

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS DE INVESTIGACION

**“ANALISIS DE LA VARIACION EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO $f'_c=210$
kg/cm² CON LA ADICIÓN DE VIDRIO MOLIDO”**

Presentado por:

Bach. QUISPE GRAJEDA, Nehemías

Bach. ZARATE DUEÑAS, Franklin Jonathan

Dictaminantes:

Ing. CRUZ TELLO, Jorge Iván

Dr. Ing. MARIN LOAYZA, José Felipe

M. Sc. AGUILAR HUERTA, Ronald José

Tesis presentada para optar al título profesional de Ingeniero Civil

CUSCO – PERÚ

2020



PRESENTACIÓN

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA
CIVIL, SEÑORES CATEDRÁTICOS MIEMBROS DEL JURADO:**

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos para Optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, ponemos a vuestra consideración la Tesis colectiva titulada: “ANALISIS DE LA VARIACION EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO $f'_c=210$ kg/cm² CON LA ADICIÓN DE VIDRIO MOLIDO”.

El presente trabajo es el resultado de la investigación experimental que perenniza los conocimientos recibidos de parte de todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Esperando que el presente trabajo sirva de consulta para los estudiantes de la carrera profesional y los interesados del tema.

Franklin Jonathan Zárate Dueñas

Nehemías Quispe Grajeda



DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino, a mis amados padres: Genaro y Victoria, por el enorme esfuerzo brindado en mi formación personal y profesional, apoyándome incondicionalmente, a mis hermanos Luz Delia, Bezai, Nathanael, Ruth Ester y Ana Merly, quienes siempre me orientaron para poder lograr este objetivo tan anhelado y a mis amigos quienes me acompañaron en el desarrollo de este trabajo.

Nehemías Quispe Grajeda



DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, por permitirme llegar a este momento de gran importancia en mi vida, otorgarme salud y fuerzas para seguir adelante sin desmayar ante los problemas y azares del destino; enseñándome a encarar las adversidades.

A mi mamá Jerónima, que tiene algo de Dios por la grandeza de su amor, y mucho de ángel por sus incansables cuidados; porque es y será el pilar de mi vida que contribuyó enormemente en mi formación personal y profesional. Gracias por estar pendiente de mí a cada momento.

A mi papá Fermín; por su motivación, apoyo constante e incondicional, tanto al inicio como al final de mi formación profesional. Gracias por ser ejemplo de arduo trabajo y luchar en la vida por lograr nuestros objetivos.

A mis hermanos Jhon, Danny y Yésica, porque juntos aprendimos a vivir, crecimos como cómplices día a día, compartiendo triunfos y fracasos. Doy gracias a Dios por regalarme la dicha de ser hermano vuestro.

A mis grandes amores, Yaquelyn, y a mi hermosa hija que está en su vientre, son y serán mi motor y motivo; con ustedes a mi lado sé que conseguiré todo lo que me proponga en la vida, ¡Los amo muchísimo!

A mis tías Cerafina y Naty, a quienes quiero como a una madre, y a mi tío Juan por compartir momentos muy significativos conmigo desde el primer momento que pise suelo cusqueño, por siempre estar dispuestos a ayudarme en cualquier momento y porque me abrieron las puertas de su hogar.

A mi familia, ustedes queridos tíos y tías, primos y primas, y en especial a mi abuelita porque de una u otra forma, con su apoyo moral me han incentivado a seguir adelante, a lo largo de toda mi vida.

A todos mis amigos y amigas que me han brindado desinteresadamente su valiosa amistad; gracias por ser la sal que condimenta mi vida.

Franklin Jonathan Zárate Dueñas



AGRADECIMIENTO

A la tricentenaria Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Civil que nos acogió en sus aulas, a los docentes quienes nos transmitieron todo sus conocimientos y experiencias para nuestra formación profesional, el cual aplicaremos en la mejora de nuestra sociedad.

A nuestro jurado de tesis por el seguimiento e interés en el correcto desarrollo de la investigación, por sus acertadas orientaciones y a la vez transmitirnos sus conocimientos obtenidos en base al estudio y experiencia.

A los técnicos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales por su apoyo y predisposición en los ensayos realizados, y a todos aquellos que fueron parte fundamental para que esta tesis se concluya con éxito.

Franklin Jonathan Zárate Dueñas
Nehemías Quispe Grajeda



CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE TABLAS	XV
LISTA DE ANEXOS	XVIII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT	XX

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. GENERALIDADES.....	21
1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	21
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	22
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	22
1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	23
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.5. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.5.1. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.5.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	25



1.5.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.6. TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS E INFORMACION.....	26
1.7. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION.	26
1.8. TAMAÑO Y SELECCION DE LA MUESTRA	26
1.9. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION.....	28
1.9.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	28
1.9.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS	28
1.10. VARIABLES E INDICADORES.....	28

CAPITULO II. MARCO CONCEPTUAL

2.1. EL VIDRIO.....	30
2.1.1. DEFINICIÓN	30
2.1.2. PROPIEDADES DEL VIDRIO	31
2.1.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA DURABILIDAD DEL VIDRIO	32
2.1.4. CLASIFICACIÓN DEL VIDRIO.....	33
2.1.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL VIDRIO	34
2.2. RECICLAJE Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.....	35
2.2.1. IMPACTO AMBIENTAL DEL RECICLAJE DE VIDRIO	35
2.2.2. RECICLADO DE VIDRIO	35
2.3. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	36
2.3.1. CONSTRUCCIÓN CON VIDRIO MOLIDO RECICLADO	36
2.4. CONCRETO	38
2.5. COMPONENTES DEL CONCRETO.....	38
2.5.1. CEMENTO	39
2.5.2. AGREGADO.....	39
2.5.3. AGUA.....	40



2.5.4. ADITIVOS	40
2.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO	41
2.6.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	41
2.6.1.1. Trabajabilidad	41
2.6.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	44
2.6.2.1. Resistencia a la compresión	44
2.7. DISEÑO DE MEZCLAS CON EL MÉTODO ACI-211	45
2.7.1. SECUENCIA DE DISEÑO	45
2.8. CANTERAS DE ORIGEN DE LOS AGREGADOS	53
2.8.1. CANTERA DE VICHO	53
2.8.2. CANTERA DE CUNYAC	53
<i>CAPITULO III. RECOLECCION DE DATOS</i>	<i>55</i>
3.1. DESARROLLO DEL TRABAJO	55
3.2. ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE TRABAJO	55
3.2.1. AGREGADOS	55
3.2.1.1. Agregado grueso	55
3.2.1.2. Agregado fino	56
3.2.2. VIDRIO	57
3.2.2.1. Obtención del vidrio	57
3.2.2.2. Limpieza del vidrio	57
3.2.2.3. Triturado y molienda de vidrio	58
3.2.3. CEMENTO	59
3.2.4. AGUA	61
3.2.5. AIRE	61
3.3. PROCEDIMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO, PARA RECOLECCIÓN DE DATOS....	61
3.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	62



3.3.1.1. Objetivo	62
3.3.1.2. Procedimiento	62
3.3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD	68
3.3.2.1. Objetivo	68
3.3.2.2. Procedimiento	68
3.3.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN EN AGREGADOS	69
3.3.3.1. Objetivo	69
3.3.3.2. Procedimiento	69
3.3.4. PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS	71
3.3.4.1. Objetivo	71
3.3.4.2. Procedimiento	71
3.3.5. ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES.....	76
3.3.5.1. Objetivo	76
3.3.5.2. Procedimiento	76
3.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	80
3.4.1. MATERIALES Y HERRAMIENTAS	80
3.4.2. PREPARACIÓN DE MOLDES O BRIQUETERAS	81
3.4.3. PROPORCIONAMIENTO Y MEZCLADO DEL CONCRETO	81
3.4.4. PRUEBA DE REVENIMIENTO	83
3.4.5. LLENADO DE LOS MOLDES CILINDRICOS O BRIQUETERAS	84
3.4.6. DESMOLDE Y CURADO	85
3.5. ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO	87
<i>CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</i>	
4.1. ENSAYOS A LOS AGREGADOS.....	90
4.1.1. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	90
4.1.1.1. Agregado Grueso - Cantera de Vicho	91
4.1.1.2. Agregado Fino - corregido (70% Vicho + 30% Cunyac).....	92



4.1.1.3. Agregado Fino - Cantera de Vicho	93
4.1.1.4. Agregado Fino – Cantera de Cunyac	94
4.1.1.5. Vidrio Molido.....	95
4.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	96
4.1.3. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	96
4.1.4. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO	97
4.1.4.1. Peso unitario suelto.....	97
4.1.4.2. Peso unitario compactado.....	98
4.1.5. ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES.....	99
4.2. DISEÑO DE MEZCLA	99
4.2.1. PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	99
4.2.2. PARA EL CONCRETO CONVENCIONAL (0% DE VIDRIO MOLIDO), USANDO LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR	104
4.2.2.1. Dosificación en peso del concreto.....	109
4.2.2.2. Dosificación en volumen del concreto	109
4.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN.....	110
4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR	110
4.4.2. CONCRETO CONVENCIONAL (CON 0% DE VIDRIO MOLIDO).....	112
4.4.2.1. Resistencia a los 7 días	112
4.4.2.2. Resistencia a los 14 días	113
4.4.2.3. Resistencia a los 21 días	114
4.4.2.4. Resistencia a los 28 días	115
4.4.3. CONCRETO CON 20% DE VIDRIO MOLIDO	116
4.4.3.1. Resistencia a los 7 días	116
4.4.3.2. Resistencia a los 14 días	117
4.4.3.3. Resistencia a los 21 días	118
4.4.3.4. Resistencia a los 28 días	119
4.4.4. CONCRETO CON 30% DE VIDRIO MOLIDO	120



4.4.4.1. Resistencia a los 7 días	120
4.4.4.2. Resistencia a los 14 días	121
4.4.4.3. Resistencia a los 21 días	122
4.4.4.4. Resistencia a los 28 días	123
4.4.5. CONCRETO CON 40% DE VIDRIO MOLIDO	124
4.4.5.1. Resistencia a los 7 días	124
4.4.4.5. Resistencia a los 14 días	125
4.4.4.5. Resistencia a los 21 días	126
4.4.4.5. Resistencia a los 28 días	127
4.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	128
4.5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO CON Y SIN VIDRIO MOLIDO	128
4.6. DISCUSION	129
4.7. ANALISIS DE COSTOS.	131
<i>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	
5.1. CONCLUSIONES	135
5.2. RECOMENDACIONES	137
5.3. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	138
<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	<i>139</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>143</i>



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura interna del vidrio y cristal	30
Figura 2. Factores que afectan a la durabilidad	32
Figura 3. Clasificación del vidrio	33
Figura 4. Objetos de vidrio de uso doméstico más comunes y 100% reciclables.	35
Figura 5. Propiedades del concreto fresco	42
Figura 6. Determinación de la consistencia por el ensayo del cono de Abrams.....	43
Figura 7. Visita al proveedor de Agregado grueso de Vicho,.....	54
Figura 8. Agregado fino, confitillo de Vicho al frente y arena fina de Cunyac al fondo	54
Figura 9. Lavado y ensaquillado del agregado grueso para luego ser secado y almacenado .56	
Figura 10. Confitillo de Vicho y arena fina de Cunyac	56
Figura 11. Recolección y almacenamiento de botellas y otros envases de vidrio.	57
Figura 12. Proceso de molienda de las botellas y envases de vidrio	58
Figura 13. Almacenamiento del vidrio molido en baldes de 20 litros.....	59
Figura 14. Selección de la muestra representativa del agregado grueso por el método del cuarteo.....	62
Figura 15. Tamizado manual del agregado grueso	63
Figura 16. Granulometría del agregado grueso de Vicho.....	64
Figura 17. Selección de la muestra representativa del agregado fino.....	64
Figura 18. Tamizado manual del agregado fino	65
Figura 19. Granulometría del agregado fino - Confitillo de Vicho	66
Figura 20. Granulometría del agregado fino - Arena fina de Cunyac	66
Figura 21. Granulometría del agregado fino corregido - (70% Confitillo + 30% Arena fina de Cunyac).....	67
Figura 22. Granulometría del agregado fino - Vidrio molido.....	67



<i>Figura 23.</i> Pesado de las cápsulas con muestras de agregado grueso y fino corregido, después de secado.....	68
<i>Figura 24.</i> Secado de las partículas del agregado fino, con una corriente de aire tibio.....	70
<i>Figura 25.</i> Llenado del Próctor con agregado grueso	72
<i>Figura 26.</i> Llenado del Próctor modificado con agregado fino	72
<i>Figura 27.</i> Enrasado del agregado grueso	73
<i>Figura 28.</i> Enrasado del agregado fino corregido.....	73
<i>Figura 29.</i> Llenado y apisonado del agregado grueso en Próctor	74
<i>Figura 30.</i> Llenado y apisonado del agregado fino en el próctor modificado	74
<i>Figura 31.</i> Enrasado del agregado fino corregido sobrante con la varilla de acero	75
<i>Figura 32.</i> Lavado del agregado grueso de vicho	76
<i>Figura 33.</i> Material de ensayo de gradación Tipo B.....	77
<i>Figura 34.</i> Colocado de la muestra y la carga en la máquina de Los Ángeles	78
<i>Figura 35.</i> Muestra retirada de la máquina de Los Ángeles, luego del ensayo.	79
<i>Figura 36.</i> Tamizado de la muestra resultante con la malla N° 12.....	79
<i>Figura 37.</i> Pesado de los materiales por tanda, de acuerdo al diseño de mezcla.....	82
<i>Figura 38.</i> Proceso de mezclado de los materiales del concreto.....	82
<i>Figura 39.</i> Prueba de revenimiento del concreto	83
<i>Figura 40.</i> Llenado de los moldes cilíndricos con concreto	84
<i>Figura 41.</i> Desmolde de las briquetas del concreto	85
<i>Figura 42.</i> Curado del concreto por inmersión	86
<i>Figura 43.</i> Probetas de concreto, en los pozos de curado y cilindros	86
<i>Figura 44.</i> Probetas de concreto con 30% de VM y a la edad de 21 días, listas para ser llevadas al laboratorio para someterlos a compresión	87



Figura 45. Probetas de concreto con 0% y 20% de vidrio molido a edad de 07 días, que fueron sometidos a ensayo de compresión88

Figura 46. Rotura de briquetas de concreto de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con 30 % de vidrio molido, a la edad de 28 días.....89

Figura 47. Curva Granulométrica del agregado grueso de Vicho91

Figura 48. Curva Granulométrica del agregado fino corregido (70% Vicho + 30% Cunyac)92

Figura 49. Curva Granulométrica del agregado fino de Vicho.....93

Figura 50. Curva Granulométrica del agregado fino de Cunyac94

Figura 51. Curva Granulométrica del agregado fino (Vidrio molido).....95

Figura 52. Comparación de resistencias del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido 128

Figura 53. Madurez del concreto a diferentes porcentajes de vidrio molido adicionado 129

Figura 54. Curva Granulométrica del agregado fino corregido (70% Vicho + 30% Cunyac) 145



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tamaño de la muestra	27
Tabla 2 Operacionalización de variables	29
Tabla 3 Propiedades Mecánicas del vidrio	31
Tabla 4 Propiedades físicas y mecánicas del vidrio.....	32
Tabla 5 Composición de distintos tipos de vidrio (% en peso).....	34
Tabla 6 Tiempo de degradación de los residuos	37
Tabla 7 Consistencia y asentamientos	44
Tabla 8 Resistencia a la compresión promedio.....	45
Tabla 9 Requisitos granulométricos del agregado grueso	46
Tabla 10 Selección del asentamiento	47
Tabla 11 Volumen unitario de agua.....	48
Tabla 12 Contenido de aire atrapado	48
Tabla 13 Contenido de aire incorporado y total.....	48
Tabla 14 Relación Agua/Cemento por resistencia.....	49
Tabla 15 Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	50
Tabla 16 Características técnicas del concreto multi-propósito Yura Tipo IP	60
Tabla 17 Gradación de las muestras de ensayo	77
Tabla 18 Carga a usar según el tipo de Gradación de la muestra	78
Tabla 19 Cantidad de probetas cilíndricas de concreto elaboradas	80
Tabla 20 Cantidad de probetas cilíndricas de concreto sometidas a ensayo de compresión ..	88
Tabla 21 Resumen de los resultados de ensayos aplicados sobre los agregados.....	90
Tabla 22 Análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho	91
Tabla 23 Análisis granulométrico del agregado fino corregido (70% Vicho + 30% Cunyac) ..	92
Tabla 24 Análisis granulométrico del agregado fino de Vicho	93



Tabla 25 Análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac	94
Tabla 26 Análisis granulométrico del vidrio molido	95
Tabla 27 Contenido de humedad del agregado grueso	96
Tabla 28 Contenido de humedad del agregado fino corregido	96
Tabla 29 Peso específico y absorción del agregado grueso	97
Tabla 30 Peso específico y absorción del agregado fino corregido.....	97
Tabla 31 Peso unitario suelto del agregado grueso.....	98
Tabla 32 Peso unitario suelto del agregado fino corregido.....	98
Tabla 33 Peso unitario compactado del agregado grueso	98
Tabla 34 Peso unitario compactado del agregado fino corregido.....	99
Tabla 35 Abrasión Los Ángeles al desgaste de agregados de tamaños menores de 1 1/2"	99
Tabla 36 Dosificación en peso del concreto, para diferentes porcentajes de vidrio molido..	109
Tabla 37 Dosificación en volumen del concreto, para diferentes porcentajes de vidrio molido	110
Tabla 38 Resistencia a la compresión de los concretos elaborados a los 28 días	110
Tabla 39 Determinación de la desviación estándar.....	111
Tabla 40 Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 07 días....	112
Tabla 41 Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 14 días....	113
Tabla 42 Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 21 días....	114
Tabla 43 Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 28 días....	115
Tabla 44 Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 07 días..	116
Tabla 45 Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 14 días..	117
Tabla 46 Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 21 días..	118
Tabla 47 Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 28 días..	119
Tabla 48 Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 07 días..	120



Tabla 49 Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 14 días..	121
Tabla 50 Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 21 días..	122
Tabla 51 Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 28 días..	123
Tabla 52 Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 07 días..	124
Tabla 53 Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 14 días..	125
Tabla 54 Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 21 días..	126
Tabla 55 Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 28 días..	127
Tabla 56 Análisis comparativo de resistencias del concreto con VM a diferentes porcentajes	128
Tabla 57 Análisis de precios unitarios de lavado y limpieza de botellas de vidrio	131
Tabla 58 Análisis de precios unitarios de molienda de vidrio	132
Tabla 59 Costo de obtención del vidrio molido.....	132
Tabla 60 Análisis de Precios Unitarios del Concreto Convencional	133
Tabla 61 Análisis de Precios Unitarios del Concreto con 20% de Vidrio Molido	134
Tabla 62 Análisis granulométrico del agregado fino corregido (confitillo + arena fina) + 30% de vidrio molido.....	145



LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del Cemento Multipropósito Yura tipo IP.....	143
Anexo B. Agregado fino corregido (confitillo + arena fina) + vidrio molido	145
Anexo C. Desviación Estándar del concreto convencional (0% de Vidrio Molido)	146
Anexo D. Desviación Estándar del concreto con 20% de Vidrio Molido	147
Anexo E. Desviación Estándar del concreto con 30% de Vidrio Molido.....	148
Anexo F. Desviación Estándar del concreto con 40% de Vidrio Molido	149
Anexo G. Costo Hora Hombre para Cusco 2019-2020	150
Anexo H. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, con 0% de VM	151
Anexo I. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, con 20% de VM	159
Anexo J. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, con 30% de VM	167
Anexo K. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, con 40% de VM	175



RESUMEN

La basura generada por las personas es un problema que aqueja enormemente a la ciudad del Cusco, así como al resto del país; que entre los desechos de basura más comunes se encuentra el vidrio, es por ello que la investigación realizada buscó brindar una alternativa diferente para reciclar y reutilizar el vidrio, evitando así que lleguen a parar al medio ambiente.

Una de estas alternativas fue integrarlo al proceso de fabricación de concreto, incorporando vidrio molido (VM) a la mezcla de concreto en reemplazo del agregado fino. Por ende, en el desarrollo de la investigación se analizó cuál sería la variación en el comportamiento del concreto $f_c=210$ kg/cm² con la adición de vidrio molido.

Para ello se prepararon mezclas de concreto con la adición de distintos porcentajes de vidrio molido (20%, 30% y 40%), en reemplazo de agregado fino. Los resultados de este estudio de investigación, evidenciaron la influencia que tuvo la incorporación de vidrio molido en la resistencia del concreto, lo que ayudó a determinar la dosificación adecuada, el cual ofreció un desempeño y características similares al agregado fino tradicionalmente utilizado en la elaboración del concreto.

Es así que, se llega a establecer que los concretos con adición de 20% y 30% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino, fueron aquellos que mejores resultados ofrecieron, llegando a sobrepasar la resistencia del concreto convencional (0% de VM); mientras que el concreto con 40% de VM adicionado ofreció una resistencia similar al del concreto convencional.



ABSTRACT

The garbage generated by people is a problem that greatly afflicts the city of Cusco, as well as the rest of the country; that among the most common garbage wastes is glass, which is why the research carried out sought to provide a different alternative to recycle and reuse glass, thus preventing them from reaching the environment.

One of these alternatives was to integrate it into the concrete manufacturing process, incorporating ground glass (VM) into the concrete mixture instead of the fine aggregate. Therefore, the variation in the behavior of concrete $f'_c = 210 \text{ kg / cm}^2$ with the addition of ground glass was analyzed in the development of the investigation.

For this, concrete mixtures were prepared with the addition of different percentages of ground glass (20%, 30% and 40%), replacing fine aggregate. The results of this research study, evidenced the influence of the incorporation of ground glass in the strength of concrete, which helped determine the appropriate dosage, which offered a performance and characteristics similar to the fine aggregate traditionally used in the preparation of concrete.

Thus, it is established that the concrete with the addition of 20% and 30% of ground glass in replacement of the fine aggregate, were those that offered the best results, exceeding the resistance of conventional concrete (0% of VM); while the concrete with 40% of VM added offered a resistance similar to that of conventional concrete.



CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. GENERALIDADES

El concreto es uno de los materiales de construcción que en la actualidad su uso es indispensable en obras civiles, por ello, es casi imposible imaginar en una edificación que no use concreto en alguno de sus elementos.

La mezcla tradicional de concreto contiene cemento, agregados finos y gruesos, agua, y en ocasiones aditivos, esta combinación ha sido y es la base sobre la cual se han levantado infinidad de construcciones hasta la actualidad.

Variar los componentes de la mezcla de concreto parcial o totalmente, manteniendo su comportamiento estructural es uno de los retos que se tiene, y que para el caso nuestro fue sustituir parcialmente el agregado fino por vidrio molido, que, a pesar de tener un origen y composición química muy diferente, variará las propiedades y resistencia mecánica del concreto.

1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Anualmente se elaboran millones de productos a base de vidrio, y en la mayor parte son usados como envases de vidrio para productos alimenticios, bebidas, o como vidrio para ventanas de viviendas y edificios; por lo que, estos luego de ser usados terminan como desechos y son arrojados a la basura con el resto de los desperdicios generados por el hombre. Toda la basura producida llega a parar a los botaderos o rellenos sanitarios de cada localidad, sin embargo, la irresponsabilidad de los seres humanos y la falta de práctica de la cultura del reciclaje ocasiona que la mayoría de estos desechos llegan a parar en la naturaleza, provocando la contaminación del planeta y generando un daño irreparable al medio ambiente.



Por otro lado, se sabe que la producir concreto se realiza utilizando para ello cemento, así como agregados fino y grueso; por lo que se requiere de la explotación de canteras para la obtención de estos materiales, perjudicando así la estética natural de los paisajes.

Debido a que el vidrio es un material que tarda mucho tiempo en degradarse (Tabla 6), así como el perjuicio y daño que genera en la salud del planeta, se vio la necesidad de brindarle al vidrio un uso secundario del que inicialmente tenía, en este caso como un material que integre parte del concreto, específicamente reemplazando el agregado fino por vidrio molido; y que al mismo tiempo ayude a desarrollar una industria de la construcción con materiales reciclados en la región Cusco y en el Perú.

Por esta razón nace la necesidad de esta investigación, que estudia la forma de reutilizar material de desecho, como es el caso del vidrio reciclado, como material alternativo en la elaboración de concreto, para que residuos de vidrio, como botellas, envases de conservas y restos de vidrios de ventanas no den a parar al medio ambiente. En este contexto, la investigación buscó averiguar si el vidrio molido puede reemplazar parcialmente al agregado fino tradicionalmente empleado en la elaboración de concreto, para las condiciones propias de los materiales que componen el concreto.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

PG: ¿Cuál es la variación en el comportamiento del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con la adición de vidrio molido en la ciudad del Cusco?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE1: ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los agregados que serán empleados en la preparación del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con la adición de vidrio molido?



PE2: ¿Qué porcentaje de vidrio molido incorporado en la mezcla de concreto en sustitución del agregado fino, garantiza la producción de un concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con adecuada resistencia a la compresión?

PE3: ¿Cuál es la diferencia de costos que existe en producir concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con adición de vidrio molido en sustitución parcial del agregado fino, con respecto al concreto convencional?

1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

En la actualidad los desechos generados por la actividad humana se han convertido en un problema por una serie de factores y posibles consecuencias, entre las cuales se tiene: problemas sanitarios, contaminación, impacto ambiental y desperdicio de recursos materiales que pueden ser reutilizados o reciclados. Entre los elementos desechados, el vidrio presente en los botaderos de basura, es uno de los materiales que necesita mayor tiempo para su descomposición.

La realización de la investigación busca reducir el impacto que genera en el medio ambiente los residuos sólidos producidos por la población, específicamente desechos de vidrio, y así mismo disminuir la sobre explotación de canteras de los cuales se obtienen los agregados empleados en la industria de la construcción, es decir, en el proceso de elaboración del concreto; todo ello mediante el uso de material reciclado (vidrio molido), como agregado fino en la preparación de la mezcla concreto

Por ello, esta investigación se enmarca en tres aspectos: en primer lugar, la reducción de costos asociados a la obtención de materiales de construcción (agregados); en segundo lugar, la innovación, en cuanto a la reutilización de este material en el concreto; y en tercer



lugar, la preservación del medioambiente, asociado a la reducción del volumen de residuos sólidos generados, tanto a nivel doméstico como industrial.

Es por esto que, el presente proyecto se enfoca en el análisis del uso del vidrio molido como sustituto del agregado fino tradicionalmente empleado en la elaboración del concreto, evaluando el grado de influencia que genera la incorporación de vidrio molido en el comportamiento del concreto $f'_c=210$ kg/cm², con el fin de validar su uso en la industria de la construcción; mediante la determinación de la resistencia a la compresión de concreto obtenido, verificando el cumplimiento con lo establecido por la normatividad peruana, y comparándolo con respecto al concreto convencional.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

OG: Analizar la variación en el comportamiento del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con adición de vidrio molido, en la ciudad del Cusco.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinar las propiedades mecánicas de los agregados que serán empleados en la preparación del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con la adición de vidrio molido.

OE2: Establecer la apropiada cantidad o porcentaje de vidrio molido incorporado en la mezcla de concreto en sustitución del agregado fino, que garantice la producción de un concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con adecuada resistencia a la compresión.

OE3: Realizar un análisis de costo de producción de concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con adición de vidrio molido en sustitución parcial del agregado fino, en comparación al concreto convencional.



1.5. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

Cuantitativa

La investigación se basa en el estudio y análisis de la variación en el comportamiento del concreto $f'_c=210$ kg/cm², con la adición de diferentes porcentajes de vidrio molido y que, a través de un procedimiento basado en la medición, como es el de la resistencia a la compresión permitirá obtener valores que ayudarán a obtener explicaciones contrastadas a partir de la hipótesis. Los resultados de esta investigación se basarán en la estadística.

1.5.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Investigación Experimental

La hipótesis de la investigación se verificará mediante la manipulación directa de la variable independiente, el cual determinará el efecto del vidrio molido sobre las propiedades mecánicas del concreto, en la que se aplicará diferentes niveles de dosificación.

Investigación Aplicada

Tiene como propósito determinar una característica importante en el concreto convencional empleando un material de reciclaje (vidrio molido) en su composición, de tal manera que permita establecer la finalidad práctica y factible de su uso, y de esta manera este material pueda ser considerado como alternativa para futuras obras civiles.

1.5.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Correlacional: El estudio mide el grado de relación existente entre las variables, es decir determinar cuánto puede influir en la resistencia a la compresión del concreto (Y: Variable dependiente), la adición de vidrio molido (X: Variable independiente) como agregado fino en el diseño de mezcla de concreto de $f'_c=210$ kg/cm².



1.6. TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS E INFORMACION

- Se recolectó los datos a partir de los ensayos de laboratorio.
 - i. Propiedades de los agregados que componen el concreto: (Análisis granulométrico, contenido de humedad, peso unitario, peso específico, ensayo los Ángeles).
 - ii. Diseño de mezcla (Método del ACI).
 - iii. Elaboración de probetas cilíndricas y control de calidad de los mismos.
 - iv. Ensayo de Resistencia a la compresión (Rotura de Briquetas)
- La revisión de los datos fue detallada con el fin de obtener información confiable.
- Se tabularon cuadros de acuerdo a las variables planteadas de la hipótesis.

1.7. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION.

- Se representaron los resultados obtenidos mediante gráficos y cuadros estadísticos, producto del procesamiento de datos.
- Se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.
- La comprobación de la hipótesis planteada fue de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación.
- Y finalmente se llegó a la obtención de conclusiones y recomendaciones

1.8. TAMAÑO Y SELECCION DE LA MUESTRA

La selección de muestra se realizó tomando 30 muestras por cada porcentaje de vidrio molido adicionado a la mezcla de concreto en reemplazo del agregado fino, es decir; 20%, 30% y 40% de vidrio molido y con muestras de concreto convencional (0% de vidrio molido), con una resistencia de diseño $f'_c=210\text{kg/cm}^2$. Por ello, se elaboraron probetas



cilíndricas para la medición de la resistencia a la compresión del concreto mediante cilindros de 100 por 200 mm.

Para ello, la cantidad total de probetas cilíndricas de concreto a elaboradas fueron de 1020 unidades, a las que se le sometió a compresión para determinar su resistencia, a edades de 7,14, 21 y 28 días, y por cada porcentaje de vidrio molido adicionado, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Tamaño de la muestra

CONCRETO $f'_c=210$ kg/cm ²	Dosificación de Vidrio Molido	EDAD (Días)	N° de Probetas
Para la Desviación Estándar	0%	28	60
Convencional	0 %	7	60
		14	60
		21	60
		28	60
Con vidrio molido	20 %	7	60
		14	60
		21	60
		28	60
	30 %	7	60
		14	60
		21	60
		28	60
	40 %	7	60
		14	60
		21	60
		28	60
TOTAL DE PROBETAS			1020

Fuente: Propia

Por consiguiente, las muestras fueron constituidas por 60 probetas cilíndricas de concreto para cada uno de los porcentajes de vidrio molido (0%, 20%, 30% y 40%) y para edades de 7, 14, 21 y 28 días, tal como se indica en el Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E 060 – Concreto Armado, Capítulo 5).



1.9. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION

1.9.1. HIPÓTESIS GENERAL

HG: La adición de vidrio molido en la mezcla del concreto $f'c = 210 kg/cm^2$, si variará su resistencia a la compresión, y realizado la comparación de resultados obtenidos demostrarán que el concreto con adición de vidrio molido responde igual o mejor que el concreto convencional.

1.9.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

HE1: La determinación de las propiedades mecánicas de los agregados, permitirá diseñar y elaborar adecuadamente un concreto $f'c = 210 kg/cm^2$, con adición de vidrio molido.

HE2: : Se logró determinar el porcentaje apropiado de vidrio molido que, adicionado a la mezcla de concreto en reemplazo del agregado fino, garantiza la obtención de un concreto $f'c = 210 kg/cm^2$, que ofrece el mismo desempeño de un concreto convencional.

HE3: El análisis de costos de producción de concreto $f'c = 210 kg/cm^2$ con adición de vidrio molido en sustitución parcial del agregado fino, es más barato en comparación al concreto convencional

1.10. VARIABLES E INDICADORES

La tabla 2, muestra la desintegración de las variables que integran la investigación, definiéndolos en componentes cuantificables; es decir que estas variables se dividen en dimensiones, factores e indicadores, que ayudan a convertir conceptos abstractos en factores que se puedan medir. Las variables que componen la investigación son:



- VARIABLE INDEPENDIENTE "X": Vidrio Molido
- VARIABLE DEPENDIENTE "Y" : Resistencia a la compresión del concreto f'_c

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Factores	Indicadores	
<u>VARIABLE INDEPENDIENTE:</u> Vidrio Molido	- Vidrio molido	- Porcentaje de adición	- Porcentaje	
		- Tamaño de la partícula	- Granulometría	
	- Agregado Grueso	- Análisis Granulométrico	- Granulometría	
		- Contenido de humedad	- Porcentaje	
		- Tamaño máximo	- Pulgada	
		- Porcentaje de Absorción	- Porcentaje	
		- Peso Unitario	- kg/m ³	
		- Agregado Fino	- Análisis Granulométrico	- Granulometría
	- Módulo de fineza		- Adimensional	
	- Contenido de humedad		- Porcentaje	
	- Peso Unitario		- kg/m ³	
	- Porcentaje de Absorción		- Porcentaje	
	<u>VARIABLE DEPENDIENTE:</u> Resistencia a la compresión del concreto $f'_c= 210$ kg/cm ²	- Propiedades del Concreto Fresco	- Asentamiento	- Pulgadas
			- Peso Unitario	- Peso de 1m ³ de concreto (kg/m ³)
		- Propiedades del concreto endurecido	- Resistencia a la compresión	- f'_c (kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO II. MARCO CONCEPTUAL

2.1. EL VIDRIO

2.1.1. DEFINICIÓN

“El vidrio es una sustancia sólida, sobrefundida, amorfa, dura, frágil, que es complejo químico de silicatos sólidos y de cal que corresponde a la fórmula: $\text{SiO}_2 (\text{Na}_2\text{O})_m (\text{CaO})_n$ ” (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018, art. 2).

Toro & Pereira, (2010) afirman que, “El vidrio es un producto inorgánico de fusión, enfriado hasta llegar a la condición de rigidez sin cristalización. El vidrio carece de punto de fusión determinado, al contrario de lo que ocurre con la mayor parte de los cuerpos” (p.57).

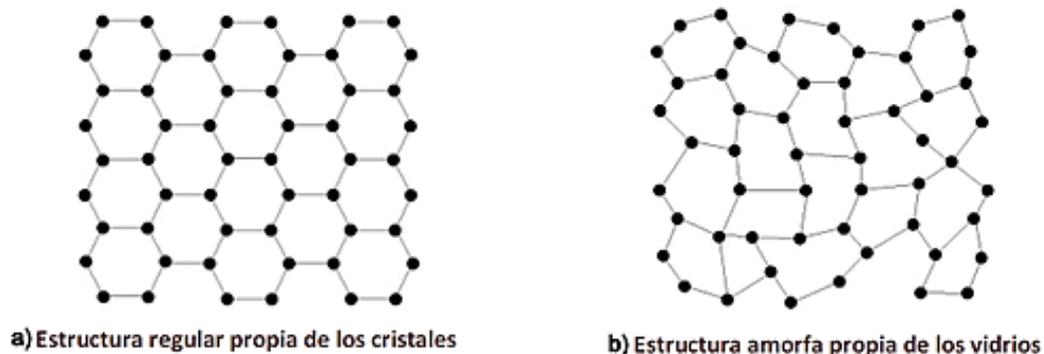


Figura 1. Estructura interna del vidrio y cristal

FUENTE: El vidrio en la construcción. Tipologías y usos. Javier Calderón Cabrera. Universidad Politécnica de Valencia.

Es muy común la confusión entre vidrio y cristal, por lo que es necesario hacer una aclaración en este punto. Si bien es cierto que estos materiales pueden tener la misma composición, no obstante, poseen una ordenación diferente de su estructura atómica tal como se muestra en la figura 1. En el cristal los átomos permanecen ordenados, sin embargo, en el vidrio estos se presentan de forma desordenada, generándose un material amorfo (Calderón, 2010, p. 10).



Los cristales son creados por la naturaleza y se hallan en diferentes formas, el cuarzo es un ejemplo claro de ello. La mayor parte de los cristales se forman a partir de la cristalización de gases a presión en la pared interior de cavidades rocosas, sin embargo, aquello que se fabrica fundiendo principalmente arena de sílice, es vidrio (Friends of Glass, 2019, párrafo 2).

2.1.2. PROPIEDADES DEL VIDRIO

El vidrio es un material duro pero frágil al mismo tiempo, y algo que refuerza esa debilidad es la presencia de imperfecciones superficiales, como astilladuras o grietas. Posee características mecánicas que lo hacen muy útil para la fabricación de distintos objetos como botellas, frascos, vasos, etc.

Según (Calderón, 2010) “El comportamiento mecánico del vidrio va a depender de factores como la rigidez de las uniones moleculares y fundamentalmente del estado de su superficie. En la superficie de los vidrios se albergan microfisuras que soportan esfuerzos mecánicos” (p.18). Todo lo antes mencionado da inicio a la rotura del material, luego de aplicado una carga o fuerza. A continuación en la Tabla 3 se menciona las propiedades mecánicas del vidrio:

Tabla 3
Propiedades Mecánicas del vidrio

Resistencia	Vidrio		Observaciones
	Recocido	Templado	
A la compresión (Kg/cm ²)	10 000		Peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1 cm de lado
A la tracción (Kg/cm ²)	400	1 000	Es variable y dependerá en parte de las microfisuras que tenga en su superficie.
A la flexión (Kg/cm ²)	400	1 000	La carga a flexión se descompone en una carga a tracción y otra a compresión. Debido a que la resistencia del vidrio a tracción siempre será menor que la resistencia a compresión, fallará por tracción.

Fuente: Calderón (2010, 18)



El vidrio posee otras propiedades físicas y mecánicas, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Propiedades físicas y mecánicas del vidrio.

Características	Símbolo	Valor numérico
Densidad (a 18°C)	P	2 500 Kg/m ³
Dureza	-	6 (escala Mohs)
Módulo de Young	E	7x10 ¹⁰ Pa
Índice de Poisson	μ	0,22
Calor específico	C	0,72 x 10 ³ x
Coefficiente medio de dilatación lineal entre 20 y 300 °C	A	9 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Conductividad térmica	Λ	1 W/(mK)
índice de refracción medio en el espectro visible (380 nm y 780 nm)	N	1,5

Fuente: Calderón (2010, p. 19)

2.1.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA DURABILIDAD DEL VIDRIO

En la figura 2 se muestran los factores que influyen en la durabilidad del vidrio:

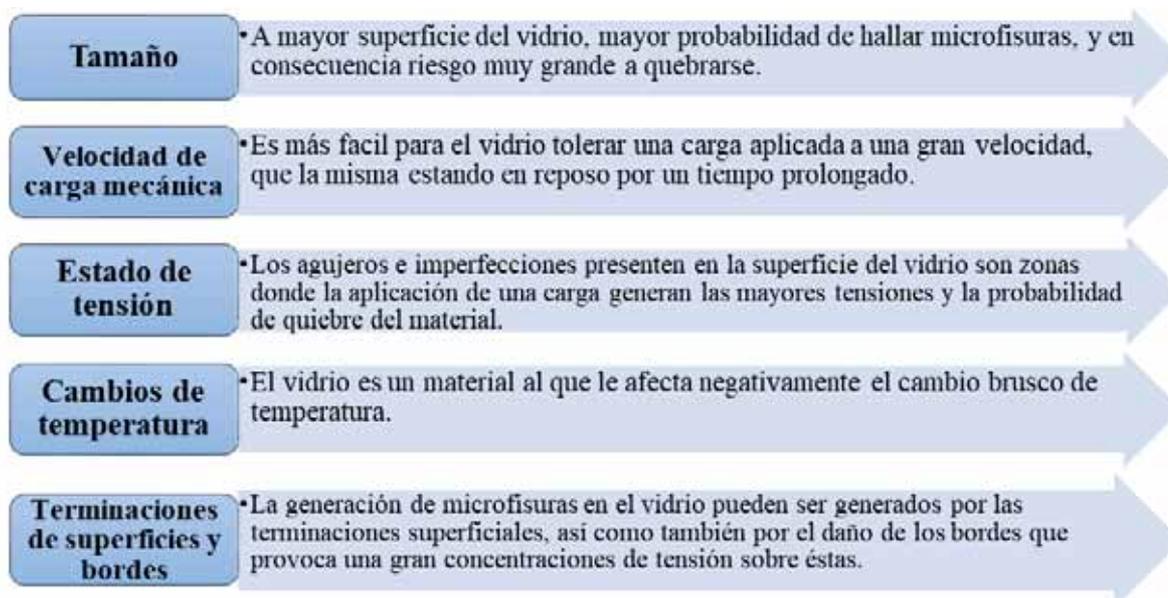


Figura 2. Factores que afectan a la durabilidad

Fuente: Calderón (2010, p. 24)

Según Kamahu (2009), los envases a base de vidrio en ciertos casos poseen una gran resistencia, esto se debe varios motivos como la forma del envase, distribución de vidrio y grado de recocido. Si tiene algún defecto, ocurre distintos tipos de fractura: por



impacto, por choque térmico o por presión interna; todas estas tienen por origen una descompensación en las fuerzas de tensión interna (párrafo 42).

2.1.4. CLASIFICACIÓN DEL VIDRIO

En el mundo existen una gran variedad y muchas clases de vidrio, que poseen distintas características, composición química, y propiedades físico mecánicas como el color, forma, resistencia y además de ello las materias primas utilizadas en su proceso de fabricación, permite crear diferentes tipos de vidrios según el fin o uso, a la que van a ser destinados.

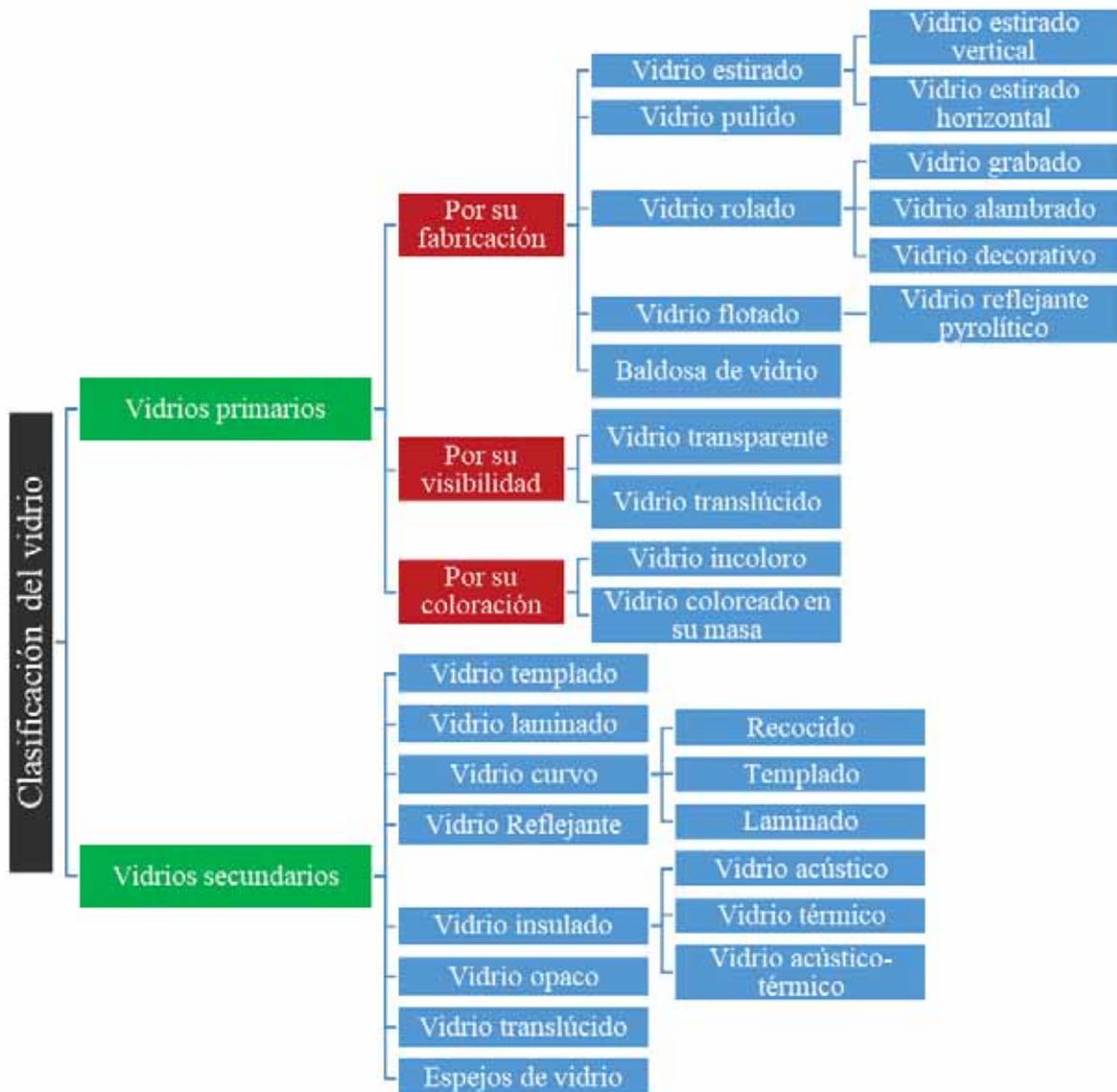


Figura 3. Clasificación del vidrio
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (2018, Capítulo 2)



De acuerdo al RNE (2018, Capítulo 2) Norma E.040, los vidrios se agrupan en dos grupos como son los vidrios primarios, que se obtienen directamente del horno de fundición y los vidrios secundarios, que son resultado de una segunda elaboración por parte de una industria transformadora que utiliza como materia prima el vidrio producido por alguna industria primaria. Estos grupos de vidrios primarios y secundarios abarcan una gran variedad de tipos de vidrios tal como se representa en la figura 3.

Es necesario mencionar que según su aplicación en el ámbito cotidiano del ser humano se tiene el vidrio de uso doméstico, los cuales son empleados para el almacenamiento de productos de carácter alimenticios, como por ejemplo las conservas, el vino y distintas bebidas, yogures, etc. El soplado es el sistema por el que se obtiene como resultado objetos tales como botellas, vasos y similares (Tipos, 2014, párrafo 4).

2.1.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL VIDRIO

Los dos tipos de vidrio que se usaron en la investigación fueron los de uso doméstico, es decir, vidrios de envases usados para el almacenamiento de productos alimenticios y bebidas, así como pedruzcos de vidrios usados en ventanas (vidrio plano). La Composición química de estos tipos de vidrio se muestran en la tabla 5.

Tabla 5
Composición de distintos tipos de vidrio (% en peso)

Compuesto Químico	Vidrio plano	Vidrio de Envases
SiO ₂	72.60	73.00
Al ₂ O ₃	0.70	1.40
Fe ₂ O ₃ + TiO ₂	0,22	0.10
CaO	8.60	10.50
MgO	4.10	1.60
Na ₂ O	13.30	12.80
K ₂ O	0.31	0.40
SO ₃	0.17	0.20

Fuente: (Comisión Nacional del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, 2000, p. 14)



2.2. RECICLAJE Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

2.2.1. IMPACTO AMBIENTAL DEL RECICLAJE DE VIDRIO

Reciclar vidrio es un proceso muy sencillo, gracias a las características que posee este material; además de ello, el reciclado del vidrio ofrece grandes ventajas para el medio ambiente como los que se indican a continuación:

- Disminuye el la cantidad y el volumen de residuos.
- Disminuye la explotación de canteras de agregados.
- El bajo costo de reciclado.

2.2.2. RECICLADO DE VIDRIO

El reciclaje o reciclado de vidrio es un proceso a través del cual desechos y restos de vidrio se transforman en materiales que serán utilizados para fabricar nuevos productos. El reciclaje de vidrio, es una actividad muy favorable para el medio ambiente, no obstante, no puede ser realizado al 100 % de los vidrios existentes, solo se recicla, en gran volumen, el vidrio doméstico (botellas y demás envases alimenticios), así como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Objetos de vidrio de uso doméstico más comunes y 100% reciclables.
Fuente: Propia



En cuanto al vidrio industrial no siempre se recicla y es devuelto al ciclo de reciclado para ser reutilizado, ya que, a veces, los tratamientos a los que ha sido sometido, invalidan éste proceso (deposición de otros materiales, adhesión de láminas, serigrafías, etc.), más al contrario, si el vidrio industrial no ha sido sometido a los procesos antes mencionados, podría retornar al ciclo.

2.3. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

La Construcción Sostenible, de acuerdo a (Soriano, 2012), busca satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructuras sin comprometer a las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. Incorpora elementos de eficiencia económica, desempeño ambiental y responsabilidad social (p.16).

La construcción sostenible es un concepto que está en constante evolución, y según (Miranda, Neira, Torres, & Valdivia, 2014) comprende etapas que van desde el diseño y la selección de la materia prima empleados en el proceso constructivo. Así mismo considera criterios de reciclaje, uso de tecnologías de ahorro de energía, e interacción con el medio ambiente, en el proceso de urbanización (p.16).

2.3.1. CONSTRUCCIÓN CON VIDRIO MOLIDO RECICLADO

La industria de la construcción es uno de los sectores de más crecimiento en la ciudad del Cusco, que en los procesos constructivos, en especial en la elaboración y producción del concreto, necesita una gran cantidad de agregados, lo que genera una sobre explotación de las canteras (que son una especie de banco de materia prima), así como la alteración estética del ambiente natural del punto de extracción y el espacio geográfico que lo rodea; por ello, es necesario minimizar la reducción de consumo de agregados (finos y/o gruesos), preservando el espacio natural del área de influencia, mediante el uso de materiales



reciclados, que en el caso de esta investigación es el vidrio que posteriormente es molido y luego empleado en la industria de la construcción, formando parte de elementos estructurales, sin alterar su función o desempeño estructural, contribuyendo de ese modo a la preservación del medio ambiente.

La construcción utilizando vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino se puede denominar como construcción ecoamigable y/o sostenible debido a que en su proceso emplea material de desecho que normalmente es arrojado a la basura o termina en la naturaleza.

Tabla 6
Tiempo de degradación de los residuos

Producto	Material	Tiempo degradación de los residuos
Prendas de vestir	Algodón – lino	1 – 5 meses
Prendas	sintéticas	40 años
Medias o calcetas	Lana	1 año
Zapato	Cuero	3 – 5 años
Papel	Vegetal	3 semanas – 5 meses
Envase (conservas)	metal	10 – 100 años
Envase	plástico	300 años
Vidrio	-	4.000 años - indefinido
Colilla de cigarro	-	1 – 2 años
Chicle	-	5 años
Pañales desechables	-	100 – 450 años
Botella	plástico	100 – 1.000 años
Bolsa	plástico	150 años
Juguetes	plásticos	300 años
Pilas o baterías	-	+ 1.000 años
Zapatillas	-	200 años
Tapas de botellas	metal	30 años

Fuente: Fuentes Aliaga (2018)

La naturaleza necesita alrededor de 4 000 años para degradar el vidrio, tal como se indica en la Tabla 6. “La degradación de residuos, es la reintegración a la naturaleza en



forma natural de los residuos orgánicos e inorgánicos, a través de un proceso de desgaste o corrosión generado por factores climáticos (temperatura, humedad, luz, etc.) y microorganismos” (Fuentes Aliaga, 2018). Es por ello que; reciclar y reutilizar el vidrio es una manera eficiente de reducir los desechos, contribuyendo al cuidado del medio ambiente, al darle al vidrio un uso alternativo en la elaboración del concreto, en sustitución del agregado fino.

2.4. CONCRETO

Hoy en día es indiscutible afirmar que, en la industria de la construcción el material más utilizado es el concreto, por la resistencia y durabilidad que ofrece, así como también por su versatilidad ya que puede ser empleado en diferentes obras civiles (edificios, canales, pavimentos, puentes, presas, entre otros). El concreto es elaborada de acuerdo a la aplicación o uso que se requiera, y diseñada en base a las normas.

“El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado” (Rivva, 2000, p.8).

En consecuencia, para poder entender y ser expertos en el uso de este material, hay que conocer no sólo las propiedades del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación, ya que son en primer lugar los que le dan su particularidad.

2.5. COMPONENTES DEL CONCRETO

“El concreto hidráulico u hormigón, es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y grava y en algunos casos de aditivos.” (Gutiérrez, 2003, p.33). Es preciso indicar que el Aire también es considerado como un componente más del concreto, tal como se indica en la ecuación 1, en vista que la mezcla posee de 1% a 3% de aire atrapado y que además éste



puede ser incorporado según la aplicación que se le quiera dar al concreto ya en estado endurecido.

$$\text{CONCRETO} = \text{Agregados} + \text{Cemento} + \text{Agua} + \text{Aire} + \text{Aditivos} \quad (1)$$

Tradicionalmente los aditivos eran materiales que se les usaba como un componente opcional del concreto, sin embargo, en la actualidad es un elemento indispensable cuya aplicación en la industria de la construcción es muy conveniente, por la necesidad alterar y mejorar algunas características del concreto: de modo tal, que el aditivo ayude a que el concreto se adecue a las condiciones que se requiere en obra.

2.5.1. CEMENTO

Según Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, (2014) el cemento es el componente activo del concreto e influye en todas sus características. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente sólo un 10 a un 20% del peso del concreto, siendo los materiales restantes los que condicionan que se desarrollen las propiedades del concreto (p. 91).

El cemento Portland es un material finamente molido de color verdoso, el cual al ser mezclado con agua adquiere la característica de una masa plástica y moldeable, que al paso del tiempo atraviesa por el proceso de fraguado y endurecimiento, logrando de esa manera obtener resistencia y durabilidad (Torre, 2004, p. 5).

2.5.2. AGREGADO

Según Rivva L. (2004) el agregado es el componente mayoritario del concreto, cuya presencia ocupa aproximadamente del 70% al 80% de la unidad cúbica, y que cumple un rol primordial en las propiedades del concreto. Que se pueden clasificar por su peso en normal, liviano o pesado. Por su granulometría en finos o gruesos (p. 14).



Son llamados también áridos o inertes, son usualmente fragmentos o granos pétreos, cuya finalidad es de dotar a la mezcla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado y el desarrollo de ciertas propiedades en el concreto, entre las cuales destacan: la trabajabilidad, las exigencias del contenido de cemento, la adherencia con la pasta y el desarrollo de resistencias mecánicas. (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014, p. 61).

2.5.3. AGUA

“El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y mortero, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante” (Gutiérrez, 2003, p.46). El agua, como elemento natural del planeta es considerado como materia prima para la elaboración y el curado del concreto, el cual debe cumplir ciertos parámetros y condiciones de calidad. “El agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en éste” (Torre, 2004, p.30).

En la región Cusco, tanto como en el resto del país es frecuente trabajar con aguas no potables, en especial en las zonas rurales. Sin embargo, el agua no potable también puede ser utilizada para preparar concreto, siempre y cuando cumplan con algunos requisitos mínimos, como estar limpia, exenta de ácidos, bases, aceites y materia orgánica.

2.5.4. ADITIVOS

Rivva L. (2004), define al aditivo como “un material que no siento agua, agregado, cemento hidráulico o fibra de refuerzo, se utiliza como un ingrediente del concreto y es añadido a la mezcla antes o durante el mezclado, para modificar propiedades del concreto fresco y/o endurecido (p. 59)”.



Existen varios tipos de aditivos y su uso depende según la necesidad que se tenga para otorgarle alguna característica en particular al concreto, en donde su aplicación se da con la finalidad de modificar el comportamiento de concreto (condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad), de acuerdo a los requerimientos y especificaciones técnicas que se tenga en obra.

2.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO

2.6.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido, es decir desde que los componentes son mezclados hasta que se inicia el fraguado de la masa (periodo plástico). En ese lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente o por vibración (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014; p. 45). Estas propiedades están representadas en la figura 5.

2.6.1.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad de una mezcla de concreto, según Quiroz & Salamanca (2006), se puede definir como la facilidad con la que esta puede mezclarse, manejarse, transportarse y vaciarse en su posición final con una pérdida mínima de homogeneidad. Esta, depende de las proporciones y características físicas de los ingredientes como se explica más adelante, de las condiciones de puesta en obra, de la geometría del elemento y del espaciamiento y tamaño del refuerzo (p. 143).

La trabajabilidad de la mezcla de concreto dependen de sus componentes, de la manera como se realiza el mezclado, del método de diseño de mezcla, de las condiciones del medio ambiente y de las condiciones de trabajo. El tiempo que dura el estado de plasticidad entre una y otra localidad, y de una época del año a otra, en vista



que las condiciones del clima influyen considerablemente. En lugares cálidos y secos el estado fresco dura menos tiempo que en lugares húmedos y fríos (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014; p. 45).



Figura 5. Propiedades del concreto fresco
Fuente: (Pasquel Carbajal, 1998)

El Ensayo de Cono de Abrams

Mide la consistencia o fluidez de la mezcla de concreto, se le llama también ensayo de revenimiento o asentamiento, el cual consiste en compactar una muestra de concreto fresco en un molde tronco-cónico, midiendo el asentamiento o descenso de la mezcla luego de desmoldarlo.

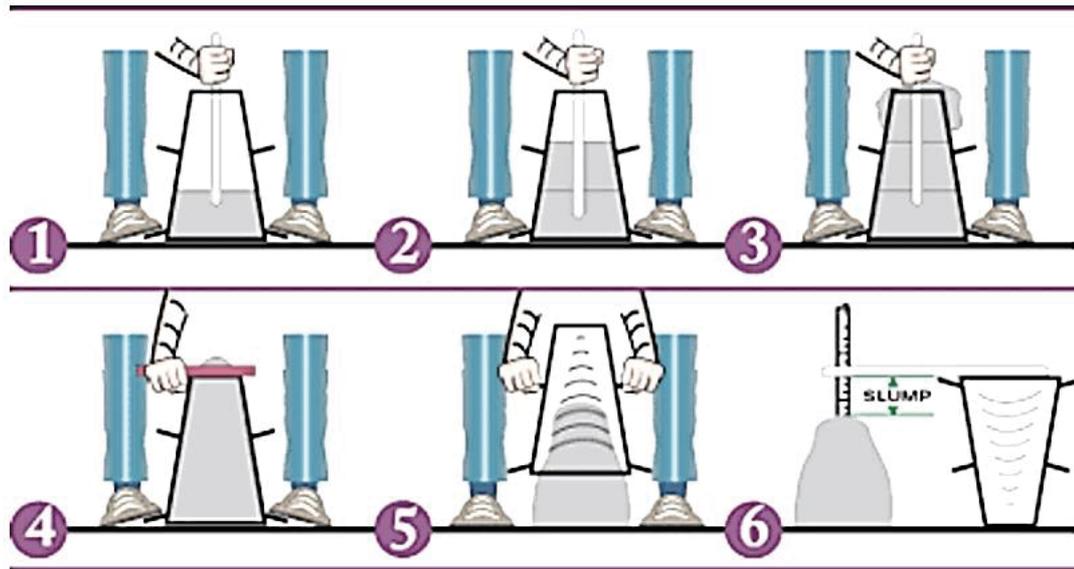


Figura 6. Determinación de la consistencia por el ensayo del cono de Abrams

Fuente: Ingenieros de Caminos, <https://ingeniero-de-caminos.com/consistencia-del-hormigon/>

De acuerdo Medina (2019) el procedimiento del Ensayo de Cono de Abrams es como sigue:

Se coloca el tronco de cono sobre una superficie lisa, plana, horizontal (plancha metálica) y se lo mantiene afirmado al piso. Se presiona las aletas con los pies para mantener inmóvil el molde, seguidamente se vierte con un cucharón metálico una capa de concreto hasta un tercio de la altura y se chusea con la varilla, aplicando 25 golpes distribuidos uniformemente, para luego completar las otras dos capas de concreto, cada una ocupando un tercio de la altura del molde y consolidando la mezcla, de manera que la barra de acero penetre hasta llegar a la capa inmediata inferior sin penetrarla. Cuando el molde está lleno y enrasado, se levanta cuidadosamente el molde tomándolo por las aletas en dirección vertical, el concreto moldeado fresco se asentará, y este descenso de altura de la mezcla previamente medido se denomina Slump o asentamiento. Este proceso se debe realizar en 2 minutos como máximo, de los cuales el desmolde no debe tomar más de cinco segundos (figura 6).



Con este ensayo se puede determinar tres tipos de consistencia de mezclas según su asentamiento tal como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7
Consistencia y asentamientos

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

Fuente: (Medina Cruz, 2019)

2.6.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Luego del vaciado de la mezcla de concreto, este pasa de un estado fresco a un estado endurecido con el paso del tiempo, perdiendo paulatinamente humedad y adquiriendo dureza (Construmática, 2018).

Quiroz & Salamanca (2006) afirman que: Las resistencias del concreto, tanto a compresión, tracción y flexión, y sus propiedades reciben la influencia de los tipos y cantidades de los materiales que conforman el concreto, y la forma de puesta en obra” (p. 115).

2.6.2.1. Resistencia a la compresión

Es la medida el esfuerzo máximo que puede soportar una probeta cilíndrica de concreto a una carga de presión, y determina el desempeño que ofrece esta probeta fracturándola en una máquina de ensayos de compresión, donde cuantitativamente se calcula la resistencia que ofrece, verificando la carga axial de ruptura aplicada sobre ésta, dividida entre el área de la superficie que soporta dicha carga y cuyo valor resultante se expresa en las unidades de kg/cm² (IMCYC, 2006, p. 20).



2.7. DISEÑO DE MEZCLAS CON EL MÉTODO ACI-211

El comité 211 del ACI ha elaborado un procedimiento de diseño de mezcla, el cual, basándose en tablas, permite obtener valores de las cantidades de los materiales que componen el concreto por metro cúbico, y el cual, será empleado para el desarrollo de esta investigación.

2.7.1. SECUENCIA DE DISEÑO.

- a) Determinación de la resistencia promedio requerida, cuyo valor a tomar en cuenta debe ser el mayor resultado obtenido de la solución de las ecuaciones 2 y 3.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 s \quad (2)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33 s - 35 \quad (3)$$

Es preciso indicar, que en la circunstancia en el que no sea posible contar con un registro de resultados de ensayos previamente realizados, la resistencia promedio requerida se calculará empleando los valores que contiene la Tabla 8, y así de ese modo determinar la desviación estándar.

Tabla 8
Resistencia a la compresión promedio

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

Fuente: Rivva, 2014

- b) Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

La tabla 9 muestra los límites de las curvas granulométricas que corresponden a tamaños máximos nominales comprendidos entre 2” y 3/8”; de acuerdo a la norma ASTM C 33.



Tabla 9
Requisitos granulométricos del agregado grueso

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

Fuente: Rivva L., 2014

c) Selección del Asentamiento.

El grado de humedad de la mezcla es definida por la consistencia (propiedad del concreto no endurecido). Según Rivva López (2014), las mezclas de concreto se clasifican de acuerdo a su consistencia en:



- i. *Mezclas secas*; donde el asentamiento varía de 0 a dos pulgadas (0 mm a 50 mm).
- ii. *Mezclas plásticas*; donde el asentamiento varía de tres a cuatro pulgadas (75 mm a 100 mm).
- iii. *Mezclas fluidas*; donde el asentamiento varía de cinco a más pulgadas (mayor de 125 mm).

La Tabla 10 muestra los rangos correspondientes a los concretos consolidados por vibración.

Tabla 10
Selección del asentamiento

Tipo de Construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Rivva L., 2014

- d) Selección de volumen unitario de agua de diseño.

La Tabla 11 permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados al estado seco; considerando para ello el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia que se desea en la mezcla preparados con o sin aire incorporado.

- e) Selección del contenido de aire.

El aire atrapado en la mezcla de concreto es algo que siempre está presente en un pequeño porcentaje, cuya presencia es producida a causa de los materiales que componen la mezcla, tamaño máximo del agregado y la granulometría, así como de las condiciones de mezclado, como se muestra en la Tabla 12.



Tabla 11
Volumen unitario de agua

Agua en l/m ³ , para tamaños máximos nominales de agregados gruesos 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: Rivva López, 2014

Tabla 12
Contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Rivva López, 2014

Tabla 13
Contenido de aire incorporado y total

Tamaño máximo nominal	Contenido de aire, en %		
	Exposición Suave	Exposición moderada	Exposición severa
3/8"	4.5	6	7.5
1/2"	4	5.5	7
3/4"	3.5	5	6
1"	3	4.5	6
1 1/2"	2.5	4.5	5.5
2"	2	4	5
3"	1.5	3.5	4.5
6"	1	3	4

Fuente: Rivva López, 2014



Para el caso, que por condiciones de trabajo y severidad de las condiciones del clima a la que será expuesta, se requiere la incorporación de aire a la mezcla de concreto. La tabla 13 muestra tres niveles de aire total, que dependen del propósito de empleo de aire incorporado.

- f) Selección de la relación agua/cemento, por resistencia.

La tabla 14 muestra las relaciones agua/cemento en peso máximas permisibles, para diferentes valores de la resistencia promedio.

*Tabla 14
Relación Agua/Cemento por resistencia*

f'cr (28 días) Kg/cm²	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	--
450	0.38	--

Fuente: Rivva López, 2014

- g) Determinación del factor cemento.

El factor cemento se establece por unidad cúbica de concreto, por medio de la división del volumen unitario de agua (litros/m³) entre la relación agua/cemento, así como se indica en la ecuación 4, dando como resultado la cantidad de kilos de cemento por metro cúbico de concreto.

$$Cantidad_{Cemento} = \frac{Agua\ de\ mezcla}{relación\ agua/cemento} \quad (4)$$



Para obtener el número de bolsas de cemento que son necesarios por metro cúbico de concreto, se divide la cantidad de cemento entre 42.5 kg.

h) Determinación del contenido de agregado grueso.

La Tabla 15, permite obtener un coeficiente b/b_0 , el cual es resultado de dividir el peso seco del agregado grueso requerido por metro cúbico de concreto entre el peso unitario compactado del agregado grueso. Coeficiente cuyo valor está determinado en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino.

Tabla 15

Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del fino (b/b_0)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.8	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Rivva López, 2014

Por consiguiente, la cantidad de agregado grueso se obtendrá de multiplicar el volumen de agregado grueso (b/b_0) y el peso unitario compactado del agregado grueso, así como se indica en la ecuación 5.

$$Cantidad_{Ag. Grueso} = \left[\left(\frac{b}{b_0} \right) \right] \times [PUC_{Ag. Grueso}] \quad (5)$$

i) Cálculo de la suma de los volúmenes absolutos de los componentes del concreto (cemento, agua, aire y de agregado grueso).



El volumen de los materiales que forman el metro cúbico de concreto se determina dividiendo el peso de los materiales entre su peso específico y en el caso del aire entre 100, para luego sumar el volumen de cada uno de ellos, tal como se indica en la ecuación 6.

$$V_1 = V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}} + V_{\text{Ag.Gruoso}} \quad (6)$$

- j) Cálculo del volumen absoluto de agregado fino.

Para determinar la cantidad de agregado fino se realiza por diferencia del metro cúbico de concreto, es decir hallamos el volumen de arena aplicando la ecuación 7.

$$V_{\text{Ag.Fino}} = 1 - V_1 \quad (7)$$

- k) Cálculo del peso seco del agregado fino.

El peso del agregado fino por metro cúbico de concreto se obtiene multiplicando el volumen de arena por su peso específico, así como se indica en la ecuación 8.

$$\text{Cantidad}_{\text{Ag. Fino}} = (V_{\text{Ag. Fino}}) \times (PE_{\text{Ag. Fino}} \times 1000) \quad (8)$$

- l) Cálculo de los valores de diseño de los componentes del concreto (cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino).

Hasta este paso se obtuvieron los valores de diseño sin corrección por humedad, como se muestran a continuación:

- Cemento (del Paso “g”)
- Agua (del Paso “d”)
- Aire (del Paso “e”)
- Agregado Grueso (del Paso “h”)
- Agregado Fino (del Paso “k”)



m) Corrección por humedad del agregado, de los valores de diseño.

La corrección por humedad tanto del agregado grueso y de agregado fino se realiza considerando para ello los contenidos de humedad de cada uno de ellos respectivamente, tal como se indica en las ecuaciones 9 y 10.

$$Ag. Grueso_{(Corregido)} = (Ag. Grueso) \times \left(1 + \frac{Contenido\ de\ humedad}{100}\right) \quad (9)$$

$$Ag. Fino_{(Corregido)} = (Ag. Fino) \times \left(1 + \frac{Contenido\ de\ humedad}{100}\right) \quad (10)$$

Así mismo el aporte de humedad del agregado al agua neta de la mezcla se terminará mediante las ecuaciones 11 y 12.

$$Agua_{(Ag.Grueso)} = (Ag. Grueso) \times \left(\frac{Contenido\ de\ humedad - Absorción}{100}\right) \quad (11)$$

$$Agua_{(Ag.Fino)} = (Ag. Fino) \times \left(\frac{Contenido\ de\ humedad - Absorción}{100}\right) \quad (12)$$

Por consiguiente, el agua efectiva de acuerdo a la ecuación 13 será:

$$Agua_{(efectiva)} = Agua_{(De\ diseño)} - (Agua_{(Ag.Grueso)} + Agua_{(Ag.Fino)}) \quad (13)$$

n) Cálculo los de los componentes del concreto, corregidos por humedad del agregado.

Los pesos de los materiales por metro cúbico serán:

- Cemento
- Agua_(efectiva)
- Aire
- Agregado Grueso_(corregido)
- Agregado Fino_(corregido)

o) Cálculo de la proporción en peso del concreto.

$$Cemento : Agregado\ Fino : Agregado\ Grueso + Agua_{(Efectiva)}$$



$$\frac{\text{Cemento}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agregado Fino}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agregado Grueso}}{\text{Cemento}} + \text{Agua (Efectiva)}$$

- p) Cálculo de la proporción en base al volumen suelto, se obtiene en base a las ecuaciones 14, 15 y 16.

$$V_{\text{Cemento}(m^3)} = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{P.U.cemento (kg/m}^3)} \quad (14)$$

$$V_{\text{Ag. Fino}(m^3)} = \frac{\text{Peso Ag.Fino (Corregido) (kg)}}{\text{P.U.Ag.Fino (Corregido)(kg/m}^3)} \quad (15)$$

$$V_{\text{Ag. Grueso}(m^3)} = \frac{\text{Peso Ag.Grueso (Corregido) (kg)}}{\text{P.U.Ag.Grueso (Corregido)(kg/m}^3)} \quad (16)$$

Proporciones en volumen:

$$\text{Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua(l/bls)}$$

$$\frac{V_{\text{Cemento}(m^3)}}{V_{\text{Cemento}(m^3)}} : \frac{V_{\text{Ag. Fino}(m^3)}}{V_{\text{Cemento}(m^3)}} : \frac{V_{\text{Ag. Grueso}(m^3)}}{V_{\text{Cemento}(m^3)}} / \text{Agua(l/bls)}$$

2.8. CANTERAS DE ORIGEN DE LOS AGREGADOS

2.8.1. CANTERA DE VICHO

El agregado grueso y confitillo empleados para la investigación (figura 7), fueron de la cantera de Vicho, ubicada al sur-este de la ciudad del Cusco, a una distancia aproximada de 41.5 km, en el distrito de San Salvador, provincia de Calca y región del Cusco; a una altura aproximada de 3 000 msnm. La cantera es de fácil accesibilidad, con un tiempo promedio de viaje es de 50 minutos desde la ciudad de Cusco.

2.8.2. CANTERA DE CUNYAC

El agregado fino empleado (figura 8) fue de la cantera de Cunyac, localizada al Oeste de la ciudad del Cusco y a una distancia aproximada de 106 km de este, en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay y región de Apurímac; a una altura promedio aproximada de 2680 msnm. El acceso a la cantera se realiza a través de la carretera



Cusco – Abancay, con un tiempo promedio de viaje es de 2 horas 20 minutos desde la ciudad de Cusco.



Figura 7. Visita al proveedor de Agregado grueso de Vicho,
Fuente: Propia



Figura 8. Agregado fino, confitillo de Vicho al frente y arena fina de Cunyac al fondo
Fuente: Propia



CAPITULO III. RECOLECCION DE DATOS

3.1. DESARROLLO DEL TRABAJO

El proceso de ejecución del proyecto de investigación constó en elaborar un concreto con una resistencia de $f'_c=210$ kg/cm², del tipo convencional y concreto con la adición de vidrio molido, es²por ello que, se realizaron ensayos a los agregados, cuyos datos se usaron para el diseño de mezcla, y se describen en este capítulo.

Para ello las mezclas se realizaron con agregados gruesos y confitillo de la cantera de Vicho, agregados finos de la cantera de Cunyac y con cemento YURA multipropósito Portland tipo IP. Las probetas cilíndricas se elaboraron según las especificaciones técnicas de la norma ASTM C31 “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”.

Para estimar la resistencia del concreto, las probetas cilíndricas se sometieron a ensayo de compresión de acuerdo a ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”, obteniendo la resistencia a la compresión para cada una de las mezclas preparadas por cada porcentaje de vidrio molido adicionado, que permitió describir y determinar el desempeño que ofrece el concreto al adicionar vidrio molido (en porcentajes de 20%, 30% y 40%) en lugar del agregado fino, cuyos ensayos a compresión se realizaron a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

3.2. ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE TRABAJO

3.2.1. AGREGADOS

3.2.1.1. Agregado grueso

Como agregado grueso se usó piedra chancada de ½” de tamaño máximo nominal, proveniente de la cantera de Vicho, tal como se observa en la Figura 9.



3.2.1.2. Agregado fino

El agregado fino empleado en la investigación fue confitillo de la cantera de Vicho y arena fina de la cantera de Cunyac para corregir la granulometría; así como se muestra en la Figura 10.



Figura 9. Lavado y ensaquillado del agregado grueso para luego ser secado y almacenado
Fuente: Propia



Figura 10. Confitillo de Vicho y arena fina de Cunyac
Fuente: Propia



3.2.2. VIDRIO

3.2.2.1. Obtención del vidrio

La recolección de vidrio se realizó del entorno más cercano, recogiendo los envases de vidrio de uso doméstico (vasos rotos, envases de mermelada y vidrios de ventanas rotas) que tenían en casa como basura; así mismo se recolectó botellas de vidrio de tiendas de abarrotes.

Todo lo recolectado fue almacenado en un lugar seguro fuera del alcance de las personas, para garantizar una manipulación adecuada, evitando accidentes, colocando las botellas y envases de vidrio en sacos y cajas; mientras que los restos de cristales de ventanas, vasos y botellas rotas en baldes de plástico 20 litros (figura 11).



Figura 11. Recolección y almacenamiento de botellas y otros envases de vidrio.
Fuente: Propia

3.2.2.2. Limpieza del vidrio

El material de vidrio recolectado se separó selectivamente, es decir, aquellos que estaban limpios de aquellos que presentaron impurezas; sometiendo estos últimos a lavado, eliminando todo tipo de residuo, para que botellas y/o envases de vidrio queden sin chapas, tapas, corchos, anillos plásticos o metálicos y etiquetas, dejándolos libres de partículas extrañas.



Para facilitar el despegado de etiquetas y limpieza de las botellas, fue necesario someterlos a un baño de agua caliente, luego se procedió a retirar todo elemento extraño de estos. El lavado de las botellas se realizó interior como exteriormente, con la ayuda de escobillas y cepillos, eliminando del interior todo rastro de suciedad, arena o grasa.

3.2.2.3. Triturado y molienda de vidrio

El vidrio limpio, se sometió a una reducción de tamaño mediante trituración y molienda, usando para ello una máquina que se emplea para la desintegración de la piedra de yeso o yeso crudo en su estado natural a partículas más pequeñas, en la fabricación de yeso.

La máquina utilizada es de fabricación artesanal (hechizo), motor marca KHOLER ENGINES de 16 HP de potencia y de cigüeñal horizontal: con mandíbulas de triturado giratorias, que redujeron considerablemente el tamaño del vidrio que se le introdujo, hasta que se logró la granulometría adecuada, mostrada en la Figura 12.



Figura 12. Proceso de molienda de las botellas y envases de vidrio
Fuente: Propia



El proceso de molienda del vidrio se realizó sin inconvenientes, ya que las características de este material transparente, duro, frágil y quebradizo ayudaron en su reducción de tamaño. Gracias a ello es posible ver como las botellas de vino, cerveza, gaseosas, licores; envases de conservas, que normalmente son tiradas a la basura, son recuperadas y reutilizadas.

Todo el vidrio molido obtenido, se introdujo en baldes de plástico de 20 litros para su almacenamiento, tal como se ve en la figura 13. Luego de acumular y depositar adecuadamente el vidrio molido en envases que garantizan una manipulación segura, fueron transportadas al laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC, para llevar a cabo la investigación.



Figura 13. Almacenamiento del vidrio molido en baldes de 20 litros
Fuente: Propia

3.2.3. CEMENTO

Para la elaboración de la mezcla de concreto se utilizó cemento Multi-Propósito YURA Tipo IP, por ser el cemento más comercial en la ciudad y región del Cusco.



De acuerdo a la empresa YURA (s.f.), el Cemento Multi-Propósito YURA es: “Cemento de última generación elaborado bajo los más altos estándares de la industria cementera, colabora con el medio ambiente, de conformidad con la NTP 334.090 y la Norma ASTM C 595, recomendado para todo tipo de obra civil”. Posee:

- Alta resistencia al ataque de sulfatos, ideal para obras portuarias expuestas al agua de mar, también en canales, alcantarillas, túneles y suelos con alto contenido de sulfatos.
- Bajo calor de hidratación.
- Mayor impermeabilidad.
- Mayor resistencia a la compresión.
- Mejor trabajabilidad.

En la tabla 16 se aprecia las características del cemento Multi-Propósito YURA Tipo IP, considerado el cemento bandera por cumplir con las exigencias de los cementos Tipo I, II y V. Además de tener una buena performance en ataques severos”.

Tabla 16

Características técnicas del concreto multi-propósito Yura Tipo IP

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595	
REQUISITOS QUÍMICOS				
MgO (%)	1.5 a 2.4		6.00 Máx.	
SO ₃ (%)	1.5 a 2.3		4.00 Máx.	
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 3.8		5.00 Máx.	
REQUISITOS FÍSICOS				
Peso específico (gr/cm ³)	2.77 a 2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.03		-0.20 a 0.80	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420	
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx	
Resistencia a la compresión	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
1 día	80 a 104	7.8 a 10.2	-	-
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín.	13
7 días	225 a 260	22.0 a 25.4	204 Mín.	20
28 días	306 a 350	30.0 a 34.3	255 Mín.	25

Fuente: Ficha técnica cemento multi-propósito de alta durabilidad YURA IP



3.2.4. AGUA

El agua empleada para la elaboración de la mezcla de concreto y así como también para el curado de las probetas cilíndricas de concreto, fueron extraídas de la red de distribución de agua potable de la E.P.S. SEDACUSCO, puesto que, por ser apta para el consumo humano es pura, limpia, y no contiene residuos, sustancias o materia orgánica que puedan ser dañinos para el concreto, y lo hacen ideal para su elaboración.

3.2.5. AIRE

Para las condiciones de diseño de la mezcla de concreto, que se describen en este trabajo de investigación se consideró una mezcla sin aire incorporado, por lo que solo se toma en cuenta el aire atrapado en esta.

Es preciso indicar que es normal que la mezcla contenga aire atrapado o natural, usualmente en porcentajes mínimos que varían entre 1% y 3% del volumen de la mezcla, estos se presentan de acuerdo a las propiedades de los materiales que intervienen en la mezcla.

3.3. PROCEDIMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO, PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se realizó siguiendo los procedimientos de ejecución de los ensayos de laboratorio sobre los agregados, cuyos valores permitieron hacer del diseño de mezcla. La presente investigación, expone los ensayos realizados en laboratorio para los agregados finos y gruesos, extraídos de las canteras de Vicho y Cunyac, los cuales fueron realizados de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016).



3.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

3.3.1.1. Objetivo

El ensayo tiene por objetivo determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido; para ello se hizo uso de equipos y materiales, como balanzas (para el agregado fino y grueso), estufa, serie de tamices, cucharón metálico y recipientes de plástico.

3.3.1.2. Procedimiento

AGREGADO GRUESO

- Secar previamente la muestra del agregado al sol, luego hacerlo a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ en la estufa, hasta obtener peso constante.
- Escoger una muestra representativa por el método del cuarteo, como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Selección de la muestra representativa del agregado grueso por el método del cuarteo
Fuente: Propia



- Seleccionar la serie de tamices de tamaños 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4 y N° 8 para el agregado grueso. Encajando los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior.
- Efectuar el tamizado de forma manual, durante periodo adecuado; haciendo rotar las partículas, con el fin de que pasen a través de dicho tamiz; sin forzar para que atraviesen a través de éste, así como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Tamizado manual del agregado grueso
Fuente: Propia

- Seguidamente determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido con aproximación mínima a 0,5 g y exactitud a 0,1% del peso de la muestra a ser ensayada.
- Verificar el peso final de la muestra luego del tamizado, con respecto al peso original de la muestra ensayada.

La figura 16 muestra el material retenido en los tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N° 8 y Cazuela, del agregado grueso de Vicho luego de realizarle el ensayo.



Figura 16. Granulometría del agregado grueso de Vicho.
Fuente: Propia

AGREGADO FINO (Confitillo, Arena fina y Vidrio)

- Secar previamente la muestra del agregado al sol, luego hacerlo a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ en la estufa, hasta obtener peso constante.
- Escoger una muestra representativa por el método del cuarteo, como se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Selección de la muestra representativa del agregado fino
Fuente: Propia



- Seleccionar la serie de tamices de tamaños: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200 para el agregado fino. Encajando los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior.
- Efectuar el tamizado de forma manual, durante un periodo adecuado; haciendo rotar las partículas, con el fin de que pasen a través de dicho tamiz; sin forzar para que atraviesen a través de éste (Figura 18).



Figura 18. Tamizado manual del agregado fino
Fuente: Propia

- Seguidamente se determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido con aproximación mínima de 0,1 g y sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.
- Verificar el peso final de la muestra luego del tamizado, con respecto al peso original de la muestra ensayada.

Las figuras que se muestran a continuación, muestran el material retenido en las mallas de 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y en el fondo de



la cazuela, del agregado fino de Vicho (figura 19), Cunyac (figura 20), Corregido (figura 21), y del vidrio molido (figura 22), luego de realizarles el análisis granulométrico.



Figura 19. Granulometría del agregado fino - Confitillo de Vicho
Fuente: Propia



Figura 20. Granulometría del agregado fino - Arena fina de Cunyac
Fuente: Propia



Figura 21. Granulometría del agregado fino corregido - (70% Confitillo + 30% Arena fina de Cunyac)
Fuente: Propia



Figura 22. Granulometría del agregado fino - Vidrio molido
Fuente: Propia

Calcular del módulo de fineza, que se determinó sumando los porcentajes retenidos, acumulados de cada una de los tamices (N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", 1 1/2" y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1) y seguidamente dividiendo la suma resultante entre 100.



3.3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

3.3.2.1. Objetivo

El objetivo del ensayo es calcular por secado mediante la aplicación de calor el porcentaje total de humedad evaporable de una muestra de agregado fino y grueso, para ello se hizo uso de equipos y materiales, como balanza, horno y cápsulas de acero inoxidable.

3.3.2.2. Procedimiento

- Identificar y determinar el peso de las cápsulas que serán usadas para colocar las muestras de agregado grueso y fino.
- Colocar la muestra representativa en estado natural en las cápsulas y determinar su peso. Secar la muestra en cápsulas metálicas de acero inoxidable por medio de un horno, hasta que la humedad se evapore por completo.
- Luego que la muestra estuvo en el horno por 24 horas y se encuentre totalmente seca después de someterlo al calor, se determina el peso de la muestra seca. (figura 23).



Figura 23. Pesado de las cápsulas con muestras de agregado grueso y fino corregido, después de secado.

Fuente: Propia



- Calcular el contenido de humedad total evaporable empleando la ecuación 14.

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (17)$$

Donde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos

3.3.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN EN AGREGADOS

AGREGADO FINO

3.3.3.1. Objetivo

El objetivo del ensayo es calcular el peso específico seco, saturado con superficie seca, aparente y la absorción después de sumergir el agregado fino en agua por 24 horas; para ello se hizo uso de equipos y materiales como balanza, horno, o frasco volumétrico de 500 ml, molde cónico metálico, varilla para apisonado metálica y secadora.

3.3.3.2. Procedimiento

- Muestrear el agregado y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.
- Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Colocar el agregado en un recipiente y cubrir con agua dejándolo por 24 horas.
- Decantar el agua evitando pérdida de finos y esparcir el agregado sobre una bandeja metálica expuesta a una corriente de aire tibio producido por una secadora de cabello, como se muestra en la figura 24 y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí.



Figura 24. Secado de las partículas del agregado fino, con una corriente de aire tibio
Fuente: Propia

- Seguidamente situar el material en el molde cónico y luego chusear suavemente 25 veces con la varilla y levantar luego el molde. Si aún hay presencia de humedad libre agregado fino mantiene su forma cónica. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, en ese punto el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.

A través del ensayo se obtendrá el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, con el fin de que estos valores sean utilizados en cálculo y corrección de diseños de mezclas.

Los cálculos a realizar para obtener estos valores se detallan a continuación:

- i. Peso específico de masa (Pe_m)

$$Pe_m = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100 \quad (18)$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_o = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;



V = Volumen del frasco en cm³

V_a = Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida al frasco.

- ii. Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 \quad (19)$$

- iii. Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100 \quad (20)$$

- iv. Absorción (Ab)

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 \quad (21)$$

3.3.4. PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS

3.3.4.1. Objetivo

El ensayo tiene por objetivo calcular el peso unitario suelto y compactado de los agregados finos y gruesos, así como también determinar el porcentaje de los vacíos de estos, usando para ello equipos y materiales como próctor estándar (para el agregado grueso), próctor modificado (para el agregado fino corregido), varilla compactadora de acero con extremo semiesférico, balanza, cucharón metálico y recipiente de tamaño mediano.

3.3.4.2. Procedimiento

La muestra de ensayo debe ser aproximadamente 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida. Secar el agregado a peso constante, en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.



Figura 25. Llenado del Próctor con agregado grueso
Fuente: Propia



Figura 26. Llenado del Próctor modificado con agregado fino
Fuente: Propia

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO SUELTO

- Llenar el recipiente de medición con la ayuda del cucharón metálico que descarga el agregado desde una altura no mayor de 5 cm (2") hasta que el material rebalse el recipiente, tal como se indica en la Figura 25 y Figura 26.
- Eliminar el agregado sobrante con una regla y/o la varilla de acero de chuseo, como en las figuras 27 y 28.



Figura 27. Enrasado del agregado grueso
Fuente: Propia



Figura 28. Enrasado del agregado fino corregido
Fuente: Propia

- Establecer el peso del recipiente de medida más el agregado y el peso del recipiente solo.

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO

- Descargar hasta la tercera parte del recipiente de medida con el agregado, y enrasar la superficie con la varilla de acero. Realizar el chuseado con la parte semiesférica de la



varilla de acero cada capa de agregado con 25 golpes, así como se muestra en las figuras 29 y 30.



Figura 29. Llenado y apisonado del agregado grueso en Próctor
Fuente: Propia



Figura 30. Llenado y apisonado del agregado fino en el próctor modificado
Fuente: Propia

- Llenar las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.



- Una vez llenado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, para retirar el exceso de material, como se ve en la figura 31.



Figura 31. Enrasado del agregado fino corregido sobrante con la varilla de acero
Fuente: Propia

- Establecer el peso del recipiente de medida lleno con el agregado y del recipiente vacío, luego registrar los pesos de cada uno respectivamente.

Para calcular el peso unitario compactado o suelto, se usa la ecuación 19, que se indica a continuación:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad (22)$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m.

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg.

T = Peso del recipiente de medida en kg.

V = Volumen del recipiente de medida en m.

F = Factor del recipiente de medida en m.



3.3.5. ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES

3.3.5.1. Objetivo

El objetivo del ensayo es calcular la resistencia a la degradación utilizando la máquina de Los Ángeles, a agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½”). para ello se hizo uso de equipos y materiales como Máquina de Los Ángeles, esferas de acero (carga), juego de tamices: ¾”, ½”, 3/8” y N° 12 (Conforme con la NTP 350.001), balanza, y cucharón metálico.

3.3.5.2. Procedimiento

- Fijar el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso, para el caso de esta investigación el tamaño máximo nominal es de ½”.
- Lavar (figura 32) y secar al horno la muestra a 110 ± 5 °C hasta tener peso constante.



Figura 32. Lavado del agregado grueso de vicho
Fuente: Propia

- Elegir la gradación de la tabla 17, la más parecida al agregado que se va a emplear, tomando en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado para la ejecución del ensayo. Para este se eligió la gradación tipo B, tal como se muestra en la figura 33.



Tabla 17
Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (g)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1 250 ± 25	-	-	-
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-	-	-
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1 250 ± 25	2 500 ± 10	-	-
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1 250 ± 25	2 500 ± 10	-	-
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	-	-	2 500 ± 10	-
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N° 4)	-	-	2 500 ± 10	-
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	-	-	-	5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: Manual Ensayo de Materiales, MTC-2016



Figura 33. Material de ensayo de gradación Tipo B
Fuente: Propia

- Introducir la carga en la máquina de Los Ángeles, así como la muestra de ensayo (figura 34) y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. La carga elegida también se realiza de acuerdo a la gradación de la muestra, tal como se muestra en la Tabla 18.



Figura 34. Colocado de la muestra y la carga en la máquina de Los Ángeles
Fuente: Propia

Tabla 18

Carga a usar según el tipo de Gradación de la muestra

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: Manual Ensayo de Materiales, MTC-2016

- Cumplido la cantidad de revoluciones establecidas, abrir la cubierta protectora y seguidamente descargar con cuidado el material que se encuentra dentro de la máquina, como es mostrado en la figura 35.
- Realizar la separación selección de la muestra, usando para ello la malla N° 12 (1,70 mm) y posteriormente hacer un tamizado de la porción más fina, tal como se ve aprecia en la figura 36.
- Lavar el material más grueso que la malla N° 12 y secar al horno a 110 ± 5 °C, hasta peso constante. Después de enfriar, determinar la masa.



Figura 35. Muestra retirada de la máquina de Los Ángeles, luego del ensayo.
Fuente: Propia



Figura 36. Tamizado de la muestra resultante con la malla N° 12
Fuente: Propia

- Al final, luego de realizado el ensayo, se calcula la pérdida o desgaste (diferencia entre el peso inicial y final de la muestra) como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo, empleando la ecuación 20 de la siguiente manera:



$$\% \text{ Desgaste} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad (23)$$

Donde:

P_i = Masa de la muestra al inicio del ensayo

P_f = Masa de la muestra al final del ensayo

3.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

La tabla 19, muestra la cantidad de probetas cilíndricas de concreto $f'_c=210$ kg/cm² con adición vidrio molido a diferentes porcentajes (0%, 20%, 30% y 40%), y para las edades de 7, 14, 21 y 28 días, los que en total fueron 960 probetas; y que, sumados a las 60 probetas elaboradas para la determinación de la desviación estándar, suman un total de 1020 probetas.

Tabla 19

Cantidad de probetas cilíndricas de concreto elaboradas

Fecha de Vaciado	Edad (días)	Cantidad de probetas cilíndricas de concreto $f'_c=210$ kg/cm ² , con vidrio molido adicionado (%)				N° de probetas/día
		0%	20%	30%	40%	
18/10/2018	28	60	60	-	-	120
19/10/2018		-	-	60	60	120
20/10/2018	21	60	60	-	-	120
22/10/2018		-	-	60	60	120
23/10/2018	14	60	60	-	-	120
24/10/2018		-	-	60	60	120
25/10/2018	7	60	60	-	-	120
26/10/2018		-	-	60	60	120
TOTAL DE PROBETAS CILÍNDRICAS						960

Fuente: Propia

3.4.1. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

- Mezcladora de concreto
- Briqueteras de plástico de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura.
- Varilla lisa con extremo redondeado, de 3/8" de diámetro.



- Balanza
- Cucharon metálico
- Comba cabeza de goma
- Plancha metálica (para acabado)

3.4.2. PREPARACIÓN DE MOLDES O BRIQUETERAS

Para el trabajo de investigación se emplearon moldes o briqueteras cilíndricas de plástico de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de alto, que son de un material no absorbente y lo suficientemente resistentes como para soportar las condiciones del trabajo de moldeado. Previo al proceso de mezclado del concreto y posterior llenado de las briqueteras con la mezcla, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Las briqueteras tenían que estar en perfectas condiciones, la superficie interior debía estar limpia y libre de la presencia de cualquier material extraño.
- Fueron colocados sobre una superficie horizontal, rígida y lisa antes de llenar los moldes,
- Para realizar el desmolde con facilidad, se le aplicó una capa de aceite mineral a la superficie interior del molde.

3.4.3. PROPORCIONAMIENTO Y MEZCLADO DEL CONCRETO

Se determinó el peso de los materiales por tanda (cemento, agregado grueso, agregado fino corregido, vidrio molido y agua), con la ayuda de la balanza de acuerdo a las dosificaciones en peso obtenidas en el diseño de mezcla de concreto, tal como se ve en la figura 37.

El espacio utilizado para elaborar las probetas cilíndricas de concreto fueron los exteriores del laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC, en vista que, era un lugar adecuado con una superficie horizontal, plana y rígida, que brindaba toda la comodidad de trabajo.



Figura 37. Pesado de los materiales por tanda, de acuerdo al diseño de mezcla
Fuente: Propia

En esta investigación, para realizar el proceso de mezclado del concreto se utilizó una mezcladora de 145 litros ($5p^3$), que produce normalmente una tanda limitada a media bolsa de cemento. La mezcladora cumple la función de combinar homogéneamente durante un periodo de tiempo predeterminado la totalidad de los materiales descargados en la cuba, formando así una mezcla uniforme y evitando la segregación de la pasta de concreto producida.



Figura 38. Proceso de mezclado de los materiales del concreto
Fuente: Propia



Cada tanda es cargada en la mezcladora de manera tal que el agua comience a ingresar antes que el cemento y los agregados, así como se muestra en la figura 38. Una vez que todos los materiales ya estaban en la mezcladora, el tiempo aproximado de mezclado del concreto fue de tres minutos, seguido por tres minutos de reposo (para medir el revenimiento) y luego dos minutos finales de mezclado.

Luego de proceso de mezclado de concreto de cada tanda, se procedió a limpiar el tambor de la mezcladora con mucha agua y así evitar que restos de la mezcla de concreto se adhieran a las paredes interiores.

3.4.4. PRUEBA DE REVENIMIENTO

Se midió el asentamiento de cada tanda de vaciado de concreto inmediatamente después de mezclarlo de acuerdo a lo indicado en el ítem 2.6.1.1. Ensayo realizado mediante el cono de Abrams para la determinación del revenimiento de concreto recién mezclado, y así poder monitorear su consistencia, tal como se muestra en la figura 39.



Figura 39. Prueba de revenimiento del concreto
Fuente: Propia



3.4.5. LLENADO DE LOS MOLDES CILINDRICOS O BRIQUETERAS

Luego del mezclado del concreto se procedió a llenar los moldes cilíndricos con la ayuda de un cucharón metálico, colocando el concreto en tres capas, es decir cada una a la 1/3 parte de la altura del molde. Después de colocada cada capa, se procedió a chusearlo con la finalidad de compactar la mezcla en los moldes y eliminar los huecos que pueden quedar dentro de la masa, aplicando para ello 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie con la varilla de acero. En la primera capa, los 25 golpes deben atravesarla, pero sin llegar a golpear con el fondo del molde; el chuseado de la segunda y la tercera capa se hace atravesando totalmente cada una de las capas y penetrando aproximadamente 2 cm en la capa siguiente (figura 40).



Figura 40. Llenado de los moldes cilíndricos con concreto
Fuente: Propia

El llenado de la última capa se hace con un exceso de concreto y luego del chuseado se realiza se usa un combo con cabeza de goma, para golpear el molde suavemente y liberar las burbujas de aire; para seguidamente enrasar el exceso de mezcla con la varilla



lisa de compactación y darle un buen acabado para obtener una superficie del concreto lisa y plana con la ayuda de una plancha metálica.

Luego de terminado el llenado de concreto de las probetas se dejan almacenadas sin desmoldar durante 24 horas un lugar seguro, liso y plano y de preferencia techada, en condiciones de temperatura ambiente, evitando movimientos bruscos, golpes, y pérdida de humedad, y permanezcan ahí durante su proceso de fraguado.

3.4.6. DESMOLDE Y CURADO

Después de 24 horas de elaboradas las probetas cilíndricas y una vez fraguado el concreto, estas se desmoldaron, retirando las briqueteras con mucho cuidado. Durante el traslado y manipulación de las probetas, se evitó exponerlos a golpes y pérdida de humedad (figura 41).



Figura 41. Desmolde de las briquetas del concreto
Fuente: Propia



Luego de desmoldar las briquetas cilíndricas son llevadas a los pozos de curado para ser sumergidos; es decir que el proceso de curado se realiza en nuestro laboratorio por el método de inmersión, como se muestran en la figura 42 y figura 43.



Figura 42. Curado del concreto por inmersión
Fuente: Propia



Figura 43. Probetas de concreto, en los pozos de curado y cilindros
Fuente: Propia



3.5. ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Luego de sacar las probetas cilíndricas de concreto de los pozos de curado, tal como se puede apreciar en la figura 44 estas se preparan para ser llevados al laboratorio y someterlos a ensayo de compresión. Se debe tener muy en cuenta que, para evaluar correctamente la calidad y el desempeño del concreto elaborado, las probetas deben ser trasladadas con sumo cuidado al lugar donde se ubica la máquina de compresión, evitando dañar las muestras y acomodándolas de tal manera que faciliten el trabajo.



Figura 44, Probetas de concreto con 30% de VM y a la edad de 21 días, listas para ser llevadas al laboratorio para someterlos a compresión
Fuente: Propia

Después de extraer probetas cilíndricas de concreto, el paso siguiente fue determinar su resistencia a la compresión en el laboratorio, a diferentes periodos de madurez (7, 14, 21 y 28 días), tanto para el concreto con la adición de 20%, 30% y 40% de vidrio molido respectivamente, así como para el concreto convencional; aplicándoles una carga de compresión uniaxial a una velocidad establecida, y sometiendo a la rotura un total de 960 probetas cilíndricas de concreto, tal como se aprecia en la tabla 20.



Tabla 20

Cantidad de probetas cilíndricas de concreto sometidas a ensayo de compresión

Edad (días)	Concreto $f'_c=210$ kg/cm ² , con vidrio molido adicionado (%)				N° de probetas/día
	0%	20%	30%	40%	
7	60	60	60	60	240
14	60	60	60	60	240
21	60	60	60	60	240
28	60	60	60	60	240
TOTAL DE PROBETAS CILÍNDRICAS					960

Fuente: Propia

Los especímenes de ensayo fueron probetas cilíndricas de concreto de 100 mm de diámetro, y 200 mm de altura. Los ensayos, tal como se muestra en las figuras 45 y 46.



Figura 45. Probetas de concreto con 0% y 20% de vidrio molido a edad de 07 días, que fueron sometidos a ensayo de compresión

Fuente: Propia



Figura 46. Rotura de briquetas de concreto de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con 30 % de vidrio molido, a la edad de 28 días.
Fuente: Propia



CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ENSAYOS A LOS AGREGADOS

El resumen de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados durante la ejecución de la presente investigación, tanto del agregado grueso y como del agregado fino se indican en la tabla 21.

Tabla 21

Resumen de los resultados de ensayos aplicados sobre los agregados

AGREGADO	ENSAYO	RESULTADO
GRUESO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MF)	6.51
	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.55%
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	
	- Peso específico	2.84 g/cm ³
	- Absorción	1.33%
	PESO UNITARIO	
	- Suelto	1466.52 g/cm ³
	- Compactado	1565.49 g/cm ³
	ABRASIÓN LOS ÁNGELES (% de desgaste)	21.9%
FINO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MF)	2.84
	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.61%
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	
	- Peso específico	2.66 g/cm ³
	- Absorción	1.53%
	PESO UNITARIO	
	- Suelto	1625.57 g/cm ³
	- Compactado	1800.44 g/cm ³

Fuente: Propia

4.1.1. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

En los ítems 4.1.1.1., 4.1.1.2., 4.1.1.3. y 4.1.1.4. se describen los resultados de análisis granulométrico realizado a los agregados grueso, fino y del vidrio molido reciclado, cada uno con su respectivo valor del módulo de fineza.



4.1.1.1. Agregado Grueso - Cantera de Vicho

En la tabla 22 se muestra el análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho, en esta se puede ver que el módulo de fineza es 6.51. La curva granulométrica del agregado fino se encuentra parcialmente dentro de los límites de gradación, presentado en la figura 47.

Tabla 22

Análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho

Cantera		Vicho		Prueba :		1		
Peso Neto de la Muestra Seca (gr)		2511.1		TM		3/4"		
Peso despues del tamizado (gr)		2510.6		TMN		1/2"		
Error en peso		0.4		MF		6.51		
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO CORREGIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
1 1/2"	37.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
1"	25.4	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
3/4"	19	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
1/2"	12.7	804.63	804.7	32.0%	32.0%	68.0%	90%	100%
3/8"	9.5	518.92	519.0	20.7%	52.7%	47.3%	40%	70%
N°4	4.75	1142	1142.1	45.5%	98.2%	1.8%	0%	15%
N° 8	2.36	40.18	40.3	1.6%	99.8%	0.2%	0%	5%
Cazuela		4.9	4.9	0.2%	100.0%	0.0%		
		2510.63	2511.1	100%				

$$\text{Módulo de Fineza} = \frac{(\sum \% \text{RET. ACUM. en los tamices } 1\ 1/2",\ 3/4",\ 3/8",\ N^{\circ}4,\ N^{\circ}8,\ N^{\circ}16,\ N^{\circ}30,\ N^{\circ}50,\ N^{\circ}100)}{100} = 6.51$$

Fuente: Propia



Figura 47. Curva Granulométrica del agregado grueso de Vicho
Fuente: Propia



4.1.1.2. Agregado Fino - corregido (70% Vicho + 30% Cunyac)

En la tabla 23 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino corregido, es decir la mezcla de 70% de confitillo de Vicho, más 30% de arena fina de Cunyac; donde se aprecia que el módulo de fineza es 2.84. La curva granulométrica del agregado fino está en gran parte dentro de los límites de gradación, representado en la figura 48.

Tabla 23

Análisis granulométrico del agregado fino corregido (70% Vicho + 30% Cunyac)

Cantera		Vicho + Cunyac						
Material (70% confitillo + 30% arena)		Corregido						
Peso Neto de la Muestra Seca (gr)		1000.0						
Peso despues del tamizado (gr)		998.4						
Error en peso		1.6						
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO CORREGIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM C 33	
							LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	9.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
N° 4	4.75	75.5	75.5	7.6%	7.6%	92.5%	95%	100%
N° 8	2.36	163.4	163.7	16.4%	23.9%	76.1%	80%	100%
N° 16	1.18	152.2	152.5	15.2%	39.2%	60.8%	50%	85%
N° 30	0.6	138.8	139.1	13.9%	53.1%	46.9%	25%	60%
N° 50	0.3	216.5	216.8	21.7%	74.7%	25.3%	5%	30%
N° 100	0.15	110.6	110.9	11.1%	85.8%	14.2%	0%	10%
N° 200	0.075	122.3	122.6	12.3%	98.1%	1.9%		
Cazuela		19.1	19.1	1.9%	100.0%	0.0%		
		998.4	1000.0	100%				
$\text{Módulo de Fineza} = \frac{(\sum \% \text{RETENIDO en mallas } 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} =$							2.84	

Fuente: Propia

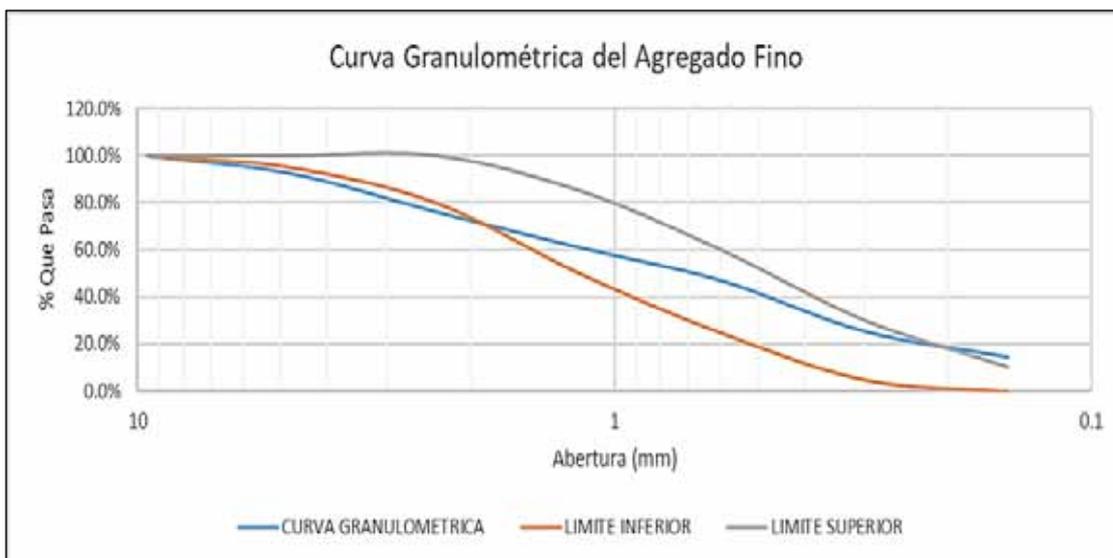


Figura 48. Curva Granulométrica del agregado fino corregido (70% Vicho + 30% Cunyac)



Fuente: Propia

4.1.1.3. Agregado Fino - Cantera de Vicho

En la tabla 24 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino de Vicho (Confitillo), donde se aprecia que el módulo de fineza es 3.82. La figura 49, representa la curva granulométrica del agregado, el cual, se encuentra en menor proporción dentro de los límites de gradación.

Tabla 24

Análisis granulométrico del agregado fino de Vicho

Cantera		Vicho						
Material		Confitillo						
Peso Neto de la Muestra Seca (gr)		1000.0						
Peso despues del tamizado (gr)		1000.0						
Error en peso		0.0						
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO CORREGIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM C 33	
							LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	9.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
N° 4	4.75	147.3	147.3	14.7%	14.7%	85.3%	95%	100%
N° 8	2.36	286.78	286.8	28.7%	43.4%	56.6%	80%	100%
N° 16	1.18	207.36	207.4	20.7%	64.1%	35.9%	50%	85%
N° 30	0.6	141.68	141.7	14.2%	78.3%	21.7%	25%	60%
N° 50	0.3	102.38	102.4	10.2%	88.6%	11.5%	5%	30%
N° 100	0.15	38.6	38.6	3.9%	92.4%	7.6%	0%	10%
N° 200	0.075	61.16	61.2	6.1%	98.5%	1.5%		
Cazuela		14.74	14.7	1.5%	100.0%	0.0%		
		1000	1000.0	100%				

$$\text{Módulo de Fineza} = \frac{(\sum \% \text{ RETENIDO en mallas } 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} = 3.82$$

Fuente: Propia

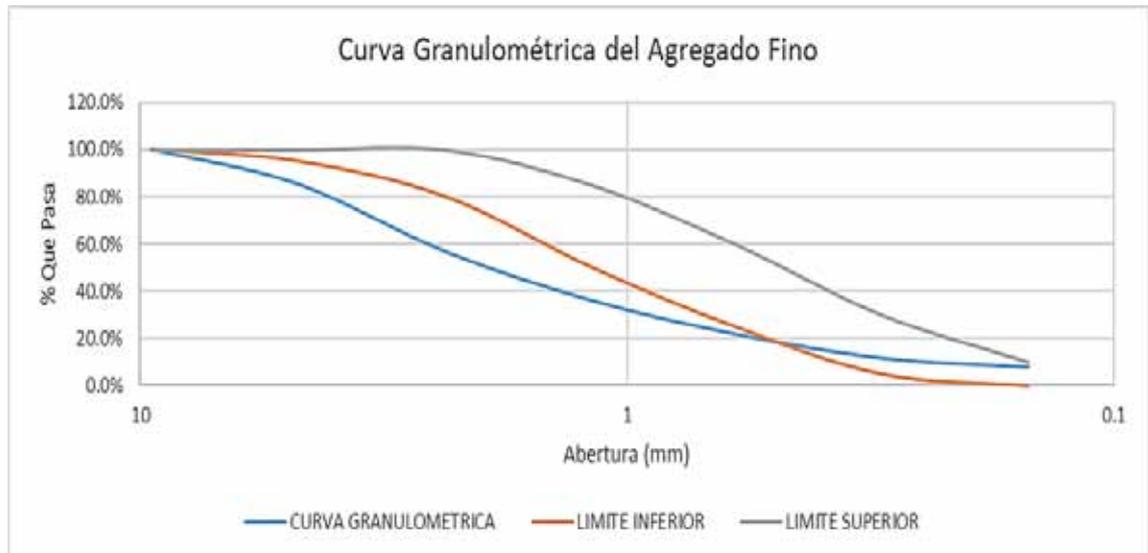


Figura 49. Curva Granulométrica del agregado fino de Vicho

Fuente: Propia



4.1.1.4. Agregado Fino – Cantera de Cunyac

En la tabla 25 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac, donde se aprecia que el módulo de fineza es 1.94. La figura 50, representa la curva granulométrica del agregado, el cual, se encuentra parcialmente dentro de los límites de gradación.

Tabla 25
Análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac

Cantera		Cunyac						
Material		Arena						
Peso Neto de la Muestra Seca (gr)		1000.0						
Peso despues del tamizado (gr)		999.5						
Error en peso		0.6						
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO CORREGIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM C 33	
							LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	9.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
N° 4	4.75	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	95%	100%
N° 8	2.36	12.04	12.1	1.2%	1.2%	98.8%	80%	100%
N° 16	1.18	20.88	21.0	2.1%	3.3%	96.7%	50%	85%
N° 30	0.6	78.74	78.8	7.9%	11.2%	88.8%	25%	60%
N° 50	0.3	759.99	760.1	76.0%	87.2%	12.8%	5%	30%
N° 100	0.15	34.64	34.7	3.5%	90.7%	9.3%	0%	10%
N° 200	0.075	87.28	87.4	8.7%	99.4%	0.6%		
Cazuela		5.88	5.9	0.6%	100.0%	0.0%		
		999.45	1000.0	100%				

$$\text{Módulo de Fineza} = \frac{(\sum \% \text{RETENIDO en mallas } 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} = 1.94$$

Fuente: Propia

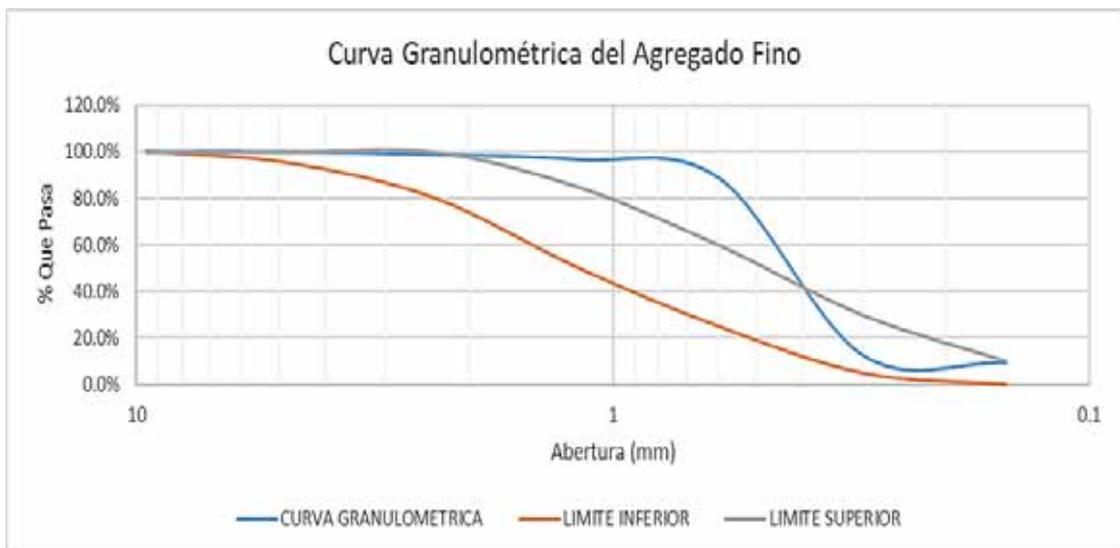


Figura 50. Curva Granulométrica del agregado fino de Cunyac

Fuente: Propia



4.1.1.5. Vidrio Molido

En la tabla 26 se muestra el análisis granulométrico del vidrio molido, donde se aprecia que el módulo de fineza es 2.37. La figura 51 representa la curva granulométrica del vidrio molido, el cual se encuentra dentro de los límites de gradación.

Tabla 26
Análisis granulométrico del vidrio molido

Cantera		Vidrio						
Material		Reciclado						
Peso Neto de la Muestra Seca (gr)		1000.0						
Peso despues del tamizado (gr)		998.0						
Error en peso		2.0						
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO CORREGIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM C 33	
							LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	9.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
N° 4	4.75	1.53	1.5	0.2%	0.2%	99.8%	95%	100%
N° 8	2.36	20.71	21.0	2.1%	2.3%	97.7%	80%	100%
N° 16	1.18	184.48	184.8	18.5%	20.7%	79.3%	50%	85%
N° 30	0.6	292.36	292.7	29.3%	50.0%	50.0%	25%	60%
N° 50	0.3	247.16	247.5	24.7%	74.8%	25.2%	5%	30%
N° 100	0.15	143.21	143.5	14.4%	89.1%	10.9%	0%	10%
N° 200	0.075	71.89	72.2	7.2%	96.3%	3.7%		
Cazuela		36.65	36.7	3.7%	100.0%	0.0%		
		997.99	1000.0	100%				

$$\text{Módulo de Fineza} = \frac{(\sum \% \text{ RETENIDO en mallas } 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} = 2.37$$

Fuente: Propia



Figura 51. Curva Granulométrica del agregado fino (Vidrio molido)

Fuente: Propia



4.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para la determinación del contenido de humedad se realizaron tomas de muestra, como se pueden ver en las tablas 27 y 28. En la tabla 27 se encuentra el agregado grueso, cuya humedad promedio es 0.55%, y en la tabla 28, que corresponde al agregado fino (corregido) el contenido de humedad promedio es de 0.61%.

Tabla 27

Contenido de humedad del agregado grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD (agregado GRUESO)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
PESO DELATARA (gr)	60.9	58.6	65	gr
PESO DE LA TARA + AGREGADO HUMEDO (gr)	197.4	193.9	207.8	gr
PESO DEL AGREGADO HUMEDO (gr)	136.5	135.3	142.8	gr
PESO DE LA TARA + AGREGADO SECO (gr)	196.6	193.5	206.7	gr
PESO DEL AGREGADO SECO (gr)	135.7	134.9	141.7	gr
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.59	0.30	0.78	%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	0.55			%

Fuente: Propia

Tabla 28

Contenido de humedad del agregado fino corregido

CONTENIDO DE HUMEDAD (agregado FINO)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
PESO DELATARA (gr)	63.4	58.1	63.5	gr
PESO DE LA TARA + AGREGADO HUMEDO (gr)	242.7	243.9	228.2	gr
PESO DEL AGREGADO HUMEDO (gr)	179.3	185.8	164.7	gr
PESO DE LA TARA + AGREGADO SECO (gr)	241.8	242.8	227	gr
PESO DEL AGREGADO SECO (gr)	178.4	184.7	163.5	gr
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.50	0.60	0.73	%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	0.61			%

Fuente: Propia

4.1.3. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico (P_{em}) y la absorción del agregado grueso es 2.84 g/cm³ y 1.33% respectivamente, tal como se ve en la tabla 29; mientras que para el agregado fino el peso específico (P_{em}) es 2.66 g/cm³ y la absorción 1.53%, como se aprecia en la tabla 30.



Tabla 29

Peso específico y absorción del agregado grueso

PESO ESPECIFICO (Agregado GRUESO)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
Volumen Inicial	500	500	500	cm ³
Volumen Final	657	689	687	cm ³
PESO DEL AGREGADO SSS	500.06	500.13	500.03	g
VOLUMEN DEL AGUA DESPLAZADO	157	189	187	cm ³
PESO DEL AGREGADO SECADO AL HORNO (W ₀)	493.55	493.48	493.24	gr
PESO ESPECIFICO DE MASA (P _{em})	3.19	2.65	2.67	g/cm ³
	P_{em} = 2.84			
ABSORCION (Ab)	1.31	1.32	1.37	%
	Ab = 1.33			

Fuente: Propia

Tabla 30

Peso específico y absorción del agregado fino corregido

PESO ESPECIFICO (Agregado FINO)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
PESO DEL AGREGADO SSS	500	500	500	g
PESO DEL FRASCO	186.1	186.1	186.1	g
VOLUMEN DEL FRASCO (V)	500	500	500	cm ³
PESO DEL FRASCO + AGREG. SSS'+ AGUA AÑADIDA	999.58	1000.9	1001.7	g
VOLUMEN DEL AGUA AÑADIDA (V _a)	313.48	314.8	315.6	cm ³
PESO DEL AGREGADO SECADO AL HORNO (W ₀)	490.95	492.61	493.8	g
PESO ESPECIFICO DE MASA (P _{em})	2.63	2.66	2.68	g/cm ³
	P_{em} = 2.66			
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS (P _{eSSS})	2.68	2.70	2.71	g/cm ³
	P_{eSSS} = 2.70			
PESO ESPECIFICO APARENTE (P _{ea})	2.77	2.77	2.77	g/cm ³
	P_{ea} = 2.77			
ABSORCION (Ab)	1.84	1.50	1.26	%
	Ab = 1.53			

Fuente: Propia

4.1.4. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

4.1.4.1. Peso unitario suelto

En las tablas 31 y 32 se muestran los resultados de los pesos unitarios sueltos de los agregados, en donde se puede ver que, el peso unitario suelto del agregado grueso es 1466.52 kg/cm³ y el peso unitario suelto del agregado fino es 1625.57 kg/cm³.



Tabla 31
Peso unitario suelto del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO (agregado grueso)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	0.002121	0.002121	0.002121	M3
PESO DEL MOLDE (gr)	6465.1	6465.1	6465.1	gr
PESO DEL AGREGADO + PESO DEL MOLDE (gr)	9597.1	9566.0	9563.3	gr
PESO DEL AGREGADO (gr)	3132.0	3100.9	3098.2	gr
PESO UNITARIO SUELTO SECO (Kg/M3)	1476.72	1462.06	1460.78	kg/m3
PESO UNITARIO SUELTO SECO PROMEDIO (Kg/M3)	1466.52			kg/m3

Fuente: Propia

Tabla 32
Peso unitario suelto del agregado fino corregido

PESO UNITARIO SUELTO (agregado fino)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	0.000942	0.000942	0.000942	M3
PESO DEL MOLDE (gr)	4197.3	4197.3	4197.3	gr
PESO DEL AGREGADO + PESO DEL MOLDE (gr)	5726.4	5729	5728.7	gr
PESO DEL AGREGADO (gr)	1529.1	1531.7	1531.4	gr
PESO UNITARIO SUELTO SECO (Kg/M3)	1623.84	1626.60	1626.28	kg/m3
PESO UNITARIO SUELTO SECO PROMEDIO (Kg/M3)	1625.57			kg/m3

Fuente: Propia

4.1.4.2. Peso unitario compactado

En las tablas 33 y 34 se muestran los resultados de los pesos unitarios compactados de los agregados, en donde se puede ver que, el peso unitario compactado del agregado grueso es 1565.49 kg/cm³ y el peso unitario compactado del agregado fino corregido es 1800.44 kg/cm³.

Tabla 33
Peso unitario compactado del agregado grueso

PESO UNITARIO COMPACTADO (agregado grueso)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	0.002121	0.002121	0.002121	M3
PESO DEL MOLDE (gr)	6465.1	6465.1	6465.1	gr
PESO DEL AGREGADO + PESO DEL MOLDE (gr)	9771.7	9807	9777.4	gr
PESO DEL AGREGADO (gr)	3306.6	3341.9	3312.3	gr
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (Kg/M3)	1559.04	1575.69	1561.73	kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO PROMEDIO	1565.49			kg/m3

Fuente: Propia



Tabla 34

Peso unitario compactado del agregado fino corregido

PESO UNITARIO COMPACTADO (agregado fino)				
PRUEBA NUMERO	1	2	3	UNIDADES
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	0.000942	0.000942	0.000942	M3
PESO DEL MOLDE (gr)	4197.3	4197.3	4197.3	gr
PESO DEL AGREGADO + PESO DEL MOLDE (gr)	5881	5897.5	5899.6	gr
PESO DEL AGREGADO (gr)	1683.7	1700.2	1702.3	gr
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (Kg/M3)	1788.01	1805.54	1807.77	kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO PROMEDIO (Kg/M3)	1800.44			kg/m3

Fuente: Propia

4.1.5. ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES

En la tabla 35, se puede ver el porcentaje de desgaste producido por el agregado grueso, es decir, la pérdida por abrasión e impacto de la muestra. Y que proporciona además información, sobre la identificación del agregado como fuente, tipo y tamaño máximo nominal; gradación, utilizada para el ensayo.

Tabla 35

Abrasión Los Ángeles al desgaste de agregados de tamaños menores de 1 1/2"

Cantera	Vicho
Material	Agregado Grueso
Tamaño máximo nominal	1/2"
TIPO DE GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA	B
PESO QUE PASA 3/4" Y RETIENE 1/2" (g)	2500.07
PESO QUE PASA 1/2" Y RETIENE 3/8" (g)	2500.10
PESO TOTAL PARA EL ENSAYO (g)	5000.17
PESO FINAL DESPUES DEL ENSAYO Y RETENIDO EN LA MALLA N°12 (g)	3902.90
% DESGASTE	21.9%

Fuente: Propia

4.2. DISEÑO DE MEZCLA

4.2.1. PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Las proporciones de los materiales integrantes de la mezcla de concreto, se determinaron de la siguiente manera:

- Determinación de la resistencia promedio (de acuerdo a la Tabla 8).



Puesto que, no se tiene registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de la desviación estándar del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia promedio requerida será:

$$f'_{cr} = f'_c + 84 = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

b) Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

Selección TMN = $\frac{1}{2}$ "

c) del Asentamiento.

Asentamiento = 3" – 4" (Plástico)

d) Selección de volumen unitario de agua de diseño (de acuerdo a la Tabla 11).

Agua en l/m ³ , para los tamaños máximos 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: Propia

⇒ El volumen unitario de agua es 216 l/m^3

e) Selección del contenido de aire (de acuerdo a la Tabla 12).

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

⇒ El contenido de aire es 2.5 %.



f) Selección de la relación agua/cemento, por resistencia (de acuerdo a la Tabla 14).

f'cr (28 días) Kg/cm ²	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	--
450	0.38	--

Para este trabajo e investigación no se considera problemas de intemperismo ni de ataques por sulfatos, se seleccionará la relación a/c únicamente por resistencia.

La relación agua/cemento por resistencia, se obtendrá por interpolación para una resistencia promedio de 228 kg/cm².

$f'cr$	a/c
250	0.62
294	x
300	0.55
$\frac{300 - 250}{294 - 250}$	$= \frac{0.55 - 0.62}{x - 0.62}$

$$x = a/c = 0.5584$$

g) Determinación del factor cemento.

$$Cantidad_{Cemento} = \frac{Agua\ de\ mezcla}{relación\ a/c} = \frac{216}{0.5584} = 386.82 \frac{kg}{m^3} = 9.1 \frac{bls}{m^3}$$

h) Determinación del contenido de agregado grueso (de acuerdo a la Tabla 15).



Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del fino (b/b _o)			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.8	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

<u>MF</u>	<u>b/b_o</u>
2.80	0.55
2.84	x
3.00	0.53

$$\frac{2.80 - 3.0}{2.84 - 3.0} = \frac{0.55 - 0.53}{x - 0.53}$$

$$x = b/b_o = 0.546$$

⇒ El peso del agregado grueso será:

$$Cantidad_{Ag. Grueso} = \left[\left(\frac{b}{b_o} \right) \right] x [PUC_{Ag. Grueso}] = [0.546] \times [1565.49] = 854.76 \frac{kg}{cm^2}$$

i) Cálculo de la suma de los volúmenes absolutos de los componentes del concreto (cemento, agua, aire y de agregado grueso).

- Cemento	$\frac{386.82}{3.06 \times 1000}$	= 0.126 m ³
- Agua	$\frac{216}{1 \times 1000}$	= 0.216 m ³
- Aire	$\frac{2.5}{100}$	= 0.025 m ³
- Agregado Grueso	$\frac{854.76}{2.84 \times 1000}$	= 0.301 m ³
	Σ	= 0.668 m ³

j) Determinación del volumen absoluto de agregado fino.

$$V_{Ag.Fino} = 1 - 0.668 = 0.332 m^3$$



k) Cálculo del peso seco del agregado fino.

$$Cantidad_{Ag. Fino} = (V_{Ag. Fino}) \times (PE_{Ag. Fino} \times 1000) = 0.332 \times (2.66 \times 1000) = 883.12 \frac{kg}{m^3}$$

l) Cálculo de los valores de diseño de los componentes del concreto (cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino)

- Cemento	=	386.82	kg/m ³
- Agua	=	216	l/m ³
- Agregado Fino	=	883.12	kg/m ³
- Agregado Grueso	=	854.76	kg/m ³

m) Corrección por humedad del agregado, de los valores de diseño.

$$Ag. Fino_{(Corregido)} = (Ag. Fino) \times \left(1 + \frac{Contenido\ de\ humedad}{100}\right) = 883.12 \times \left(1 + \frac{0.61}{100}\right) = 888.51 \frac{kg}{m^3}$$

$$Ag. Grueso_{(Corregido)} = (Ag. Grueso) \times \left(1 + \frac{Contenido\ de\ humedad}{100}\right) = 854.76 \times \left(1 + \frac{0.55}{100}\right) = 859.46 \frac{kg}{m^3}$$

El aporte de Humedad de los agregados es:

$$Agua_{(Ag.Fino)} = (Ag. Fino) \times \left(\frac{Contenido\ de\ humedad - Absorción}{100}\right) = 883.12 \times \frac{(0.61 - 1.53)}{100} = -8.12 \frac{l}{m^3}$$

$$Agua_{(Ag.Grueso)} = (Ag. Grueso) \times \left(\frac{Contenido\ de\ humedad - Absorción}{100}\right) = 854.76 \times \frac{(0.55 - 1.33)}{100} = -6.67 \frac{l}{m^3}$$

⇒ El agua efectiva será:

$$Agua_{(efectiva)} = Agua_{(De\ diseño)} - (Agua_{(Ag.Grueso)} + Agua_{(Ag.Fino)})$$

$$Agua_{(efectiva)} = 216 - (-8.12 - 6.67) = 230.79 \frac{l}{m^3}$$

n) Cálculo de los valores de diseño finales de los componentes del concreto, corregidos por humedad del agregado

- Cemento	=	386.82	kg/m ³
- Agua	=	230.79	l/m ³
- Agregado Fino	=	888.51	kg/m ³



$$\text{- Agregado Grueso} = 859.46 \text{ kg/m}^3$$

o) Cálculo de la proporción en peso del concreto.

Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso

$$\frac{386.82}{386.82} : \frac{888.51}{386.82} : \frac{859.46}{386.82}$$

$$1 : 2.30 : 2.22$$

Por consiguiente, la proporción en peso del concreto es: 1 de cemento, 2.30 de agregado grueso y 2.22 de agregado fino.

4.2.2. PARA EL CONCRETO CONVENCIONAL (0% DE VIDRIO MOLIDO), USANDO LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Luego de obtenido el valor de la desviación estándar del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, y cuyo valor que se muestra en la tabla 39 (véase Ítem 4.4.1.) es: $s = 13.25 \text{ kg/cm}^2$; se realiza el diseño de mezcla correspondiente para un concreto convencional de resistencia $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, usando para ello este valor, tal como muestra a continuación:

a) Determinación de la resistencia promedio (usando las ecuaciones 2 y 3.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 s = 210 + 1.34(13.25) = 227.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33 s - 35 = 210 + 2.33(13.25) - 35 = 205.87 \text{ kg/cm}^2$$

Por consiguiente, se elige el mayor valor obtenido, $f'_{cr} = 227.76 \text{ kg/cm}^2$

b) Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

$$\text{TMN} = \frac{1}{2}''$$

c) Selección del Asentamiento.

$$\text{Asentamiento} = 3'' - 4'' \text{ (Plástico)}$$



d) Selección de volumen unitario de agua de diseño (de acuerdo a la Tabla 11).

Agua en l/m ³ , para los tamaños máximos 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	-

⇒ El volumen unitario de agua es 216 l/m³

e) Selección del contenido de aire (de acuerdo a la Tabla 12).

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

⇒ El contenido de aire es 2.5 %.

f) Selección de la relación agua/cemento, por resistencia (de acuerdo a la Tabla 14).

f'cr (28 días) Kg/cm ²	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	--
450	0.38	--

Para este trabajo e investigación no se considera problemas de intemperismo ni de ataques por sulfatos, se seleccionará la relación a/c únicamente por resistencia.



La relación agua/cemento por resistencia, se obtendrá por interpolación para una resistencia promedio de 228 kg/cm².

f'_{cr}	a/c
200	0.70
228	x
250	0.62

$$\frac{250 - 200}{228 - 200} = \frac{0.62 - 0.70}{x - 0.70}$$

$$x = a/c = 0.6552$$

g) Determinación del factor cemento.

$$Cantidad_{Cemento} = \frac{Agua\ de\ mezcla}{relación\ a/c} = \frac{216}{0.6552} = 329.67 \frac{kg}{m^3} = 7.8 \frac{bls}{m^3} \approx 8 \frac{bls}{m^3}$$

h) Determinación del contenido de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (de acuerdo a la Tabla 15).

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del fino (b/b_o)			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.8	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

MF	b/b_o
2.80	0.55
2.84	x
3.00	0.53

$$\frac{2.80 - 3.0}{2.84 - 3.0} = \frac{0.55 - 0.53}{x - 0.53}$$

$$x = b/b_o = 0.546$$



⇒ El peso del agregado grueso será:

$$Cantidad_{Ag. Grueso} = \left[\left(\frac{b}{b_0} \right) \right] \times [PUC_{Ag. Grueso}] = [0.546] \times [1565.49] = 854.76 \frac{kg}{cm^2}$$

i) Cálculo de la suma de los volúmenes absolutos de los componentes del concreto (cemento, agua, aire y de agregado grueso).

- Cemento	$\frac{329.67}{3.06 \times 1000}$	$= 0.108 m^3$
- Agua	$\frac{216}{1 \times 1000}$	$= 0.216 m^3$
- Aire	$\frac{2.5}{100}$	$= 0.025 m^3$
- Agregado Grueso	$\frac{854.76}{2.84 \times 1000}$	$= 0.301 m^3$
		$\Sigma = 0.650 m^3$

j) Determinación del volumen absoluto de agregado fino.

$$V_{Ag.Fino} = 1 - 0.650 = 0.350 m^3$$

k) Cálculo del peso seco del agregado fino.

$$Cantidad_{Ag. Fino} = (V_{Ag. Fino}) \times (PE_{Ag. Fino} \times 1000) = 0.350 \times (2.66 \times 1000) = 931 \frac{kg}{m^3}$$

l) Cálculo de los valores de diseño de los componentes del concreto (cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino)

- Cemento	= 329.67	kg/m ³
- Agua	= 216	l/m ³
- Agregado Fino	= 931	kg/m ³
- Agregado Grueso	= 854.76	kg/m ³

m) Corrección por humedad del agregado, de los valores de diseño.

$$Ag. Fino_{(Corregido)} = (Ag. Fino) \times \left(1 + \frac{Contenido\ de\ humedad}{100} \right) = 931 \times \left(1 + \frac{0.61}{100} \right) = 936.68 \frac{kg}{m^3}$$

$$Ag. Grueso_{(Corregido)} = (Ag. Grueso) \times \left(1 + \frac{Contenido\ de\ humedad}{100} \right) = 854.76 \times \left(1 + \frac{0.55}{100} \right) = 859.46 \frac{kg}{m^3}$$



El aporte de Humedad de los agregados es:

$$Agua_{(Ag.Fino)} = (Ag.Fino) \times \left(\frac{\text{Contenido de humedad} - \text{Absorción}}{100} \right) = 931 \frac{(0.61 - 1.53)}{100} = -8.57 \frac{l}{m^3}$$

$$Agua_{(Ag.Gruoso)} = (Ag.Gruoso) \times \left(\frac{\text{Contenido de humedad} - \text{Absorción}}{100} \right) = 854.76 \frac{(0.55 - 1.33)}{100} = -6.67 \frac{l}{m^3}$$

⇒ El agua efectiva será:

$$Agua_{(efectiva)} = Agua_{(De\ diseño)} - (Agua_{(Ag.Gruoso)} + Agua_{(Ag.Fino)})$$

$$Agua_{(efectiva)} = 216 - (-8.57 - 6.67) = 231.24 \frac{l}{m^3}$$

n) Cálculo de los valores de diseño finales de los componentes del concreto, corregidos por humedad del agregado

- Cemento	=	329.67	kg/m ³
- Agua	=	231.24	l/m ³
- Agregado Fino	=	936.68	kg/m ³
- Agregado Gruoso	=	859.46	kg/m ³

o) Cálculo de la proporción en peso del concreto.

Cemento : Agregado Fino : Agregado Gruoso

$$\frac{329.67}{329.67} : \frac{936.68}{329.67} : \frac{859.46}{329.67}$$

$$1 : 2.84 : 2.61$$

Por consiguiente, la proporción en peso del concreto es: 1 de cemento, 2.84 de agregado fino y 2.61 de agregado grueso.

p) Cálculo de la proporción en base al volumen suelto.

$$V_{Cemento(m^3)} = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{P.U. cemento (1500 kg/m^3)} = \frac{329.67}{1500} = 0.220 m^3$$

$$V_{Ag. Fino (m^3)} = \frac{\text{Peso Ag. Fino (Corregido) (kg)}}{P.U. Ag. Fino (Corregido) (kg/m^3)} = \frac{936.68}{1625.57} = 0.576 m^3$$

$$V_{Ag. Gruoso (m^3)} = \frac{\text{Peso Ag. Gruoso (Corregido) (kg)}}{P.U. Ag. Gruoso (Corregido) (kg/m^3)} = \frac{859.46}{1466.52} = 0.586 m^3$$

Proporciones en volumen:



Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua (l/bls)

$$\frac{0.220}{0.220} : \frac{0.576}{0.220} : \frac{0.586}{0.220} / \frac{231.24}{42.5}$$

$$1 : 2.62 : 2.66 / 29.81 \text{ (l/bls)}$$

Por consiguiente, la proporción en volumen del concreto es: 1 de cemento, 2.62 de agregado fino y 2.6 de agregado grueso; además se requiere 29.81 litros de agua por una bolsa de cemento.

4.2.2.1. Dosificación en peso del concreto

La tabla 36 muestra las dosificaciones en peso del concreto, tanto para el concreto convencional y para el concreto con vidrio molido adicionado a la mezcla en reemplazo del agregado fino en porcentajes de 20%, 30% y 40%, para producir 1 m³ de concreto $f'_c=210$ kg/cm².

Tabla 36

Dosificación en peso del concreto, para diferentes porcentajes de vidrio molido

N°	Porcentaje de vidrio molido	Dosificación en peso por m ³ de Concreto						Peso Unitario del concreto fresco					
		Cemento		Agua		Agregado Fino			Vidrio molido		Agregado Grueso		
1	0%	329.67	kg/m ³	231.24	l/m ³	936.68	kg/m ³	0.00	kg/m ³	859.46	kg/m ³	2357.05	kg/m ³
2	20%	329.67	kg/m ³	231.24	l/m ³	749.34	kg/m ³	187.34	kg/m ³	859.46	kg/m ³	2357.05	kg/m ³
3	30%	329.67	kg/m ³	231.24	l/m ³	655.68	kg/m ³	281.00	kg/m ³	859.46	kg/m ³	2357.05	kg/m ³
4	40%	329.67	kg/m ³	231.24	l/m ³	562.01	kg/m ³	374.67	kg/m ³	859.46	kg/m ³	2357.05	kg/m ³

Fuente: Propia

4.2.2.2. Dosificación en volumen del concreto

La tabla 37 muestra las dosificaciones en volumen del concreto, tanto para el concreto convencional y para el concreto con vidrio molido adicionado a la mezcla en reemplazo del agregado fino en porcentajes de 20%, 30% y 40%, para producir 1 m³ de concreto $f'_c=210$ kg/cm².



Tabla 37

Dosificación en volumen del concreto, para diferentes porcentajes de vidrio molido

N°	Porcentaje de vidrio molido	Dosificación en volumen por m ³ de Concreto									
		Cemento		Agua		Agregado Fino		Vidrio molido		Agregado Grueso	
1	0%	8	bolsas/m ³	0.231	m ³	0.576	m ³	0.000	m ³	0.586	m ³
2	20%	8	bolsas/m ³	0.231	m ³	0.461	m ³	0.115	m ³	0.586	m ³
3	30%	8	bolsas/m ³	0.231	m ³	0.403	m ³	0.173	m ³	0.586	m ³
4	40%	8	bolsas/m ³	0.231	m ³	0.346	m ³	0.230	m ³	0.586	m ³

Fuente: Propia

4.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Se obtuvieron los valores finales de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas y con ello se evidencia la influencia que tuvo el vidrio molido a diferentes porcentajes en la resistencia a compresión del concreto. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión determinaron que las mezcla de concreto con adición de vidrio molido en reemplazo del agregado fino a porcentajes de 0%, 20%, 30% y 40%, cumplen con los requerimientos de la resistencia especificada, f'_c , de la investigación, tal como se observa en la tabla 38.

Tabla 38

Resistencia a la compresión de los concretos elaborados a los 28 días

CONCRETO	Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm ²)	Porcentaje final de la resistencia obtenida
	28 Días	
Patrón (Valor Nominal)	210.0	100.0%
Con 0% de Vidrio Molido	215.1	102.4%
Con 20% de Vidrio Molido	226.4	107.8%
Con 30% de Vidrio Molido	219.0	104.3%
Con 40% de Vidrio Molido	211.8	100.8%

Fuente: Propia

4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Para realizar el diseño de mezclas se determinó la desviación estándar, por consiguiente, se sometió al ensayo de resistencia a la compresión 60 especímenes de



concreto cuyos resultados se muestran en la tabla 39, cuyo valor de la desviación estándar fue $S=13.25$ kg/cm². Este resultado de la desviación estándar se utilizó en el diseño de mezcla, para el concreto $f'_c=210$ kg/cm².

Tabla 39
Determinación de la desviación estándar

Tanda de Vaciado						Tanda de Vaciado					
Primera						Segunda					
Fecha de Ensayo:						Fecha de Ensayo:					
Fecha de Vaciado:						Fecha de Vaciado:					
$f'_c=$						$f'_c=$					
210 kg/cm ²						210 kg/cm ²					
Probeta	P Lbs	Area cm ²	f'_c Y	$Y_n - \bar{Y}$	$(Y_n - \bar{Y})^2$	Probeta	P Lbs	Area cm ²	f'_c Y	$Y_n - \bar{Y}$	$(Y_n - \bar{Y})^2$
1	45000	78.54	260	14.6	214.06	31	41500	78.54	240	-12.7	161.43
2	42000	78.54	243	-2.7	7.26	32	40500	78.54	234	-18.5	341.55
3	45000	78.54	260	14.6	214.06	33	42500	78.54	245	-6.9	48.03
4	41500	78.54	240	-5.6	31.17	34	42000	78.54	243	-9.8	96.39
5	40000	78.54	231	-14.2	202.94	35	42000	78.54	243	-9.8	96.39
6	41500	78.54	240	-5.6	31.17	36	44000	78.54	254	1.7	3.00
7	42000	78.54	243	-2.7	7.26	37	42500	78.54	245	-6.9	48.03
8	42000	78.54	243	-2.7	7.26	38	43500	78.54	251	-1.2	1.33
9	42500	78.54	245	0.2	0.04	39	46500	78.54	269	16.2	261.50
10	42500	78.54	245	0.2	0.04	40	43500	78.54	251	-1.2	1.33
11	44000	78.54	254	8.9	78.42	41	45000	78.54	260	7.5	56.37
12	40500	78.54	234	-11.4	129.01	42	41000	78.54	237	-15.6	243.15
13	43000	78.54	248	3.1	9.49	43	41500	78.54	240	-12.7	161.43
14	37000	78.54	214	-31.6	996.77	44	42000	78.54	243	-9.8	96.39
15	45000	78.54	260	14.6	214.06	45	42000	78.54	243	-9.8	96.39
16	45000	78.54	260	14.6	214.06	46	45000	78.54	260	7.5	56.37
17	47500	78.54	274	29.1	845.01	47	42500	78.54	245	-6.9	48.03
18	42500	78.54	245	0.2	0.04	48	44000	78.54	254	1.7	3.00
19	44000	78.54	254	8.9	78.42	49	42000	78.54	243	-9.8	96.39
20	45000	78.54	260	14.6	214.06	50	45000	78.54	260	7.5	56.37
21	43500	78.54	251	6.0	35.61	51	42500	78.54	245	-6.9	48.03
22	41500	78.54	240	-5.6	31.17	52	42000	78.54	243	-9.8	96.39
23	38500	78.54	222	-22.9	524.81	53	47500	78.54	274	21.9	481.64
24	42000	78.54	243	-2.7	7.26	54	46000	78.54	266	13.3	176.44
25	39500	78.54	228	-17.1	293.55	55	44000	78.54	254	1.7	3.00
26	46500	78.54	269	23.3	542.60	56	45000	78.54	260	7.5	56.37
27	40000	78.54	231	-14.2	202.94	57	45000	78.54	260	7.5	56.37
28	38000	78.54	219	-25.8	665.46	58	48000	78.54	277	24.8	616.72
29	41500	78.54	240	-5.6	31.17	59	45000	78.54	260	7.5	56.37
30	45500	78.54	263	17.5	306.90	60	47500	78.54	274	21.9	481.64
			7358						7571		
			6136.1						4045.9		
# de ensayos	n = 30					# de ensayos	n = 30				
Sumatoria de ensayos	$\sum Y = 7358$					Sumatoria de ensayos	$\sum Y = 7571$				
Promedio de resultados	$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = 245.3$ kg/cm ²					Promedio de resultados	$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = 252.4$ kg/cm ²				
Desviación Estándar	$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} = 14.5$ kg/cm ²					Desviación Estándar	$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} = 11.8$ kg/cm ²				
Variación Ponderada	$V_1 = \frac{S_1}{\bar{Y}} = 5.93\%$					Variación Ponderada	$V_2 = \frac{S_2}{\bar{Y}} = 4.68\%$				
Resistencia Promedio	$\bar{Y}_p = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} = 248.8$ kg/cm ²										
Desviación Estandar Promedio	$S = \sqrt{\frac{(n_1-1)(S_1)^2 + (n_2-1)(S_2)^2}{n_1+n_2-2}} = 13.25$ kg/cm ²										
Coefficiente de Variación Ponderado	$V = \sqrt{\frac{(n_1-1)(V_1)^2 + (n_2-1)(V_2)^2}{n_1+n_2-2}} = 5.34\%$										

Fuente: Propia



4.4.2. CONCRETO CONVENCIONAL (CON 0% DE VIDRIO MOLIDO)

4.4.2.1. Resistencia a los 7 días

En la tabla 40 se observa que la resistencia a la compresión del concreto convencional, a la edad de 7 días es 153.8 kg/cm²; llegando al 73.2% de su resistencia de diseño.

Tabla 40

Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 07 días

% de Vidrio Molido:		0 %		Fecha de Ensayo:		02/11/2018			
Edad de Rotura :		7 Días		Fecha de Vaciado:		25/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :		210 kg/cm ²							
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_c (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.10	10.20	10.15	20.55	80.91	29500	13381.0	165	79%
2	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	25000	11339.8	141	67%
3	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	23000	10432.6	130	62%
4	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	23500	10659.4	131	62%
5	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	25500	11566.6	143	68%
6	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	22500	10205.8	127	61%
7	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	22000	9979.0	123	59%
8	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	30500	13834.6	170	81%
9	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	25500	11566.6	144	68%
10	10.20	10.20	10.20	20.65	81.71	27500	12473.8	153	73%
11	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	23000	10432.6	130	62%
12	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	28000	12700.6	157	75%
13	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	26500	12020.2	148	70%
14	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	29500	13381.0	166	79%
15	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	26000	11793.4	146	69%
16	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	27000	12247.0	151	72%
17	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	30000	13607.8	167	80%
18	10.20	10.20	10.20	20.65	81.71	29500	13381.0	164	78%
19	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	27000	12247.0	153	73%
20	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	26000	11793.4	146	69%
21	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	30000	13607.8	168	80%
22	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	31000	14061.4	174	83%
23	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	32500	14741.8	184	88%
24	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	23500	10659.4	132	63%
25	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	26000	11793.4	146	69%
26	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	27000	12247.0	151	72%
27	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28500	12927.4	161	76%
28	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	30500	13834.6	171	81%
29	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	22500	10205.8	127	60%
30	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	25000	11339.8	141	67%
31	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	25500	11566.6	143	68%
32	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	26000	11793.4	147	70%
33	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75%
34	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	26000	11793.4	146	69%
35	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	25500	11566.6	144	68%
36	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	32000	14515.0	180	86%
37	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	26500	12020.2	149	71%
38	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	25500	11566.6	142	68%
39	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	31500	14288.2	177	84%
40	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	26500	12020.2	147	70%
41	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	30500	13834.6	173	82%
42	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	31000	14061.4	175	83%
43	10.15	10.20	10.18	20.55	81.31	29500	13381.0	165	78%
44	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	28500	12927.4	160	76%
45	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27000	12247.0	153	73%
46	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	29500	13381.0	167	80%
47	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	28500	12927.4	161	76%
48	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	32000	14515.0	180	86%
49	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	27000	12247.0	151	72%
50	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	25000	11339.8	140	67%
51	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	33000	14968.5	184	88%
52	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	24000	10886.2	135	64%
53	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	23500	10659.4	132	63%
54	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	22000	9979.0	123	59%
55	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	30500	13834.6	169	81%
56	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	30000	13607.8	168	80%
57	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28500	12927.4	161	76%
58	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	28000	12700.6	158	75%
59	10.20	10.15	10.18	20.55	81.31	30000	13607.8	167	80%
60	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	29500	13381.0	165	79%
								9227	
Resistencia Promedio f'_c =						153.8	kg/cm²	73.2%	

Fuente: Propia



4.4.2.2. Resistencia a los 14 días

En la tabla 41 se observa que la resistencia a la compresión del concreto convencional, a la edad de 14 días es 194.5 kg/cm²; llegando al 92.6% de su resistencia de diseño.

Tabla 41

Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 14 días

% de Vidrio Molido:			0	%					Fecha de Ensayo:	07/11/2018
Edad de Rotura :			14	Días					Fecha de Vaciado:	23/10/2018
Resistencia de Diseño f'_{c} :			210	kg/cm ²						
# de Probeta	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	D _{promedio} (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_{c} (kg/cm ²)	Evolución %	
						Lb-f	Kg-f			
1	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	30000	15504.9	191	91%	
2	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	28000	14471.3	181	86%	
3	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	35000	18089.1	224	106%	
4	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	24000	12403.9	154	73%	
5	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	32500	16797.0	209	99%	
6	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	30500	15763.3	197	94%	
7	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	35000	18089.1	224	106%	
8	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	31500	16280.2	202	96%	
9	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	29000	14988.1	185	88%	
10	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	36000	18605.9	230	109%	
11	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	32000	16538.6	206	98%	
12	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	33000	17055.4	210	100%	
13	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	26500	13696.0	170	81%	
14	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	29000	14988.1	185	88%	
15	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	33000	17055.4	211	100%	
16	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	27500	14212.9	176	84%	
17	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	30500	15763.3	197	94%	
18	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	23000	11887.1	148	70%	
19	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	27500	14212.9	176	84%	
20	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	33500	17313.8	215	102%	
21	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	29500	15246.5	188	89%	
22	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	34000	17572.3	219	104%	
23	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	28500	14729.7	182	87%	
24	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	32500	16797.0	209	99%	
25	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	31500	16280.2	203	97%	
26	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	34000	17572.3	217	103%	
27	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	32000	16538.6	204	97%	
28	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	35000	18089.1	225	107%	
29	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	31000	16021.8	198	94%	
30	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	28500	14729.7	181	86%	
31	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27000	13954.4	174	83%	
32	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	26000	13437.6	168	80%	
33	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	32500	16797.0	208	99%	
34	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	27000	13954.4	173	83%	
35	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	31000	16021.8	197	94%	
36	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	32500	16797.0	207	98%	
37	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27000	13954.4	174	83%	
38	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	33500	17313.8	216	103%	
39	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	35000	18089.1	224	106%	
40	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	34500	17830.7	221	105%	
41	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	30500	15763.3	196	93%	
42	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	26000	13437.6	167	79%	
43	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	25500	13179.2	164	78%	
44	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33000	17055.4	213	101%	
45	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28000	14471.3	180	86%	
46	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	30500	15763.3	195	93%	
47	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	30500	15763.3	196	93%	
48	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	26000	13437.6	167	79%	
49	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	14471.3	180	86%	
50	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	30000	15504.9	193	92%	
51	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	30500	15763.3	197	94%	
52	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	30000	15504.9	191	91%	
53	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33000	17055.4	213	101%	
54	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	28000	14471.3	179	85%	
55	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	32500	16797.0	210	100%	
56	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28500	14729.7	182	87%	
57	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	26000	13437.6	168	80%	
58	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	33000	17055.4	212	101%	
59	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	14471.3	180	86%	
60	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	33500	17313.8	215	102%	
						0.00			11670	
						Resistencia Promedio f'_{c} =		194.5	kg/cm ²	92.6%

Fuente: Propia



4.4.2.3. Resistencia a los 21 días

En la tabla 42 se observa que la resistencia a la compresión del concreto convencional, a la edad de 21 días es 212.2 kg/cm²; llegando al 101.0% de su resistencia de diseño.

Tabla 42

Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 21 días

% de Vidrio Molido:		0 %		Fecha de Ensayo:		12/11/2018			
Edad de Rotura :		21 Días		Fecha de Vaciado:		20/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :		210 kg/cm ²							
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_c (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	32500	17348.0	215	103%
2	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	34500	18415.5	229	109%
3	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	33000	17614.9	219	104%
4	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	32500	17348.0	217	103%
5	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	33000	17614.9	218	104%
6	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	33500	17881.8	220	105%
7	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	30000	16013.5	198	94%
8	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	32000	17081.1	212	101%
9	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	31500	16814.2	210	100%
10	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	29500	15746.6	197	94%
11	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	31500	16814.2	209	99%
12	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	29000	15479.7	191	91%
13	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	29500	15746.6	197	94%
14	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	33500	17881.8	223	106%
15	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	36500	19483.1	241	115%
16	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	32000	17081.1	211	101%
17	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	36000	19216.2	237	113%
18	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	34000	18148.7	225	107%
19	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	33500	17881.8	222	106%
20	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	26500	14145.3	176	84%
21	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	30000	16013.5	199	95%
22	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	26500	14145.3	175	83%
23	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33500	17881.8	223	106%
24	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	31500	16814.2	210	100%
25	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	25000	13344.6	167	79%
26	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	28000	14945.9	184	88%
27	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	31500	16814.2	209	99%
28	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	33500	17881.8	222	106%
29	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	34500	18415.5	228	108%
30	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	34500	18415.5	226	108%
31	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	32000	17081.1	212	101%
32	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	32000	17081.1	212	101%
33	10.20	10.10	10.15	20.50	80.91	30500	16280.4	201	96%
34	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	25500	13611.5	169	81%
35	10.15	10.15	10.15	20.50	80.91	33000	17614.9	218	104%
36	10.20	10.10	10.15	20.50	80.91	31000	16547.3	205	97%
37	10.15	10.10	10.13	20.50	80.52	36000	19216.2	239	114%
38	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	34000	18148.7	224	107%
39	10.15	10.20	10.18	20.55	81.31	31000	16547.3	204	97%
40	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	30500	16280.4	201	96%
41	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	29500	15746.6	195	93%
42	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	31500	16814.2	209	99%
43	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	32000	17081.1	211	101%
44	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	37000	19750.0	245	117%
45	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	36000	19216.2	239	114%
46	10.20	10.20	10.20	20.50	81.71	25500	13611.5	167	79%
47	10.10	10.10	10.10	20.55	80.12	31000	16547.3	207	98%
48	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	38500	20550.7	255	122%
49	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	30500	16280.4	201	96%
50	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	25500	13611.5	170	81%
51	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	33500	17881.8	222	106%
52	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40000	21351.4	265	126%
53	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	38500	20550.7	253	120%
54	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	33500	17881.8	222	106%
55	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	32000	17081.1	211	101%
56	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	28000	14945.9	186	88%
57	10.10	10.10	10.10	20.55	80.12	30000	16013.5	200	95%
58	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	37500	20016.9	247	118%
59	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30500	16280.4	201	96%
60	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	35500	18949.3	234	112%
								12732	
Resistencia Promedio f'_c =						212.2	kg/cm²	101.0%	

Fuente: Propia



4.4.2.4. Resistencia a los 28 días

En la tabla 43 se observa que la resistencia a la compresión del concreto convencional, a la edad de 28 días es 215.1 kg/cm²: llegando al 102.4% de su resistencia de diseño.

Tabla 43

Resistencia a la compresión del Concreto con 0% de VM, a la edad de 28 días

% de Vidrio Molido:			0	%	Fecha de Ensayo:			15/11/2018			
Edad de Rotura :			28	Días	Fecha de Vaciado:			18/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :			210	kg/cm ²							
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_c (kg/cm ²)	Evolución %	1° Condición Norma E.060 > 175 kg/cm ²	2° Condición Norma E.060 ≥ 210 kg/cm ²
						Lb-f	Kg-f				
1	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	34500	15648.9	194	93%	217	213
2	10.10	10.05	10.08	20.65	79.72	42000	19050.9	239	114%		
3	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	36500	16556.1	206	98%		
4	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	36000	16329.3	204	97%	205	213
5	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	39500	17916.9	225	107%		
6	10.00	10.10	10.05	20.70	79.33	36500	16556.1	209	99%	217	213
7	10.05	10.15	10.10	20.65	80.12	36000	16329.3	204	97%		
8	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	39000	17690.1	220	105%	212	214
9	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	36000	16329.3	204	97%		
10	10.10	10.00	10.05	20.65	79.33	38500	17463.3	220	105%	212	214
11	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	39500	17916.9	223	106%		
12	10.15	10.05	10.10	20.60	80.12	38000	17236.5	215	102%	219	214
13	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	39000	17690.1	221	105%		
14	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	41000	18597.3	233	111%	227	212
15	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	38500	17463.3	218	104%		
16	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	34000	15422.1	192	92%	205	212
17	10.10	10.05	10.08	20.70	79.72	36000	16329.3	205	98%		
18	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	36000	16329.3	205	98%	205	212
19	10.10	10.00	10.05	20.60	79.33	39000	17690.1	223	106%		
20	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	42000	19050.9	238	113%	230	217
21	10.15	10.03	10.09	20.65	79.96	35500	16102.5	201	96%		
22	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	36000	16329.3	204	97%	203	217
23	10.10	10.05	10.08	20.65	79.72	40500	18370.5	230	110%		
24	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	36000	16329.3	203	97%	217	213
25	10.00	10.02	10.01	20.65	78.70	36500	16556.1	210	100%		
26	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	41000	18597.3	231	110%	221	218
27	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	34500	15648.9	196	93%		
28	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99%	202	218
29	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	43000	19504.5	243	116%		
30	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	38500	17463.3	219	104%	231	217
31	10.10	10.03	10.07	20.60	79.56	37000	16782.9	211	100%		
32	10.05	10.10	10.08	20.70	79.72	35000	15875.7	199	95%	205	215
33	10.10	10.05	10.08	20.70	79.72	38500	17463.3	219	104%		
34	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	41500	18824.1	234	111%	226	215
35	10.03	10.10	10.07	20.60	79.56	37000	16782.9	211	100%		
36	10.10	10.03	10.07	20.65	79.56	38000	17236.5	217	103%	214	217
37	10.10	10.00	10.05	20.65	79.33	37500	17009.7	214	102%		
38	10.05	10.05	10.05	20.65	79.33	38500	17463.3	220	105%	217	213
39	10.05	10.02	10.04	20.55	79.09	40500	18370.5	232	111%		
40	10.05	10.03	10.04	20.70	79.17	36000	16329.3	206	98%	219	217
41	10.10	10.00	10.05	20.60	79.33	39000	17690.1	223	106%		
42	10.05	10.02	10.04	20.60	79.09	35500	16102.5	204	97%	213	214
43	10.10	10.05	10.08	20.65	79.72	37500	17009.7	213	102%		
44	10.05	10.15	10.10	20.65	80.12	34500	15648.9	195	93%	204	213
45	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	38500	17463.3	219	104%		
46	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	37000	16782.9	209	100%	214	213
47	10.02	10.05	10.04	20.65	79.09	37000	16782.9	212	101%		
48	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	40500	18370.5	230	110%	221	215
49	10.10	10.02	10.06	20.60	79.49	38500	17463.3	220	105%		
50	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	37000	16782.9	209	100%	215	218
51	10.02	10.15	10.09	20.65	79.88	37000	16782.9	210	100%		
52	10.10	10.02	10.06	20.60	79.49	40000	18143.7	228	109%	219	218
53	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	40000	18143.7	228	108%		
54	10.15	10.02	10.09	20.60	79.88	37500	17009.7	213	101%	220	214
55	10.02	10.10	10.06	20.65	79.49	39000	17690.1	223	106%		
56	10.02	10.05	10.04	20.65	79.12	38000	17236.5	218	104%	220	214
57	10.05	10.10	10.08	20.70	79.72	40000	18143.7	228	108%		
58	10.03	10.10	10.07	20.60	79.56	40500	18370.5	231	110%	229	214
59	10.10	10.05	10.08	20.70	79.72	34000	15422.1	193	92%		
60	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	34000	15422.1	193	92%		
								12907			
Resistencia Promedio f'_c =						215.1	kg/cm ²	102.4%			

Fuente: Propia



4.4.3. CONCRETO CON 20% DE VIDRIO MOLIDO

4.4.3.1. Resistencia a los 7 días

En la tabla 44 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 20% de VM, a la edad de 7 días es 163.7 kg/cm²; llegando al 77.9% de su resistencia de diseño.

Tabla 44

Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 07 días

% de Vidrio Molido:		20 %		Fecha de Ensayo:		02/11/2018			
Edad de Rotura :		7 Días		Fecha de Vaciado:		25/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :		210 kg/cm ²							
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	27000	12247.0	151	72
2	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	26500	12020.2	148	70
3	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	25500	11566.6	144	68
4	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	22500	10205.8	127	60
5	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28000	12700.6	157	75
6	10.20	10.20	10.20	20.65	81.71	29500	13381.0	164	78
7	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	25500	11566.6	143	68
8	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	27500	12473.8	155	74
9	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	30000	13607.8	169	80
10	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	31000	14061.4	173	82
11	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	27000	12247.0	151	72
12	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	29500	13381.0	165	78
13	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	31000	14061.4	175	83
14	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27500	12473.8	155	74
15	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	27000	12247.0	153	73
16	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27500	12473.8	156	74
17	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	26500	12020.2	149	71
18	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	31500	14288.2	176	84
19	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	24000	10886.2	135	64
20	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	32500	14741.8	184	88
21	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	27500	12473.8	153	73
22	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28500	12927.4	160	76
23	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	27000	12247.0	151	72
24	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	30000	13607.8	168	80
25	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	32500	14741.8	183	87
26	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	27500	12473.8	155	74
27	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	32500	14741.8	182	87
28	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75
29	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	30000	13607.8	170	81
30	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	33000	14968.5	185	88
31	10.15	10.10	10.13	20.55	80.52	25500	11566.6	144	68
32	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27000	12247.0	152	72
33	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	32500	14741.8	182	87
34	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	35000	15875.7	197	94
35	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	30500	13834.6	171	81
36	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	34500	15648.9	193	92
37	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28500	12927.4	160	76
38	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	35000	15875.7	198	94
39	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	30000	13607.8	168	80
40	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	30000	13607.8	168	80
41	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	31000	14061.4	174	83
42	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	30500	13834.6	173	82
43	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	28000	12700.6	155	74
44	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	28000	12700.6	156	74
45	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	29500	13381.0	165	78
46	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	29000	13154.2	163	77
47	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	30500	13834.6	172	82
48	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	29000	13154.2	162	77
49	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30000	13607.8	168	80
50	10.10	10.15	10.13	20.55	80.52	25000	11339.8	141	67
51	10.20	10.20	10.20	20.70	81.71	32000	14515.0	178	85
52	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75
53	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	32000	14515.0	179	85
54	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	24000	10886.2	135	64
55	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	25000	11339.8	142	67
56	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	25500	11566.6	143	68
57	10.15	10.20	10.18	20.55	81.31	30500	13834.6	170	81
58	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	33500	15195.3	190	90
59	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	33000	14968.5	186	89
60	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	33500	15195.3	188	89
9820									
Resistencia Promedio f'_c =						163.7	kg/cm²	77.9%	

Fuente: Propia



4.4.3.2. Resistencia a los 14 días

En la tabla 45 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 20% de VM, a la edad de 14 días es 201.6 kg/cm²; llegando al 96.0% de su resistencia de diseño.

Tabla 45

Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 14 días

% de Vidrio Molido:		20 %		Fecha de Ensayo:						
Edad de Rotura :		14 Días		Fecha de Vaciado:						
Resistencia de Diseño f'_c :		210 kg/cm ²								
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %	
						Lb-f	Kg-f			
1	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	31000	16349.3	203	97	
2	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	36000	18986.3	236	112	
3	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	26500	13976.0	174	83	
4	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	32000	16876.7	211	100	
5	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	29500	15558.2	192	92	
6	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	29500	15558.2	194	92	
7	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30500	16085.6	199	95	
8	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33500	17667.8	221	105	
9	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	34000	17931.5	221	105	
10	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	29000	15294.5	191	91	
11	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	26000	13712.3	170	81	
12	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	35500	18722.6	233	111	
13	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	26500	13976.0	174	83	
14	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	32500	17140.4	213	101	
15	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	26000	13712.3	169	81	
16	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	34000	17931.5	223	106	
17	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33000	17404.1	217	103	
18	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	24500	12921.2	160	76	
19	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	26500	13976.0	174	83	
20	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	34500	18195.2	226	108	
21	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	36500	19250.0	239	114	
22	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	27000	14239.7	176	84	
23	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	29000	15294.5	191	91	
24	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	35000	18458.9	230	110	
25	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	30000	15821.9	195	93	
26	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	31000	16349.3	201	96	
27	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	28500	15030.8	187	89	
28	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	32000	16876.7	209	99	
29	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	33500	17667.8	221	105	
30	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	26000	13712.3	171	82	
31	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	33500	17667.8	217	103	
32	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	34500	18195.2	225	107	
33	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	35500	18722.6	233	111	
34	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	34500	18195.2	225	107	
35	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	32500	17140.4	212	101	
36	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	26500	13976.0	174	83	
37	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	25000	13184.9	164	78	
38	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	32500	17140.4	212	101	
39	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	34500	18195.2	227	108	
40	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	34000	17931.5	221	105	
41	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	31000	16349.3	203	97	
42	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	32000	16876.7	209	99	
43	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	32500	17140.4	213	101	
44	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	32500	17140.4	214	102	
45	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	31000	16349.3	202	96	
46	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	30500	16085.6	199	95	
47	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	25000	13184.9	163	78	
48	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	32500	17140.4	213	101	
49	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	33500	17667.8	217	103	
50	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	27000	14239.7	178	85	
51	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	27000	14239.7	176	84	
52	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	34000	17931.5	222	106	
53	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	32000	16876.7	210	100	
54	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	31000	16349.3	202	96	
55	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33000	17404.1	217	103	
56	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	25000	13184.9	164	78	
57	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	34500	18195.2	226	108	
58	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	27500	14503.4	179	85	
59	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	25000	13184.9	165	78	
60	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	31000	16349.3	201	96	
								12098		
Resistencia Promedio f'_c =						201.6	kg/cm²	96.0%		

Fuente: Propia



4.4.3.3. Resistencia a los 21 días

En la tabla 46 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 20% de VM, a la edad de 21 días es 224.1 kg/cm²; llegando al 106.7% de su resistencia de diseño.

Tabla 46

Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 21 días

% de Vidrio Molido:		20	%					Fecha de Ensayo:	12/11/2018
Edad de Rotura :		21	Días					Fecha de Vaciado:	20/10/2018
Resistencia de Diseño f'_c :		210	kg/cm ²						
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	35000	19302.3	237	113
2	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	35500	19578.0	242	115
3	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	33000	18199.3	226	108
4	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	35500	19578.0	243	116
5	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	30500	16820.6	207	99
6	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	28500	15717.6	196	93
7	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	36000	19853.8	248	118
8	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	36500	20129.5	251	120
9	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	32000	17647.8	218	104
10	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	29000	15993.3	199	95
11	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	36500	20129.5	250	119
12	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	36000	19853.8	247	117
13	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	30500	16820.6	209	99
14	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	35500	19578.0	242	115
15	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30000	16544.8	204	97
16	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	36000	19853.8	245	117
17	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	28000	15441.8	193	92
18	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	31000	17096.3	213	102
19	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	34500	19026.5	235	112
20	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	39500	21784.0	271	129
21	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	37500	20681.0	258	123
22	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	30500	16820.6	210	100
23	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	30000	16544.8	205	98
24	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	30500	16820.6	208	99
25	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	28000	15441.8	190	90
26	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	36500	20129.5	249	118
27	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	31500	17372.0	217	103
28	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	27500	15166.1	188	90
29	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	34000	18750.8	233	111
30	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	35000	19302.3	240	114
31	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	34000	18750.8	232	110
32	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	31500	17372.0	215	102
33	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	32000	17647.8	218	104
34	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	33000	18199.3	227	108
35	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	37500	20681.0	257	122
36	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	32000	17647.8	218	104
37	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	35500	19578.0	243	116
38	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	27000	14890.3	183	87
39	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	30500	16820.6	209	99
40	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	29000	15993.3	199	95
41	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	34000	18750.8	234	111
42	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	31500	17372.0	215	102
43	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	36000	19853.8	247	117
44	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	34500	19026.5	237	113
45	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	30000	16544.8	202	96
46	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	30500	16820.6	209	99
47	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	15441.8	192	91
48	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	32000	17647.8	218	104
49	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	34500	19026.5	236	113
50	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30500	16820.6	208	99
51	10.15	10.15	10.15	20.50	80.91	37000	20405.3	252	120
52	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	36500	20129.5	248	118
53	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	34000	18750.8	232	110
54	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	30500	16820.6	209	99
55	10.20	10.10	10.15	20.55	80.91	31000	17096.3	211	101
56	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	35000	19302.3	239	114
57	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	34500	19026.5	236	113
58	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	30500	16820.6	208	99
59	10.15	10.10	10.13	20.55	80.52	32500	17923.5	223	106
60	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	31500	17372.0	216	103
								13446	
Resistencia Promedio $f'_c =$						224.1	kg/cm ²	106.7%	

Fuente: Propia



4.4.3.4. Resistencia a los 28 días

En la tabla 47 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 20% de VM, a la edad de 28 días es 226.4 kg/cm²; llegando al 107.8% de su resistencia de diseño.

Tabla 47

Resistencia a la compresión del Concreto con 20% de VM, a la edad de 28 días

% de Vidrio Molido:			20	%	Fecha de Ensayo:		15/11/2018				
Edad de Rotura :			28	Días	Fecha de Vaciado:		18/10/2018				
Resistencia de Diseño f'_c :			210 kg/cm ²								
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_c (kg/cm ²)	Evolución %	1° Condición Norma E.060 > 175 kg/cm ²	2° Condición Norma E.060 ≥ 210 kg/cm ²
						Lb-f	Kg-f				
1	10.10	10.05	10.08	20.65	79.72	40000	18143.7	228	108	227	
2	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	40000	18143.7	226	108		
3	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	35500	16102.5	200	95	218	
4	10.00	10.15	10.08	20.60	79.72	41500	18824.1	236	112	231	
5	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	39500	17916.9	225	107		
6	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	42500	19277.7	238	113		
7	10.15	10.05	10.10	20.65	80.12	37000	16782.9	209	100	223	
8	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	42000	19050.9	237	113		
9	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	37000	16782.9	211	100	225	
10	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	42500	19277.7	239	114	214	
11	10.10	10.02	10.06	20.65	79.49	38500	17463.3	220	105		
12	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	36500	16556.1	208	99	230	
13	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	42500	19277.7	239	114		
14	10.02	10.15	10.09	20.70	79.88	39000	17690.1	221	105	229	
15	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	40000	18143.7	226	108		
16	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	41000	18597.3	232	111	238	
17	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	44000	19958.1	250	119		
18	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	40000	18143.7	226	108	210	
19	10.15	10.05	10.10	20.60	80.12	38000	17236.5	215	102		
20	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	36500	16556.1	206	98	234	
21	10.10	10.05	10.08	20.65	79.72	42500	19277.7	242	115		
22	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	40000	18143.7	226	108	219	
23	10.02	10.10	10.06	20.65	79.49	37000	16782.9	211	101		
24	10.15	10.00	10.08	20.65	79.72	38000	17236.5	216	103	214	
25	10.10	10.05	10.08	20.70	79.72	39500	17916.9	225	107		
26	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	39500	17916.9	224	106	228	
27	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	38000	17236.5	215	102		
28	10.05	10.15	10.10	20.60	80.12	42500	19277.7	241	115	225	
29	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	37500	17009.7	212	101		
30	10.02	10.10	10.06	20.55	79.49	38500	17463.3	220	105	216	
31	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	38000	17236.5	214	102		
32	10.10	10.05	10.08	20.70	79.72	38500	17463.3	219	104	217	
33	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	37000	16782.9	211	100		
34	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	40500	18370.5	229	109	220	
35	10.15	10.05	10.10	20.65	80.12	37500	17009.7	212	101		
36	10.02	10.10	10.06	20.65	79.49	42500	19277.7	243	115	227	
37	10.15	10.02	10.09	20.60	79.88	40500	18370.5	230	110		
38	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	39000	17690.1	221	105	225	
39	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	38500	17463.3	219	104		
40	10.02	10.15	10.09	20.65	79.88	40000	18143.7	227	108	223	
41	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	41500	18824.1	235	112		
42	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	43000	19504.5	245	117	240	
43	10.15	10.02	10.09	20.65	79.88	40500	18370.5	230	110		
44	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37500	17009.7	211	101	221	
45	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	38000	17236.5	215	102		
46	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	42500	19277.7	239	114	227	
47	10.05	10.15	10.10	20.65	80.12	37000	16782.9	209	100		
48	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	40000	18143.7	225	107	217	
49	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	39500	17916.9	225	107		
50	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	43000	19504.5	243	116	234	
51	10.15	10.05	10.10	20.70	80.12	38000	17236.5	215	102		
52	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	43000	19504.5	243	116	229	
53	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	41000	18597.3	231	110		
54	10.05	10.15	10.10	20.65	80.12	40000	18143.7	226	108	229	
55	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	42500	19277.7	241	115		
56	10.02	10.15	10.09	20.60	79.88	43500	19731.3	247	118	244	
57	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40000	18143.7	225	107		
58	10.10	10.05	10.08	20.70	79.72	42500	19277.7	242	115	234	
59	10.02	10.10	10.06	20.70	79.49	42000	19050.9	240	114		
60	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	43000	19504.5	242	115	241	
								13581			
Resistencia Promedio f'_c =						226.4	kg/cm ²	107.8%			

Fuente: Propia



4.4.4. CONCRETO CON 30% DE VIDRIO MOLIDO

4.4.4.1. Resistencia a los 7 días

En la tabla 48 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 30% de VM, a la edad de 7 días es 149.3 kg/cm²; llegando al 71.1% de su resistencia de diseño.

Tabla 48

Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 07 días

% de Vidrio Molido:		30 %				Fecha de Ensayo:		02/11/2018	
Edad de Rotura :		7 Días				Fecha de Vaciado:		25/10/2018	
Resistencia de Diseño f'_c :		210 kg/cm ²							
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	26500	12020.2	149	71
2	10.15	10.20	10.18	20.55	81.31	23500	10659.4	131	62
3	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	31500	14288.2	177	85
4	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	25000	11339.8	141	67
5	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	19500	8845.1	109	52
6	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	28000	12700.6	155	74
7	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	28500	12927.4	160	76
8	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	22500	10205.8	126	60
9	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	27500	12473.8	155	74
10	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	26500	12020.2	148	70
11	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	24000	10886.2	135	64
12	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	32500	14741.8	181	86
13	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	27500	12473.8	154	73
14	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	26000	11793.4	146	70
15	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	24000	10886.2	136	65
16	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27500	12473.8	156	74
17	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	23000	10432.6	128	61
18	10.20	10.15	10.18	20.55	81.31	29000	13154.2	162	77
19	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	26000	11793.4	146	70
20	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	28500	12927.4	161	77
21	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	25500	11566.6	142	67
22	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30500	13834.6	171	81
23	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	25000	11339.8	139	66
24	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	24500	11113.0	137	65
25	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28000	12700.6	157	75
26	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	33000	14968.5	186	89
27	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	27500	12473.8	154	73
28	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75
29	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	23000	10432.6	130	62
30	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	26000	11793.4	146	69
31	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	24500	11113.0	138	66
32	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75
33	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	30500	13834.6	171	81
34	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	26500	12020.2	149	71
35	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	25000	11339.8	140	67
36	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	21000	9525.4	118	56
37	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	32000	14515.0	179	85
38	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	24500	11113.0	139	66
39	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	25000	11339.8	140	67
40	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	20000	9071.8	112	53
41	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	27500	12473.8	154	73
42	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	25500	11566.6	144	69
43	10.20	10.20	10.20	20.70	81.71	28000	12700.6	155	74
44	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	27500	12473.8	153	73
45	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	25000	11339.8	139	66
46	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28500	12927.4	160	76
47	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	29000	13154.2	163	78
48	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	30500	13834.6	170	81
49	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	32000	14515.0	179	85
50	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75
51	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	22000	9979.0	122	58
52	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	27000	12247.0	152	72
53	10.20	10.15	10.18	20.00	81.31	30500	13834.6	170	81
54	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	26500	12020.2	149	71
55	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27500	12473.8	156	74
56	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	24500	11113.0	137	65
57	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	19500	8845.1	109	52
58	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	31000	14061.4	176	84
59	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	23000	10432.6	130	62
60	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	28000	12700.6	157	75
								8956	
Resistencia Promedio f'_c =						149.3	kg/cm ²	71.1%	

Fuente: Propia



4.4.4.2. Resistencia a los 14 días

En la tabla 49 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 30% de VM, a la edad de 14 días es 187.7 kg/cm²; llegando al 89.4% de su resistencia de diseño.

Tabla 49

Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 14 días

% de Vidrio Molido:		30	%	Fecha de Ensayo:		08/11/2018			
Edad de Rotura :		14	Días	Fecha de Vaciado:		24/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :		210	kg/cm ²						
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	30500	16914.2	210	100
2	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	21000	11645.8	145	69
3	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	31500	17468.8	217	103
4	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	30000	16636.9	208	99
5	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	17500	9704.9	120	57
6	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27000	14973.2	187	89
7	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	24000	13309.5	164	78
8	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	26000	14418.7	180	86
9	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	31500	17468.8	215	102
10	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	27000	14973.2	187	89
11	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	15527.8	193	92
12	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	27000	14973.2	186	89
13	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	30000	16636.9	207	98
14	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	26500	14695.9	183	87
15	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	32000	17746.0	219	104
16	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27500	15250.5	189	90
17	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	25000	13864.1	173	82
18	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	25500	14141.4	176	84
19	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	20000	11091.3	138	66
20	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	29000	16082.3	200	95
21	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	29500	16359.6	203	97
22	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	30000	16636.9	206	98
23	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	25000	13864.1	173	82
24	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	24000	13309.5	166	79
25	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	29500	16359.6	201	96
26	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	27500	15250.5	188	89
27	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	23500	13032.2	162	77
28	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	27500	15250.5	188	90
29	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27500	15250.5	190	91
30	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	31000	17191.5	215	102
31	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	25000	13864.1	171	81
32	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	23500	13032.2	161	77
33	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	30500	16914.2	210	100
34	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	29000	16082.3	199	95
35	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	32000	17746.0	219	104
36	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	27000	14973.2	187	89
37	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	22500	12477.7	155	74
38	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	29000	16082.3	199	95
39	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	22000	12200.4	152	73
40	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	28500	15805.1	194	93
41	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	27000	14973.2	186	89
42	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	26500	14695.9	182	86
43	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	33000	18300.6	227	108
44	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	32500	18023.3	225	107
45	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	30500	16914.2	209	100
46	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	24500	13586.8	168	80
47	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	22000	12200.4	151	72
48	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	32000	17746.0	220	105
49	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	29000	16082.3	198	94
50	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27500	15250.5	190	91
51	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	24000	13309.5	164	78
52	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	30500	16914.2	209	100
53	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	28500	15805.1	196	93
54	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	27500	15250.5	188	90
55	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	27500	15250.5	190	91
56	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	31000	17191.5	214	102
57	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	22000	12200.4	152	72
58	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	23000	12755.0	158	75
59	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	30500	16914.2	211	101
60	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	27500	15250.5	188	89
								11260	
Resistencia Promedio $f'_c =$						187.7	kg/cm ²	89.4%	

Fuente: Propia



4.4.4.3. Resistencia a los 21 días

En la tabla 50 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 30% de VM, a la edad de 21 días es 219.1 kg/cm²; llegando al 104.3% de su resistencia de diseño.

Tabla 50

Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 21 días

% de Vidrio Molido:		30	%	Fecha de Ensayo:		13/11/2018			
Edad de Rotura :		21	Días	Fecha de Vaciado:		22/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :		210	kg/cm ²						
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	38000	17236.5	213	101
2	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	39500	17916.9	221	105
3	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	42500	19277.7	238	113
4	10.10	10.20	10.15	20.55	80.91	27000	12247.0	151	72
5	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	26500	12020.2	149	71
6	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	40000	18143.7	222	106
7	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	46500	21092.0	262	125
8	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	38500	17463.3	215	102
9	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	39000	17690.1	218	104
10	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40500	18370.5	228	109
11	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	38500	17463.3	218	104
12	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	42500	19277.7	238	113
13	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	47000	21318.8	265	126
14	10.10	10.10	10.10	20.55	80.12	47000	21318.8	266	127
15	10.20	10.20	10.20	20.50	81.71	39000	17690.1	216	103
16	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	41500	18824.1	234	111
17	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	42000	19050.9	237	113
18	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	45000	20411.7	251	120
19	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	40500	18370.5	228	109
20	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	42000	19050.9	235	112
21	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	39500	17916.9	221	105
22	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	46500	21092.0	259	124
23	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	40000	18143.7	224	107
24	10.20	10.15	10.18	20.55	81.31	37500	17009.7	209	100
25	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	38000	17236.5	213	101
26	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	41000	18597.3	230	109
27	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	41000	18597.3	229	109
28	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	39000	17690.1	216	103
29	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	39000	17690.1	220	105
30	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40500	18370.5	228	109
31	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	45500	20638.5	254	121
32	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	38000	17236.5	213	101
33	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	38000	17236.5	212	101
34	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	40000	18143.7	225	107
35	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	40000	18143.7	223	106
36	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	46000	20865.2	258	123
37	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	45000	20411.7	250	119
38	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	40000	18143.7	225	107
39	10.10	10.20	10.15	20.55	80.91	40000	18143.7	224	107
40	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	49000	22226.0	276	131
41	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	40000	18143.7	224	107
42	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	31000	14061.4	175	83
43	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	32000	14515.0	180	86
44	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	28500	12927.4	160	76
45	10.15	10.15	10.15	20.55	80.91	30000	13607.8	168	80
46	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	28000	12700.6	157	75
47	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	31000	14061.4	174	83
48	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	31000	14061.4	174	83
49	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	30000	13607.8	168	80
50	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	32000	14515.0	179	85
51	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	37000	16782.9	209	100
52	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	45500	20638.5	258	123
53	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	42500	19277.7	239	114
54	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	42500	19277.7	238	113
55	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	49000	22226.0	273	130
56	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	32000	14515.0	179	85
57	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	35000	15875.7	196	93
58	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	37500	17009.7	211	101
59	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	38500	17463.3	215	102
60	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	44500	20184.9	251	119
								13146	
Resistencia Promedio $f'_c =$						219.1	kg/cm ²	104.3%	

Fuente: Propia



4.4.4.4. Resistencia a los 28 días

En la tabla 51 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 30% de VM, a la edad de 7 días es 219.0 kg/cm²; llegando al 104.3% de su resistencia de diseño.

Tabla 51

Resistencia a la compresión del Concreto con 30% de VM, a la edad de 28 días

% de Vidrio Molido:		30	%	Fecha de Ensayo:		16/11/2018						
Edad de Rotura :		28	Días	Fecha de Vaciado:		19/10/2018						
Resistencia de Diseño f'_c :		210	kg/cm ²									
# de Probeta	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	D _{promedio} (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_c (kg/cm ²)	Evolución %	1° Condición Norma E.060 > 175 kg/cm ²	2° Condición Norma E.060 ≥ 210 kg/cm ²	
						Lb-f	Kg-f					
1	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	39000	17690.1	220	105	215		
2	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	37000	16782.9	211	100		216	
3	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	38500	17463.3	217	103	217		
4	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	38500	17463.3	217	103		216	
5	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	39000	17690.1	219	104	216		
6	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	37500	17009.7	213	102		216	
7	10.02	10.15	10.09	20.65	79.88	40000	18143.7	227	108	228		
8	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	40500	18370.5	228	109		223	
9	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	42500	19277.7	242	115	221		
10	10.15	10.05	10.10	20.60	80.12	35500	16102.5	201	96		223	
11	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	38000	17236.5	215	102	221		
12	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	40000	18143.7	226	108		220	
13	10.05	10.15	10.10	20.65	80.12	38000	17236.5	215	102	217		
14	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	39000	17690.1	220	105		220	
15	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	40000	18143.7	228	108	226		
16	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40000	18143.7	225	107		220	
17	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	37500	17009.7	209	100	216		
18	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	39500	17916.9	223	106		210	
19	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	37000	16782.9	208	99	210		
20	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	37500	17009.7	212	101		210	
21	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	38500	17463.3	216	103	226		
22	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	41500	18824.1	236	112		227	
23	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	46500	21092.0	262	125	244		
24	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40000	18143.7	225	107		210	
25	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	37000	16782.9	209	100		211	
26	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	37500	17009.7	211	101	210		
27	10.15	10.05	10.10	20.65	80.12	37500	17009.7	212	101		211	
28	10.05	10.10	10.08	20.60	79.72	35000	15875.7	199	95	206		
29	10.10	10.05	10.08	20.60	79.72	40000	18143.7	228	108	218		
30	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	37500	17009.7	209	100		211	
31	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	38000	17236.5	214	102	212		
32	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	37000	16782.9	209	100		213	
33	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	37500	17009.7	211	101	219		
34	10.15	10.05	10.10	20.70	80.12	40000	18143.7	226	108		213	
35	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	35500	16102.5	200	95	209		
36	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	39000	17690.1	219	104		210	
37	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	36000	16329.3	203	97	206		
38	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99		212	
39	10.10	10.10	10.05	20.60	79.33	40000	18143.7	229	109	217		
40	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	36500	16556.1	206	98		212	
41	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	38500	17463.3	218	104		213	
42	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99	213		
43	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	37000	16782.9	208	99		212	
44	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	38500	17463.3	216	103		212	
45	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	43000	19504.5	243	116	241		
46	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	42000	19050.9	238	113		225	
47	10.10	10.02	10.06	20.65	79.49	38500	17463.3	220	105	223		
48	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	40000	18143.7	226	108		226	
49	10.15	10.15	10.05	20.70	79.33	39500	17916.9	226	108		224	
50	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	40000	18143.7	225	107	225		
51	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	40500	18370.5	227	108		224	
52	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	39500	17916.9	224	106		224	
53	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	39000	17690.1	220	105	221		
54	10.15	10.02	10.09	20.65	79.88	39000	17690.1	221	105		218	
55	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	37500	17009.7	211	101	219		
56	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	40000	18143.7	226	108		218	
57	10.10	10.10	10.10	20.55	80.12	40000	18143.7	226	108	223		
58	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	39000	17690.1	219	104		218	
59	10.05	10.10	10.08	20.65	79.72	37000	16782.9	211	100	214		
60	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	38500	17463.3	217	103		214	
								13141				
Resistencia Promedio f'_c =						219.0	kg/cm ²	104.3%				

Fuente: Propia



4.4.5. CONCRETO CON 40% DE VIDRIO MOLIDO

4.4.5.1. Resistencia a los 7 días

En la tabla 52 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 40% de VM, a la edad de 7 días es 146.7 kg/cm²; llegando al 69.8% de su resistencia de diseño.

Tabla 52

Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 07 días

# de Probeta		D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
							Lb-f	Kg-f		
1	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	20500	9298.6	115	55	
2	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	28000	12700.6	158	75	
3	10.15	10.20	10.18	20.55	81.31	26500	12020.2	148	70	
4	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	20000	9071.8	112	53	
5	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27000	12247.0	152	72	
6	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	22000	9979.0	122	58	
7	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	27500	12473.8	155	74	
8	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	26000	11793.4	145	69	
9	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	30000	13607.8	168	80	
10	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	25000	11339.8	142	67	
11	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	26500	12020.2	148	70	
12	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	26000	11793.4	145	69	
13	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	26500	12020.2	150	71	
14	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	24000	10886.2	136	65	
15	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	25000	11339.8	139	66	
16	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	25500	11566.6	143	68	
17	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	25000	11339.8	139	66	
18	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	27000	12247.0	152	72	
19	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28000	12700.6	157	75	
20	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	30500	13834.6	171	81	
21	10.20	10.20	10.20	20.65	81.71	28000	12700.6	155	74	
22	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	23000	10432.6	129	61	
23	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	25000	11339.8	140	67	
24	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	27000	12247.0	152	72	
25	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	23000	10432.6	128	61	
26	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	24500	11113.0	137	65	
27	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	25500	11566.6	142	68	
28	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	27500	12473.8	155	74	
29	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	25000	11339.8	141	67	
30	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	24000	10886.2	136	65	
31	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	25500	11566.6	144	69	
32	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	26000	11793.4	145	69	
33	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	27500	12473.8	153	73	
34	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27000	12247.0	152	72	
35	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	20000	9071.8	113	54	
36	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	25500	11566.6	142	67	
37	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	26500	12020.2	149	71	
38	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	29000	13154.2	162	77	
39	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	29500	13381.0	165	79	
40	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27500	12473.8	155	74	
41	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	27000	12247.0	152	72	
42	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	25500	11566.6	143	68	
43	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	25000	11339.8	141	67	
44	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	26000	11793.4	147	70	
45	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	27500	12473.8	154	73	
46	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	28500	12927.4	161	76	
47	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	20500	9298.6	115	55	
48	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	28000	12700.6	157	75	
49	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	29000	13154.2	163	78	
50	10.10	10.20	10.15	20.70	80.91	25000	11339.8	140	67	
51	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	27500	12473.8	154	73	
52	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	26000	11793.4	146	69	
53	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27500	12473.8	156	74	
54	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	27500	12473.8	154	73	
55	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	29500	13381.0	165	79	
56	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	28500	12927.4	160	76	
57	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	22000	9979.0	125	59	
58	10.20	10.20	10.20	20.60	81.71	29500	13381.0	164	78	
59	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	27500	12473.8	153	73	
60	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	28000	12700.6	156	74	
8800										
Resistencia Promedio $f'_c =$							146.7	kg/cm ²	69.8%	

Fuente: Propia



4.4.4.5. Resistencia a los 14 días

En la tabla 53 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 40% de VM, a la edad de 14 días es 183.1 kg/cm²; llegando al 87.2% de su resistencia de diseño.

Tabla 53

Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 14 días

% de Vidrio Molido:		40	%	Fecha de Ensayo:		08/11/2018			
Edad de Rotura :		7	Días	Fecha de Vaciado:		24/10/2018			
Resistencia de Diseño f'_c :		210	kg/cm ²						
# de Probeta	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	D _{promedio} (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	25500	13932.4	173	82
2	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	30500	16664.3	207	99
3	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	24000	13112.9	163	78
4	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	30000	16391.1	204	97
5	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	37500	20488.9	253	121
6	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	28000	15298.4	190	90
7	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	33000	18030.2	225	107
8	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	26000	14205.6	176	84
9	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	27000	14752.0	183	87
10	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	22500	12293.3	153	73
11	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	22500	12293.3	153	73
12	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	28000	15298.4	189	90
13	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	23500	12839.7	160	76
14	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27500	15025.2	188	89
15	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	19000	10381.0	128	61
16	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	29000	15844.7	195	93
17	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	23500	12839.7	159	76
18	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	27000	14752.0	182	87
19	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	24000	13112.9	164	78
20	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	31500	17210.7	215	102
21	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	26000	14205.6	175	83
22	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	27500	15025.2	186	88
23	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	31000	16937.5	210	100
24	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	38000	20762.1	257	122
25	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	29000	15844.7	196	93
26	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	22000	12020.1	150	71
27	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	24000	13112.9	163	78
28	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	27500	15025.2	186	88
29	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	31500	17210.7	215	102
30	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	29000	15844.7	195	93
31	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	22000	12020.1	149	71
32	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	24000	13112.9	162	77
33	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	22000	12020.1	149	71
34	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	28000	15298.4	191	91
35	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	30500	16664.3	206	98
36	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	26000	14205.6	176	84
37	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	24000	13112.9	162	77
38	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	27000	14752.0	183	87
39	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	30000	16391.1	202	96
40	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27500	15025.2	188	89
41	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	19500	10654.2	132	63
42	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	25000	13659.3	170	81
43	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	30500	16664.3	207	99
44	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	28000	15298.4	191	91
45	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	24000	13112.9	162	77
46	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	35500	19396.1	242	115
47	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	27500	15025.2	186	88
48	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	27000	14752.0	184	88
49	10.15	10.20	10.18	20.60	81.31	22500	12293.3	151	72
50	10.10	10.10	10.10	20.55	80.12	30000	16391.1	205	97
51	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	25000	13659.3	169	80
52	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	28500	15571.6	192	92
53	10.15	10.10	10.13	20.56	80.52	27000	14752.0	183	87
54	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	23000	12566.5	155	74
55	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	32000	17483.8	218	104
56	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	24000	13112.9	163	78
57	10.15	10.10	10.13	20.55	80.52	20500	11200.6	139	66
58	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	25500	13932.4	172	82
59	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	31500	17210.7	215	102
60	10.20	10.15	10.18	20.55	81.31	28000	15298.4	188	90
								10983	
Resistencia Promedio f'_c =						183.1	kg/cm²	87.2%	

Fuente: Propia



4.4.4.5. Resistencia a los 21 días

En la tabla 54 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 40% de VM, a la edad de 21 días es 209.7 kg/cm²; llegando al 99.9% de su resistencia de diseño.

Tabla 54

Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 21 días

% de Vidrio Molido:		40	%					Fecha de Ensayo:	13/11/2018
Edad de Rotura :		21	Días					Fecha de Vaciado:	22/10/2018
Resistencia de Diseño f'_c :		210	kg/cm ²						
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Evolución %
						Lb-f	Kg-f		
1	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	27500	12473.8	155	74
2	10.10	10.15	10.13	20.55	80.52	36500	16556.1	206	98
3	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	39000	17690.1	219	104
4	10.10	10.15	10.13	20.50	80.52	35000	15875.7	197	94
5	10.15	10.15	10.15	20.50	80.91	37500	17009.7	210	100
6	10.10	10.20	10.15	20.50	80.91	32000	14515.0	179	85
7	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	41500	18824.1	234	111
8	10.20	10.10	10.15	20.50	80.91	35000	15875.7	196	93
9	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	39000	17690.1	218	104
10	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	41000	18597.3	230	109
11	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	39500	17916.9	221	105
12	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	37500	17009.7	211	101
13	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	36500	16556.1	205	97
14	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	36500	16556.1	206	98
15	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99
16	10.20	10.20	10.20	20.65	81.71	37500	17009.7	208	99
17	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	39000	17690.1	221	105
18	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	41000	18597.3	231	110
19	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	40000	18143.7	224	107
20	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	38500	17463.3	218	104
21	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	36500	16556.1	206	98
22	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	36000	16329.3	203	97
23	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	36500	16556.1	204	97
24	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	40500	18370.5	228	109
25	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	37500	17009.7	210	100
26	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	38000	17236.5	214	102
27	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	39500	17916.9	224	106
28	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	38500	17463.3	216	103
29	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	36500	16556.1	205	97
30	10.20	10.10	10.15	20.55	80.91	39000	17690.1	219	104
31	10.15	10.10	10.13	20.55	80.52	38000	17236.5	214	102
32	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99
33	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	39000	17690.1	220	105
34	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	39000	17690.1	221	105
35	10.20	10.10	10.15	20.60	80.91	38500	17463.3	216	103
36	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	39500	17916.9	220	105
37	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	38500	17463.3	216	103
38	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	34500	15648.9	194	93
39	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	35500	16102.5	201	96
40	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	38500	17463.3	218	104
41	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99
42	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	35000	15875.7	196	93
43	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	40500	18370.5	229	109
44	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	35500	16102.5	201	96
45	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	35500	16102.5	199	95
46	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	37500	17009.7	210	100
47	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	36500	16556.1	205	97
48	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	36500	16556.1	206	98
49	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	35000	15875.7	197	94
50	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	40000	18143.7	225	107
51	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	38500	17463.3	217	103
52	10.10	10.20	10.15	20.55	80.91	36500	16556.1	205	97
53	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	35500	16102.5	201	96
54	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	36000	16329.3	204	97
55	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	36000	16329.3	204	97
56	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	40500	18370.5	226	108
57	10.10	10.15	10.13	20.55	80.52	34000	15422.1	192	91
58	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	37000	16782.9	208	99
59	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	35500	16102.5	199	95
60	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	35500	16102.5	198	94
								12582	
Resistencia Promedio f'_c =						209.7	kg/cm ²	99.9%	

Fuente: Propia



4.4.4.5. Resistencia a los 28 días

En la tabla 55 se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 40% de VM, a la edad de 28 días es 211.8 kg/cm²; llegando al 100.8% de su resistencia de diseño.

Tabla 55

Resistencia a la compresión del Concreto con 40% de VM, a la edad de 28 días

% de Vidrio Molido:		40	%	Fecha de Ensayo:		16/11/2018						
Edad de Rotura :		28	Días	Fecha de Vaciado:		19/10/2018						
Resistencia de Diseño f'_{c} :		210	kg/cm ²									
# de Probeta	D1 (cm)	D2 (cm)	Dpromedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga		Resistencia a la compresión f'_{c} (kg/cm ²)	Evolución %	1° Condición Norma E.060 > 175 kg/cm ²	2° Condición Norma E.060 ≥ 210 kg/cm ²	
						Lb-f	Kg-f					
1	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	37000	16782.9	209	100	217		
2	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	40000	18143.7	224	107			
3	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	40000	18143.7	224	107	232		
4	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	42500	19277.7	239	114			
5	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	37500	17009.7	211	101	213		
6	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	38000	17236.5	214	102			
7	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	37000	16782.9	209	100	220		
8	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	41000	18597.3	230	109			
9	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	39000	17690.1	219	104	221		
10	10.20	10.15	10.18	20.55	81.31	40000	18143.7	223	106	223		
11	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	40500	18370.5	228	109			
12	10.20	10.15	10.18	20.70	81.31	39000	17690.1	218	104			
13	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	37500	17009.7	211	101	218		
14	10.15	10.10	10.13	20.70	80.52	40000	18143.7	225	107			
15	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37500	17009.7	211	101	204		
16	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	35000	15875.7	197	94	211		
17	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	36000	16329.3	203	97			
18	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	39000	17690.1	220	105	209		
19	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	37500	17009.7	210	100			
20	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	37000	16782.9	207	99	214		
21	10.20	10.10	10.15	20.70	80.91	39500	17916.9	221	105	218		
22	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	38000	17236.5	214	102			
23	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	39000	17690.1	220	105	216		
24	10.20	10.10	10.15	20.65	80.91	38000	17236.5	213	101			
25	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	35500	16102.5	198	94	200		
26	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	35500	16102.5	201	96			
27	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37500	17009.7	211	101	210		
28	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	37500	17009.7	209	100		207	
29	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	36500	16556.1	204	97	211		
30	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	39000	17690.1	219	104			
31	10.10	10.15	10.13	20.55	80.52	38500	17463.3	217	103	213		
32	10.20	10.15	10.18	20.65	81.31	37500	17009.7	209	100			
33	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	39000	17690.1	218	104	216		
34	10.15	10.10	10.13	20.60	80.52	38000	17236.5	214	102			
35	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	37500	17009.7	212	101	207		
36	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	36000	16329.3	201	96			
37	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	39500	17916.9	224	106	209		
38	10.20	10.15	10.18	20.55	81.31	35000	15875.7	195	93			
39	10.10	10.15	10.13	20.70	80.52	36000	16329.3	203	97	208		
40	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	37500	17009.7	212	101			
41	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	39500	17916.9	221	105	218		
42	10.15	10.20	10.18	20.70	81.31	38500	17463.3	215	102			
43	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	40000	18143.7	226	108	221		
44	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	38000	17236.5	215	102			
45	10.10	10.15	10.13	20.65	80.52	37500	17009.7	211	101	210		
46	10.15	10.10	10.13	20.65	80.52	37000	16782.9	208	99			
47	10.10	10.20	10.15	20.60	80.91	37500	17009.7	210	100	210		
48	10.15	10.15	10.15	20.65	80.91	37500	17009.7	210	100			
49	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	41000	18597.3	232	111	214		
50	10.10	10.10	10.10	20.60	80.12	34500	15648.9	195	93			
51	10.20	10.15	10.18	20.60	81.31	35000	15875.7	195	93	197		
52	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	35500	16102.5	199	95			
53	10.15	10.15	10.15	20.70	80.91	36500	16556.1	205	97	204		
54	10.10	10.10	10.10	20.65	80.12	36000	16329.3	204	97			
55	10.10	10.20	10.15	20.65	80.91	38000	17236.5	213	101	202		
56	10.10	10.15	10.13	20.60	80.52	34000	15422.1	192	91			
57	10.15	10.15	10.15	20.60	80.91	32500	14741.8	182	87	190		
58	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	35000	15875.7	198	94			
59	10.15	10.20	10.18	20.65	81.31	36500	16556.1	204	97	212		
60	10.10	10.10	10.10	20.70	80.12	39000	17690.1	221	105			
								12707				
Resistencia Promedio f'_{c} =						211.8	kg/cm ²		100.8%			

Fuente: Propia



4.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO CON Y SIN VIDRIO MOLIDO

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión realizados al concreto $f'_c=210$ kg/cm², con la adición de diferentes porcentajes de vidrio molido en reemplazo del agregado fino se muestran en la tabla 56, cuya representación de la comparativa de resultados de resistencias a la compresión se aprecia en la figura 52.

Tabla 56

Análisis comparativo de resistencias del concreto con VM a diferentes porcentajes

CONCRETO	Resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades de maduración f'_c (kg/cm ²)				
	0 Días	7 Días	14 Días	21 Días	28 Días
Patrón (Valor Nominal)	0.0	136.5	189.0	205.8	210.0
Con 0% de Vidrio Molido	0.0	153.8	194.5	212.2	215.1
Con 20% de Vidrio Molido	0.0	163.7	201.6	224.1	226.4
Con 30% de Vidrio Molido	0.0	149.3	187.7	219.1	219.0
Con 40% de Vidrio Molido	0.0	146.7	183.1	209.7	211.8

Fuente: Propia

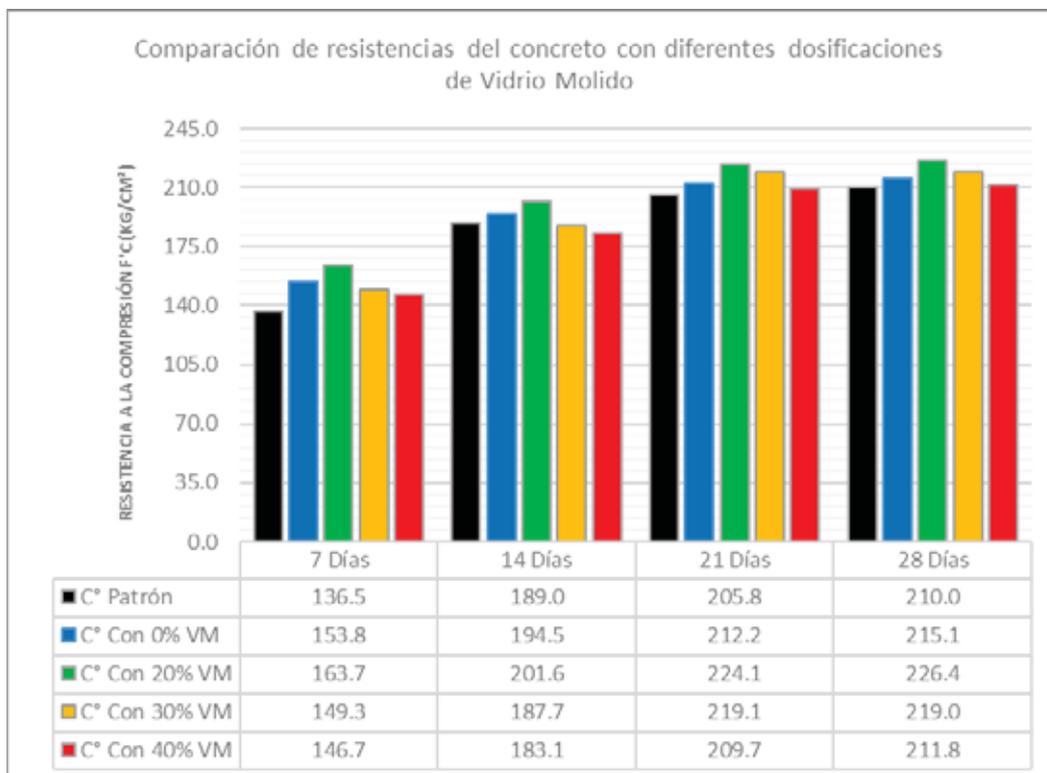


Figura 52. Comparación de resistencias del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido

Fuente: Propia



La figura 53, representa las curvas del progreso que ha experimentado las resistencias del concreto con la adición de vidrio molido a porcentajes (0%, 20%, 30% y 40%) al transcurso del paso de los días, comparado con la resistencia teórica del concreto patrón.

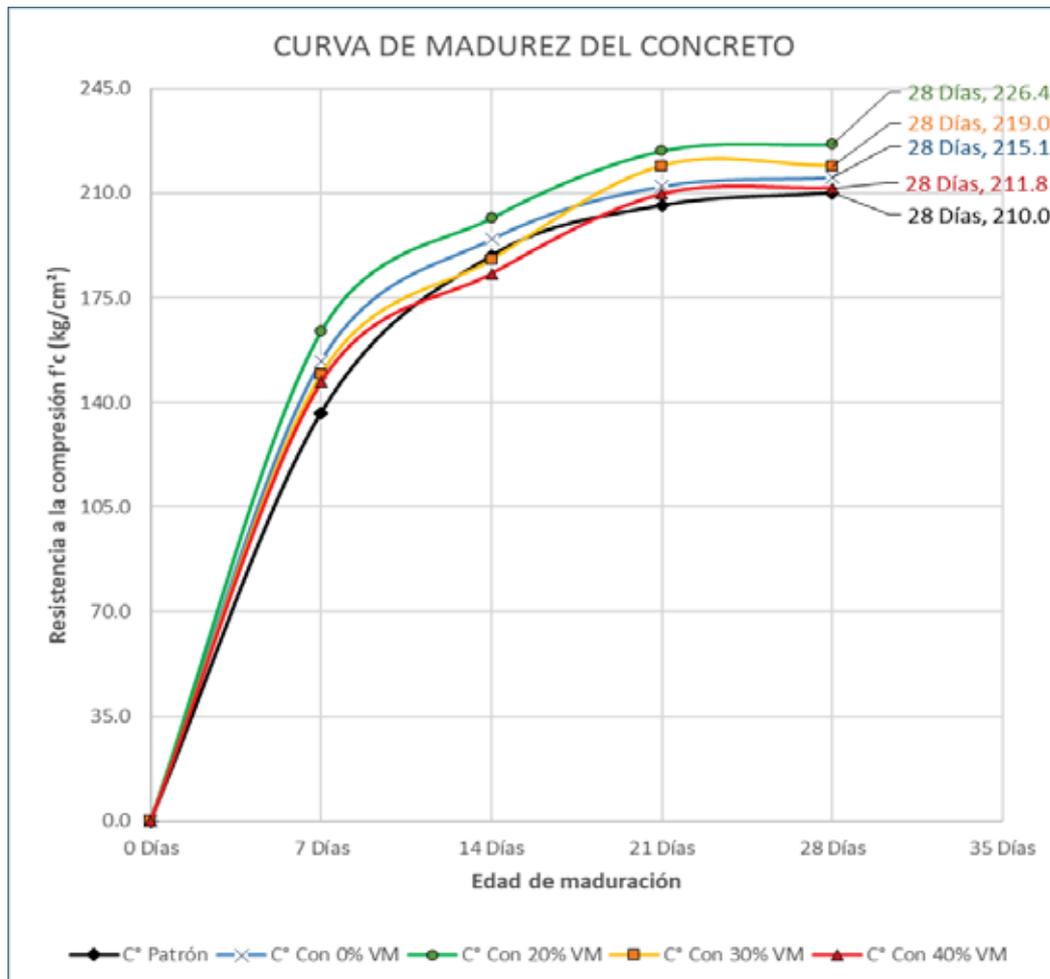


Figura 53. Madurez del concreto a diferentes porcentajes de vidrio molido adicionado
Fuente: Propia

4.6. DISCUSION

En la investigación se evaluó la resistencia de compresión de las probetas cilíndricas de concreto con la adición de vidrio molido (VM) en reemplazo de agregado fino en diferentes porcentajes. De estos ensayos realizados, los resultados que se obtuvieron determinan la factibilidad del uso del vidrio como material reciclable y reutilizable en el proceso de elaboración del concreto. Lo que significa que su empleo en la industria de la



construcción puede masificarse, lo que contribuiría enormemente en el rehúso de desechos de vidrio que normalmente terminan en botaderos de basura y en la naturaleza. Esto favorecería a la preservación del medio ambiente, así como, evitar la degradación o sobreexplotación de los recursos naturales como los agregados que se extraen de canteras.

Es por ello que se afirma, que la adición de vidrio molido en el diseño de mezcla del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² en reemplazo del agregado fino, varía la resistencia a la compresión, otorgándole características superiores al concreto convencional (con adición de 20% y 30% VM) y similares (con adición de 40%).

Los ensayos de resistencia a la compresión realizados a las probetas de concreto $f'_c = 210$ kg/cm², muestra que la dosificación apropiada de vidrio molido adicionado a la mezcla en reemplazo del agregado fino es de 20%, logrando obtener un concreto con similar o mejor desempeño, que el concreto convencional.

Luego de realizado la comparación de resultados obtenidos a partir de la adición de distintos porcentajes de vidrio molido en la elaboración del concreto $f'_c = 210$ kg/cm², es necesario estudiar las implicancias que tendría en el concreto, la adición de vidrio molido en porcentajes que están dentro del rango de 20% a 30%, donde se podría determinar una dosificación óptima para el reemplazo y uso del vidrio molido en lugar del agregado fino, que posea un comportamiento superior al concreto convencional. En vista que, en este rango de valores (20% y 30%) que se observó los mejores resultados de desempeño del concreto, es decir las resistencias a la compresión fueron similares al concreto convencional con 30% de vidrio molido y fueron relativamente superiores, cuando se adicionó 20% de vidrio molido a la mezcla de concreto.

Luego realizado los ensayos establecidos y observar el desempeño ofrecido por el concreto con vidrio molido, en especial por el concreto con 20% de vidrio molido, se puede afirmar que, la resistencia ofrecida por este concreto superó la resistencia de diseño



$f'_c=210$ kg/cm², cumpliendo con todas las exigencias normativas para ser usado como concreto estructural y poder ser aplicado en obras civiles como edificaciones (en elementos estructurales como columnas, placas, vigas y losas aligeradas), en cimentaciones (zapatas, plateas de cimentación, vigas de conexión, etc.), en irrigaciones (canales, presas, bocatomas, vertederos, etc.), Agua y saneamiento (reservorios, captaciones, cámaras rompe presión, cámaras distribuidora de caudales, etc.) y carreteras (Obras de arte, pontones, etc.) de acuerdo a la elemento que se requiera construir y la resistencia de diseño.

4.7. ANALISIS DE COSTOS.

Las tablas 57 y 58 muestran el análisis de precios unitarios del lavado de botellas y molienda de vidrio.

Tabla 57

Análisis de precios unitarios de lavado y limpieza de botellas de vidrio

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Lavado y limpieza de vidrio				UNIDAD:	botella o envase
RENDIMIENTO	2000.0 botellas/día		JORNADA	8 horas/día	
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S./)	COSTO PARCIAL (S./)
Peón	hh	1.0	0.004	15.40	0.06
TOTAL MANO DE OBRA (s./)					0.06
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO sin IGV (S./)	COSTO PARCIAL (S./)
Agua	m ³		0.001	6.96	0.01
Detergente (350 g)	bls		0.010	3.50	0.04
TOTAL MATERIALES (s./)					0.04
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S./)	COSTO PARCIAL (S./)
Herramientas Manuales	%MO		3%	0.06	0.00
TOTAL EQUIPOS (s./)					0.002
COSTO DIRECTO DEL COSTO UNITARIO (MO+M+E)					S/ 0.11
IGV (18%)					S/ 0.02
Utilidad (10%)					S/ 0.01
COSTO DIRECTO TOTAL					S/ 0.13

Fuente: Propia



Tabla 58
Análisis de precios unitarios de molienda de vidrio

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Molienda de vidrio				UNIDAD:	m ³
RENDIMIENTO	4.0 m ³ /d		JORNADA	8 horas/día	
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Peón	hh	1.0	2.00	15.40	30.80
TOTAL MANO DE OBRA (s/.)					30.80
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO sin IGV (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Gasolina 84 octanos	gln		0.270	10.59	2.86
TOTAL MATERIALES (s/.)					2.86
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Herramientas Manuales	%MO		3%	30.80	0.92
Molino de 16 HP	hm	1.0	0.00	4.24	0.02
TOTAL EQUIPOS (s/.)					0.94
COSTO DIRECTO DEL COSTO UNITARIO (MO+M+E)					S/ 34.60
IGV (18%)					S/ 6.23
Utilidad (10%)					S/ 3.46
COSTO DIRECTO TOTAL					S/ 44.29

Fuente: Propia

La Tabla 59, muestra el costo de obtención de aproximadamente 1 m³ de vidrio molido, tal como se detalla a continuación:

Tabla 59
Costo de obtención del vidrio molido

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	Obtención de vidrio molido				
01.01	Lavado de botellas y envases de vidrio	botella	601	S/ 0.13	S/. 81.08
01.02	Molienda de botellas y envases de vidrio	m ³	1	S/ 44.29	S/. 44.29
TOTAL (S/.)					S/. 125.37

Fuente: Propia



Por consiguiente; el costo que demandaría obtener un metro cúbico de vidrio molido sería de s/.125.37 soles.

Con la ayuda de este valor se llega a comparar los costos que genera elaborar 1m³ de concreto convencional, versus un concreto con la adición de 20% de vidrio molido de resistencia $f'_c = 210$ kg/cm², mediante un análisis de precios unitarios, los cuales son expresados en las tablas 60 y 61.

Tabla 60

Análisis de Precios Unitarios del Concreto Convencional

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Concreto convencional $f'_c=210$ Kg/cm ²				UNIDAD:	m3
RENDIMIENTO (vigas y losas macizas)	15.0 m3/d		JORNADA	8 horas/día	
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Operario	hh	2.0	1.07	21.64	23.08
Oficial	hh	2.0	1.07	17.07	18.21
Peón	hh	10.0	5.33	15.40	82.13
TOTAL MANO DE OBRA (s/.)					123.42
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO sin IGV (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Cemento Portland Tipo IP (42.5kg)	bls		7.8	21.19	165.25
Agregado Grueso	m3		0.586	55.08	32.28
Confitillo de Vicho	m3		0.403	63.56	25.63
Arena fina de Cunyac	m3		0.173	101.69	17.57
Agua	m3		0.231	6.96	1.61
Gasolina 84 octanos	gln		0.270	12.50	3.38
TOTAL MATERIALES (s/.)					245.72
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Herramientas Manuales	%MO		3%	123.42	3.70
Mezcladora de concreto 9-11p	hm	1.0	0.53	12.71	6.78
Vibrador de concreto 4HP 2.40"	hm	1.0	0.53	4.24	2.26
TOTAL EQUIPOS (s/.)					12.74
COSTO DIRECTO DEL COSTO UNITARIO (MO+M+E)					S/ 381.88
IGV (18%)					S/ 68.74
Utilidad (10%)					S/ 38.19
COSTO DIRECTO TOTAL					S/ 488.81

Fuente: Propia



Tabla 61

Análisis de Precios Unitarios del Concreto con 20% de Vidrio Molido

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Concreto $f_c=210$ Kg/cm ² con 20 % de vidrio molido				UNIDAD:	m ³
RENDIMIENTO (vigas y losas macizas)	15.0 m ³ /d		JORNADA	8 horas/día	
MANO DE OBRA:					
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Operario	hh	2.0	1.07	21.64	23.08
Oficial	hh	2.0	1.07	17.07	18.21
Peón	hh	10.0	5.33	15.40	82.13
TOTAL MANO DE OBRA (s/.)					123.42
MATERIALES:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO sin IG V (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Cemento Portland Tipo IP (42.5kg)	bls		7.8	21.19	165.25
Agregado Grueso	m ³		0.586	55.08	32.28
Confitillo de Vicho	m ³		0.288	63.56	18.31
Arena fina de Cunyac	m ³		0.173	101.69	17.57
Vidrio molido	m ³		0.115	125.37	14.44
Agua	m ³		0.231	5.89	1.36
Gasolina 84 octanos	gln		0.270	10.59	2.86
TOTAL MATERIALES (s/.)					252.08
EQUIPOS:					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	Rendimiento	PRECIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Herramientas Manuales	%MO		3%	123.42	3.70
Mezcladora de concreto 9-11p	hm	1.0	0.53	12.71	6.78
Vibrador de concreto 4HP 2.40"	hm	1.0	0.53	4.24	2.26
TOTAL EQUIPOS (s/.)					12.74
COSTO DIRECTO DEL COSTO UNITARIO (MO+M+E)					S/ 388.24
IGV (18%)					S/ 69.88
Utilidad (10%)					S/ 38.82
COSTO DIRECTO TOTAL					S/ 496.95

Fuente: Propia

De las tablas anteriores se puede dar cuenta que 1 m³ de concreto convencional cuesta 488.81 soles, mientras que el concreto con 20% de vidrio molido tiene un costo de 496.95 soles, es decir que usar vidrio molido como sustituto del agregado fino genera un incremento de 8.14 soles, con respecto al concreto convencional.



CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Finalmente, luego de realizado los ensayos correspondientes se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se logró analizar la variación en el comportamiento del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con adición de vidrio molido, en reemplazo del agregado fino; donde el concreto con adición de 20% y 30% de vidrio molido fueron los que mejores resultados ofrecieron, donde el concreto con 20% de VM llega a sobrepasar la resistencia del concreto convencional (0% de VM); mientras que el concreto con 30% de VM adicionado posee una resistencia similar al del concreto convencional.
- Se determinaron las propiedades mecánicas de los agregados, tanto de Vicho como de Cunyac, cuyos valores se emplearon en el diseño de mezcla por el método del comité ACI 211, que permitió cuantificar las proporciones de los materiales que componen el concreto, para una resistencia $f'_c=210$ kg/cm², con la extracción posterior de probetas cilíndricas.

ENSAYOS	AGREGADO	
	Grueso	Fino
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MF)	6.51	2.84
CONTENIDO DE HUMEDAD	0.55%	0.61%
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN		
- Peso específico	2.84 g/cm ³	2.66 g/cm ³
- Absorción	1.33%	1.53%
PESO UNITARIO		
- Suelto	1466.52 g/cm ³	1625.57 g/cm ³
- Compactado	1565.49 g/cm ³	1800.44 g/cm ³
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (% de desgaste)	21.9%	-

- De los resultados obtenidos de resistencia a la compresión para distintas dosificaciones de vidrio molido incorporadas en la elaboración del concreto $f'_c = 210$ kg/cm²,



muestran que es factible la adición del vidrio molido en la mezcla de concreto, en reemplazo del agregado fino en porcentajes de 20% y 30%, para que el concreto ofrezca un desempeño similar o superior al concreto convencional, por lo que sus dosificaciones para 1 m³ de concreto son:

Porcentaje de vidrio molido	Dosificación en peso por m ³ de Concreto				
	Cemento	Agua	Agregado Fino	Vidrio molido	Agregado Grueso
20%	329.67 kg/m ³	231.24 l/m ³	749.34 kg/m ³	187.34 kg/m ³	859.46 kg/m ³
30%	329.67 kg/m ³	231.24 l/m ³	655.68 kg/m ³	281.00 kg/m ³	859.46 kg/m ³

Porcentaje de vidrio molido	Dosificación en volumen por m ³ de Concreto				
	Cemento	Agua	Agregado Fino	Vidrio molido	Agregado Grueso
20%	8 bolsas/m ³	0.231 m ³	0.461 m ³	0.115 m ³	0.586 m ³
30%	8 bolsas/m ³	0.231 m ³	0.403 m ³	0.173 m ³	0.586 m ³

- Luego de someter a ensayos de resistencia a la compresión las probetas cilíndricas con adición de distintos porcentajes de vidrio molido, se determina que la cantidad apropiada de vidrio molido adicionada para un concreto $f_c = 210$ kg/cm², es de 20%, llegando a presentar una resistencia a la compresión superior a la del concreto convencional, cuyo valor es de 226.4 kg/cm², excediendo en 7.8% al valor de la resistencia de diseño.

CONCRETO	Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm ²)	Porcentaje final de la resistencia obtenida
	28 Días	
Patrón (Valor Nominal)	210.0	100.0%
Con 0% de Vidrio Molido	215.1	102.4%
Con 20% de Vidrio Molido	226.4	107.8%
Con 30% de Vidrio Molido	219.0	104.3%
Con 40% de Vidrio Molido	211.8	100.8%

- Desde el punto de vista ambiental el concreto elaborado con vidrio molido beneficia en la reducción en la explotación y extracción de agregados de las canteras y así mismo la reutilización del vidrio reciclado y posteriormente molido evita que estos terminen en los campos y botaderos de basura contaminando el medio ambiente, en vista de que el



vidrio es un material cuyo proceso de descomposición y degradación se da en más de 1000 años.

- El vidrio molido adicionado a la mezcla de concreto en reemplazo parcial del agregado fino, influye en la trabajabilidad de esta, el cual se evidencia aún más a medida que se aumenta el porcentaje de vidrio molido; esto debido a que las partículas de vidrio son más impermeables que el agregado tradicional. Es por ello que, en la prueba de revenimiento, el asentamiento de las mezclas con vidrio molido es ligeramente mayor que la mezcla convencional (0% de vidrio molido).
- El análisis de costos realizado determinó que, para la producción de 1 m³ de concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con la adición de 20% vidrio molido en reemplazo del agregado fino, genera un costo de S/. 496.95 soles; mientras que, para el concreto convencional (0% de VM) el costo de producción es de S/. 488.81 soles; lo que establece una diferencia de S/. 8.14 soles entre ambos, es decir, que el costo de producir 1 m³ de concreto con 20% de vidrio molido es 1.67% mayor que producir el concreto convencional.

5.2. RECOMENDACIONES

- El reciclaje de vidrio es el proceso que debemos de practicar todos, porque a través de ello se convertirán desechos de vidrio en materiales que servirán para la creación de estructuras nuevas a base de concreto.
- La molienda del vidrio debe ser realizado empleando para ello los Equipos de Protección Personal, ya que el vidrio es un material muy peligroso que podría ocasionar daños en nuestros órganos internos ya sea por la aspiración de pequeñas partículas de polvo de vidrio, así como la manipulación de fragmentos o trozos de vidrio que pueden causar cortes, o cualquier otro accidente.



- Luego de terminada esta investigación podemos indicar que la calidad del concreto utilizando vidrio molido está garantizada.
- La estructura diseñada con un concreto con vidrio molido adicionado se comportará bien ante fuerzas externas (sismos).
- La forma como se desempeña el concreto con adición de vidrio molido es la correcta, pues le brinda buenos resultados.

5.3. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Luego de realizado la investigación y llegado a varias conclusiones, se abre un abanico de temas futuros a investigar en base a ello; como se mencionan a continuación:

- Realizar ensayos de tracción indirecta y determinación del módulo de rotura del concreto con la adición de vidrio molido en porcentajes del 20%, 30% y 40%.
- Realizar una investigación que busque la dosificación óptima de vidrio molido adicionado en sustitución del agregado fino en un rango de que varía entre 20% a 30% (es decir 20, 22, 24, 26, 28 y 30%), en vista que fueron en esos porcentajes en el que se observó los incrementos de resistencias en comparación al concreto convencional.
- Hacer un Análisis comparativo del concreto con adición de vidrio molido en sustitución del agregado fino, versus concreto con adición de vidrio triturado en sustitución del agregado grueso.



BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Castillo, F. (s.f.). *Tecnología del Concreto Teoría y Problemas*. Lima: San Marcos.
- ACI Comité 544.1R-96 (Reaprobado 2002). (2007). *Estado del Arte Informe sobre Concreto Reforzado con Fibra*. Obtenido de http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/5441r_96.pdf
- Calderón, J. (2010). *El vidrio en la construcción. Tipologías y usos*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Comisión Nacional del Medio Ambientes - Gobierno de Chile. (2000). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial*. Santiago, Región Metropolitana, Chile.
- Construmática. (2018). *Hormigón Endurecido*. Obtenido de CONSTRUMÁTICA. Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción: https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Endurecido
- Curbelo, B. (2015). *Concreto Estructural Tomo I*. Quindío: Ciudad Armenia.
- Eco Agricultor. (2012). *El reciclaje del vidrio: proceso, aplicaciones y ventajas*. Obtenido de Eco Agricultor: <https://www.ecoagricultor.com/el-reciclaje-del-vidrio-proceso-aplicaciones-y-ventajas/>
- El Reciclaje. (2010). *Reciclaje de vidrio*. Obtenido de El Reciclaje: <http://elreciclaje.org/content/reciclaje-de-vidrio>
- Friends of Glass. (2019). *¿Cuál es la diferencia entre vidrio y cristal?* Obtenido de Friends of Glass, FEVE: <https://www.friendsofglass.com/es/design-es/cual-es-la-diferencia-entre-vidrio-y-cristal/>



- Fuentes Aliaga, C. (15 de Febrero de 2018). *RECICLACIÓN*. Obtenido de Tiempo de degradación de los residuos: <http://www.reciclacion.cl/noticias/tiempo-de-degradacion-de-los-residuos-2/>
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción* (Segunda ed.). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Quinta edición ed.). México: McGRAW-HILL.
- IMCYC - Instituto mexicano del cemento y del concreto. (2006). *El concreto en la obra; problemas, causas y soluciones - Pruebas de Resistencia*. México D.F., México.
- Jiménez Montoya, P., García Meseguer, Á., & Morán Cabré, F. (2000). *Hormigón Armado*. Madrid: Gustavo Gili S.A.
- Kamahu. (22 de Mayo de 2009). *Cierre para envases de vidrio*. Obtenido de KAMAHU: <http://kamahu-unidad3.blogspot.com/>
- Medina Cruz, R. (2019). *Aceros Arequipa, Boletín Construyendo*. Obtenido de Conociendo las Propiedades del Concreto (I): http://www.acerosarequipa.com/construccion-de-viviendas/boletin-construyendo/edicion_30/conociendo-las-propiedades-del-concreto.html
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú.
- Miranda, L., Neira, E., Torres, R., & Valdivia, R. (2014). *PERÚ HACIA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.



- Morales, L. (2017). El vidrio en la edificación. Propiedades, aplicaciones y estudios de fracturas en casos reales. (*Trabajo final de grado*). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Neri, D. (2003). Uso del vidrio como elemento arquitectónico en un clima templado. (*Tesis de maestría*). Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F., México.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (Segunda ed.). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Nacional.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). *Manual del concreto estructural* (Primera ed.). Caracas, Venezuela.
- Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de Tecnología del Concreto. (*Tesis de pregrado*). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (08 de Junio de 2006). Norma E.040 . *Diario Oficial El Peruano*. Lima, Perú.
- Rivera L., G. (25 de Enero de 2017). Concreto Simple. Cauca, Colombia: Universidad de Cauca.
- Rivera, G. (s.f.). *Concreto Simple*. Universidad del Cauca, Cauca, Colombia.
- Rivva L., E. (2004). *Control del concreto en obra* (Primera ed.). Lima, Perú: ICG.
- Rivva López, E. (2014). *Materiales para el Concreto*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- RL, E. (2014). *Diseño de mezcla* (Segunda ed.). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.



Soriano, M. (2012). *Wikilibro: Construcción Sostenible*. Unión Europea.

Sovero Molero, G. (2010). Tipos y Niveles de Investigación Universitaria. *Unidad Doctoral de Investigación Cualitativa y Cuantitativa II*, 8.

Tafur Portilla, R. (2012). *La Tesis Universitaria*. Lima: Mantaro.

Tipos. (2014). *Tipos de Vidrios*. Obtenido de Tipos: <https://www.tipos.co/tipos-de-vidrios/>

Toro, A., & Pereira, F. (2010). Análisis de morteros para la confección de bloques y muros con materiales de reciclajes como plástico y vidrio en el uso de mampostería en viviendas, jardineras y estructuras ornamentales. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Oriente, Bolívar, Venezuela.

Torre, A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del concreto*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Lima, Perú.

YURA. (s.f.). *Productos: Cemento Portland Tipo IP*. Obtenido de YURA: <http://www.yura.com.pe/productos/index.html#close>



ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica del Cemento Multipropósito Yura tipo IP



DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del Intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

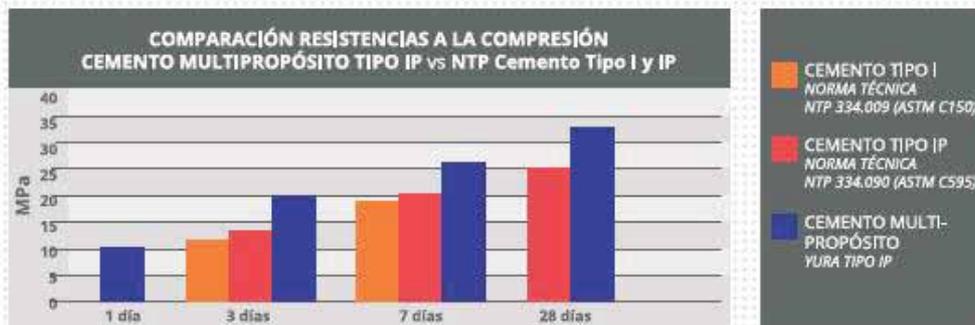
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM G-695		REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)	1.5 a 2.4		5.00 Máx.			
SO ₃ (%)	1.5 a 2.3		4.00 Máx.			
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 3.8		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm ³)	2.77 a 2.85		-			
Expansión en autodescarga (%)	-0.05 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx.			
Resistencia a la compresión						
	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa
1 día	80 a 104	7.8 a 10.2	-	-	-	-
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín.	13	122 Mín.	12
7 días	225 a 260	22.0 a 25.4	204 Mín.	20	194 Mín.	19
28 días	306 a 350	30.0 a 34.3	255 Mín.	25	-	-
Resistencia a los sulfatos						
	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0.021%		0.05 Máx.			
% Expansión a 1 año	< 0.023%		0.10 Máx.			



FICHA TÉCNICA / Versión 2019

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



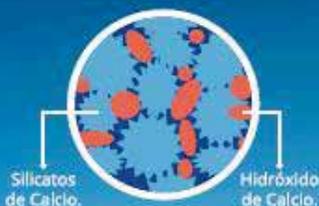
PROPIEDADES

1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I

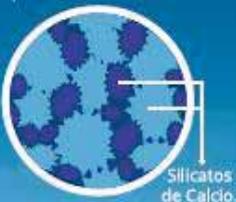
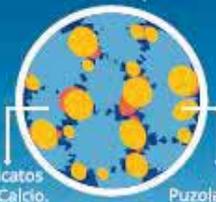


El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25 % es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

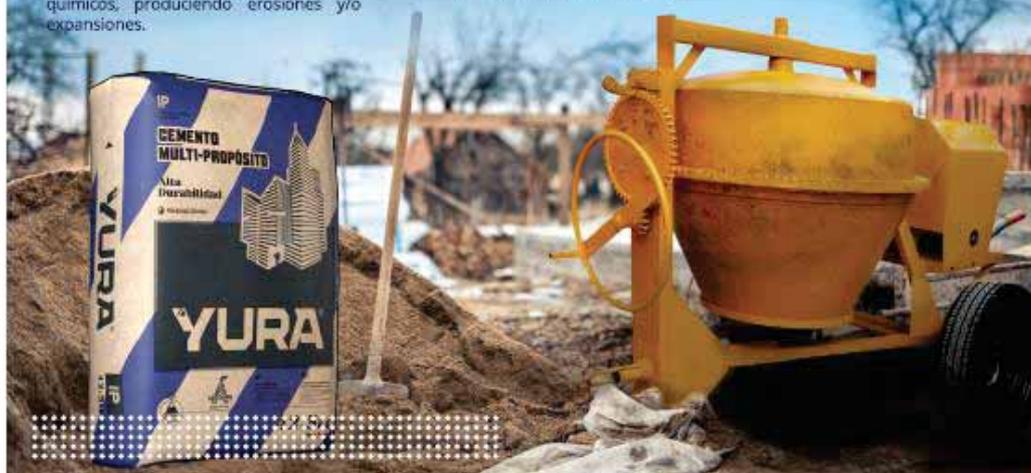
CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP

Hidróxido de calcio reacciona con la puzolana

Reacción puzolánica produce más silicatos



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



Fuente: Yura, 2019



Anexo B. Agregado fino corregido (confitillo + arena fina) + vidrio molido

En la tabla 62 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino corregido, es decir la mezcla de confitillo de Vicho, más arena fina de Cunyac y vidrio molido; donde se aprecia que el módulo de fineza es 2.71. La curva granulométrica del agregado fino está en gran parte dentro de los límites de gradación, representado en la figura 54.

Tabla 62

Análisis granulométrico del agregado fino corregido (confitillo + arena fina) + 30% de vidrio molido

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO CORREGIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM C 33	
							LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	9.5	0	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
N° 4	4.75	53.3	53.3	5.3%	5.3%	94.7%	95%	100%
N° 8	2.36	120.6	120.9	12.1%	17.4%	82.6%	80%	100%
N° 16	1.18	161.9	162.2	16.2%	33.6%	66.4%	50%	85%
N° 30	0.6	184.9	185.2	18.5%	52.2%	47.8%	25%	60%
N° 50	0.3	225.7	226.0	22.6%	74.8%	25.2%	5%	30%
N° 100	0.15	120.4	120.7	12.1%	86.8%	13.2%	0%	10%
N° 200	0.075	107.2	107.5	10.7%	97.6%	2.4%		
Cazuela		24.4	24.4	2.4%	100.0%	0.0%		
		998.3	1000.0	100%				
$\text{Módulo de Fineza} = \frac{(\sum \% \text{RETENIDO en mallas } 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} =$							2.70	

Fuente: Propia

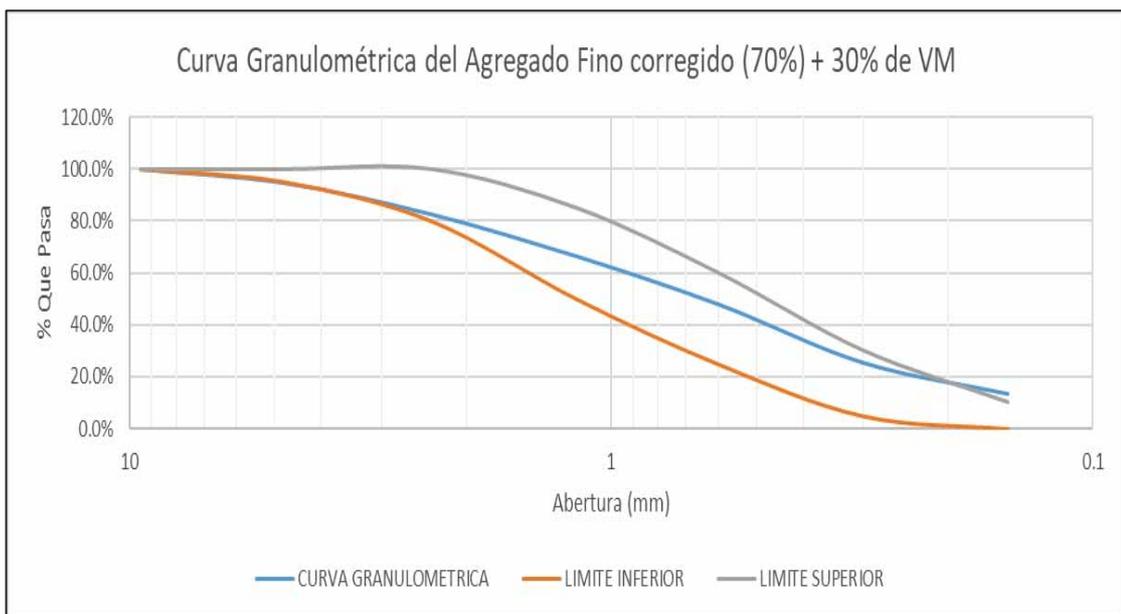


Figura 54. Curva Granulométrica del agregado fino corregido (70% Vicho + 30% Cunyac)

Fuente: Propia



Anexo C. Desviación Estándar del concreto convencional (0% de Vidrio Molido)

% de Vidrio Molido: 0 %				Fecha de Ensayo: 15/11/2018											
Edad de Rotura : 28 Días				Fecha de Vaciado: 18/10/2018											
Resistencia de Diseño f'_c : 210 kg/cm ²															
# Cilindro	Presión Lb-f	Area cm ²	RESISTENCIA f'_c Y	$Y_n - \bar{Y}$	$(Y_n - \bar{Y})^2$	Muestra	Presión Lb-f	Area cm ²	RESISTENCIA f'_c Y	$Y_n - \bar{Y}$	$(Y_n - \bar{Y})^2$				
1	40500	80.52	18	228	13.4	179.5	31	37000	79.56	1	211	-4.5	20.2		
2	42000	79.72	29	239	24.2	585.8	32	35000	79.72	-11	199	-16.3	265.3		
3	36500	80.52	-4	206	-9.1	83.5	33	38500	79.72	9	219	3.6	13.1		
4	36000	80.12	-6	204	-10.9	119.9	34	41500	80.52	24	234	18.4	337.4		
5	39500	79.72	15	225	10.0	99.6	35	37000	79.56	1	211	-4.5	20.2		
6	36500	79.33	-1	209	-6.1	36.7	36	38000	79.56	7	217	1.2	1.5		
7	36000	80.12	-6	204	-10.9	119.9	37	37500	79.33	4	214	-1.0	1.0		
8	39000	80.52	10	220	4.9	24.5	38	38500	79.33	10	220	4.7	22.3		
9	36000	80.12	-6	204	-10.9	119.9	39	34500	78.85	-12	198	-17.0	288.0		
10	38500	79.33	10	220	5.4	28.9	40	36000	79.17	-4	206	-9.2	84.0		
11	39500	80.52	13	223	7.8	60.3	41	39000	79.33	13	223	7.6	57.4		
12	38000	80.12	5	215	0.4	0.1	42	35500	79.09	-6	204	-11.8	139.9		
13	39000	80.12	11	221	6.0	36.4	43	37500	80.12	2	212	-3.1	9.7		
14	41000	79.72	23	233	18.5	342.7	44	34500	80.12	-15	195	-20.1	404.1		
15	38500	80.12	8	218	3.2	10.3	45	38500	80.91	6	216	0.4	0.2		
16	34000	80.12	-18	192	-22.3	496.0	46	37000	80.12	-1	209	-5.9	35.4		
17	36000	80.12	-6	204	-10.9	119.9	47	37000	79.09	2	212	-3.2	10.4		
18	36000	80.52	-7	203	-12.0	142.9	48	40500	79.72	20	230	15.0	225.2		
19	39000	79.33	13	223	8.2	67.9	49	38500	79.49	10	220	4.3	18.3		
20	42000	80.12	28	238	23.0	530.0	50	37000	80.12	-1	209	-5.9	35.4		
21	35500	79.33	-7	203	-11.8	138.6	51	37000	79.88	0	210	-5.3	28.4		
22	36000	80.12	-6	204	-10.9	119.9	52	40000	79.49	18	228	12.8	164.9		
23	34000	79.72	-17	193	-21.3	454.3	53	40000	79.72	18	228	12.2	147.9		
24	36000	79.33	-4	206	-8.9	79.5	54	37500	79.88	3	213	-2.5	6.2		
25	36500	78.70	0	210	-4.4	19.2	55	39000	79.49	13	223	7.1	50.9		
26	41000	80.52	21	231	16.2	262.9	56	38000	79.12	8	218	2.4	5.9		
27	34500	79.72	-14	196	-18.5	341.1	57	40000	79.72	18	228	12.2	147.9		
28	37000	80.52	-2	208	-6.3	39.9	58	40500	79.56	21	231	15.5	239.1		
29	43000	80.12	33	243	28.7	822.7	59	34000	79.72	-17	193	-22.0	483.0		
30	38500	79.33	10	220	5.4	28.9	60	40500	79.72	20	230	15.0	225.2		
				6443		5511.6					6463		3488.2		
# de ensayos				n =	30			# de ensayos				n =	30		
Sumatoria de ensayos				$\sum Y =$	6443			Sumatoria de ensayos				$\sum Y =$	6463		
Promedio de resultados				$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} =$	214.8 kg/cm ²			Promedio de resultados				$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} =$	215.4 kg/cm ²		
				$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 =$	5512							$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 =$	3488		
Desviación Estándar				$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n - 1}} =$	13.79 kg/cm ²			Desviación Estándar				$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n - 1}} =$	10.97 kg/cm ²		
Variación Ponderada				$V_1 = \frac{S_1}{\bar{Y}} =$	6.42%			Variación Ponderada				$V_2 = \frac{S_2}{\bar{Y}} =$	5.09%		
Resistencia Promedio							$\bar{Y}_p = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} =$				215.1 kg/cm ²				
Desviación Estandar Promedio							$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(S_1)^2 + (n_2 - 1)(S_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} =$				12.46 kg/cm ²				
Coefficiente de Variación Ponderado							$V = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(V_1)^2 + (n_2 - 1)(V_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} =$				5.79%				

Fuente: Propia



Anexo D. Desviación Estándar del concreto con 20% de Vidrio Molido

% de Vidrio Molido: 20 %				Fecha de Ensayo: 15/11/2018				Fecha de Vaciado: 18/10/2018							
Edad de Rotura : 28 Días				Resistencia de Diseño f'_c : 210 kg/cm ²											
# Círculo	Presión Lb-f	Area cm ²	+35< f'_c <-35	RESISTENCIA f'_c Y	$Y_n - \bar{Y}$	$(Y_n - \bar{Y})^2$	Muestra	Presión Lb-f	Area cm ²	+35< f'_c <-35	RESISTENCIA f'_c Y	$Y_n - \bar{Y}$	$(Y_n - \bar{Y})^2$		
1	40000	79.72	18	228	3.4	11.6	31	38000	80.52	4	214	-14.5	208.9		
2	40000	80.12	16	226	2.3	5.2	32	38500	79.72	9	219	-9.5	89.8		
3	35500	80.52	-10	200	-24.2	585.0	33	37000	79.72	1	211	-18.0	324.4		
4	41500	79.72	26	236	11.9	142.6	34	40500	80.12	19	229	0.8	0.6		
5	39500	79.72	15	225	0.6	0.3	35	37500	80.12	2	212	-16.2	263.2		
6	42500	80.91	28	238	14.1	198.0	36	42500	79.49	33	243	14.0	196.1		
7	37000	80.12	-1	209	-14.7	216.2	37	40500	79.88	20	230	1.4	2.1		
8	42000	80.52	27	237	12.4	154.6	38	39000	80.12	11	221	-7.7	59.7		
9	37000	79.72	1	211	-13.7	186.6	39	38500	79.72	9	219	-9.5	89.8		
10	42500	80.52	29	239	15.2	232.5	40	40000	79.88	17	227	-1.4	1.9		
11	38500	79.49	10	220	-4.5	20.0	41	41500	80.12	25	235	6.4	41.3		
12	36500	79.72	-2	208	-16.5	272.5	42	43000	79.72	35	245	16.1	260.0		
13	42500	80.52	29	239	15.2	232.5	43	40500	79.88	20	230	1.4	2.1		
14	39000	79.88	11	221	-2.7	7.4	44	37500	80.52	1	211	-17.3	298.2		
15	40000	80.12	16	226	2.3	5.2	45	38000	80.12	5	215	-13.4	179.3		
16	41000	80.12	22	232	7.9	63.1	46	42500	80.52	29	239	10.9	118.8		
17	44000	79.72	40	250	26.2	684.7	47	37000	80.12	-1	209	-19.1	363.0		
18	40000	80.12	16	226	2.3	5.2	48	40000	80.52	15	225	-3.2	10.1		
19	38000	80.12	5	215	-9.0	81.7	49	39500	79.72	15	225	-3.8	14.3		
20	36500	80.52	-4	206	-18.6	344.2	50	43000	80.12	33	243	14.9	222.5		
21	42500	79.72	32	242	17.6	310.9	51	38000	80.12	5	215	-13.4	179.3		
22	40000	80.12	16	226	2.3	5.2	52	43000	80.12	33	243	14.9	222.5		
23	37000	79.49	1	211	-13.0	169.9	53	41000	80.52	21	231	2.4	6.0		
24	38000	79.72	6	216	-8.0	63.5	54	40000	80.12	16	226	-2.1	4.3		
25	39500	79.72	15	225	0.6	0.3	55	42500	80.12	31	241	12.1	146.1		
26	39500	80.12	14	224	-0.5	0.3	56	43500	79.88	37	247	18.5	341.5		
27	38000	80.12	5	215	-9.0	81.7	57	40000	80.52	15	225	-3.2	10.1		
28	42500	80.12	31	241	16.4	270.1	58	42500	79.72	32	242	13.3	176.4		
29	37500	80.12	2	212	-11.9	140.9	59	42000	79.49	30	240	11.1	124.3		
30	38500	79.49	10	220	-4.5	20.0	60	43000	80.52	32	242	13.7	188.1		
				6725		4512.1					6856		4144.9		
# de ensayos				n =	30			# de ensayos				n =	30		
Sumatoria de ensayos				$\sum Y =$	6725			Sumatoria de ensayos				$\sum Y =$	6856		
Promedio de resultados				$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} =$	224.2 kg/cm ²			Promedio de resultados				$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} =$	228.5 kg/cm ²		
				$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 =$	4512							$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 =$	4145		
Desviación Estándar				$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} =$	12.5 kg/cm ²			Desviación Estándar				$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} =$	12.0 kg/cm ²		
Variación Ponderada				$V_1 = \frac{S_1}{\bar{Y}} =$	5.56%			Variación Ponderada				$V_2 = \frac{S_2}{\bar{Y}} =$	5.23%		
Resistencia Promedio				$\bar{Y}_p = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} =$	226.4 kg/cm ²										
Desviación Estandar Promedio				$S = \sqrt{\frac{(n_1-1)(S_1)^2 + (n_2-1)(S_2)^2}{n_1+n_2-2}} =$	12.22 kg/cm ²										
Coefficiente de Variación Ponderado				$V = \sqrt{\frac{(n_1-1)(V_1)^2 + (n_2-1)(V_2)^2}{n_1+n_2-2}} =$	5.40%										

Fuente: Propia



Anexo E. Desviación Estándar del concreto con 30% de Vidrio Molido

% de Vidrio Molido: 30 %				Fecha de Ensayo: 16/11/2018							
Edad de Rotura : 28 Días				Fecha de Vaciado: 19/10/2018							
Resistencia de Diseño f'_c : 210 kg/cm ²											
# Cl. Hmdm	Presión Lb-f	Area cm ²	+35<f'c<-35 RESISTENCIA f'c Y	Yn-Ȳ	(Yn-Ȳ) ^2	Muestra	Presión Lb-f	Area cm ²	+35<f'c<-35 RESISTENCIA f'c Y	Yn-Ȳ	(Yn-Ȳ) ^2
1	39000	80.52	220	0.2	0.1	31	38000	80.52	214	-4.5	20.1
2	37000	79.72	211	-9.0	80.2	32	37000	80.12	209	-9.1	82.5
3	38500	80.52	217	-2.6	6.6	33	37500	80.52	211	-7.3	53.3
4	38500	80.52	217	-2.6	6.6	34	40000	80.12	226	7.9	62.4
5	39000	80.91	219	-0.8	0.7	35	35500	80.52	200	-18.6	344.8
6	37500	79.72	213	-6.1	37.3	36	39000	80.91	219	0.1	0.0
7	40000	79.88	227	7.7	58.7	37	36000	80.52	203	-15.8	248.1
8	40500	80.52	228	8.7	75.5	38	37000	80.52	208	-10.1	102.4
9	42500	79.72	242	22.3	499.0	39	40000	79.33	229	10.2	103.2
10	35500	80.12	201	-18.5	341.8	40	36500	80.52	206	-12.9	167.3
11	38000	80.12	215	-4.3	18.8	41	38500	80.12	218	-0.6	0.4
12	40000	80.12	226	7.0	48.8	42	37000	80.52	208	-10.1	102.4
13	38000	80.12	215	-4.3	18.8	43	37000	80.52	208	-10.1	102.4
14	39000	80.52	220	0.2	0.1	44	38500	80.91	216	-2.7	7.5
15	40000	79.72	228	8.1	65.8	45	43000	80.12	243	24.9	619.2
16	40000	80.52	225	5.9	34.5	46	42000	80.12	238	19.2	369.5
17	37500	81.31	209	-10.3	105.7	47	38500	79.49	220	1.1	1.3
18	39500	80.52	223	3.1	9.3	48	40000	80.12	226	7.9	62.4
19	37000	80.52	208	-11.0	121.6	49	39500	79.33	226	7.3	53.3
20	37500	80.12	212	-7.2	51.3	50	40000	80.52	225	6.8	46.0
21	38500	80.91	216	-3.6	13.3	51	40500	80.91	227	8.5	71.9
22	41500	79.72	236	16.6	277.2	52	39500	80.12	224	5.1	25.7
23	46500	80.52	262	42.5	1805.5	53	39000	80.52	220	1.1	1.3
24	40000	80.52	225	5.9	34.5	54	39000	79.88	221	2.9	8.4
25	37000	80.12	209	-10.0	99.9	55	37500	80.52	211	-7.3	53.3
26	37500	80.52	211	-8.2	67.4	56	40000	80.12	226	7.9	62.4
27	37500	80.12	212	-7.2	51.3	57	40000	80.12	226	7.9	62.4
28	35000	79.72	199	-20.3	413.5	58	39000	80.91	219	0.1	0.0
29	40000	79.72	228	8.1	65.8	59	37000	79.72	211	-8.0	64.7
30	37500	81.31	209	-10.3	105.7	60	38500	80.52	217	-1.7	2.8
			6584		4515.6		31000		6557		2901.3
# de ensayos	n = 30					# de ensayos	n = 30				
Sumatoria de ensayos	$\sum Y = 6584$					Sumatoria de ensayos	$\sum Y = 6557$				
Promedio de resultados	$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = 219.5 \text{ kg/cm}^2$					Promedio de resultados	$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = 218.6 \text{ kg/cm}^2$				
	$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 = 4516$						$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 = 2901$				
Desviación Estándar	$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} = 12.48 \text{ kg/cm}^2$					Desviación Estándar	$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} = 10.00 \text{ kg/cm}^2$				
Variación Ponderada	$V_1 = \frac{S_1}{\bar{Y}} = 5.69\%$					Variación Ponderada	$V_2 = \frac{S_2}{\bar{Y}} = 4.58\%$				
Resistencia Promedio	$\bar{Y}_p = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} = 219.0 \text{ kg/cm}^2$										
Desviación Estandar Promedio	$S = \sqrt{\frac{(n_1-1)(S_1)^2 + (n_2-1)(S_2)^2}{n_1+n_2-2}} = 11.31 \text{ kg/cm}^2$										
Coefficiente de Variación Ponderado	$V = \sqrt{\frac{(n_1-1)(V_1)^2 + (n_2-1)(V_2)^2}{n_1+n_2-2}} = 5.16\%$										

Fuente: Propia



Anexo F. Desviación Estándar del concreto con 40% de Vidrio Molido

% de Vidrio Molido: 40 %			Fecha de Ensayo: 16/11/2018										
Edad de Rotura : 28 Días			Fecha de Vaciado: 19/10/2018										
Resistencia de Diseño f'_c : 210 kg/cm ²													
# G.Hmdm	Presión Lb-f	Area cm ²	+35<f'c<-35 RESISTENCIA f'c Y	Yn- \bar{Y}	(Yn- \bar{Y}) ^2	Muestra	Presión Lb-f	Area cm ²	+35<f'c<-35 RESISTENCIA f'c Y	Yn- \bar{Y}	(Yn- \bar{Y}) ^2		
1	37000	80.12	-1	209	-4.2	17.8	31	38500	80.52	7	217	8.2	66.5
2	40000	80.91	14	224	10.5	111.0	32	37500	81.31	-1	209	0.4	0.2
3	40000	80.91	14	224	10.5	111.0	33	39000	81.31	8	218	8.8	77.7
4	42500	80.52	29	239	25.7	662.0	34	38000	80.52	4	214	5.3	28.5
5	37500	80.52	1	211	-2.4	5.9	35	37500	80.12	2	212	3.6	12.7
6	38000	80.52	4	214	0.4	0.1	36	36000	81.31	-9	201	-7.9	62.7
7	36500	80.12	-3	207	-7.1	49.7	37	39500	80.12	14	224	14.9	221.7
8	41000	80.91	20	230	16.1	260.6	38	35000	81.31	-15	195	-13.5	182.2
9	39000	80.91	9	219	4.9	24.3	39	36000	80.52	-7	203	-5.9	35.2
10	40000	81.31	13	223	9.4	89.0	40	37500	80.12	2	212	3.6	12.7
11	40500	80.52	18	228	14.5	209.1	41	39500	80.91	11	221	12.7	161.1
12	39000	81.31	8	218	3.9	14.9	42	38500	81.31	5	215	6.0	36.3
13	37000	80.52	-2	208	-5.3	27.6	43	40000	80.12	16	226	17.7	314.0
14	38500	80.52	7	217	3.2	10.2	44	38000	80.12	5	215	6.4	40.9
15	37500	80.52	1	211	-2.4	5.9	45	37500	80.52	1	211	2.5	6.3
16	34500	80.52	-16	194	-19.3	374.0	46	37000	80.52	-2	208	-0.3	0.1
17	35500	80.52	-10	200	-13.7	187.9	47	37500	80.91	0	210	1.5	2.2
18	39000	80.52	10	220	6.0	36.1	48	37500	80.91	0	210	1.5	2.2
19	37500	80.91	0	210	-3.5	12.1	49	41000	80.12	22	232	23.4	546.7
20	36500	80.91	-5	205	-9.1	82.5	50	34500	80.12	-15	195	-13.4	180.0
21	39500	80.91	11	221	7.7	59.8	51	35000	81.31	-15	195	-13.5	182.2
22	38000	80.52	4	214	0.4	0.1	52	35500	80.91	-11	199	-9.7	94.7
23	39000	80.52	10	220	6.0	36.1	53	36500	80.91	-5	205	-4.1	17.0
24	38000	80.91	3	213	-0.7	0.5	54	36000	80.12	-6	204	-4.9	24.3
25	35000	81.31	-15	195	-18.5	340.6	55	38000	80.91	3	213	4.3	18.3
26	35500	80.12	-9	201	-12.7	161.7	56	34000	80.52	-18	192	-17.2	295.8
27	37500	80.52	1	211	-2.4	5.9	57	32500	80.91	-28	182	-26.5	704.9
28	37500	81.31	-1	209	-4.5	20.3	58	35000	80.12	-12	198	-10.6	112.1
29	35000	81.31	-15	195	-18.5	340.6	59	36500	81.31	-6	204	-5.1	26.3
30	39000	80.91	9	219	4.9	24.3	60	39000	80.12	11	221	12.1	145.4
				6411		3282					6262		3611
# de ensayos			n = 30				# de ensayos			n = 30			
Sumatoria de ensayos			$\sum Y = 6411$				Sumatoria de ensayos			$\sum Y = 6262$			
Promedio de resultados			$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = 213.7 \text{ kg/cm}^2$				Promedio de resultados			$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = 208.7 \text{ kg/cm}^2$			
			$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 = 3282$							$\sum (Y_n - \bar{Y})^2 = 3611$			
Desviación Estándar			$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} = 10.64 \text{ kg/cm}^2$				Desviación Estándar			$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} = 11.16 \text{ kg/cm}^2$			
Variación Ponderada			$V_1 = \frac{S_1}{\bar{Y}} = 4.98\%$				Variación Ponderada			$V_2 = \frac{S_2}{\bar{Y}} = 5.35\%$			
Resistencia Promedio							$\bar{Y}_p = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} =$			211.2 kg/cm ²			
Desviación Estandar Promedio							$S = \sqrt{\frac{(n_1-1)(S_1)^2 + (n_2-1)(S_2)^2}{n_1+n_2-2}} =$			10.90 kg/cm ²			
Coefficiente de Variación Ponderado							$V = \sqrt{\frac{(n_1-1)(V_1)^2 + (n_2-1)(V_2)^2}{n_1+n_2-2}} =$			5.17%			

Fuente: Propia



Anexo G. Costo Hora Hombre para Cusco 2019-2020

COSTOS HORA HOMBRE PAR CUSCO AÑO 2020
Vigente del 01 de Junio del 2019 hasta el 31 de Mayo del 2020

PAG 3

ING. J. RONALD AGUILAR HUERTA

CONCEPTO	CATEGORIAS		
	OPERARIO	OFICIAL	PEON
1 SOBRE REMUNERACIÓN BASICA VIGENTE	70.30	55.40	49.70
2 BONIFICACIÓN UNIFICADA DE LA CONSTRUCCIÓN	22.50	16.62	14.91
3 LEYES SOCIALES SOBRE LA BONIFICACIÓN UNIFICADA DE LA CONSTRUCCIÓN (BUC) (BUC x 12.00%)	2.70	1.99	1.79
4 % DE INCIDENCIA DE LEYES SOCIALES (BUC REMUNERACIÓN BÁSICA) (3)/(1)x100%	3.84	3.60	3.60
INCIDENCIA TOTAL DE LEYES SOCIALES SOBRE LA REMUNERACIÓN BÁSICA	3.84	3.60	3.60

COSTO HORA HOMBRE - CUSCO Vigente del 01 Junio del 2019 hasta el 31 Mayo del 2020

CONCEPTO	CATEGORIAS		
	OPERARIO	OFICIAL	PEON
REMUNERACIÓN BÁSICA	70.30	55.40	49.70
TOTAL DE BENEFICIOS LEYES SOCIALES SOBRE LA REMUNERACIÓN BÁSICA	73.67	57.92	51.96
OPERARIO 104.79%			
OFICIAL 104.55%			
PEON 104.55%			
BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN (BUC)	22.50	16.62	14.91
SEGURO DE VIDA ESSALUD - VIDA (5 /MES)	0.17	0.17	0.17
BONIFICACIÓN MOVILIDAD ACUMULADO (6 PASAJES)	6.00	6.00	6.00
OVEROL 2 x 70 x 8 / 2,421.5	0.46	0.46	0.46
TOTAL POR DIAS DE 8 HORAS	173.09	136.57	123.20
COSTO DE HORA HOMBRE (hh)	21.64	17.07	15.40

Fuente: Aguilar,2019



Anexo H. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², con 0% de VM



60 Probetas de concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta de concreto con 0% VM antes del ensayo



Probeta N° 01. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 02. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 03. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 04. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 05. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 06. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 07. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 08. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 09. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 10. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 11. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 12. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 13. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 14. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 15. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 16. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 17. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 18. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 19. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 20. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 21. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 22. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 23. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 24. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 25. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 26. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 27. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 28. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 29. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 30. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 39. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 40. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 41. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 42. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 43. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 44. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 45. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Prueba N° 46. Concreto con 0% de VM a los 28 días



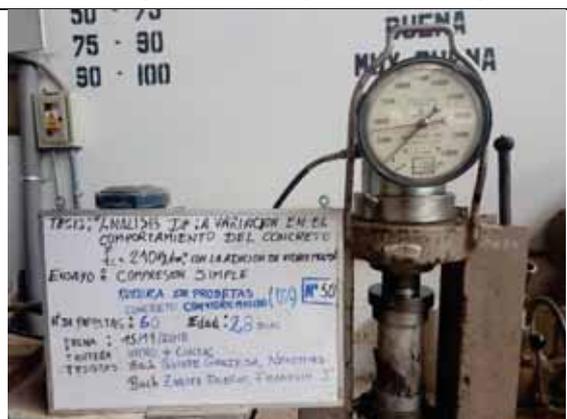
Probeta N° 47. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 48. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 49. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 50. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 51. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 52. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 53. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 54. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 55. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 56. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 57. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 58. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 59. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Probeta N° 60. Concreto con 0% de VM a los 28 días



Anexo I. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², con 20% de VM



60 Probetas de concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta de concreto con 20% VM luego del ensayo



Probeta N° 01. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 02. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 03. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 04. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 05. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 06. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 07. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 08. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 09. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 10. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 11. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 12. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 13. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 14. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 15. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 16. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 17. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 18. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 19. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 20. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 21. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 22. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 23. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 24. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 25. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 26. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 27. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 28. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 29. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 30. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 31. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 32. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 33. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 34. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 35. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 36. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 37. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 38. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 39. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 40. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 41. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 42. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 43. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 44. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 45. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Prueba N° 46. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 47. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 48. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 49. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 50. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 51. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 52. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 53. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 54. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 55. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 56. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 57. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 58. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 59. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Probeta N° 60. Concreto con 20% de VM a los 28 días



Anexo J. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², con 30% de VM



60 Probetas de concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta de concreto con 30% VM luego del ensayo



Probeta N° 01. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 02. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 03. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 04. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 05. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 06. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 07. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 08. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 09. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 10. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 11. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 12. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 13. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 14. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 15. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 16. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 17. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 18. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 19. Concreto con 30% de VM a los 28 días



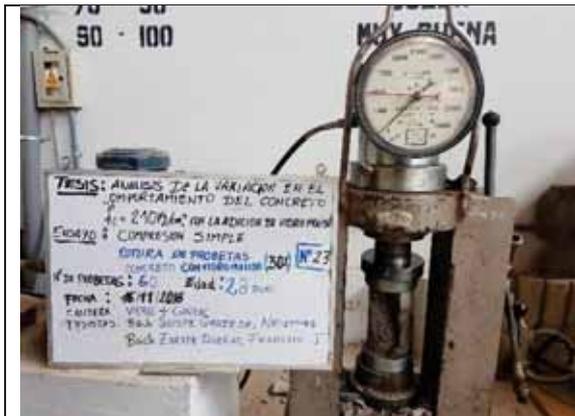
Probeta N° 20. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 21. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 22. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 23. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 24. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 25. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 26. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 27. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 28. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 29. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 30. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 31. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 32. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 33. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 34. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 35. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 36. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 37. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 38. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 39. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 40. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 41. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 42. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 43. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 44. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 45. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 46. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 47. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 48. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 49. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 50. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 51. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 52. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 53. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Probeta N° 54. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Prueba N° 55. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Prueba N° 56. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Prueba N° 57. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Prueba N° 58. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Prueba N° 59. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Prueba N° 60. Concreto con 30% de VM a los 28 días



Anexo K. Fotografías de las roturas de probetas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², con 40% de VM



60 Probetas de concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta de concreto con 40% VM antes del ensayo



Probeta N° 01. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 02. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 03. Concreto con 40% de VM a los 28 días



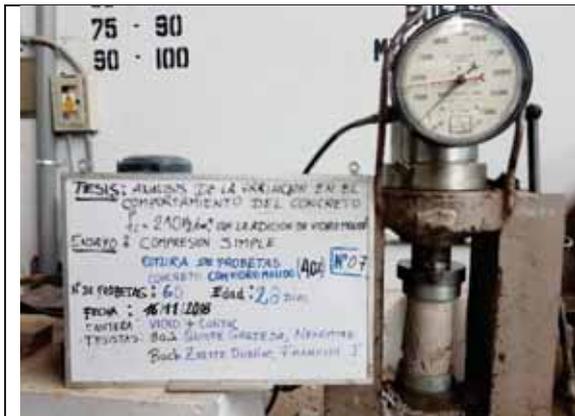
Probeta N° 04. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 05. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 06. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 07. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 08. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 09. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 10. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 11. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 12. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 13. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 14. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 15. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 16. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 17. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 18. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 19. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 20. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 21. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 22. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 23. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 24. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 25. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 26. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 27. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 28. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 29. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 30. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 31. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 32. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 33. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 34. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 35. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 36. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 37. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 38. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 39. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 40. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 41. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 42. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 43. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 44. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 45. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 46. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 47. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 48. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 49. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 50. Concreto con 40% de VM a los 28 días



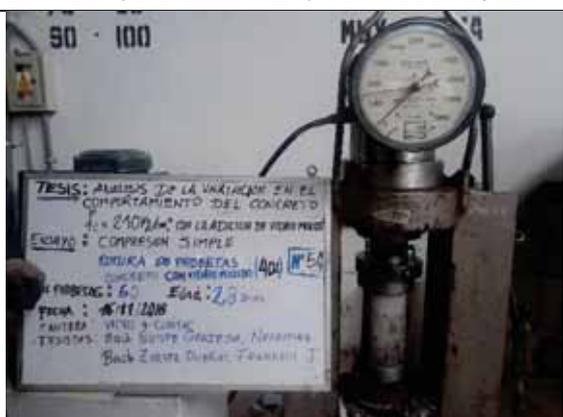
Prueba N° 51. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 52. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 53. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Prueba N° 54. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 55. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 56. Concreto con 40% de VM a los 28 días



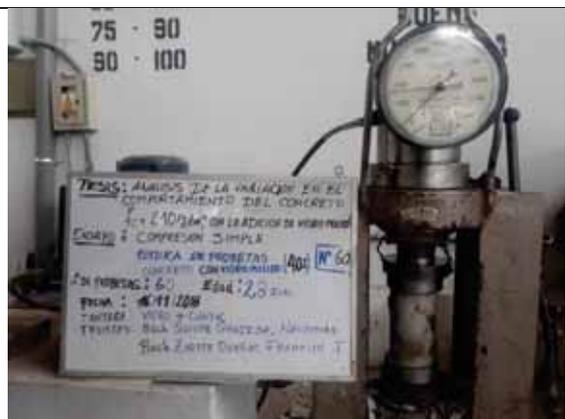
Probeta N° 57. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 58. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 59. Concreto con 40% de VM a los 28 días



Probeta N° 60. Concreto con 40% de VM a los 28 días