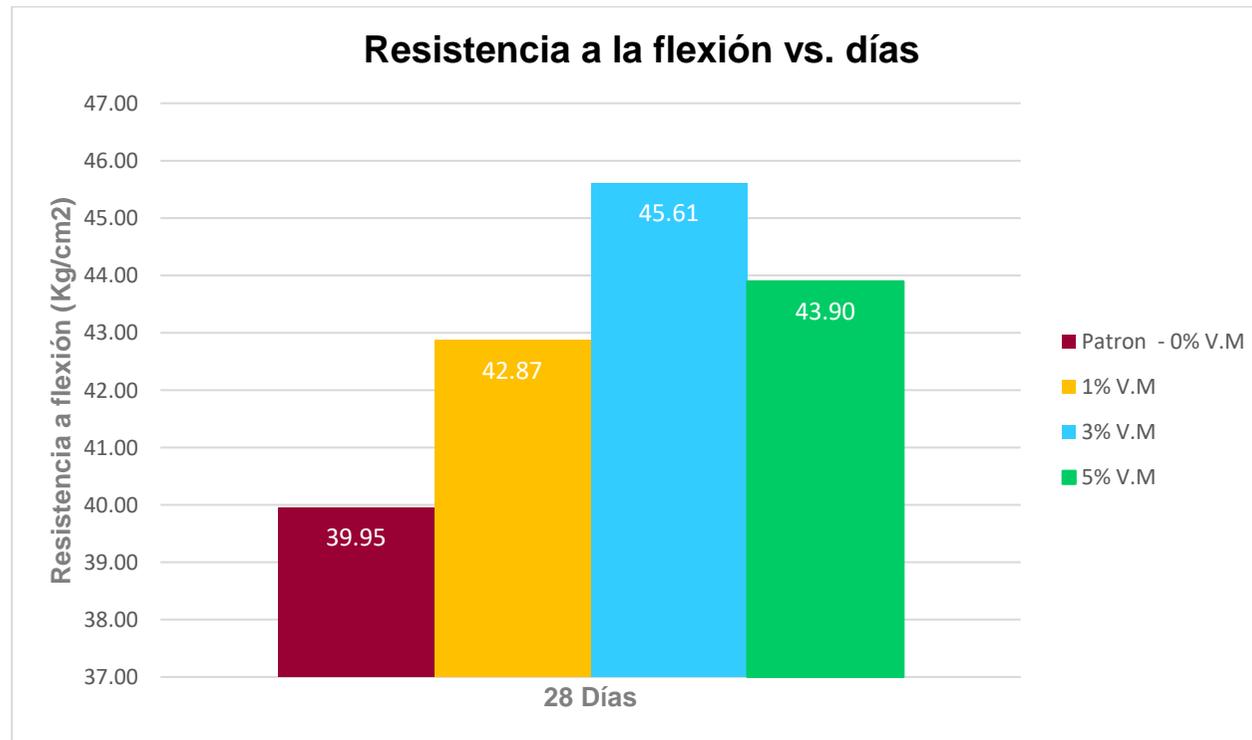


Figura 48. Resultados de ensayo a flexión de vigas

Fuente: Propia

En la figura 49, muestra la curva de resistencia a la flexión vs días de curado, a los 28 días de edad se puede observar que la curva que está por encima de las otras es la del diseño incorporado un 3% de vidrio molido la cual logra alcanzara la máxima resistencia.

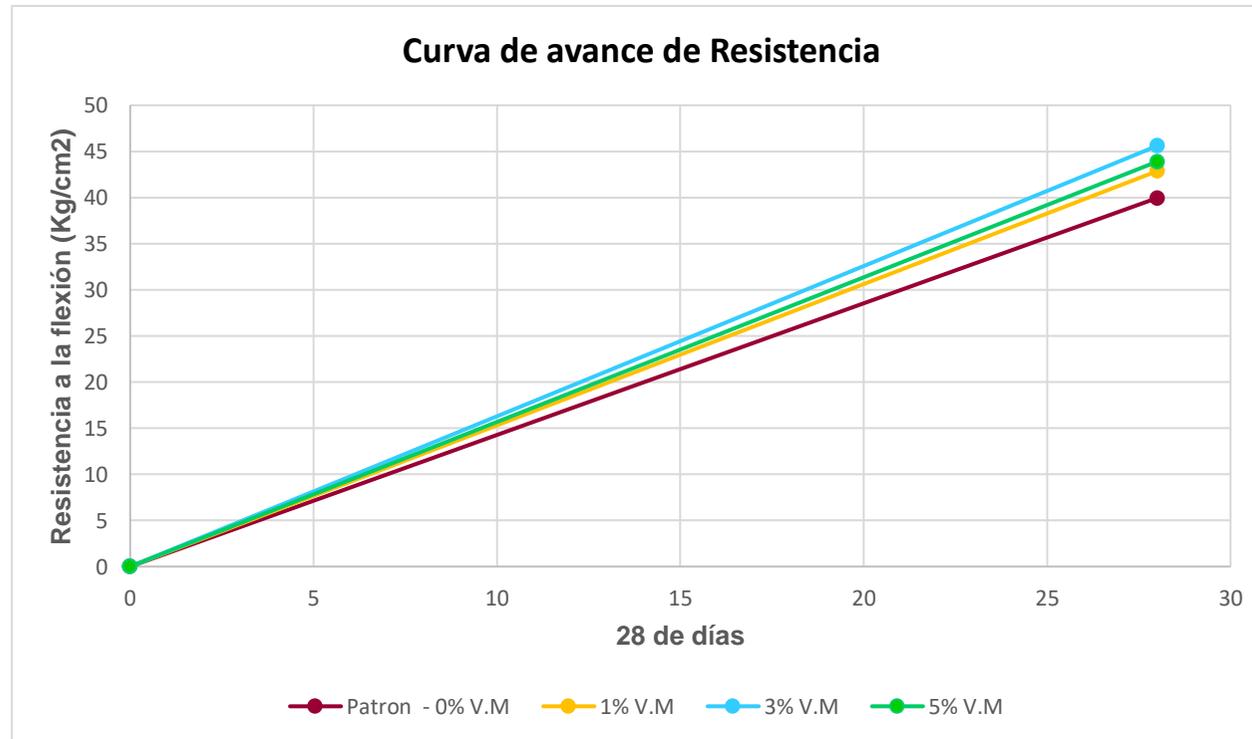


Figura 49. Curva de ensayo a flexión de vigas  
Fuente: Propia

### 3.4.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Según la norma ASTM C469–94 Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

Los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 40% de la resistencia última del concreto), puede ser usada en el dimensionamiento de miembros estructurales reforzados y no reforzados para establecer la cantidad del refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

Según la norma se utiliza la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \omega_c * \sqrt{f'_c}$$

Donde:

$E_c$ = módulo de elasticidad del concreto (tonf/m<sup>2</sup>)

$W_c$ = peso volumétrico del concreto (tonf/m<sup>3</sup>)

$f'_c$ = resistencia a compresión (tonf/m<sup>2</sup>)

Desarrollando se tiene:

*Diseño con 0% V.M*

$$E_c = 150000 * \sqrt{168} = 1.94 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{249} = 2.37 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{300} = 2.60 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

*Diseño con 1% V.M*

$$E_c = 150000 * \sqrt{172} = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{255} = 2.4 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{301} = 2.6 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

*Diseño con 3% V.M*

$$E_c = 150000 * \sqrt{171} = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{264} = 2.4 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{321} = 2.7 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

*Diseño con 5% V.M*

$$E_c = 150000 * \sqrt{178} = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{267} = 2.5 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 150000 * \sqrt{336} = 2.70 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

## CAPÍTULO IV. : DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Peñañiel (2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino", Los resultados están en función de 7, 14 y 28 días para una resistencia de 210Kg/cm<sup>2</sup>. Ensayando 3 probetas para cada porcentaje de vidrio, los porcentajes usados de adición de vidrio fueron 10%, 20% ,30% y 40%. Siendo el resultado más notable a los 28 días pues el concreto ensayado a compresión muestra que a mayor contenido de vidrio la resistencia disminuye sutilmente, además de contar con el análisis granulométrico del vidrio molido que cumple con estar dentro de los límites del agregado fino, siendo su módulo de fineza 3.22, el módulo de fineza del vidrio molido en esta investigación fue de 3.02 De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, se concluye que al adicionar vidrio reciclado molido en porcentajes de 1%,3% y 5%, si logró mejorar la propiedad de resistencia a la compresión del concreto a los 7,14 y 28 días, obteniendo un resultado más notable a los 28 días, pues a esta edad el concreto logro sobrepasar la resistencia que fue 210 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados son distintos debido a la cantidad de vidrio molido usado, pues en las cantidades de 5% a 28 días la resistencia llega a un promedio de 336kg/cm<sup>2</sup> siendo así los resultados favorables llegando al 160% de la resistencia y en la tesis de Peñañiel se llegó a 118.5% de la resistencia.

Guayanay & Morales (2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Análisis del comportamiento del hormigón con inclusión de vidrio reciclado en hormigones de resistencia normal", Los resultados que se observan es que la resistencia a la compresión de los especímenes se reduce mientras mayor sea la cantidad de vidrio que se reemplaza y mayor tamaño de la partícula, además con el reemplazo de 10% y 20% de vidrio molido la resistencia solo llego a un 98% y 94% respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, se concluye que el vidrio molido en porcentajes menores como 1%,3% y 5% , reemplazadas como agregado fino, logro mejorar la resistencia a la compresión del concreto, superó la resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, los resultados de este antecedente justifica que el reemplazo parcial de agregado fino por vidrio molido es beneficioso para el concreto, se realizó el tamizado adecuado para que coincida con el tamizado de agregado fino y así no alterar sus propiedades y lograra que los elementos se integren homogéneamente para que la resistencia sea más elevada y no disminuya. Son contradictorios con respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación, un factor importante de este cambio puede ser la cantidad de uso de vidrio molido en ambas investigaciones.

Correa & Sarraff (2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Sustitución parcial del agregado fino por vidrio para la elaboración de hormigón", se concluye que el vidrio puede ser considerado como un nuevo elemento en la fabricación del concreto, también que en las probetas patrón, la resistencia fue mayor que la diseñadas y las probetas con vidrio incluido solo se obtuvo el 87% de la resistencia esperada. De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, se concluye que el vidrio

molido en porcentajes menores como 1%,3% y 5% , reemplazadas parcialmente como agregado fino, logró mejorar la resistencia a la compresión del concreto, los resultados de este antecedente se asemejan al resultado obtenido en esta investigación, pues en este antecedente se trata de sustituir parcialmente el agregado fino por el vidrio molido, lo cual no está mal pues el vidrio está compuesto por sílice un componente principal del agregado fino. En este antecedente no se logra sobrepasar la resistencia de las probetas patrón, en cambio en esta investigación se se logró sobrepasar las resistencias de las probetas patrón en las edades de 07, 14 y 28 días. No existe concordancia en ambas investigaciones siendo una causa los porcentajes de vidrio utilizados en cada una. En lo que si se concuerda es en que el vidrio molido si puede reemplazar parcialmente.

Rodríguez & Ruiz (2016), en el artículo publicado en la Revista facultad de ciencias exactas, físicas y naturales. Denominado "Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio", Los resultados de la investigación realizada fueron satisfactorios, se detectó claramente la actividad de reacciones de largo plazo debido a la incorporación del vidrio como puzolana (cemento). Esto es evidente por el aumento de la resistencia en el tiempo del concreto, como lo confirman los ensayos de probetas de hasta 270 días de edad. Las probetas con incorporación de micro partículas de vidrio llegaron a incrementar su resistencia 250% en relación a la resistencia inicial a 7 días, mientras que las probetas de control (sin adición de vidrio en la mezcla) sólo incrementaron la resistencia en un 100%. De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, según los resultados obtenidos sé afirma que el vidrio molido en porcentajes de 1%,3% y 5%, reemplazadas como agregado fino, logró mejorar la resistencia a la compresión del concreto con una resistencia promedio de 336 kg/cm<sup>2</sup> ensayadas a los 28 días llega a 160% de su resistencia, por lo tanto, existe concordancia con lo determinado que el vidrio es beneficioso para el concreto. Por lo tanto, existe concordancia que el vidrio molido al ser reemplazado por agregado fino o por cemento tiene propiedades que favorecen al concreto.

Rojas (2015), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada "Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico", concluye que la adherencia del vidrio molido a la mezcla no afecta su consistencia en su estado fresco. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en sus diferentes edades de 7, 14, 21 y 28 días siendo la más notable la de 28 días con una resistencia de 318 kg/cm<sup>2</sup> .De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, se concluye que el vidrio molido en porcentajes menores como 1%,3% y 5% , reemplazadas como agregado fino, logró mejorar la resistencia a la compresión del concreto, además de tener una resistencia con 5% de vidrio molido a edad de 28 días de 336 kg/cm<sup>2</sup> ,por lo tanto existe concordancia con lo determinado en el antecedente mencionado y nos permite validar nuestro resultado, por otro lado la consistencia que se obtuvo en promedio fue de 4 ½", por ende el concreto puede tener mejor trabajabilidad y la facilidad de moldearse a todo tipo de estructuras.

### 3.5. RESPECTO A LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

#### 3.5.1. TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO (SLUMP)

Los resultados del slump del concreto en estado fresco se puede apreciar en la tabla N° 50, el control se realizó para determinar la trabajabilidad en función al tiempo, para lo cual se realizó un ensayo inicial, 30 minutos y 60 minutos, en esta figura N° 50 se puede apreciar que no hay mucha variación en cuanto a la trabajabilidad del concreto.

Tabla 60. Trabajabilidad cada 30 minutos

Slump (Trabajabilidad)			
Datos	Inicial	30 min	60 min
Patrón	4"	3 1/2"	2"
1% V.M	4 "	3 1/2"	2"
3% V.M	4 1/4 "	3"	2"
5% V.M	4 1/2"	3 1/2"	2"

Fuente: Propia

El slump más trabajable es el inicial que los después de 30 minutos y 60 minutos. El diseño patrón y el de 1% de vidrio molido son más trabajables que los de reemplazo de 5% y 3% de vidrio molido

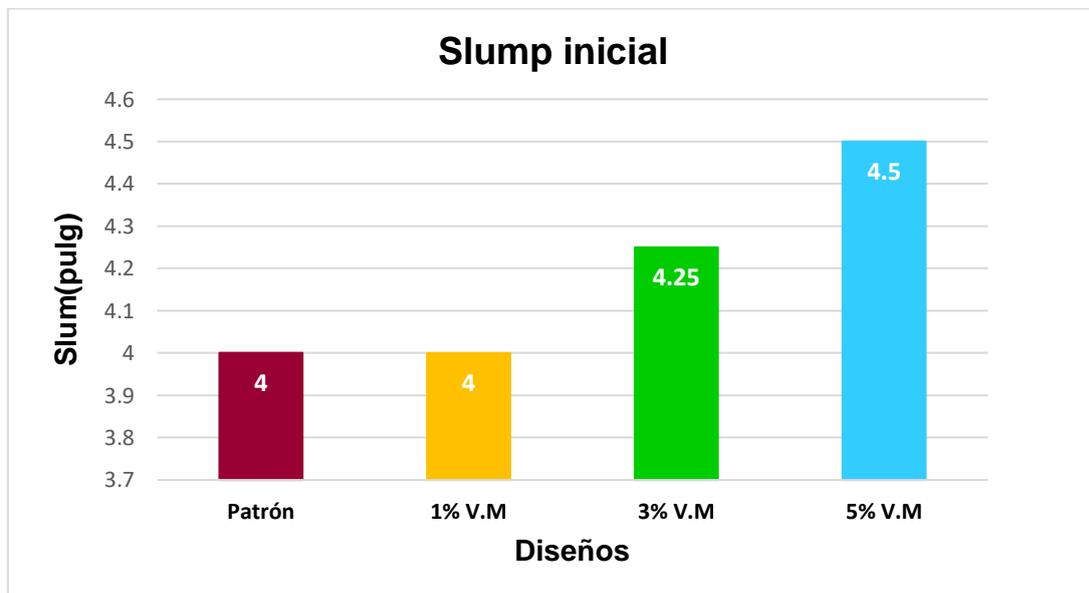


Figura 50. Trabajabilidad inicia

Fuente: Propia

En la figura 51, muestra el segundo ensayo de slump pasado 30 minutos, en este gráfico de barras se puede apreciar las variaciones de asentamiento para el diseño de 3% de vidrio su plasticidad disminuye a diferencia de los otros diseños que mantienen la misma plasticidad.

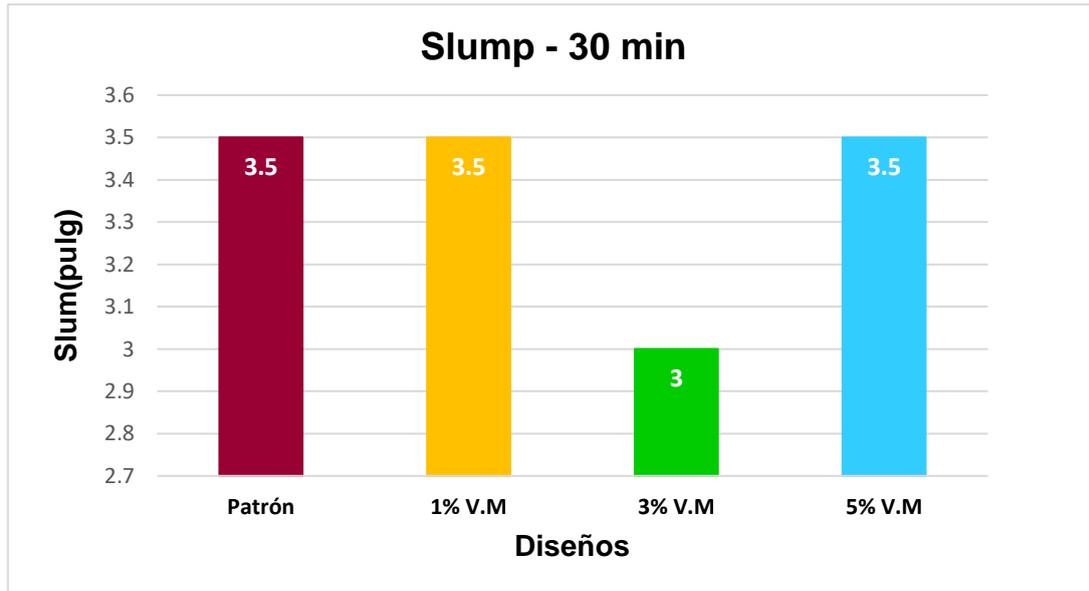


Figura 51. Trabajabilidad a 30 min

Fuente: Propia

En la figura 52, muestra el slump pasado 60 minutos, en este gráfico de barras se puede apreciar las variaciones de asentamiento con y sin adición de vidrio, en este ensayo podemos resumir que todos los diseños que mantienen la misma plasticidad.

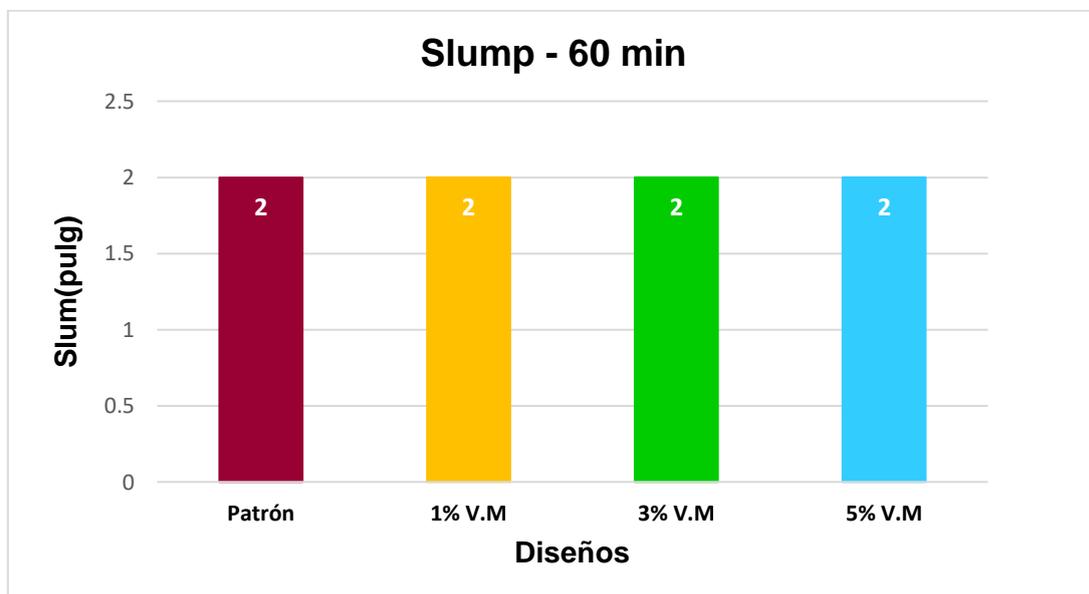


Figura 52. Trabajabilidad 60 min

Fuente: Propia

### 3.5.2. PESO UNITARIO

En la figura 53, muestra el ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco, al realizar el ensayo para los cuatro diseños se obtuvo los siguientes resultados tal como se puede apreciar en el gráfico de barras, para el diseño de 5% de vidrio supero los otros diseños.

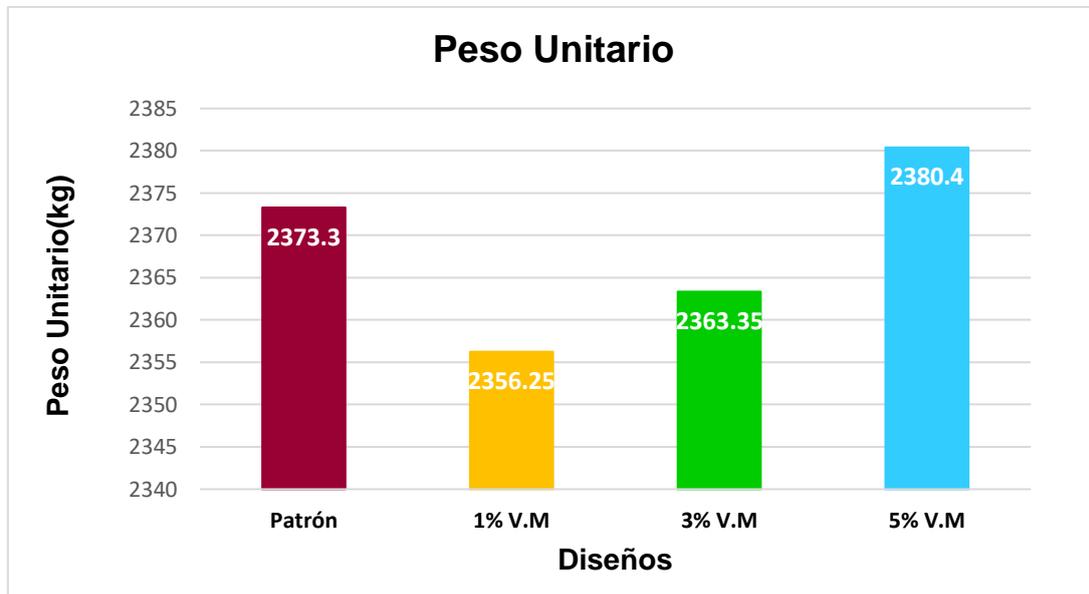


Figura 53. Peso unitario

Fuente: Propia

### 3.5.3. CONTENIDO DE AIRE

En la tabla N° 61, se puede apreciar el porcentaje de incremento en cuanto, al contenido de aire del concreto en estado fresco, en esta tabla se presentan las variaciones de contenido de aire.

Tabla 61. Resultado del porcentaje de incremento del contenido de aire

Dato	Contenido de aire	Incremento
Patrón	1,5	0 %
1% V.M	1,8	20 %
3% V.M	2	33,33 %
5% V.M	2	33,33 %

Fuente: Propia

### 3.5.4. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

Tabla 62. Resumen de resultados totales de ensayo a compresión

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	Carga aplicada	Resistencia	Promedio	%
				Kgf	Kg/cm <sup>2</sup>		
Ensayo Patrón - 0% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	12566	160	168	80
				13195	168		
				13744	175		
		14	24/09/2019	19242	245	249	119
				18692	238		
				20813	265		
		28	08/09/2019	23876	304	300	143
				23562	300		
				23326	297		
Ensayo 1% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	11600	147	172	82
				14252	181		
				14826	188		
		14	24/09/2019	18750	238	255	121
				18200	231		
				23193	295		
		28	08/09/2019	23648	301	301	143
				23849	303		
				23423	298		
Ensayo 3% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	13061	166	171	82
				12927	164		
				14487	184		
		14	24/09/2019	19416	247	264	126
				22384	285		
				20499	261		
		28	08/09/2019	25221	321	321	153
				23479	298		
				27088	344		
Ensayo 5% V.M	10/09/2019	7	17/09/2019	13961	177	178	85
				12282	156		
				15832	201		
		14	24/09/2019	22138	281	267	127
				21114	268		
				19815	252		
		28	08/09/2019	26212	333	336	160
				26693	339		
				26372	335		

Fuente: Propia

En la tabla N° 63, se puede apreciar el porcentaje de incremento en cuanto a la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido, en cuanto al ensayo realizado a 07 días podemos deducir que con 5% de vidrio aumenta la resistencia en 3.49% respecto al diseño patrón. A los 14 días de realizado el ensayo el diseño con 3% de vidrio aumento la resistencia en 8.03 % respecto al diseño patrón. A los 28 días de realizado el ensayo el diseño de 5% de vidrio aumento en 11.63 % respecto a los otros diseños.

Tabla 63. Resultado del porcentaje de incremento de la resistencia a la compresión

Días	Porcentaje de incremento (%)			
	Patrón	1% Vidrio	3% vidrio	5% vidrio
7	0	2,38 %	1,79 %	3,49 %
14	0	2,41 %	8,03 %	4,71 %
28	0	0,33 %	7,00 %	11,63 %

Fuente: Propia

En la figura N° 54 se puede observar que el porcentaje que mayor beneficio dio como reemplazo del agregado fino por vidrio molido a los 28 días de curado fue del 5%.

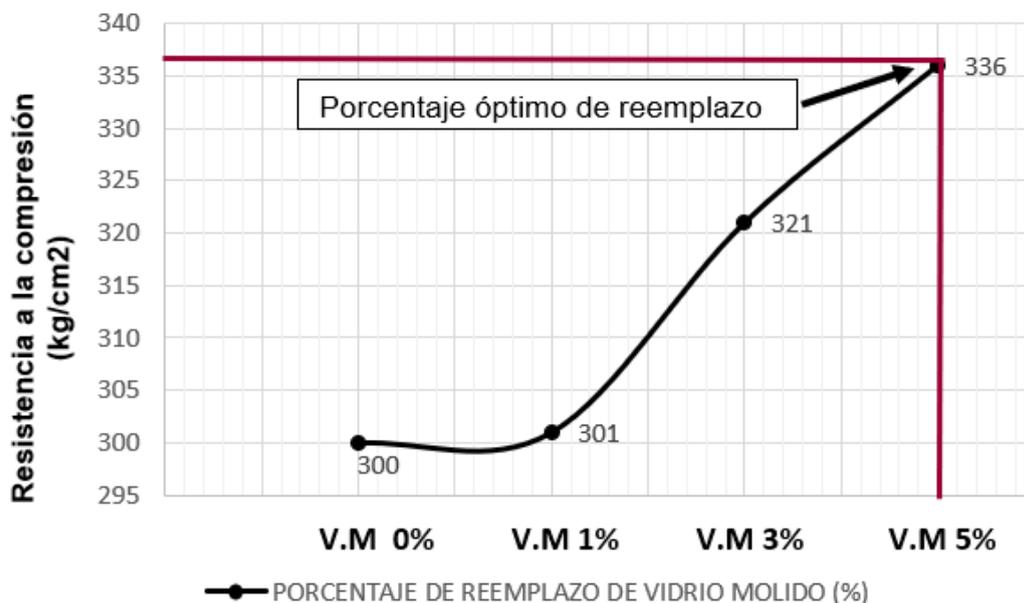


Figura 54. Porcentaje de reemplazo óptimo entre los cuatro porcentajes 0%, 1%, 3% y 5% a los 28 días de curado

Fuente: Propia

### 3.5.5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Las propiedades del concreto del estado endurecido según la tabla N°64 indica los resultados de los ensayos sometido a flexión, del diseño sin vidrio molido y los diseños con vidrio molido del 1%, 3% y 5% de dosificación. De estos tres diseños el que ha superado la más alta resistencia a la flexión a los 28 días de curado, es el diseño con 3% de vidrio molido con 45.61 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 64. Resultados totales de ensayo a flexión

Ensayo	Fecha de elaboración	Edad (días)	Fecha que se realizó ensayo	Carga aplicada	Resistencia	Promedio	
				Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia	%
Ensayo Patrón 0% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	2891	37.0	39.95	19.03
				3432	42.9		
Ensayo 1% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	3425	43.0	42.87	20.41
				3441	42.7		
Ensayo 3% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	3428	45.1	45.61	21.72
				3529	46.1		
Ensayo 5% de V.M	10/09/2019	28	08/10/2019	3476	44.5	43.90	20.90
				3375	43.3		

Fuente: Propia

La tabla N° 63, muestra el incremento en porcentaje del ensayo de la resistencia a la flexión del concreto en estado endurecido a los 28 días de edad, para el diseño con 3% de vidrio molido obtuvo un 1.14% respecto al diseño patrón, en seguida está el diseño con 5% de vidrio molido con un 1.10% respecto al diseño patrón.

Tabla 65. Resultado del porcentaje de incremento de la resistencia a la flexión

Días	Patrón - 0% V.M	1% V.M	3% V.M	5% V.M
28	0	1.07	1.14	1.10

Fuente: Propia

En la figura 55, se muestra el gráfico de barras que representa el ensayo de resistencia a la flexión vs días de curado, el diseño con 3% de vidrio molido tiene un 1.14 % de resistencia por encima del diseño patrón.

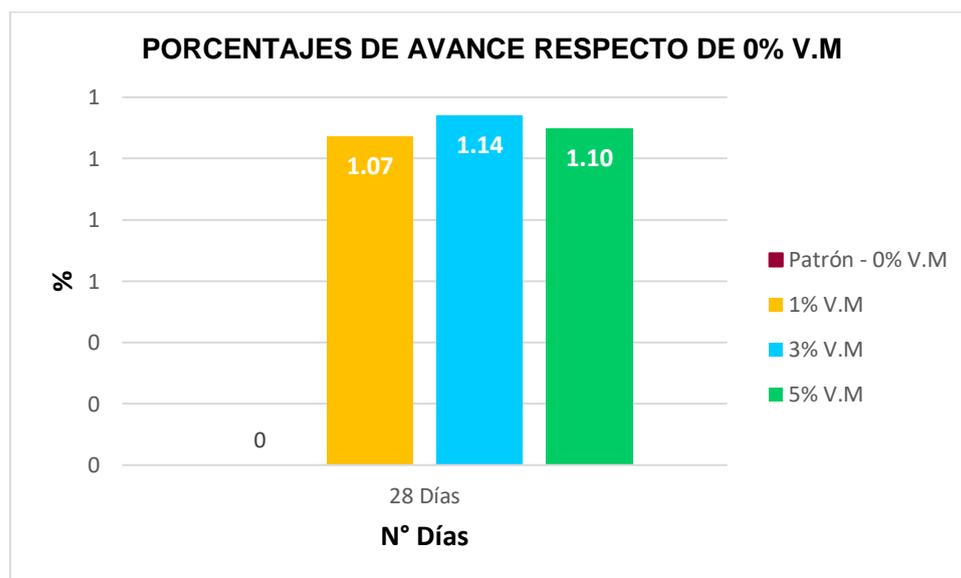


Figura 55. Porcentaje de incremento de la resistencia a la flexión

Fuente: Propia

### 3.5.6. PESO UNITARIO Y MÓDULO DE ELASTICIDAD

El peso unitario del concreto según la de tabla N°65 indica que de los cuatro diseños el que tiene más peso, es el diseño con 5% de vidrio molido. En comparación con los demás diseños.

Tabla 66. Peso unitario del concreto

Datos	Unidad	Patrón	1% V.M	3% V.M	5% V.M
Peso unitario del concreto	kg/m <sup>3</sup>	2373.30	2356.25	2363.35	2380.40



### 3.5.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Respecto al módulo de elasticidad se tiene el mayor valor con 5% de vidrio molido igual a  $2.70 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .

Con 0% de vidrio molido  $E_c = 150000 \cdot \sqrt{300} = 2.60 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Con 1% de vidrio molido  $E_c = 150000 \cdot \sqrt{301} = 2.6 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Con 3% de vidrio molido  $E_c = 150000 \cdot \sqrt{321} = 2.7 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Con 5% de vidrio molido  $E_c = 150000 \cdot \sqrt{336} = 2.70 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

## CAPÍTULO V. : CONCLUSIONES

- Se determinó el efecto del vidrio molido en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, obteniéndose resultados favorables en los ensayos realizados. El incremento de la resistencia a compresión es gradual respecto de los porcentajes usados del reemplazo de agregado fino por vidrio molido. Siendo el mayor valor obtenido 160% respecto de la resistencia con el reemplazo de 5% de vidrio molido.
1. Se realizó los ensayos de granulometría, peso específico, absorción, humedad, peso unitario suelto y peso unitario compactado, para el agregado fino y grueso. Teniendo el agregado fino las siguientes características: módulo de fineza de 2.7, contenido de humedad de 1.14%, peso específico de 2.65 gr, absorción de 1.35%, peso unitario suelto seco de 1555.68 kg/m<sup>3</sup>, peso unitario compactado seco de 1760.70 kg/m<sup>3</sup>; y los resultados del agregado grueso son: contenido de humedad de 0.66%, peso específico de 2.66 gr, absorción de 2.31%, peso unitario suelto seco de 1439.68 kg/m<sup>3</sup> y peso unitario compactado seco de 1618.89 kg/m<sup>3</sup>. Luego de realizar estos ensayos se comprobó que los agregados están dentro de los requerimientos de las normas correspondiente para cada ensayo.
  2. Se trabajó con tres relaciones de agua/cemento para una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> (A/C=0.57), 295 kg/cm<sup>2</sup> (A/C=0.55) y para 310 kg/cm<sup>2</sup> (A/C=0.53), para los diseños de prueba de acuerdo como manda la norma E060 - concreto armado. Se elaboraron 03 probetas cilíndricas para cada una de los diseños de prueba, siendo en total 09 probetas ensayadas. Posteriormente se realizó un gráfico de curva de estos resultados obtenidos de la rotura de probetas donde se seleccionó la relación A/C=0.55 con la cual se desarrolló este proyecto.
  3. Se elaboró diseño de mezcla para el concreto patrón – 0% de vidrio molido, con 1%, 3% y 5% de vidrio molido respecto del agregado fino. En la figura N° 41 se puede observar el avance gradual de cada uno de los diseños. Siendo el más notable el ensayo con 5% de vidrio molido que alcanzo una resistencia de 336 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días, es decir 12% más que el diseño con patrón - 0% de vidrio molido.
  4. Se realizó los diseños de mezcla correspondiente a cada porcentaje de vidrio molido, para después elaborar 36 probetas cilíndricas de dimensiones 10 cm \* 20 cm, que fueron sometidas a fuerza de compresión a edades de 07, 14 y 28 días; además de 08 probetas rectangulares (vigas) de dimensiones 6" \* 6" \* 21" que fueron sometidas a ensayo de flexión a los 28 días. En el ensayo a compresión los resultados fueron beneficiosos, siendo más notable en 3% y 5% de reemplazo de agregado fino que llegaron a resistencias de 321 kg/cm<sup>2</sup> y 336 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente a los 28 días de curado. En tanto el ensayo a flexión los datos obtenidos no fueron significativos pues solo se llegó al 21.72% de la resistencia.
  5. Se analizó las propiedades del concreto en estado fresco tales como trabajabilidad, contenido de aire y peso unitario. En estado fresco tiene mejor trabajabilidad, el Slump inicial fue de 4"

adicionando vidrio molido reciclado, pero sucede lo contrario después de una hora pues el asentamiento es 2" durante este tiempo el concreto pierde esta propiedad. Se puede concluir que tiene similar comportamiento un concreto sin vidrio y un concreto con hasta 5 % de vidrio molido. El peso unitario aumenta a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido tal es así que el diseño patrón se obtuvo un resultado de  $2373.30\text{kg/cm}^3$  y con 5% de vidrio el peso específico logra alcanzar  $2380.40\text{ kg/m}^3$ . Se puede concluir que no hay una variación significativa en el peso unitario tal como se muestra en la figura 53. El contenido de aire también aumento en función al diseño patrón tal es así que en el diseño patrón fue de 1.5% y con un 5% de vidrio molido aumento a 2%. Se concluye que con 3 % y 5 % de vidrio se incrementa en 33.33 % el porcentaje de aire incorporado respecto al diseño patrón tal como se muestra en la tabla 61.

6. El vidrio molido reciclado mejoró la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido, con un 5% de vidrio molido se obtuvo una resistencia de promedio de  $336\text{ kg/cm}^2$ , logrando sobrepasar la resistencia requerida de  $295\text{ kg/cm}^2$ . En el ensayo de resistencia por flexión en vigas, se pudo determinar que el vidrio molido reciclado no tiene valores significativos, el mayor resultado se obtuvo con la incorporación de un 3% de vidrio molido a la mezcla para lo cual alcanzó un valor de  $45.61\text{ kg/cm}^2$ . Se concluye que con 3 % de vidrio aumenta en 1.149 % respecto a los resultados del diseño patrón, tal como se puede apreciar en la tabla 63.
7. El porcentaje óptimo de los diseños estudiados es el de mayor valor de resistencia compresión el diseño de 5% de vidrio molido igual a  $336\text{ kg/cm}^2$ , entonces el vidrio molido si mejora esta propiedad en el concreto. En cuanto a la flexión los valores obtenidos no tienen una notable relevancia siendo el mayor valor obtenido en el diseño de 3% de vidrio molido igual  $45.61\text{ kg/cm}^2$ , lo cual significa que el vidrio molido no genera beneficios a ensayos a flexión. El módulo de elasticidad mayor es de  $2.70 \times 10^6\text{kg/cm}^2$  correspondiente a el diseño de 5% de vidrio molido. Es un incremento gradual de vidrio molido y el módulo de elasticidad a los 28 días de curado. El reemplazo de vidrio provoco cambios significativos en la propiedad de resistencia a la compresión.

## **CAPÍTULO VI. : RECOMENDACIONES**

- Se debe mantener condiciones y los implementos de protección adecuadas para la manipulación y triturado del vidrio, teniendo especial cuidado al manejar granulometrías menores debido a la composición lo cual al ser aspirado o puede ingresar a los ojos lo cual puede ser nocivo para la salud.
- Realizar el llenado, varillado y compactación de los cilindros siguiendo lo establecido en las normas, para conseguir mejores resultados evitando porosidad, acumulación de aire y deficiencia al enrasar, esta última provoca una concentración de carga no uniforme durante el ensayo de compresión.
- Evaluar el comportamiento de la resistencia de probetas con vidrio molido a mayores edades.
- Adicionar un aditivo a las probetas con vidrio molido y evaluar su comportamiento.
- Se recomienda a futuros tesisistas usar porcentajes más altos de vidrio molido reciclado, a fin de corroborar los resultados obtenidos en esta investigación., que en cuanto sube el porcentaje de vidrio molido la resistencia aumenta.
- Realizar investigaciones sobre costo - beneficio sobre el reemplazo de vidrio molido en el concreto.

## CAPÍTULO VII. : FERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bascoy. (1992). *Tecnología Del Hormign Fresco*. Ed. Asociacion Argentina de tecnologia del hormigon, Argentina.
- Blanco, B. A. (2014). *Evolucion del diseño de concreto armado en el peru*. peru: capitulo de ingenieria civil.
- Carrasco. (2013). *Propiedades de la Mezcla Fresca De Hormigon*. 2013. Universidad Tecnologica Nacional, santa Fe, Colombia.
- Catalan, A. C. (2013). *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15,H20 Y H30*. Valdivia, Chile.
- CEDEX, C. d. (2015). *Catalogo De Residuos Utilizables En Construccion*. España.
- Correa, D., & Sarraff, M. (2016). *Sustitución parcial del agregado fino por vidrio para la elaboración de hormigón*. Santo Domingo.
- Fernández, J. M. (2003). *El Vidrio*. Madrid.
- Gamarra, R. J. (2018). *Tecnología de Materiales . En R. J. Tecnología de Materiales .*
- Guayanay, C., & Morales, A. (2016). *Análisis del Comportamiento del Hormigón con Inclusión de Vidrio Reciclado en Hormigones de Resistencia Normal*. Quito.
- Hale, S. (2012). *Tecnico de ensayos aridos y hormigon en laboratorio - Grado I. Michigan : American Concrete Institute*.
- Huamán, Q. A. (2015). *Comportamiento mecanico del concreto reforzado con fibra de vidrio*. Cajamarca, Perú.
- ILCE. (2012). *¿Como se hace el vidrio?* Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa.
- Jimenez, B. J. (2011). *Usos de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecanicas del concreto*. universidad de la gran colombia, Bogota, colombia .
- Lara, L. (2016). *"Analisis de las propiedades fisicas y mecanicas del hormigon elaborado con fibras de acero reciclado"*. Quito.
- Mejia, M. M. (2009). *Componetes y procesos alternativos para mejorar las propiedades mecanicas del concreto(fibra de fique)*. universidad la gran colombia, Bogota.
- Morales, L. (2017). *El Vidrio en la edificación*. Cataluña.
- Niño Hernandez, I. (2010). *Tecnología del concreto*. Asocreto, colombia.
- Osorio, J. (2011). *Blog 360 Grados en Concreto*. <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>.
- Peñafiel, D. (2016). *Análisis de la resitencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado en reemplazo parcial del agregado fino*. Ambato.

- Rincon, J., Hernandez, M., & Romero, M. (2008). *Materias Primas para la fabricacion de materiales vitreos y ceramicos*. Instituto Eduardo Torroja de Cs. de la construccion, Madrid.
- RNE. (2006). *Regalemento Nacional de edificaciones / Norma E.040 - Vidrio* . Lima -Perú.
- Rodríguez, M., & Ruiz, M. (septiembre de 2016). Evaluación del desempeño de un hormigon con incorporacion de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio. *Revista Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales*, 3(2).
- Rojas, J. (2015). *Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando un porcentaje de vidrio sòdico cálcico*. Trujillo.
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá.
- Trezza, M., & Rahhal, V. (2018). Comportamiento del residuo de vidrio molido en mezcla: Estudio comparativo con microsilice. *Revista Matéria*, 23(01).
- Uriarte, J. M. (2019). Vidrio. *Características..*
- Valera, R. J., Moren, E. I., Solis, C. R., & Sánchez , P. O. (2013). Efecto de las fibras poliméricas en la permeabilidad y características mecánicas del concreto con agregado calizo de alta absorción.

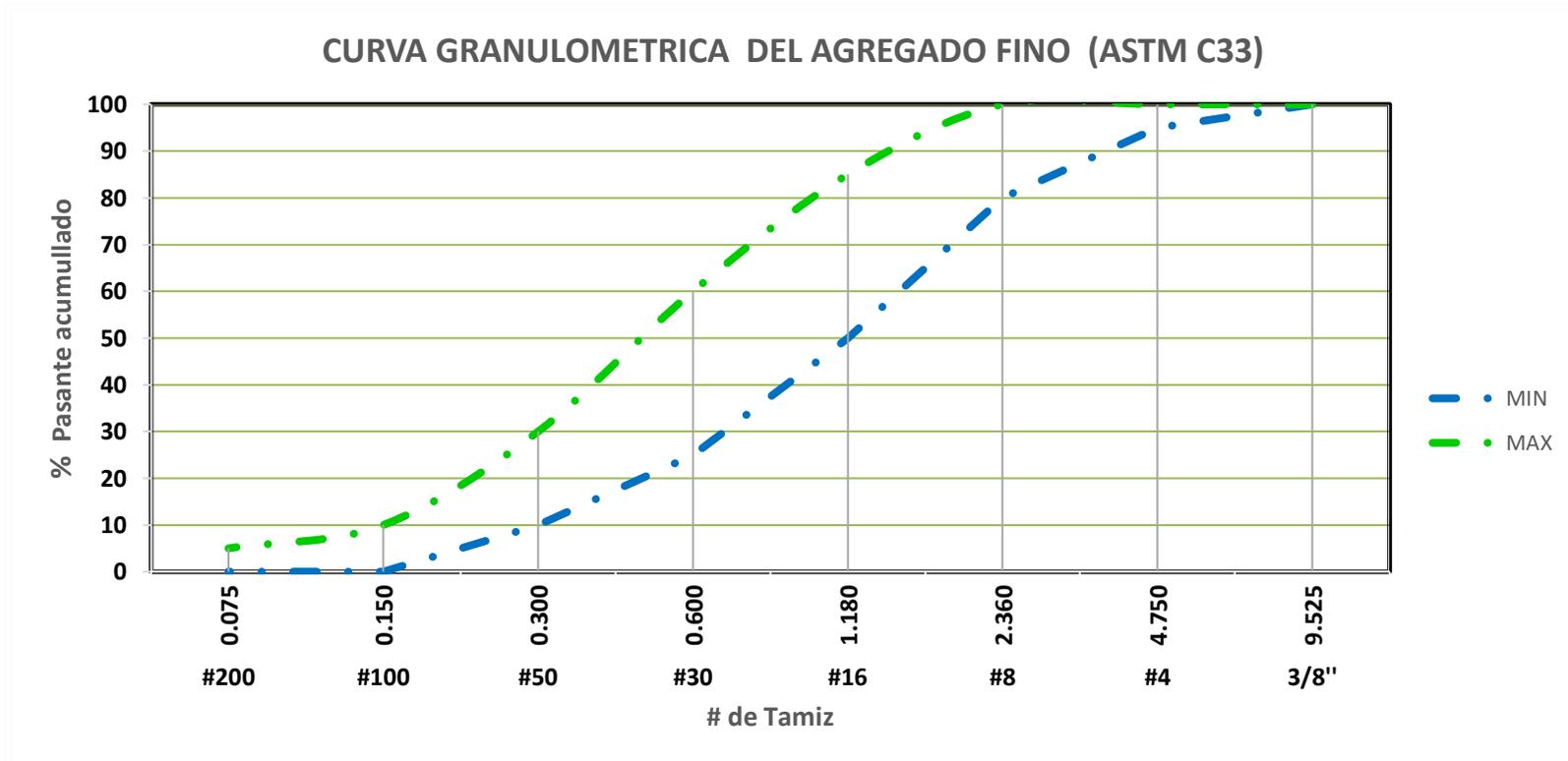
**CAPÍTULO VIII. : ANEXOS**

Anexo N° 1 Análisis granulométrico de agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33							
MATERIAL							
PROCEDENCIA							
FECHA DE ENSAYO							
APLICACIÓN							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							Peso de la muestra (gr)
Tamiz N°	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33	% PASANTE MALLA N° 200 ( ASTM C117)
							(A)Peso de la muestra seca (g)
3"	76.200						(B)Peso de la muestra lavada secada al horno (g)
2 1/2"	63.500						% pasante malla N°200 (A-B/A)*100
2"	50.800						<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566)</b>
1 1/2"	38.100						(D)Peso húmedo de la muestra(g)
1"	25.400						(E)Peso seco de la muestra(g)
3/4"	19.050						% de humedad ((D-E)/E)*100
1/2"	12.700						<b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL</b>
3/8"	9.525						Módulo de fineza
#4	4.750						Tamaño máximo TM
#8	2.360						Tamaño máximo nominal TMN (mm)
#16	1.180						Peso específico
#30	0.600						Peso unitario suelto
#50	0.300						Peso unitario compactado
#100	0.150						Abrasión
#200	0.075						<b>OBSERVACIONES</b>
FONDO							
TOTAL							

Fuente:Propia

Anexo N° 2 Curva granulométrica de agregado fino



Fuente: Propia



Anexo N° 3 Análisis granulométrico de agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33 NTP400.012 / NTP400.037							
MATERIAL							
PROCEDENCIA							
FECHA DE ENSAYO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C136/C33 NTP 400.012 / NTP 400.037							Peso de la muestra (gr)
Tamiz N°	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33 / NTP 400.037	% PASANTE MALLA N° 200 ( ASTM C117 / NTP 400.018)
							(A)Peso de la muestra seca (g)
5"	127.000						(B)Peso de la muestra lavada secada al horno (g)
4"	101.000						% pasante malla N°200 (A-B/A)*100
3"	76.200						<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566 / NTP330.185)</b>
2 1/2"	63.500						(D)Peso húmedo de la muestra(g)
2"	50.800						(E)Peso seco de la muestra(g)
1 1/2"	38.100						% de humedad ((D-E)/E)*100
1"	25.400						<b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL</b>
3/4"	19.050						Módulo de fineza
1/2"	12.700						Tamaño máximo TM
3/8"	9.525						Tamaño máximo nominal TMN
N°8	2.360						Peso unitario suelto
<N°8	<b>FONDO</b>						Peso unitario compactado
<b>TOTAL</b>							Abrasión

Fuente: Propia

Anexo N° 4 Peso específico de agregado fino y agregado grueso

<b>PESO ESPÉCIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (NORMA ASTM C127 )</b>				
<b>MATERIAL</b>				
<b>PROCEDENCIA</b>				
<b>FECHA DE ENSAYO</b>				
<b>APLICACIÓN</b>				
<b>AGREGADO FINO (NORMA ASTM C127)</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso mat. Sat. Sup. Seco al aire (Psss) (gr)				
B. Peso de fiola (gr)				
C. Peso de fiola + agua (gr)				
D. Peso de fiola + agua + material introducido a fiola				
E. Peso de fiola + agua + Pss (C + A)				
F. Peso de material secado en horno (gr)				
Peso específico (base sss) ((A/(E-D))				
Peso específico (base seca) ((F/(E-D))				
% Absorción ((A-F)/F)*100				
<b>PESO ESPÉCIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO(NORMA ASTM C128)</b>				
<b>MATERIAL</b>				
<b>PROCEDENCIA</b>				
<b>FECHA DE ENSAYO</b>				
<b>APLICACIÓN</b>				
<b>AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C128)</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso mat. Sat. Sup. Seco al aire (Psss) (gr)				
B. Peso de cesta (gr)				
C. Peso de cesta sumergida en agua (gr)				
D. Peso de cesta + material sumergido en agua (gr)				
E. Peso aparente de material sumergido en agua (gr)				
F. Peso de material secado en horno (gr)				
Peso específico (base seca) ((F/(A-E))				
Peso específico (base sss) ((A/(A-E))				
Peso específico aparente (base seca) (F/(F-E))				
% Absorción ((A-F)/F)*100				

Fuente: Propia

## Anexo N° 5 Peso unitario de agregado fino

<b>PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO (NORMA ASTM C29)</b>				
<b>MATERIAL</b>				
<b>PROCEDENCIA</b>				
<b>FECHA DE ENSAYO</b>				
<b>APLICACIÓN</b>				
<b>VOLUMEN DE MOLDE CILÍNDRICO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso de molde (kg)				
B. Peso de molde + agua (kg)				
C. Peso de agua (Kg)				
D. Factor de calibración del agua (kg/m <sup>3</sup> )				
E. Volumen del molde (m <sup>3</sup> )				
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso de material + molde (kg)				
B. Peso de molde (kg)				
C. Peso de material (kg) (A - B)				
D. Volumen del molde				
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C / D)				
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>N° 01</b>	<b>N° 02</b>	<b>N° 03</b>	<b>PROMEDIO</b>
A. Peso de material + molde (kg)				
B. Peso de molde (kg)				
C. Peso de material (kg) (A - B)				
D. Volumen del molde				
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C - D)				

Fuente: Propia

## Anexo N° 6 Peso unitario de agregado grueso

PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C29)				
<b>MATERIAL</b>				
<b>PROCEDENCIA</b>				
<b>FECHA DE ENSAYO</b>				
<b>APLICACIÓN</b>				
VOLUMEN DE MOLDE CILÍNDRICO				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso de molde (kg)				
B. Peso de molde + agua (kg)				
C. Peso de agua (Kg)				
D. Factor de calibración del agua (kg/m <sup>3</sup> )				
E. Volumen del molde (m <sup>3</sup> )				
PESO UNITARIO SUELTO				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso de material + molde (kg)				
B. Peso de molde (kg)				
C. Peso de material (kg) (A - B)				
D. Volumen del molde				
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C / D)				
PESO UNITARIO COMPACTADO				
ENSAYOS	N° 01	N° 02	N° 03	PROMEDIO
A. Peso de material + molde (kg)				
B. Peso de molde (kg)				
C. Peso de material (kg) (A - B)				
D. Volumen del molde				
E. Peso unitario del material (kg/m <sup>3</sup> ) (C - D)				

Fuente: Propia

Anexo N° 7 Cálculo de dosificación

CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN																
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DE DISEÑO																
		Propiedades físicas del agregado y cemento								Formulación del diseño						
ITEM	Material		Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Módulo de fineza	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Dosificación base	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	correccion por humedad y absorción				Dosificación real (kg)
												Humedad		Absorción		
												%	kg	%	kg	
1	Cemento tipo															
2	Agua															
3	Arena gruesa	100%														
4	Agregado grueso	100%														
5	% Aire atrapado	2.00%														
									Peso total=							

Fuente: Propia

Anexo N° 8 Cálculo de volumen (tanda) total a utilizar

**Cálculo de Volumen total a utilizar**

Datos:

$f'_{cr}=295 \text{ kg/cm}^2$

Agua= 216 lts

a/c=0.55

Cemento= 392.22

Factor cemento= 9.23

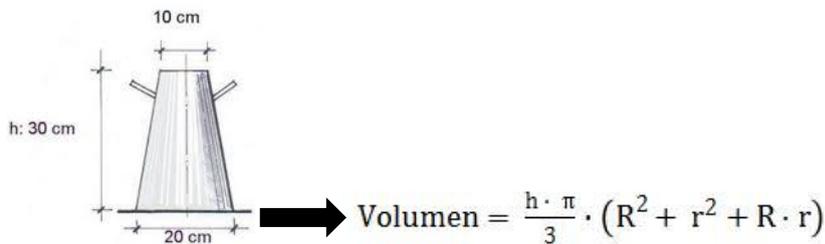
$f'_{cr}= 295$	peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )
agua	216	0.216
cemento	392.22	0.125
a.g.	906.58	0.341
Total=		0.681

Volumen de a. fino =  $1 - 0.68 = 0.32$   
 =  $0.32 \cdot \text{peso específico de a. fino} \cdot 1000$   
 = 844.47 kg

Datos		Unidad	Cantidad	Humedad (%)	Corrección	Absorción (%)	Corrección	Total
$a/c=0.55$	Agregado fino	kg	844.47	1.15	9.71	1.35	-11.40	842.78
	Agregado grueso	kg	906.58	0.66	5.98	2.31	-20.94	891.62
	Agua	lts	216.00		-15.69		32.34	232.65

Elemento	Peso (kg)
	$F'_{c} = 295$
cemento	392.22
Agregado fino	842.78
Agregado grueso	891.6
Agua	232.65

**Volumen de cono de Abrams**



$R_1 = 0.1 \text{ m}$

$R_2 = 0.05 \text{ m}$

$H = 0.3 \text{ m}$

Volumen de cono=  $0.0055 \text{ m}^3$

**Volumen de vigas**



	Pulg	Metro
L	21	0.53
A	6	0.15
Altura	6	0.15

$$V_v = 0.0124 \text{ m}^3$$

$$\text{Se utilizara } 02 \text{ vigas} = 0.0248 \text{ m}^3$$

**Volumen de olla washington para peso unitario**

$$V_w = 0.00704 \text{ m}^3$$

**Volumen de 09 probetas cilindricas**

$$\text{Base} = 0.1 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 0.2 \text{ m}$$

$$V_c = 0.00157 \text{ m}^3$$

$$9 V_c = 0.01414 \text{ m}^3$$

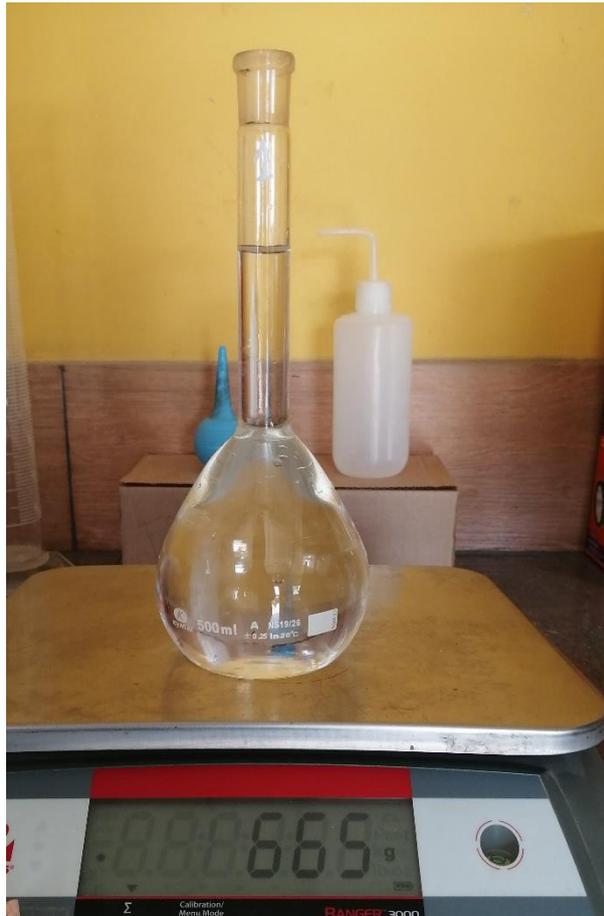
**Volumen total a utilizar**

$$V_t = 3 C_a + 9 V_c + 1 O_w + 2 V_v$$

$$V_t = 0.0624 \text{ m}^3$$

$$V_t + 30\% \text{ de desperdicio} = 0.0812 \text{ m}^3$$

*Anexo N° 9 Fiola con agua*



Fuente: propia

*Anexo N° 10 Toma de temperatura ambiente*



Fuente: propia

*Anexo N° 11 Llenado de cono de Abrams*



Fuente: propia

*Anexo N° 12 Engrasado de cilindros*



Fuente: propia

*Anexo N° 13 Colocación de cilindros para ser llenados de mezcla*



Fuente: propia

*Anexo N° 14 Llenado de cono de Abrams*



Fuente: propia

*Anexo N° 15 Toma de medida de asentamiento*



Fuente: propia

*Anexo N° 16 Instrumentos que se utilizó en la elaboración de probetas*



Fuente: propia

*Anexo N° 17 Toma de contenido de aire*



Fuente: propia

*Anexo N° 18 Retirando exceso de mezcla en cilindros*



Fuente: propia

*Anexo N° 19 Peso de elementos a usar en mescla*



Fuente: propia

*Anexo N° 20 Peso de agregado fino a utilizar*



Fuente: propia

*Anexo N° 21 Incorporación de materiales a mezcladora*



Fuente: propia

*Anexo N° 22 Llenado de cono de Abrams*



Fuente: propia

*Anexo N° 23 Medición de asentamiento*



Fuente: propia

*Anexo N° 24 09 Probetas preliminares*



Fuente: propia

*Anexo N° 25 Extracción de probetas de poza de curado*



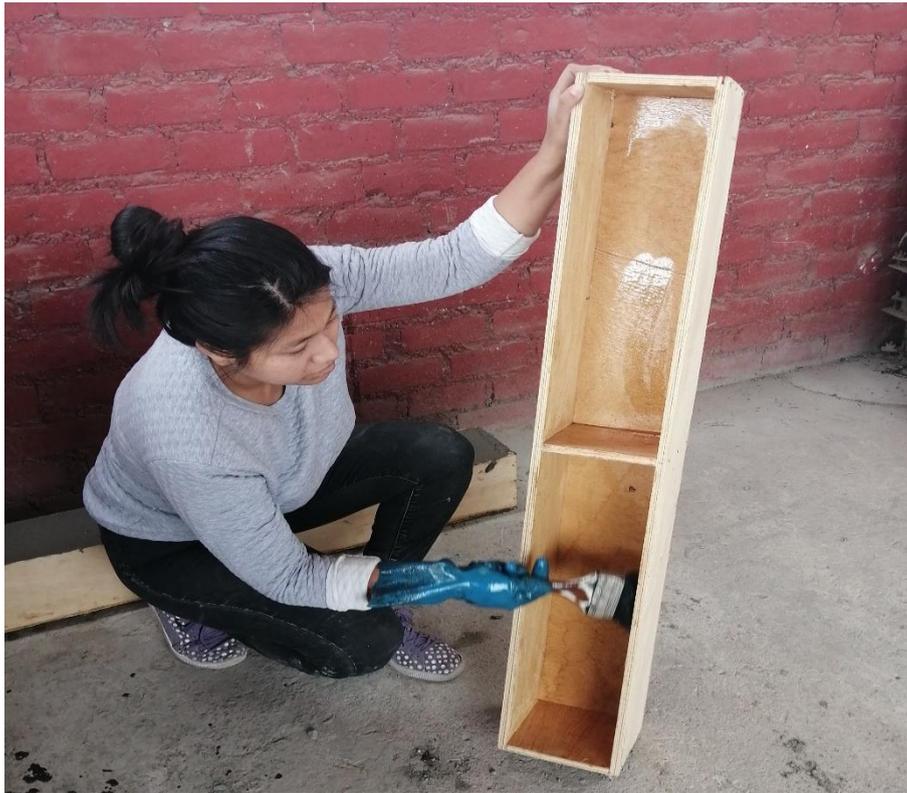
Fuente: propia

*Anexo N° 26 Elementos a utilizar en mezcla*



Fuente: propia

*Anexo N° 27 Engrasado de molde para viga*



Fuente: propia

*Anexo N° 28 Medición de asentamiento*



Fuente: propia

*Anexo N° 29 Eliminación de exceso en vigas*



Fuente: propia

*Anexo N° 30 Incorporación de vidrio molido a mezcladora*



Fuente: propia

*Anexo N° 31 Elaboración de 36 probetas*



Fuente: propia

*Anexo N° 32 Extracción de probetas de sus moldes*



Fuente: propia

Anexo N° 33 Codificación de las 36 probetas a ensayar



Fuente: propia

Anexo N° 34 Probetas terminadas



Fuente: propia

*Anexo N° 35 Colocación de probetas en poza de curado*



Fuente: propia

*Anexo N° 36 Colocación de probetas a poza de curado*



Fuente: propia

Anexo N° 37 Codificación de 08 vigas



Fuente: propia

Anexo N° 38 Vigas codificadas



Fuente: propia

*Anexo N° 39 Rotura de probetas*



Fuente: propia

*Anexo N° 40 Probeta después de ensayo a compresión*



Fuente: propia

*Anexo N° 41 Probeta después de ensayo a compresión*



Fuente: propia

*Anexo N° 42 Muestra probeta en ensayo a compresión*



Fuente: propia

*Anexo N° 43 Rotura de vigas*



Fuente: propia

*Anexo N° 44. Rotura de vigas a flexión*



Fuente: propia

*Anexo N° 45. Toma de datos de ensayo a flexión*



Fuente: propia

*Anexo N° 46. Toma de datos de ensayo a flexión*



Fuente: propia

Anexo N° 47 Vigas después de ser sometidas a ensayo a flexión



Fuente: propia

*Anexo N° 48 Vigas después de ensayo a flexión*



Fuente: propia

*Anexo N° 49 Toma de medidas en vigas*



Fuente: propia

*Anexo N° 50 Viga después de rotura donde se ve el vidrio molido*



Fuente: propia

*Anexo N° 51 Toma de medidas con calibre (pie de rey)*



Fuente: propia

*Anexo N° 52 Toma de medidas con calibre para mas precisión*



Fuente: propia

*Anexo N° 53 Vigas después de ser sometidas a flexión*



Fuente: propia