

Universidad Católica De Santa María

Facultad De Arquitectura e Ingeniería Civil y Del Ambiente

Escuela Profesional De Ingeniería Civil



“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES
CANTERAS DE PUZOLANA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA
PARA CONCRETOS DE RESISTENCIAS $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, 280
 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 EN EL AÑO 2017”

Tesis presentada por los Bachilleres:

Carpio Fernández Enmanuel

Peña Sánchez Effren Anthony

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor: Magister Díaz Galdós, Miguel
Renato

AREQUIPA - PERÚ
2017



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

JURADO EXAMINADOR

DECRETO N° 028-EPIC-2017

Arequipa, 2017 Noviembre 21

Vistos el (los) Expediente(s) Nro. **20170000052041** y Nro. **20170000052040** presentado(s) por los señores Bachilleres en Ingeniería Civil: **CARPIO FERNANDEZ ENMANUEL** y **PEÑA SANCHEZ EFFREN ANTHONY** quienes pretenden optar el Título Profesional de: **INGENIERO CIVIL** y en concordancia con lo dispuesto por la Ley 30220, en sus Artículos 60° y siguientes del Estatuto de la Universidad Católica de Santa María y el Reglamento de Grados de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente en uso de las facultades concedidas:

SE DECRETA:

PRIMERO

Autorizar la recepción de Previas Orales de los Señores Bachilleres en Ingeniería Civil; designándose el JURADO EXAMINADOR, el mismo que estará integrado por Señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil:

PRESIDENTE : MGTER. MIGUEL RENATO DÍAZ GALDOS
VOCAL : ING. OLGIER JAVIER FEBRES ROSADO
SECRETARIO : ING. ENRIQUE UGARTE CALDERON

 23-11-17
 23-11-17
 23/11/17

SEGUNDO

El Jurado Examinador, designado en el párrafo anterior se encargará de evaluar la sustentación de la Tesis Titulada: "**ANALISIS COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES CANTERAS DE PUZOLANA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA PARA CONCRETOS DE RESISTENCIAS $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$, 280 KG/CM^2 Y 350 KG/CM^2** ".

TERCERO

La recepción de Previas, motivo del presente, deberá realizarse en acto público a llevarse a cabo en el Aula 01 De posgrado, el día **lunes, 27 de Noviembre de 2017 a las 9:30 hrs.**

CUARTO

El Decanato de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente, la Dirección y Secretaría de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se encargarán del cumplimiento del presente.

Comuníquese y cúmplase,

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA


Ing. OLGIER JAVIER FEBRES ROSADO
Director de la Escuela Profesional
de Ingeniería Civil

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis y agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la vida y todo lo que tengo, a mi abuelita Antonia García quien siempre me apoyó y alentó en el desarrollo de mi carrera profesional, y quien desde el cielo siempre estará conmigo.

A mis padres Effren y Luz de quienes recibo su amor y soporte incondicional y son la razón de mi esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida, a mi hermana Lindsay y a mi primo Carlos que más que hermanos son mis mejores amigos, y a toda mi familia por su apoyo constante, ya que todo lo que hoy soy es gracias a ellos y son la razón de mi vida.

Effren Anthony Peña Sánchez

Quiero agradecer a Dios por darme el don de la vida, a mis padres Ernesto y Rocío quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en momentos difíciles; a mis hermanos Kevin y Elliot que siempre me han brindado su apoyo incondicional, a mi novia Stephanie quién es el amor de mi vida y por ultimo agradecer a toda mi familia porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Enmanuel Carpio Fernández

Queremos agradecer inmensamente a la Universidad Católica Santa María nuestra alma mater, por todas vivencias, experiencias y conocimiento que nos brindó a lo largo de estos años de carrera universitaria, también queremos agradecer a la Universidad Nacional de San Agustín por el apoyo brindado durante la elaboración de esta tesis ya que sin su ayuda esta investigación tampoco hubiera sido posible, por ultimo queremos agradecer a nuestros amigos, y maestros con quienes sabemos que podemos contar incondicionalmente a lo largo de nuestra vida.

Effren Anthony Peña Sánchez y Enmanuel Carpio Fernández

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES | 13 |
| 1.1. <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i> | 13 |
| 1.2. <i>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i> | 13 |
| 1.3. <i>OBJETIVO DEL ESTUDIO</i> | 13 |
| 1.4. <i>OBJETIVO GENERAL.....</i> | 13 |
| 1.5. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i> | 13 |
| 1.6. <i>ALCANCE</i> | 14 |
| 1.7. <i>HIPOTESIS</i> | 14 |
| 1.8. <i>VARIABLES O INDICADORES.....</i> | 15 |
| 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 16 |
| 2.1. <i>CEMENTOS ADICIONADOS.....</i> | 16 |
| 2.1.1. <i>DEFINICIÓN DE UN CEMENTO ADICIONADO</i> | 16 |
| 2.1.2. <i>TIPOS DE CEMENTOS ADICIONADOS</i> | 16 |
| 2.1.3. <i>LAS PUZOLANA VOLCANICAS Y CANTERAS A NIVEL NACIONAL</i> | 17 |
| 2.1.4. <i>DESEMPEÑO MEDIOAMBIENTAL</i> | 18 |
| 2.2. <i>APLICACIONES DEL CONCRETO ADICIONADO</i> | 18 |
| 2.2.1. <i>INTRODUCCIÓN.....</i> | 18 |
| 2.2.2. <i>TIPOS DE CONCRETOS ADICIONADOS Y APLICACIONES</i> | 19 |
| 2.2.2.1. <i>TIPO IS</i> | 19 |
| 2.2.2.2. <i>TIPO IP Y TIPO P</i> | 19 |
| 2.2.2.3. <i>TIPO I (PM)</i> | 19 |
| 2.2.2.4. <i>TIPO S.....</i> | 19 |
| 2.2.2.5. <i>TIPO I (SM)</i> | 20 |
| 2.3. <i>PUZOLANAS Y UBICACIÓN DE LAS CANTERAS DE AREQUIPA</i> | 20 |
| 2.3.1. <i>DEFINICIÓN DE PUZOLANA</i> | 20 |
| 2.3.2. <i>PUZOLANAS NATURALES.....</i> | 20 |
| 2.3.2.1. <i>CLASIFICACIÓN DE LAS PUZOLANAS NATURALES</i> | 20 |
| 2.3.3. <i>CANTERA DE YURA.....</i> | 22 |
| 2.3.4. <i>CANTERA DE CARRETERA PANAMERICANA SUR KM 48.....</i> | 22 |
| 2.3.5. <i>CANTERA DE PIEDRA POMEZ.....</i> | 23 |
| 2.3.6. <i>POTENCIAL ESTIMADO DE PUZOLANA Y PIEDRA POMEZ EN LA REGION DE AREQUIPA.....</i> | 24 |
| 2.3.6.1. <i>POTENCIAL ESTIMADO DE PUZOLANA EN LA REGION AREQUIPA</i> | 24 |
| 2.3.6.2. <i>POTENCIAL ESTIMADO DE PIEDRA POMEZ EN LA REGIÓN AREQUIPA</i> | 25 |
| 3. CAPÍTULO III: PROPIEDADES DE AGREGADOS, PUZOLANAS Y DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ADICIONADO CON PUZOLANA.. | 26 |
| 3.1.1. <i>PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....</i> | 26 |
| 3.1.2. <i>Agregado Grueso.....</i> | 26 |

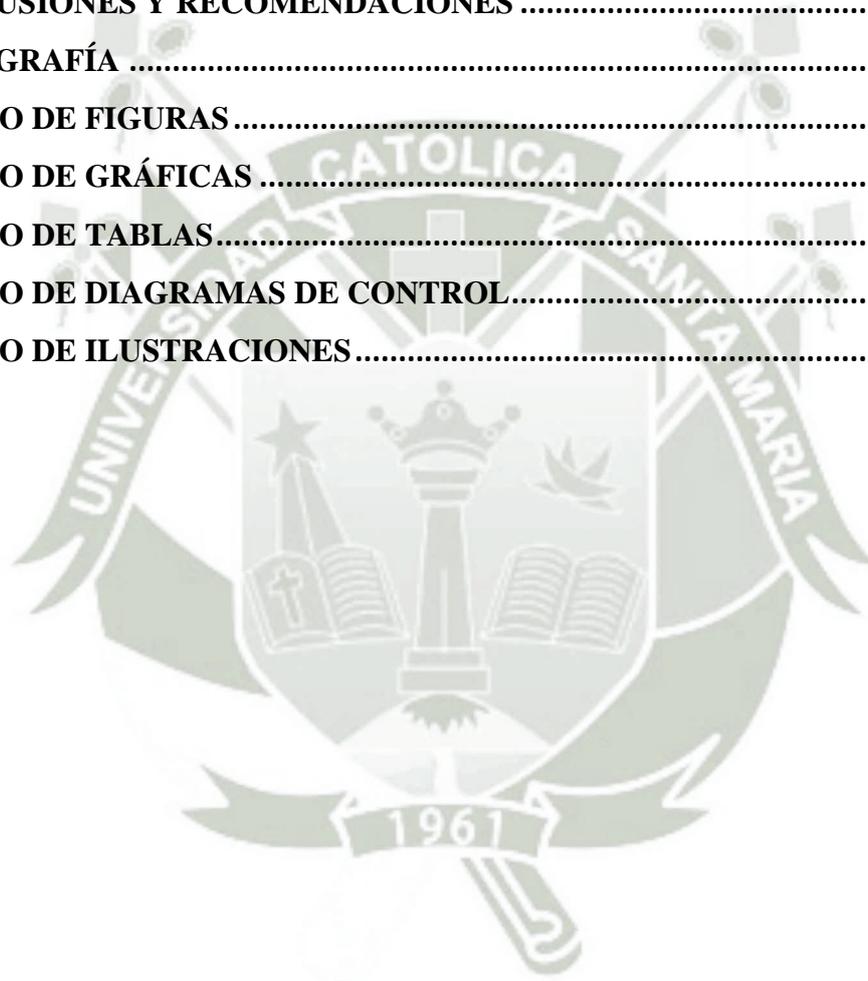
| | |
|---|----|
| ENSAYO 1 | 19 |
| ENSAYO 2 | 20 |
| ENSAYO 3 | 21 |
| ENSAYO 4 | 22 |
| <i>CURVA GRANULOMÉTRICA</i> | 23 |
| ENSAYO 1 | 23 |
| ENSAYO 2 | 23 |
| ENSAYO 3 | 24 |
| ENSAYO 4 | 24 |
| 3.1.3. Agregado Fino | 25 |
| ENSAYO 1 | 28 |
| ENSAYO 2 | 29 |
| ENSAYO 3 | 30 |
| ENSAYO 4 | 31 |
| <i>CURVA GRANULOMÉTRICA</i> | 32 |
| ENSAYO 1 | 32 |
| ENSAYO 2 | 32 |
| ENSAYO 3 | 33 |
| ENSAYO 4 | 33 |
| 3.2. <i>CEMENTO, HIDROXIDO DE CALCIO Y AGUA</i> | 34 |
| 3.2.1. CEMENTO YURA PORTLAND TIPO I | 34 |
| 3.2.2. CEMENTO YURA PORTLAND TIPO IP | 34 |
| 3.2.3. HIDROXIDO DE CALCIO | 34 |
| 3.2.4. AGUA | 34 |
| 3.2.5. SUPERFICIE O FINURA | 35 |
| 3.2.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA | 35 |
| 3.2.7. PESO ESPECÍFICO | 37 |
| 3.3. <i>ACTIVIDAD PUZOLANICA CON CEMENTO Y CAL</i> | 42 |
| 3.3.1. REACCIÓN PUZOLANICA | 42 |
| 3.3.2. MOLIENDA DE PUZOLANA | 43 |
| 3.3.2.1. PUZOLANA KM 48 | 43 |
| 3.3.2.2. PIEDRA POMEZ | 43 |
| 3.4. <i>CEMENTOS METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND</i> | 44 |
| 3.5. <i>CEMENTOS METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA POR EL MÉTODO DE LA CAL</i> | 48 |
| 3.6. <i>DISEÑOS DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL ACI</i> | 50 |
| 3.7. <i>DISEÑOS DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS</i> | 51 |
| 3.8. <i>DISEÑOS DE MEZCLAS REALIZADOS</i> | 52 |
| 3.8.1. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I SIN ADICIÓN DE PUZOLANA $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 52 |
| 3.8.2. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I SIN ADICIÓN DE PUZOLANA $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 53 |

| | |
|---|----|
| 3.8.3. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I SIN ADICIÓN DE PUZOLANA $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 54 |
| 3.8.4. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 55 |
| 3.8.5. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 56 |
| 3.8.6. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 57 |
| 3.8.7. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 58 |
| 3.8.8. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 59 |
| 3.8.9. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 60 |
| 3.8.10. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 61 |
| 3.8.11. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 62 |
| 3.8.12. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PIEDRA PÓMEZ $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 63 |
| 3.8.13. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 64 |
| 3.8.14. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 65 |
| 3.8.15. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 66 |
| 3.8.16. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 67 |
| 3.8.17. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 68 |
| 3.8.18. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 69 |
| 3.8.19. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 70 |
| 3.8.20. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 71 |
| 3.8.21. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA KM 48 $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 72 |
| 3.8.22. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA YURA $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 73 |
| 3.8.23. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA YURA $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 74 |
| 3.8.24. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA YURA $f_c=210\text{kg/cm}^2$ | 75 |
| 3.8.25. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE | |

| | |
|---|------------|
| PUZOLANA YURA $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 76 |
| 3.8.26. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA YURA $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 77 |
| 3.8.27. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA YURA $f_c=280\text{kg/cm}^2$ | 78 |
| 3.8.28. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA YURA $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 79 |
| 3.8.29. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA YURA $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 80 |
| 3.8.30. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA YURA $f_c=350\text{kg/cm}^2$ | 81 |
| 3.8.31. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO IP $f_c=210\text{kg/cm}^2$. | 82 |
| 3.8.32. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO IP $f_c=280\text{kg/cm}^2$. | 83 |
| 3.8.33. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO IP $f_c=350\text{kg/cm}^2$. | 84 |
| 4. CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL CONCRETO..... | 85 |
| 4.1. <i>ESTADO FRESCO</i> | 85 |
| 4.1.1. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP) | 85 |
| 4.1.2. PESO UNITARIO O PESO ESP. | 88 |
| 4.1.3. CONTROL DE LA TEMPERATURA | 90 |
| 4.2. <i>ESTADO ENDURECIDO</i> | 93 |
| 4.2.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN | 93 |
| 4.2.2. RESISTENCIA A TRACCIÓN | 99 |
| 4.2.3. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN | 102 |
| 5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 105 |
| 5.1. <i>ANÁLISIS DE ACTIVIDAD PUZOLANICA</i> | 105 |
| 5.1.1. ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CEMENTO..... | 105 |
| 5.1.2. ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CAL..... | 106 |
| 5.2. <i>COMPARACIÓN DEL CONCRETO CON CEMENTO TIPO I, TIPO 1P Y EL CONCRETO ADICIONADO CON LAS PUZOLANAS DE LAS CANTERAS DE AREQUIPA</i> | 106 |
| 5.2.1. Asentamiento, Plasticidad o Slump (plg) | 107 |
| 5.2.1.1. Comparación General..... | 107 |
| 5.2.1.2. Comparación detallada entre canteras..... | 109 |
| 5.2.2. Temperatura (C°)..... | 113 |
| 5.2.2.1. Comparación General..... | 113 |
| 5.2.3. Peso esp. Del concreto fresco (kg/cm ³) | 115 |
| 5.2.3.1. Comparación General..... | 115 |
| 5.2.4. Resistencia a la tracción (kg/cm ²)..... | 118 |
| 5.2.4.1. Comparación General..... | 118 |
| 5.2.5. Abrasión (%) | 121 |
| 5.2.5.1. Comparación General..... | 121 |
| 5.2.6. Resistencia a la compresión (kg/cm ²)..... | 124 |
| 5.2.6.1. Comparación General (a 28 días de curado)..... | 124 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.6.2. Comparación detallada entre canteras (a 7, 14 y 28 días de curado) | 127 |
| 5.2.6.2.1.Método: ACI | 127 |
| 5.2.6.2.2.Método: Modulo de Fineza de la combinación de agregados..... | 136 |
| 5.3. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA PUZOLANA DE CADA CANTERA PARA CADA RESISTENCIA DEL CONCRETO..... | 143 |
| 5.4. ANÁLISIS DEL COSTO-BENEFICIO DE UN CONCRETO ADICIONADO CON PUZOLANA Y UN CONCRETO CONVENCIONAL..... | 145 |
| 5.4.1. Costo de Puzolanas..... | 146 |
| 5.4.2. Costos Unitarios por metro cúbico | 147 |
| 5.4.2.1. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 147 |
| 5.4.2.2. Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 148 |
| 5.4.2.3. Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 149 |
| 5.4.2.4. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 150 |
| 5.4.2.5. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 151 |
| 5.4.2.6. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 153 |
| 5.4.3. Beneficio..... | 154 |
| 5.4.3.1. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 154 |
| 5.4.3.2. Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 155 |
| 5.4.3.3. Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 156 |
| 5.4.3.4. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 157 |
| 5.4.3.5. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 158 |
| 5.4.3.6. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 159 |
| 5.4.4. Análisis Costo – Beneficio | 160 |
| 5.4.4.1. Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm ² por el método | |

| | |
|--|------------|
| ACI. | 160 |
| 5.4.4.2. Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm ² por el método ACI. | 161 |
| 5.4.4.3. Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm ² por el método ACI. | 162 |
| 5.4.4.4. Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados. | 164 |
| 5.4.4.5. Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados. | 165 |
| 5.4.4.6. Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados. | 166 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 169 |
| BIBLIOGRAFÍA | 174 |
| LISTADO DE FIGURAS..... | 176 |
| LISTADO DE GRÁFICAS | 176 |
| LISTADO DE TABLAS..... | 178 |
| LISTADO DE DIAGRAMAS DE CONTROL..... | 179 |
| LISTADO DE ILUSTRACIONES..... | 179 |



INTRODUCCIÓN

En la historia de la humanidad se ha buscado soluciones tecnológicas especiales para realizar sus obras arquitectónicas. En el siglo I D.C. Antonio Vitrubio relata, que los Romanos utilizaron la Puzolana como aditivo mineral en la elaboración de sus concretos, éstas fueron extraídas de un pueblo llamado Pozzuoli al pie del Vesubio, era una piedra volcánica, porosa y ligera. Así también, utilizaron aditivos naturales como leche, sangre y grasa animal para mejorar la trabajabilidad de las mezclas en concretos y morteros.

Estos materiales fueron utilizados en la construcción del Coliseo Romano 80 años D.C. y el Panteón de Adriano construido en el año 123 D.C. que fue durante 1500 años la mayor cúpula construida, con 43.3 m. de diámetro, el uso de éstos materiales le han brindado la durabilidad a estas construcciones los cuales pueden ser apreciados hoy en día.

En el ámbito internacional existen investigaciones similares, en especial con caña de azúcar, bagazo y paja de caña, con resultados relevantes, pero no se ha encontrado experiencias de aplicación en componentes prefabricados y morteros para la construcción de viviendas de bajo costo.

Actualmente en el sector de la construcción en el Perú se produce cementos puzolánicos, pero no utiliza puzolanas naturales disponibles tales como; cascarilla de arroz y muy poco las puzolanas de origen volcánico.

Los cementos adicionados resultan en el rubro una gran ventaja, ya que la adición no es calcinada y se produce un ahorro de combustible considerable, de forma que, el menor uso de combustibles deviene en menor contaminación, así pues, con los cementos adicionados se logra la disminución de la huella de carbono atribuida a la fabricación del cemento, además del uso de pasivos industriales que también atentan contra el ambiente.

Como ventaja adicional y no menos importante, los concretos con cementos adicionados presentan algunas ventajas tecnológicas con respecto a los tradicionales, sobre todo en referencia a resistencias mayores a largo plazo y mayor durabilidad, tal que, las puzolanas pueden reemplazar de 15 a 40% del cemento portland sin reducir significativamente la resistencia del concreto.

Ante estas ventajas, el mundo usa actualmente los cementos adicionados de manera muy extendida (alrededor del 85 %). En el Perú cada vez se fabrican más tipos y mayores volúmenes en todas las plantas de cemento

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina. No son cementosas en sí, pero cuando son molidos finamente y mezcladas con cal, la mezcla fraguará y endurecerá a temperaturas normales, como el cemento.

Las canteras utilizadas son de la Ciudad de Arequipa como una nueva alternativa para lograr cementos más amigables con el medio ambiente. Incluso si no hubiera otros beneficios, sólo este aspecto justificaría un incremento del empleo de estos materiales. Comparado con la producción y empleo del cemento portland, estos materiales contribuyen a ahorrar costos y energías, ayudan a reducir la contaminación ambiental y, en la mayoría de los casos, mejoran la calidad del producto final.

RESUMEN

El presente trabajo lleva como título “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES CANTERAS DE PUZOLANA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA PARA CONCRETOS DE RESISTENCIAS $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 EN EL AÑO 2017” la investigación tiene como objetivo experimentar con diferentes diseños de tres canteras de puzolana y la sustitución parcial de cemento por puzolana y aplicarlos a las diferentes resistencias.

Este trabajo presenta los resultados de una investigación elaborada en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente, Escuela Profesional de Ingeniería Civil y la molienda de puzolana y piedra pómez se realizó en el Parque Industrial de Río Seco de la Universidad de San Agustín.

Se elaboraron 6 diseños de mezclas utilizando cemento Tipo I, 6 diseños de mezclas utilizando cemento Tipo IP, 54 diseños de mezclas utilizando cemento Tipo I y puzolana de tres canteras de la Ciudad de Arequipa sustituyendo diferentes volúmenes de cemento Tipo I por puzolana, agua potable, agregado grueso de la Cantera la Poderosa de la Ciudad de Arequipa, agregado fino de la cantera del Huayco, en diferentes combinaciones y dosificaciones.

Para cada diseño se usaron cilindros y cubos de prueba, para realizar los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y abrasión para así determinar el mejor diseño de mezcla con el mejor comportamiento ante los esfuerzos.

Para la utilización de la puzolana en el concreto se procedió a molerla en molinos de billas por diferentes tiempos hasta lograr la finura reglamentada obteniendo curvas de moliendabilidad de cada cantera.

Para determinar la actividad puzolánica se realizaron los ensayos por el método de la cal y del cemento según la Norma Técnica Peruana.

Luego se procedió a analizar los diferentes resultados obtenidos estadísticamente comparando resistencias, tiempos de curado, porcentajes de puzolana, canteras y dureza.

Finalmente se procedió a análisis de costos unitarios de cada diseño, puzolana y tipo de cemento.

La investigación presente expresa el diseño de mezcla del concreto Tipo I, Tipo IP y Tipo I con reemplazo parcial de cemento por puzolana, las propiedades y características del mismo, las consideraciones a tomar en cuenta para concretos adicionados en la Ciudad de Arequipa.

Palabras Clave: Concreto, puzolana, cantera

ABSTRACT

The present work is entitled "COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENT QUARTERS OF POZZOLAN OF THE CITY OF AREQUIPA FOR CONCRETES OF RESISTANCE $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$, 280 kg / cm^2 and 350 kg / cm^2 IN THE YEAR 2017" research has as objective to experiment with different designs of three quarries of pozzolan and the partial substitution of cement for pozzolan and to apply them to the different resistances.

This paper presents the results of a research developed in the Civil Engineering Laboratory of the Catholic University of Santa Maria, Faculty of Architecture and Civil Engineering and the Environment, Professional School of Civil Engineering and the milling of pozzolan and pumice stone was carried out in the Industrial Park of Rio Seco of the University of San Agustín.

Six mix designs were developed using Type I cement, 6 mix designs using IP Type cement, 54 mix designs using Type I cement and three quarries pozzolan from Arequipa City, replacing different volumes of Type I cement with pozzolan, potable water, coarse aggregate of the Power Quarry of the City of Arequipa, fine aggregate of the Huayco quarry, in different combinations and dosages.

For each design, cylindrical specimens and test cubes were used to perform the tests of compressive strength, tensile strength and abrasion, in order to determine the best mixing design with the best performance against the stresses.

For the use of the pozzolan in the concrete it was grinded in mills of bills by different times until obtaining the regulated fineness obtaining grinding curves of each quarry.

To determine the pozzolanic activity the tests were carried out by the lime and cement method according to the Peruvian Technical Standard.

Then, the different results obtained were analyzed statistically comparing resistances, curing times, percentages of pozzolan, quarries, hardness and cost - benefit.

Finally, we proceeded to analyze unit costs of each design, pozzolan and cement type. The present research expresses the mixture design of Concrete Type I, Type IP and Type I with partial replacement of cement by pozzolan, properties and characteristics of the same, considerations to be taken into account for concrete added in the City of Arequipa.

Key words: Concrete, pozzolan, quarry.

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria de la construcción se vienen investigando y formulando distintas formas de lograr un concreto más económico con una mejora en su ficha técnica y que sea más ecológico. Las puzolanas naturales son una alternativa para solucionar en parte estos problemas, en Arequipa existen canteras de potenciales materiales puzolánicos de las cuales solo una o dos son utilizadas en la actualidad para cementos adicionados, pero no existe un estudio donde compara las ventajas y desventajas de cada cantera que revele cuál resultaría más beneficiosa para un concreto adicionado con puzolana.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Nuestra ciudad está ubicada en un lugar estratégico dentro del marco geográfico nacional, lo cual nos hace poseedores de una amplia variedad de material de canteras de material puzolánico. Las cuales deben y merecen ser analizadas de manera tal que se pueda asegurar la calidad del material, así como de la correcta dosificación asegurando así la resistencia requerida del concreto.

Los cementos adicionados, tienen propiedades y comportamientos de los cuales los cementos portland carecen; y, por lo tanto, son utilizados con ventaja sobre éstos en muchos usos específicos, y en particular en los que tenga que ver el calor de hidratación, la plasticidad, la durabilidad frente a aguas ácidas y carbónicas agresivas, sulfatos, etc.

En lo económico, en la ciudad de Arequipa no se conocen las ventajas y desventajas de cada cantera importante de puzolana siendo necesario un estudio costo-beneficio.

Por ello esta investigación pretende realizar un análisis comparativo que nos permita determinar cuál de las tres canteras en Arequipa presenta el mayor beneficio en la estructura y propiedades del concreto, tanto para propiedades en concreto fresco como para propiedades del concreto endurecido. Además, hacer un análisis costo-beneficio para las diferentes canteras.

1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Esta investigación tuvo como objetivo comparar los resultados de la sustitución parcial de puzolana y determinar la actividad puzolánica de tres canteras para verificar la utilización de puzolanas en la producción de concretos para elementos estructurales y no estructurales en general, como una solución al daño del medio ambiente y más económica. Los resultados alcanzados muestran que las tres canteras con puzolanas naturales que por sus características puede reemplazar ventajosamente un porcentaje de cemento en la producción del concreto a menores costos.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Comparar los resultados de la sustitución parcial de la puzolana de tres canteras ubicadas en Arequipa para concretos con resistencias a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 .

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado.
- Realizar diseños de mezcla por los métodos definidos.
- Elaborar las mezclas de concreto y calcular propiedades físicas del

- concreto fresco.
- Elaborar probetas de concreto y realizar el curado tradicional respectivo de 7, 14 y 28 días.
 - Elaborar especímenes cúbicos de 5 cm de lado de concreto y realizar el curado tradicional de 28 días
 - Determinar la resistencia a compresión de los diferentes vaceados realizados tras un curado de 7, 14 y 28 días.
 - Determinar la resistencia a tracción de los diferentes vaceados realizados tras un curado de 28 días.
 - Determinar la resistencia al desgaste de los especímenes cúbicos tras un curado de 28 días.
 - Hacer cuadro comparativo entre propiedades obtenidas.
 - Analizar los resultados encontrados.
 - Realizar el análisis costo-beneficio.

1.6. ALCANCE

La presente investigación pretende clasificar el tipo de puzolana de las tres canteras de puzolana de la Ciudad de Arequipa para luego comparar la influencia de la puzolana extraída de diferentes canteras mencionadas, aplicada a concretos de diferentes resistencias $f_c=210\text{kg/cm}^2$, 280kg/cm^2 y 350kg/cm^2 , con el fin de encontrar el método de diseño más adecuado para la aplicación de puzolana en las diferentes resistencias planteadas, además de comparar sus propiedades respecto a concretos sin adición de puzolana. Por último, evaluar los beneficios específicos encontrados para cada una de las canteras de puzolana propuestas en la ciudad de Arequipa.

Para efectos de esta investigación, se realizará vaceados de dieciséis probetas y nueve especímenes cúbicos para cada diseño planteado, una sustitución del 20%, 30% y 40% del cemento por puzolana natural de cada cantera mencionada. Los métodos a utilizar serán el diseño de concreto expuesto por el “ACI” y el de “Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados”. Se utilizará cemento portland tipo I, con una sola cantera para agregados, una sola granulometría para agregados, con el propósito de mantener constante dichos parámetros y ensayos de actividad puzolánica de las puzolanas molidas al grado adecuado de las canteras de ubicadas en Yura, carretera Panamericana Sur en el km 48 y Piedra Pómez.

1.7. HIPOTESIS

Al utilizar puzolanas naturales de tres diferentes canteras de Arequipa en sustitución parcial del 20%, 30% y 40% del cemento para la elaboración de concreto, permitirá lograr un concreto con menores costos, manteniendo la resistencia y mejorando plasticidad en el concreto.

1.8. VARIABLES O INDICADORES

a. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Canteras.
- Puzolana.
- Resistencia de Diseño.
- Método.
- Costo.
- Beneficio.

b. VARIABLES DEPENDIENTES

- Resistencia a la compresión del concreto ($f'c$).
- Slump.
- Resistencia Mecánica a tracción.
- Dureza.



2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CEMENTOS ADICIONADOS

2.1.1. DEFINICIÓN DE UN CEMENTO ADICIONADO

Los cementos adicionados están compuestos por una mezcla de clínker, yeso y adiciones minerales utilizadas que varían entre puzolanas, fillers y escorias de alto horno, las cuales agregan ciertas propiedades de valor agregado al cemento, manteniendo sus propiedades. Los cementos adicionados se estudian no actualmente sino desde hace bastante tiempo; realmente, poco después del descubrimiento del cemento Pórtland, sobre todo en lo que se refiriere a la adición de escoria de alto horno (residuos de plantas) y puzolanas naturales. Sin embargo, en ese tiempo la demanda totalmente abastecida no propicia su utilización de modo alguno. Fue después de las dos guerras mundiales que surge la necesidad de una mayor producción del cemento, debido a la reconstrucción de una Europa devastada y años más tarde con la crisis del petróleo de 1973 en que toma preponderancia el ahorro de energía; los cementos adicionados resultan en la industria de la construcción una gran ventaja, ya que la adición no es calcinada y se produce un ahorro de combustible considerable dependiendo del diseño usado. También comienza a darse prioridad al cuidado del ambiente de forma que el menor uso de combustibles deviene en menor contaminación, así pues, con los cementos adicionados se logra la disminución de la huella de carbono atribuida a la fabricación del cemento, además del uso de pasivos industriales que también atentan contra el ambiente. Como ventaja adicional, los concretos con cementos adicionados presentan algunas ventajas tecnológicas con respecto a los tradicionales, sobre todo en referencia a resistencias mayores a largo plazo y mayor durabilidad gracias a la impermeabilidad y a las adiciones en sí mismas. Ante estas ventajas, el mundo usa actualmente los cementos adicionados de manera muy extendida (alrededor del 85 %). En el Perú cada vez se fabrican más tipos y mayores volúmenes en todas las plantas de cemento. (Biondi Shaw, 2005, pág. 4)

2.1.2. TIPOS DE CEMENTOS ADICIONADOS

Los tipos de cementos adicionados más producidos y utilizados en el mundo entero.

- Los Cementos con escoria de alto horno
- Los Cementos puzolánicos
- Los Cementos con filler

Existen numerosos cementos dentro de estos tipos, pero se tratarán solo los considerados en las normas técnicas peruanas derivadas de las normas ASTM. Así se tiene una norma específica para los cementos adicionados, la NTP 334.090. CEMENTOS. Cementos Pórtland adicionados, la cual corresponde a la norma ASTM C595, pero existe además la norma NTP 334.082. CEMENTOS. Cementos Portland. Especificación de la Performance que deviene de la norma ASTM C1157, que, aunque es válida actualmente para todos los cementos, se inició como norma para los cementos adicionados, ya que en esencia es específicamente apropiada para estos. La NTP 334.090 CEMENTOS. Cementos Portland Adicionados. Requisitos considera actualmente los cementos siguientes: Cemento adicionado binario: Es una mezcla íntima y uniforme por molienda o molienda y mezclado de Clinker de cemento Portland y escoria, puzolanas o filler. Cemento adicionado ternario: Es una mezcla íntima y uniforme por molienda o molienda

y mezclado de clinker de cemento Pórtland y:

- Dos puzolanas diferentes.
- Escoria de alto horno y puzolana.
- Puzolana y caliza.
- Escoria y caliza.

Estos cementos deben cumplir con los requisitos físicos y químicos de la norma correspondiente.

NTP 334.082. CEMENTOS. CEMENTOS PORTLAND. ESPECIFICACIÓN DE LA PERFORMANCE. La NTP 334.082. CEMENTOS. Cementos Portland. (Biondi Shaw, 2005).

2.1.3. LAS PUZOLANA VOLCANICAS Y CANTERAS A NIVEL NACIONAL

La ceniza volcánica se puede englobar dentro del grupo de las rocas volcánicas, las cuales se constituyen en vidrios amorfos debido al enfriamiento brusco de la lava. Con una composición similar a la piedra pómez o la obsidiana, surgen de la deposición y sedimentación de finas partículas de magma que son expulsadas al aire durante la erupción, o bien de la solidificación de la propia lava.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Perú produjo más de 20 millones de toneladas de minerales no metálicos en el 2010, registrando un crecimiento de 33% respecto al 2006. Los sectores de destino tradicionales de los minerales no metálicos en el Perú han sido el sector construcción y las industrias de materiales de construcción, de cerámica, y en menor grado, la de fertilizantes y químicos.

Los productos mineros no metálicos con mayor volumen de producción (más de 100 mil toneladas) en el Perú son: caliza, hormigón, arena, arcilla, puzolana (en estado natural), boratos, yeso, sílice, carbón. De los minerales que conforman este grupo, los de mayor producción en el año 2010 son la caliza y el hormigón.

| PRODUCCIÓN MINERA NO METÁLICA 2005 - 2010 (Ton. Métrica) | | | | | |
|--|---------|---------|----------|----------|----------|
| PRODUCTOS | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| CALIZA | 8425304 | 9609966 | 10226820 | 10303932 | 11528146 |
| HORMIGON | 1773107 | 2659359 | 5798074 | 5503685 | 3674739 |
| ARENA | 2041646 | 2248222 | 2802838 | 2891460 | 2799022 |
| ARCILLA | 948617 | 2183804 | 1720838 | 2020623 | 1119763 |
| PUZOLANA | 278477 | 329266 | 425095 | 477591 | 700514 |
| YESO | 290418 | 330687 | 463134 | 321012 | 308051 |
| BORATOS | 0 | 233991 | 349891 | 187221 | 292855 |
| SILICE | 175556 | 203872 | 266318 | 218846 | 277195 |
| CARBON | 71185 | 100621 | 142021 | 161428 | 88219 |

FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL PERÚ

TABLA 1 Producción de minerales no metálicos en el Perú en el año 2005-2010

Para la elección de las puzolanas correspondientes a la presente investigación, se realizaron visitas a diferentes canteras de Arequipa, con la finalidad de verificar la disponibilidad y volúmenes existentes de puzolana en estado natural.

2.1.4. DESEMPEÑO MEDIOAMBIENTAL

Actualmente el uso de las puzolanas y escorias va encaminado no solamente a buscar un rendimiento en la producción, sino también para lograr un mayor beneficio ecológico utilizando menos Clinker, consecuentemente logrando una menor emisión de CO₂ a la atmósfera y disminuyendo considerablemente los costos de la generación de energía para la producción del cemento, aprovechando las bondades hidráulicas de las puzolanas. Cada tonelada de cemento fabricado para su uso en el concreto da una tonelada de emisiones de gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. En el Perú, la producción de cemento representa aproximadamente el 5 por ciento de todas las emisiones de CO₂ relacionadas con la actividad humana.

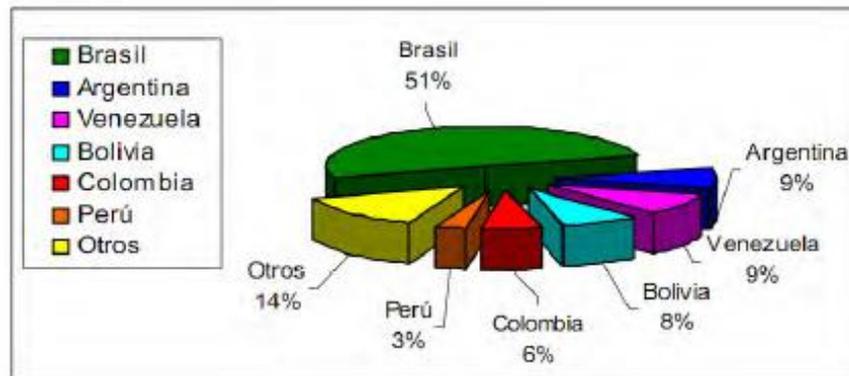


Figura 1: Total de emisión de CO₂ en América Latina (Fuente SCOTIABANK)

2.2. APLICACIONES DEL CONCRETO ADICIONADO

2.2.1. INTRODUCCIÓN

Los cementos adicionados o compuestos, son mezclas de Clinker de cemento Portland, sulfato de calcio (yeso) y adiciones minerales; estos cementos pueden ser producidos por molienda conjunta de esos componentes o por la mezcla de los componentes finamente molidos.

Las adiciones hidráulicas al igual que las puzolánicas son llamadas adiciones activas; a pesar de que estos materiales pueden tener propiedades muy diferentes entre sí, todos ellos se conforman esencialmente de los mismos elementos químicos que el Clinker Portland, es decir, óxidos de sílice, de alúmina y de calcio.

La producción de los cementos adicionados se ha venido incrementando de modo importante en todo el mundo por múltiples razones:

- Mejoramiento de las propiedades del cemento y su calidad
- Posibilidad de producir cementos especiales para aplicaciones específicas
- Necesidad de disminuir las emisiones de CO₂ y de calor a la atmósfera.
- Posibilidad de usar subproductos de otras industrias
- Incremento de la producción en la industria cementera por reducción de costos de producción, confiabilidad al seleccionar sistemas de molienda y menor riesgo de inversión.

2.2.2. TIPOS DE CONCRETOS ADICIONADOS Y APLICACIONES

La ASTM C 1557 presenta seis tipos de cementos mezclados, los cuales van a ser discutidos como Cementos Hidráulicos. Los cementos mezclados que estén de acuerdo con los requisitos de la C 1157, satisfacen a los requisitos de ingredientes o composición química del cemento. Esto permite que el productor de cemento, buscando optimizar las propiedades de resistencia y durabilidad, usando gran variedad de materiales cementantes, tales como Clinker Portland, escoria de alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales y arcilla calcinada.

2.2.2.1. TIPO IS

Se puede usar el cemento Portland de alto horno, tipo IS, para construcción en concreto en general. El uso histórico de cementos mezclados con escorias data del inicio del siglo XX en Europa, Japón y América del Norte. En la producción de estos cementos, la escoria granulada de alto horno tanto se muele juntamente con el Clinker del cemento Portland como se la muele separadamente y se mezcla con el cemento portland o entonces se lo produce con la combinación de molienda conjunta y mezclado. El contenido de escoria de alto horno en este cemento esta entre 25% y 70% de la masa del cemento. Hay otras subcategorías (propiedades especiales opcionales tales como aire incluido, moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

2.2.2.2. TIPO IP Y TIPO P

Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP o tipo P se lo puede usar para la construcción en general y el tipo P se usa en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales. Se fabrican estos cementos portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos esta entre 15% y 40% de la masa del cemento. Los ensayos de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del tipo I.

2.2.2.3. TIPO I (PM)

Los cementos portland modificados con puzolana, tipo I (PM), se usan en construcciones de concreto en general. El cemento se fabrica con la combinación del cemento portland o el cemento portland de alto horno y una puzolana fina. Esta combinación se puede lograr por:

- El mezclado del cemento portland con la puzolana.
- El mezclado del cemento portland de alto horno con la puzolana
- La molienda conjunta del cemento portland y de la puzolana
- La combinación de la molienda y el mezclado.

El contenido de puzolana es menor que 15% de la masa del cemento final.

2.2.2.4. TIPO S

El cemento de escoria de alto horno se usa con el cemento portland para la confección de concreto o con cal para la preparación de mortero, pero no se lo emplea separadamente en concreto estructural. El cemento de escoria se produce por:

- Mezclado de la escoria granulada de alto horno y el cemento portland
- Mezclado de la escoria granulada de alto horno con cal hidratada
- Mezclado de una combinación de escoria granulada de alto horno, cemento portland y cal hidratada.

El contenido mínimo de escoria es del 70% de la masa del cemento.

2.2.2.5. TIPO I (SM)

El cemento portland modificado con escoria, tipo I (SM), se usa para construcciones de concreto en general, Este cemento se produce por:

- Molienda conjunta de Clinker de cemento portland con la escoria granulada de alto horno.
- Mezcla del cemento portland con la escoria granulada alto horno finamente molida.
- Una combinación de molienda conjunta y mezclada.

El contenido de escoria es menor que 25% de la masa del cemento final.

2.3. PUZOLANAS Y UBICACIÓN DE LAS CANTERAS DE AREQUIPA

2.3.1. DEFINICIÓN DE PUZOLANA

Bajo esta denominación están comprendidos materiales naturales, artificiales o subproductos, capaces de reaccionar con la cal liberada en la hidratación de los minerales (silicatos) del Clinker, combinándose con ella y fijándola a temperatura ordinaria.

La norma ASTM C 618 y N.T.P. 334.090 define a la puzolana de la siguiente manera, “Es un material silíceo o sílico-aluminoso, que finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas”.

En lo que concierne a las puzolanas-subproductos (en este sentido son también artificiales), las más genuinas son las cenizas volantes de centrales termoeléctricas, recogidas de los humos y gases de combustión de los carbones, por precipitación en separadores electrostáticos; y más recientemente el llamado "polvo de sílice" o "humo de sílice".

Por ser la acción puzolánica un fenómeno de interacción en el que influye mucho la superficie (total y específica) del material activo, éste debe estar molido a gran finura. La composición química y mineralógica de las puzolanas en general es muy variable, según su origen y naturaleza. (Calleja, 1977, pág. 28)

2.3.2. PUZOLANAS NATURALES

Las puzolanas llamadas naturales son cenizas volcánicas, se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo y pueden ser rocas volcánicas de naturaleza diversa.

Tufos o tobas volcánicas (zeolitas), producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética.

Tierras de diatomeas (diatomitas), puzolanas de origen orgánico. Depósitos de caparzones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas). (Soria Santamaria, 1995, pág. 16)

2.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS PUZOLANAS NATURALES

Las puzolanas se clasifican en puzolanas naturales y artificiales, las propiedades físicas y químicas de las puzolanas se ven en los Cuadros Según la NTP 334.104 y ASTM C 618 (Cementos. Adiciones minerales del concreto: puzolana natural cruda o calcinada y

ceniza volante. Especificaciones). Definen tres clases de cenizas volantes:

- Clase F: Ceniza volante producidas por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.
- Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tufos y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.
- Clase C: Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementicias.

| Composición Química | Clase de N | Adición F | Mineral C |
|--|------------|-----------|-----------|
| Dióxido de silicio + óxido de aluminio + óxido de fierro, min, % | 70 | 70 | 50 |
| Trióxido de azufre (SO ₃), máx, % | 4 | 5 | 5 |
| Contenido de humedad, máx, % | 3 | 3 | 3 |
| Pérdida por calcinación, máx, % | 10 | 6 | 6 |

FUENTE: Ing Rosaura Vásquez - Tecnología de la construcción

TABLA 2 Requisitos químicos de las puzolanas

| Requisitos | Clase de N | Adición F | Mineral C |
|---|------------|-----------|-----------|
| Fineza: Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 um (N ^o 325), máx, % | 34 | 34 | 34 |
| Índice de actividad resistente. Con cemento portland, a 7 días, mín, %. Con cemento portland, a 28 días, mín, % | 75 | 75 | 75 |
| Demanda de agua, máx, % del control | 115 | 105 | 105 |
| Estabilidad. Expansión, contracción en autoclave, máx. | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Requisitos de uniformidad: Densidad, máxima variación del promedio, %. Porcentaje retenido en 45 um (N ^o 325), variación máx, puntos de % del promedio | 5 | 5 | 5 |

FUENTE: Ing Rosaura Vásquez - Tecnología de la construcción

TABLA 3 Requisitos Físicos de las puzolanas

2.3.3. *CANTERA DE YURA*

La cantera de puzolana se encuentra al noreste de la ciudad de Arequipa, cubriendo varios km² de área. Corresponde a una toba riolítica de color rosado, con cristales de cuarzo, feldespato y como inclusiones fragmentos de andesitas en una matriz fina, de textura terrosa, poco coherentes, disgregable fácilmente con la mano, litológicamente pertenece al miembro Añashuayco del volcánico Sencca.

Las puzolanas existentes en esta zona tienen un porcentaje de sílice mayor al 70% por lo que resulta un material de buena calidad para la industria de la construcción, en especial para la fabricación del cemento puzolánico.

2.3.4. *CANTERA DE CARRETERA PANAMERICANA SUR KM 48*

La cantera de puzolana se encuentra al sureste de la ciudad de Arequipa, Su morfología está dada por pequeñas planicies donde destacan lomadas de pendientes suaves y regulares con perfiles algo simétricos, interrumpidos por depresiones angostas, pero no muy profundas cubriendo varios km² de área. Corresponde a una toba riolítica de color blanca, con cristales de cuarzo y feldespato, de textura terrosa, poco coherentes, disgregable difícilmente con la mano, es una cantera todavía no muy utilizada y poco conocida, pero representa una gran opción para cementos puzolánicos.

Las puzolanas existentes en esta zona tienen un porcentaje de sílice mayor al 70% por lo que resulta un material de buena calidad para la industria de la construcción, en especial para la fabricación del cemento puzolánico



Ilustración 1 Vista en planta de la cantera del km 48

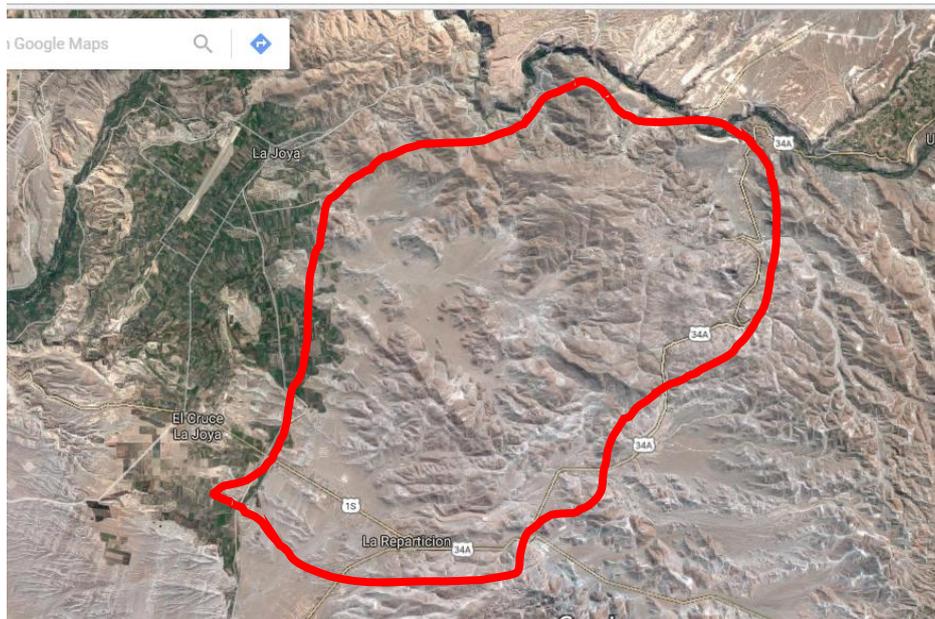


Ilustración 2 Extensión aproximada de la cantera de puzolana blanca km 48

2.3.5. CANTERA DE PIEDRA POMEZ

La piedra pómez o diatomita es una roca formada en su mayor parte por frústulas de organismos unicelulares llamadas diatomeas con dimensiones microscópicas, formando una roca ligera y permeable. Estos organismos forman colonias en agua dulce o salobre, donde el agua contiene abundantes nutrientes y sílice. Las frústulas están formadas por sílice amorfa (ópalo) casi pura y tienen oquedades ordenadas de distinta manera en cada especie.

La roca formada por dichas frústulas es extremadamente porosa, mala conductora de calor y electricidad, químicamente inerte, cuando seca es liviana, capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos.

La existencia de un medio rico en sílice es condición primordial para la existencia de diatomeas, razón por la cual se suelen relacionar los depósitos de diatomeas con emisiones volcánicas ácidas o con formaciones rocosas ricas en sílice, que sirvan como fuente de SiO_2 .

La cantera utilizada en esta investigación se ubica a la salida de Arequipa por la Panamericana Sur en el Km 34.



Ilustración 3 Vista en planta de la cantera de Piedra Pómez

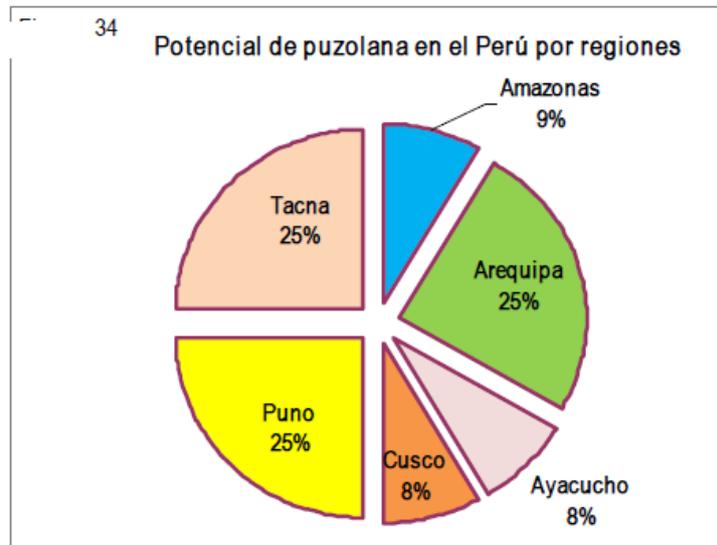
2.3.6. POTENCIAL ESTIMADO DE PUZOLANA Y PIEDRA POMEZ EN LA REGION DE AREQUIPA

2.3.6.1. POTENCIAL ESTIMADO DE PUZOLANA EN LA REGION AREQUIPA

La existencia de puzolanas en la región es grande, sin embargo, solo existen 3 canteras registradas en actividad, según la información consultada y disponible en el Ministerio de Energía y Minas.

Las dimensiones que se consideraron para estimar el potencial y la cantidad de puzolana en los volcánicos Sencca se indican a continuación:

- Área aprovechable estimada: 250 760 800 m²
- Volumen total: 2 006 086 400 m³
- Densidad: 0.98
- Volumen final con un castigo del 30%: 1 404 260 480 m³
1 376 175 270 T.M.



Fuente: Elaborado por A. Díaz a partir de información de la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas, Estudios de los recursos minerales del Perú, trabajos de campo (año 2007).

Figura 2 Potencial de puzolana en el Perú por regiones

Producción de puzolana de la región Arequipa

| Años | Cantidad en T.M. | Valor en nuevos soles |
|------|------------------|-----------------------|
| 2000 | 120 406 | 2 167 308 |
| 2001 | 190 913 | 3 436 434 |
| 2002 | 189 136 | 3 404 448 |
| 2003 | 187 359 | 3 372 462 |
| 2004 | 185 359 | 3 336 462 |
| 2005 | 164 713 | 2 964 834 |
| 2006 | 200 000 | 3 600 000 |
| 2007 | 340 325 | 6 125 850 |
| 2008 | 369 514 | 6 651 252 |
| 2009 | 361 100 | 6 499 800 |

Fuente: Elaborado con información de la DGM del MEM y datos de campo.

Figura 3 Producción de puzolana de la región Arequipa

2.3.6.2. POTENCIAL ESTIMADO DE PIEDRA POMEZ EN LA REGIÓN AREQUIPA

Las dimensiones que se consideraron para estimar el potencial y la cantidad de material de las 4 canteras de Arequipa consultada y disponible según el Ministerio de Energía y Minas se indican a continuación:

- Área aprovechable estimada: 207 500 m²
- Volumen total: 1 150 950 m³
- Densidad: 0.42
- Volumen final con un castigo del 30%: 805 665 m³
338 379 T.M.

3. CAPÍTULO III: PROPIEDADES DE AGREGADOS, PUZOLANAS Y DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ADICIONADO CON PUZOLANA

3.1.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Los Agregados son aquellos materiales de forma granular o fibrosa que con preparación especial o sin ella han de ser tratadas con cemento para formar el concreto.

El aspecto casi fundamental de los agregados es la granulometría y su módulo de fineza, para esto tenemos especificaciones que seguir tanto para material grueso como para material fino. Además, es necesario conocer el peso o densidad de los materiales y porcentaje de absorción.

Según la Norma NTP 400.010, se establecen los previos muestreos del agregado.

3.1.2. Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75mm (Nro. 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en las ASTM y la Norma técnica Peruana.

- Tamaño máximo del Agregado Grueso (TM): Es el definido por el que corresponde al menor tamiz por el que pasa todas las muestras del Agregado Grueso. Se considera cuando incrementa el tamaño máximo del agregado, se reduce los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 1 1/2”.
- Tamaño máximo Nominal del Agregado Grueso: Es definido por el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. Por el cual el agregado grueso pasa del 95% al 100%.
- Gravedad específica normal o nominal: Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de un material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) entre o a la masa en el aire (mismas condiciones), de un volumen de agua destilada libre de gas, volumen correspondiente a la parte sólida del material.

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C=Peso sumergido de la muestra.

$$Ge = \frac{A}{A - C}$$

- Gravedad específica saturada: Es el mismo concepto de peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C=Peso sumergido de la muestra.

$$Ge\ sss = \frac{B}{B - C}$$

- **Gravedad específica aparente o relativa:** Es la relación, a una temperatura estable de la masa en el aire de volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada.

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C=Peso sumergido de la muestra.

$$Ge\ aparente = \frac{A}{B - C}$$

- **Porcentaje de Absorción:** Es la cantidad de agua absorbida por el agregado grueso en después de ser sumergido 24 horas en esta.

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C=Peso sumergido de la muestra.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

| PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN | |
|-----------------------------|--------|
| PSSS (B) (Kg) | 2 |
| PESO SUMERGIDO (C) (Kg) | 1.2575 |
| PESO SECO (A) (Kg) | 1.9695 |

| PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA | |
|--|-------------|
| PeSSS | 2.693602694 |

| PESO ESPECIFICO APARENTE | |
|--------------------------|-------------|
| Pea | 2.766151685 |

| ABSORCION | |
|-----------|-----------|
| Ab | 1.548616% |

| PESO ESPECIFICO DE MASA | |
|-------------------------|-------------|
| Pem | 2.652525253 |

TABLA 4 Peso específico y absorción

- **Peso unitario compactado:** Este método se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto. Se determina de esta manera al peso que alcanza un determinado volumen unitario, previamente varillado en tres capas. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico, y se realiza el ensayo unas tres veces.

Tomando en cuenta las capacidades del envase, se tiene:

Donde:

PUC= Peso unitario suelto del Agregado Grueso.

Wmc=Peso de muestra compactada.

V= Volumen interno del recipiente.

$$PUS = \frac{W_{mc}}{V}$$

| | | | | |
|------------------------|---------|----------------------------|--------|-------------|
| PESO UNTARIO | | OLLA | D (m) | 0.2035 |
| PESO OLLA | 4.825 | | h (m) | 0.29136 |
| 1RA PESO SUELTO | 18.415 | | V (m3) | 0.009476515 |
| 2DA PESO SUELTO | 18.3 | 1RA PESO COMPACTADO | | 19.355 |
| 2DA PESO SUELTO | 18.3575 | 2RA PESO COMPACTADO | | 19.42 |
| | | 2RA PESO COMPACTADO | | 19.3875 |

| | |
|-----------------------|------------|
| PUS (g/cm3) | 1.42800392 |
| PUC (g/cm3) | 1.53669367 |

| | | | | | |
|---------------------------------|------------|-------------|-------------------------------------|------------|-------------|
| 1ER PESO UNITARIO SUELTO | 1434.07155 | 1.434071549 | 1ER PESO UNITARIO COMPACTADO | 1533.26414 | 1.533264136 |
| 2DO PESO UNITARIO SUELTO | 1421.93629 | 1.421936286 | 2DO PESO UNITARIO COMPACTADO | 1540.1232 | 1.540123198 |
| 3DO PESO UNITARIO SUELTO | 1428.00392 | 1.428003917 | 3DO PESO UNITARIO COMPACTADO | 1536.69367 | 1.536693667 |

TABLA 5 Peso unitario

- **Contenido de humedad:** Las humedades se convierten en el factor modificador de la relación agua-cemento de las mezclas para excesos de fluidez y consistencias inmanejables en las mezclas frescas.

$$w\% = \frac{W_m - W_s}{W_s}$$

Donde:

W%: Contenido de humedad.

Wm: Peso del agregado en estado natural.

Ws: Peso del agregado en estado seco.

| Agregado Grueso | | |
|-----------------|-------------|-----------|
| 1 | Peso seco | 2 kg |
| | Peso humedo | 1.997 kg |
| | Humedad | 0.15 % |
| 2 | Peso seco | 2 kg |
| | Peso humedo | 1.9969 kg |
| | Humedad | 0.155 % |
| 3 | Peso seco | 2 kg |
| | Peso humedo | 1.9971 kg |
| | Humedad | 0.145 % |

TABLA 6 Contenido de humedad

- **Ensayo de Abrasión:** Ensayo para determinar el desgaste de los agregados por el medio de la máquina de los ángeles.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

P1= Peso de la muestra seca antes del ensayo.

P2= peso de la muestra seca después del ensayo, previo tamizado por el tamiz 1.70mm (NO 12).

| ABRASIÓN | |
|-----------------------|-----------|
| PESO INICIAL | 3.33 |
| PESO EN LA MALLA N°12 | 2.79 |
| % DE ABRASION | 16.21622% |

TABLA 7 Abrasión

- **Granulometría:** Según la ASTM C- 33, el agregado deberá tener ciertos límites establecidos en la Norma. La denominación en unidades inglesas (tamices ASTM) se hace según el tamaño de la abertura en pulgadas para los tamaños grandes y los números de aberturas por pulgada lineal para tamices mayores al tamiz N°4.

TAMAÑOS ESTÁNDARES DE AGREGADOS PROCESADOS

| Tamaño | Tamaño Nominal (pulgadas) | Tamaño nominal (mm) | 4" (100mm) | 3W" (90mm) | 3" (75mm) | 2W" (63mm) | 2" (50mm) | 1W" (37.5mm) | 1" (25mm) | 3/4" (19mm) | 1/2" (12.5mm) | 3/8" (9.5mm) | No. 4 (4.75mm) | No. 8 (2.36mm) | No. 16 (1.18mm) | No. 50 (30mm) | No. 150 (150mm) |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|---|------------|-----------|------------|-----------|--------------|-----------|-------------|---------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|
| (Aberturas Cuadradas) | | | Cantidades más pequeñas que cada malla (Aberturas Cuadradas), porcentaje de pesoñ | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 1/2 a 1 1/2 | 90 a 37.5 | 100 | 90 a 100 | | 25 a 60 | | 0 a 15 | | 0 a 5 | | | | | | | |
| 2 | 2 1/2 a 1 1/2 | 63 a 37.5 | | | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | | 0 a 5 | | | | | | | |
| 24 | 2 1/2 a 5/4 | 63 a 19.0 | | | 100 | 90 a 100 | | 25 a 60 | | 0 a 10 | 0 a 5 | | | | | | |
| 3 | 2 a 1 | 50 a 25.0 | | | | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | | 0 a 5 | | | | | | |
| 357 | 2 a No. 4 | 50 a 4.75 | | | | 100 | 95 a 100 | | 35 a 70 | | 10 a 30 | | 0 a 5 | | | | |
| 4 | 1 1/2 a 3/4 | 37.5 a 19.0 | | | | | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | | 0 a 5 | | | | | |
| 467 | 1 1/2 a No. 4 | 37.5 a 4.75 | | | | | 100 | 95 a 100 | | 35 a 70 | | 10 a 30 | 0 a 5 | | | | |
| 5 | 1 a 1/2 | 25.0 a 12.5 | | | | | | 100 | 90 a 100 | 20 a 35 | 0 a 10 | 0 a 5 | | | | | |
| 56 | 1 a 3/8 | 25.0 a 9.5 | | | | | | 100 | 90 a 100 | 40 a 85 | 10 a 40 | 0 a 15 | 0 a 5 | | | | |
| 57 | 1 a No. 4 | 2 5.0 a 4.75 | | | | | | 100 | 95 a 100 | | 25 a 60 | | 0 a 10 | 0 a 5 | | | |
| 6 | 3/4 a 3/8 | 19.0 a 9.5 | | | | | | | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | | | | |
| 67 | 3/4 a No. 4 | 19.0 a 4.75 | | | | | | | 100 | 90 a 100 | | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | | | |
| 68 | 3/4 a No. 8 | 19.0 a 2.36 | | | | | | | 100 | 90 a 100 | | 30 a 65 | 5 a 25 | 0 a 10 | 0 a 5 | | |
| 7 | 1/2 a No. 4 | 12.5 a 4.75 | | | | | | | | 100 | 90 a 100 | 40 a 70 | 0 a 15 | 0 a 5 | | | |
| 78 | 1/2 a No. 8 | 12.5 a 2.36 | | | | | | | | 100 | 90 a 100 | 40 a 75 | 5 a 25 | 0 a 10 | 0 a 5 | | |
| 8 | 3/8 a No. 8 | 9.5 a 2.36 | | | | | | | | | 100 | 85 a 100 | 10 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 | | |
| 89 | 3/8 a No. 16 | 9.5 a 1.18 | | | | | | | | | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 5 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 | |
| 9 | No. 4 a No. 16 | 4.75 a 1.18 | | | | | | | | | | 100 | 85 a 100 | 10 a 40 | 0 a 10 | 0 a 5 | |
| 10 | No. 4 a No. 0 ^A | 4.75 | | | | | | | | | | 100 | 85 a 100 | | | | 10 a 30 |

TABLA 8 Tamaños estándares de agregados procesados 1997

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS,

ENSAYO 1

| GRANULOMETRIA Ag. Grueso | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.198 | 9.89 | 9.89 | 90.11 | 198.00 | 9.89 | 9.89 | 90.11 |
| 3/8" | 9.53 | 0.4485 | 22.45 | 32.33 | 67.67 | 448.50 | 22.45 | 32.33 | 67.67 |
| # 4 | 4.76 | 1.19 | 59.43 | 91.76 | 8.24 | 119.00 | 59.43 | 91.76 | 8.24 |
| # 8 | 2.38 | 0.1535 | 7.72 | 99.48 | 0.52 | 153.50 | 7.72 | 99.48 | 0.52 |
| # 16 | 1.19 | 0.0045 | 0.27 | 99.75 | 0.25 | 4.50 | 0.27 | 99.75 | 0.25 |
| # 30 | 0.59 | 0.005 | 0.25 | 100.00 | 0.00 | 5.00 | 0.25 | 100.00 | 0.00 |
| # 50 | 0.30 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 100 | 0.15 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 200 | 0.07 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| Fondo | | 0.0005 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 1.9995 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 6.23 |

TABLA 9 Ensayo 1 de granulometría del agregado grueso

ENSAYO 2

| GRANULOMETRIA Ag. Grueso | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.1925 | 9.63 | 9.63 | 90.37 | 192.5 | 9.63 | 9.63 | 90.37 |
| 3/8" | 9.53 | 0.601 | 30.07 | 39.70 | 60.30 | 601 | 30.07 | 39.70 | 60.30 |
| # 4 | 4.76 | 1.1325 | 56.67 | 96.37 | 3.63 | 1132.5 | 56.67 | 96.37 | 3.63 |
| # 8 | 2.38 | 0.07 | 3.50 | 99.87 | 0.13 | 70.0 | 3.50 | 99.87 | 0.13 |
| # 16 | 1.19 | 0.0005 | 0.03 | 99.90 | 0.10 | 0.5 | 0.03 | 99.90 | 0.10 |
| # 30 | 0.59 | 0.002 | 0.10 | 100.00 | 0.00 | 2.0 | 0.10 | 100.00 | 0.00 |
| # 50 | 0.30 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 100 | 0.15 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 200 | 0.07 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| Fondo | | 0.0002 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 1.9985 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 6.36 |

TABLA 10 Ensayo 2 de granulometría del agregado grueso

ENSAYO 3

| GRANULOMETRIA Ag. Grueso | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.2 | 10.03 | 10.03 | 89.97 | 200 | 10.03 | 10.03 | 89.97 |
| 3/8" | 9.53 | 0.4395 | 22.03 | 32.06 | 67.94 | 439.5 | 22.03 | 32.06 | 67.94 |
| # 4 | 4.76 | 1.2 | 60.15 | 92.21 | 7.79 | 1200 | 60.15 | 92.21 | 7.79 |
| # 8 | 2.38 | 0.1445 | 7.24 | 99.45 | 0.55 | 144.5 | 7.24 | 99.45 | 0.55 |
| # 16 | 1.19 | 0.005 | 0.25 | 99.70 | 0.30 | 5.0 | 0.25 | 99.70 | 0.30 |
| # 30 | 0.59 | 0.006 | 0.30 | 100.00 | 0.00 | 6.0 | 0.30 | 100.00 | 0.00 |
| # 50 | 0.30 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 100 | 0.15 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 200 | 0.07 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| Fondo | | 0.00023 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 1.995 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 6.23 |

TABLA 11 Ensayo 3 de granulometría del agregado grueso

ENSAYO 4

| GRANULOMETRIA Ag. Grueso | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.195 | 9.77 | 9.77 | 90.23 | 195.00 | 9.77 | 9.77 | 90.23 |
| 3/8" | 9.53 | 0.585 | 29.32 | 39.10 | 60.90 | 585.00 | 29.32 | 39.10 | 60.90 |
| # 4 | 4.76 | 1.142 | 57.24 | 96.34 | 3.66 | 1142.00 | 57.24 | 96.34 | 3.66 |
| # 8 | 2.38 | 0.07 | 3.51 | 99.85 | 0.15 | 70.00 | 3.51 | 99.85 | 0.15 |
| # 16 | 1.19 | 0.00055 | 0.03 | 99.87 | 0.13 | 0.55 | 0.03 | 99.87 | 0.13 |
| # 30 | 0.59 | 0.0025 | 0.13 | 100.00 | 0.00 | 2.50 | 0.13 | 100.00 | 0.00 |
| # 50 | 0.30 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 100 | 0.15 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| # 200 | 0.07 | 0.000 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| Fondo | | 0.0003 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 1.99505 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 6.35 |

TABLA 12 Ensayo 4 de granulometría del agregado grueso

CURVA GRANULOMÉTRICA

ENSAYO 1

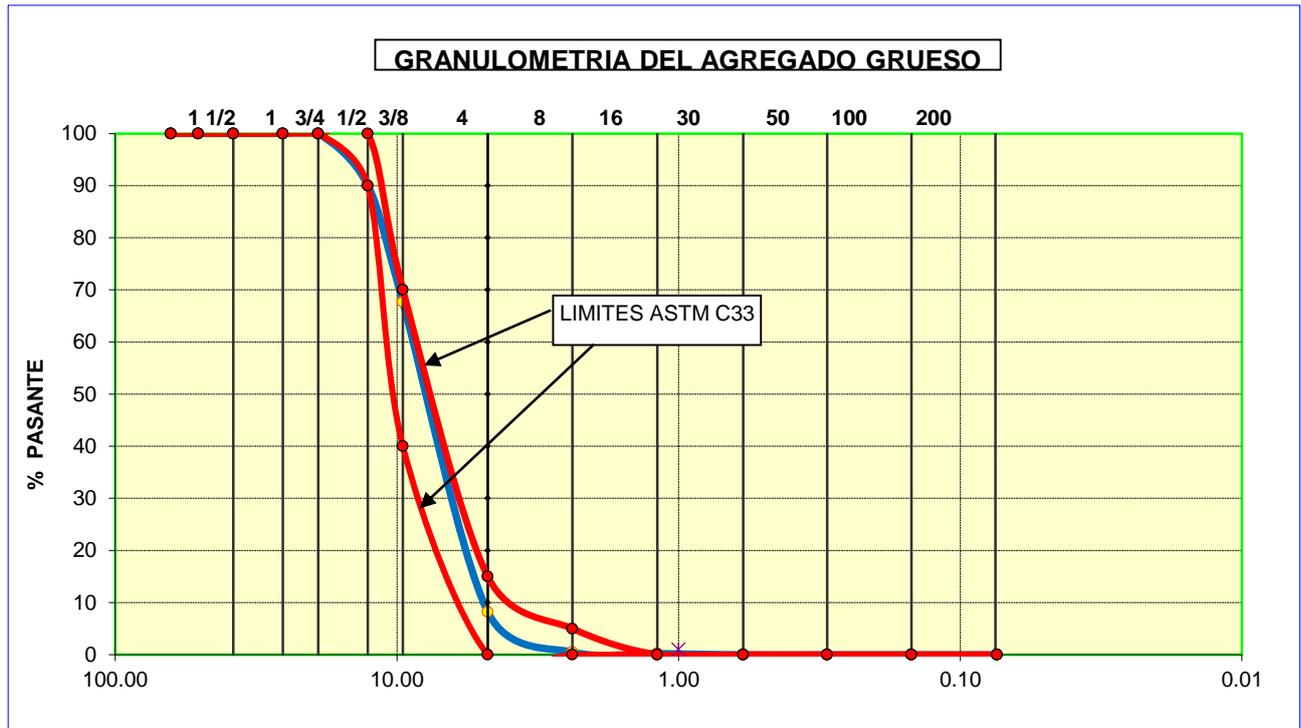


Figura 4 Granulometría del ensayo 1 del agregado grueso

ENSAYO 2

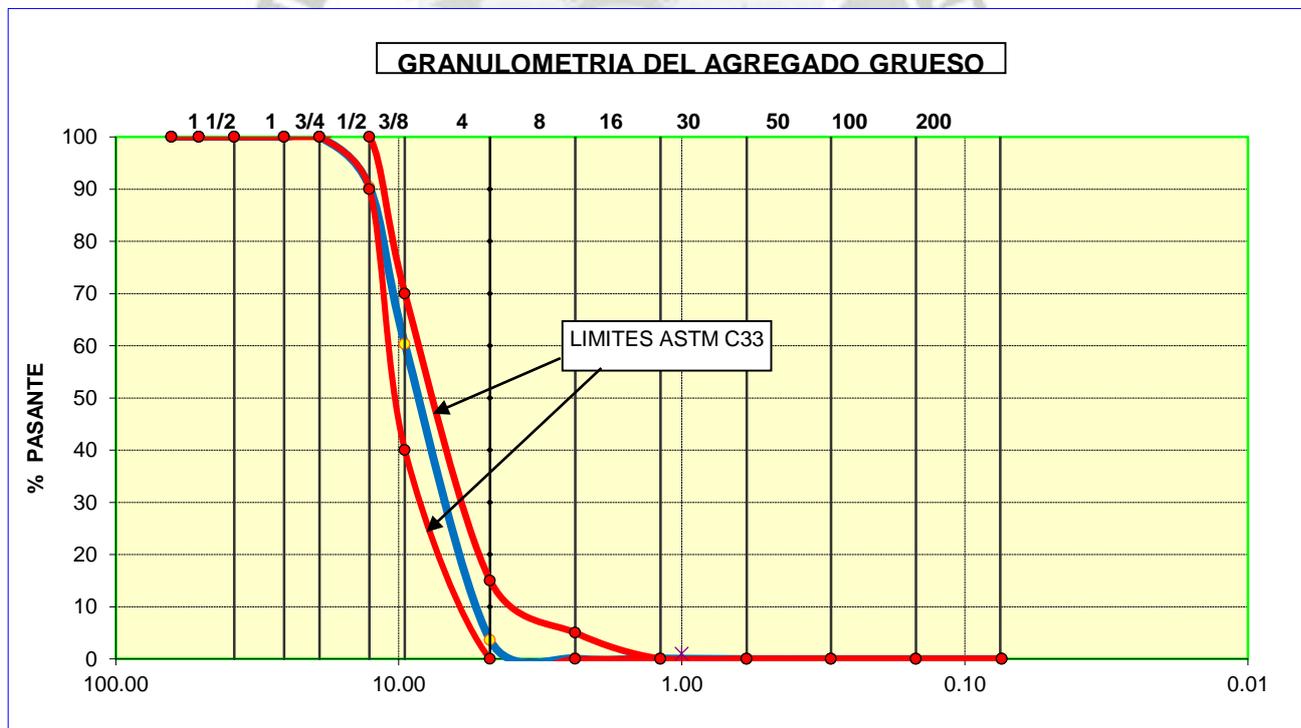


Figura 5 Granulometría del ensayo 2 del agregado grueso

ENSAYO 3

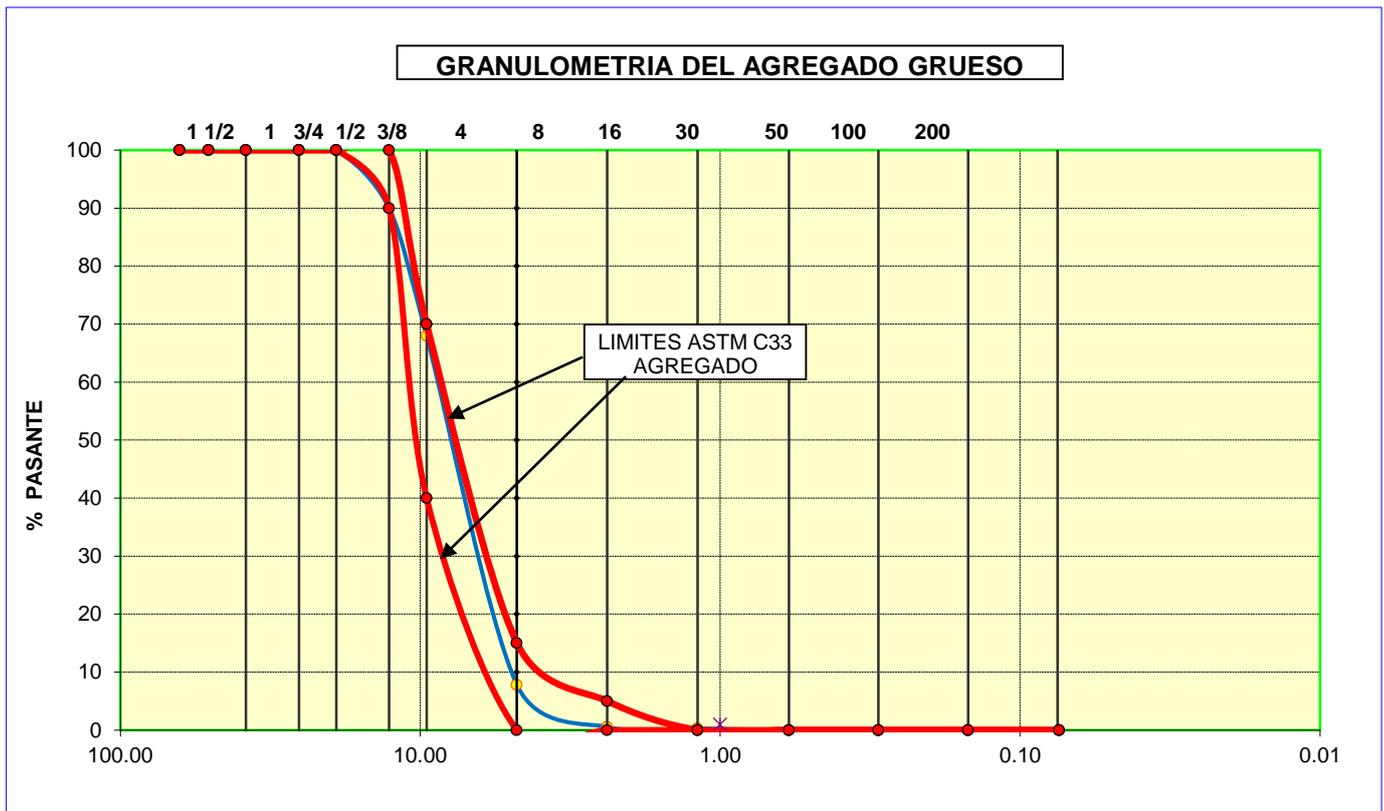


Figura 6 Granulometría del ensayo 3 del agregado grueso

ENSAYO 4

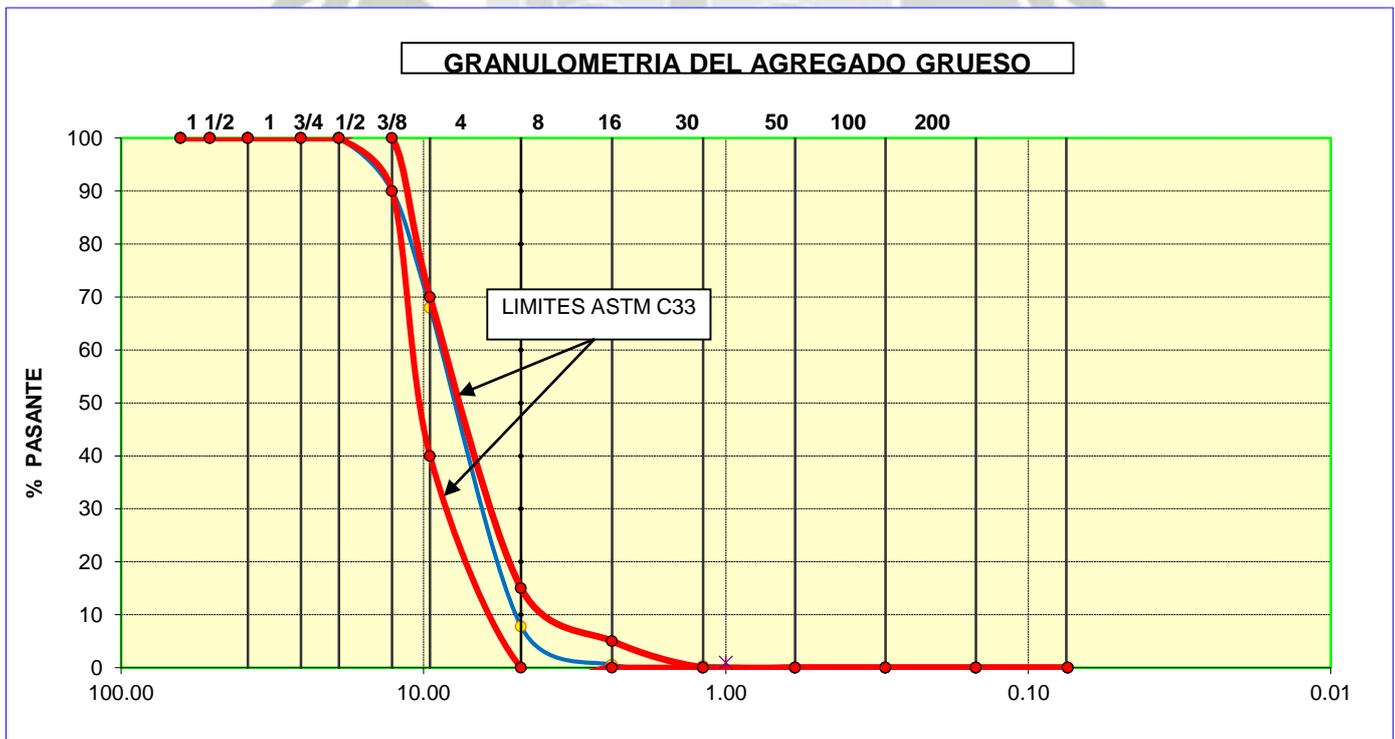


Figura 7 Granulometría del ensayo 4 del agregado grueso

3.1.3. Agregado Fino

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan por el tamiz 9.5mm (3/8") y que cumple con algunos límites establecidos.

- Porcentaje de Absorción: Consideraremos para una muestra de 500 gr. En condición SSS.

Donde:

A= Peso de la muestra seca.

| DATOS | Peso (kg) |
|---------------------------------------|-----------|
| PESO SATURADO SUPERICIALMENTE SECO | 0.5 |
| FIOLA + ARENA | 0.658 |
| FIOLA | 0.158 |
| FIOLA + ARENA + AGUA | 0.948 |
| ARENA SECA | 1.108 |

Tabla 13 Porcentaje de absorción del agregado fino

$$\% \text{ absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

| ENSAYO PESO ESPECIFICO | |
|------------------------|--------------------------|
| Va | 290 cm ³ |
| V | 500 cm ³ |
| Wo | 486 gr |
| Peso específico | 2.32 gr/cm ³ |
| Absorción | 2.46% |
| PeSSS | 2.381 gr/cm ³ |
| Pea | 2.465 gr/cm ³ |

TABLA 14 Peso específico del agregado fino

- Peso unitario compactado:

Donde:

PUC= Peso unitario suelto del Agregado Fino.

Wmc= Peso de muestra compactada.

V= Volumen interno del recipiente.

$$PUC = \frac{Wmc}{V}$$

- Peso unitario Suelto: Se determina de esta manera al peso que alcanza un determinado volumen unitario, sin varillar, tratando de loras se formen la mayor cantidad de vacíos entre las muestras de agregado.

Donde:

PUS= Peso unitario suelto del Agregado Fino.

Wms=Peso de muestra suelta.

V= Volumen interno del recipiente.

$$PUS = \frac{Wms}{V}$$

| ENSAYO PESO UNITARIO | | | | | |
|----------------------|---------------|------------------|----------------------|------------|---------------|
| ENSAYO | VOLUMEN (cm3) | PESO SUELTO (gr) | PESO COMPACTADO (gr) | PU suelto | PU compactado |
| 1 | 2817.394925 | 3760.5 | 4385 | 1.33474365 | 1.556402321 |
| 2 | 2817.394925 | 3767 | 4325 | 1.33705075 | 1.535106052 |
| 3 | 2817.394925 | 3764 | 4355 | 1.33598594 | 1.545754186 |

TABLA 15 Peso unitario del agregado fino

- Granulometría: Según la ASTM C- 33, el agregado deberá tener ciertos límites establecidos en la Norma. La denominación en unidades inglesas (tamices ASTM) se hacen según el tamaño de la abertura en pulgadas para los tamaños grandes y los números de aberturas por pulgada lineal para tamices menores de 3/8”.

Los límites y/o usos en el caso del Agregado Fino se ven determinados en la ASTM C33.(Inciso 6.1, pag5)

| Sieve (Specification E 11) | Percent Passing |
|----------------------------|-----------------|
| 9.5-mm (3/8-in.) | 100 |
| 4.75-mm (No. 4) | 95 to 100 |
| 2.36-mm (No. 8) | 80 to 100 |
| 1.18-mm (No. 16) | 50 to 85 |
| 600-µm (No. 30) | 25 to 60 |
| 300-µm (No. 50) | 5 to 30 |
| 150-µm (No. 100) | 0 to 10 |

TABLA 16 Límites del agregado fino ASTM C33

- Contenido de humedad:

| Agregado Fino | | |
|---------------|-------------|-----------|
| 1 | Peso seco | 2 kg |
| | Peso humedo | 1.9774 kg |
| | Humedad | 1.13 % |
| 2 | Peso seco | 2 kg |
| | Peso humedo | 1.9775 kg |
| | Humedad | 1.125 % |
| 3 | Peso seco | 2 kg |
| | Peso humedo | 1.9773 kg |
| | Humedad | 1.135 % |

TABLA 17 Contenido de humedad



ENSAYO 1

| GRANULOMETRIA Ag. Fino | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.53 | 0.005 | 1.00 | 1.00 | 99.00 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 99.00 |
| # 4 | 4.76 | 0.017 | 3.39 | 4.39 | 95.61 | 17.00 | 3.39 | 4.39 | 95.61 |
| # 8 | 2.38 | 0.051 | 10.18 | 14.57 | 85.43 | 51.00 | 10.18 | 14.57 | 85.43 |
| # 16 | 1.19 | 0.108 | 21.56 | 36.13 | 63.87 | 108.00 | 21.56 | 36.13 | 63.87 |
| # 30 | 0.59 | 0.136 | 27.54 | 63.67 | 36.33 | 136.00 | 27.54 | 63.67 | 36.33 |
| # 50 | 0.30 | 0.110 | 21.96 | 85.63 | 14.37 | 110.00 | 21.96 | 85.63 | 14.37 |
| # 100 | 0.15 | 0.045 | 8.98 | 94.61 | 5.39 | 45.00 | 8.98 | 94.61 | 5.39 |
| # 200 | 0.07 | 0.017 | 3.39 | 98.00 | 2.00 | 17.00 | 3.39 | 98.00 | 2.00 |
| Fondo | | 0.010 | 2.00 | 100.00 | 0.00 | 10.00 | 2.00 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 0.499 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 2.99 |

TABLA 18 Ensayo 1 de granulometría del agregado fino

ENSAYO 2

| GRANULOMETRIA Ag. Fino | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.53 | 0.015 | 2.99 | 2.99 | 97.01 | 15.00 | 2.99 | 2.99 | 97.01 |
| # 4 | 4.76 | 0.012 | 2.39 | 5.38 | 94.62 | 12.00 | 2.39 | 5.38 | 94.62 |
| # 8 | 2.38 | 0.04 | 8.17 | 13.55 | 86.45 | 40.00 | 8.17 | 13.55 | 86.45 |
| # 16 | 1.19 | 0.090 | 17.93 | 31.47 | 68.53 | 90.00 | 17.93 | 31.47 | 68.53 |
| # 30 | 0.59 | 0.135 | 27.09 | 58.57 | 41.43 | 135.00 | 27.09 | 58.57 | 41.43 |
| # 50 | 0.30 | 0.124 | 24.90 | 83.47 | 16.53 | 124.00 | 24.90 | 83.47 | 16.53 |
| # 100 | 0.15 | 0.052 | 10.36 | 93.82 | 6.18 | 52.00 | 10.36 | 93.82 | 6.18 |
| # 200 | 0.07 | 0.020 | 3.98 | 97.81 | 2.19 | 20.00 | 3.98 | 97.81 | 2.19 |
| Fondo | | 0.011 | 2.19 | 100.00 | 0.00 | 11.00 | 2.19 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 0.499 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 2.86 |

TABLA 19 Ensayo 2 de granulometría del agregado fino

ENSAYO 3

| GRANULOMETRIA Ag. Fino | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.53 | 0.006 | 1.20 | 1.20 | 98.80 | 6.00 | 1.20 | 1.20 | 98.80 |
| # 4 | 4.76 | 0.019 | 3.81 | 5.01 | 94.99 | 19.00 | 3.81 | 5.01 | 94.99 |
| # 8 | 2.38 | 0.044 | 8.82 | 13.83 | 86.17 | 44.00 | 8.82 | 13.83 | 86.17 |
| # 16 | 1.19 | 0.102 | 20.44 | 34.27 | 65.73 | 102.00 | 20.44 | 34.27 | 65.73 |
| # 30 | 0.59 | 0.145 | 29.06 | 63.33 | 36.67 | 145.00 | 29.06 | 63.33 | 36.67 |
| # 50 | 0.30 | 0.114 | 22.85 | 86.17 | 13.83 | 114.00 | 22.85 | 86.17 | 13.83 |
| # 100 | 0.15 | 0.046 | 9.22 | 95.39 | 4.61 | 46.00 | 9.22 | 95.39 | 4.61 |
| # 200 | 0.07 | 0.015 | 3.01 | 98.40 | 1.60 | 15.00 | 3.01 | 98.40 | 1.60 |
| Fondo | | 0.008 | 1.60 | 100.00 | 0.00 | 8.00 | 1.60 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 0.499 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 2.98 |

TABLA 20 Ensayo 3 de granulometría del agregado fino

ENSAYO 4

| GRANULOMETRIA Ag. Fino | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| MALLA | Abertura mm | PESO RETENIDO kg | % RETENIDO | % RETENIDO CUMULAD | % PASANTE | PESO RETENIDO gr | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMUL. | % PASANTE ACUMUL. |
| 21/2" | 63.50 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 50.80 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.40 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.05 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.70 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.53 | 0.003 | 0.61 | 0.61 | 99.39 | 3.00 | 0.61 | 0.61 | 99.39 |
| # 4 | 4.76 | 0.012 | 2.43 | 3.04 | 96.96 | 12.00 | 2.43 | 3.04 | 96.96 |
| # 8 | 2.38 | 0.040 | 8.11 | 11.16 | 88.84 | 40.00 | 8.11 | 11.16 | 88.84 |
| # 16 | 1.19 | 0.110 | 22.31 | 33.47 | 66.53 | 110.00 | 22.31 | 33.47 | 66.53 |
| # 30 | 0.59 | 0.138 | 27.99 | 61.46 | 38.54 | 138.00 | 27.99 | 61.46 | 38.54 |
| # 50 | 0.30 | 0.122 | 24.75 | 86.21 | 13.79 | 122.00 | 24.75 | 86.21 | 13.79 |
| # 100 | 0.15 | 0.059 | 11.97 | 98.17 | 1.83 | 59.00 | 11.97 | 98.17 | 1.83 |
| # 200 | 0.07 | 0.007 | 1.42 | 99.59 | 0.41 | 7.00 | 1.42 | 99.59 | 0.41 |
| Fondo | | 0.002 | 0.41 | 100.00 | 0.00 | 2.00 | 0.41 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 0.493 | 100 | | | | | MODULO FINEZA | 2.94 |

TABLA 21 Ensayo 4 de granulometría del agregado fino

ENSAYO 3

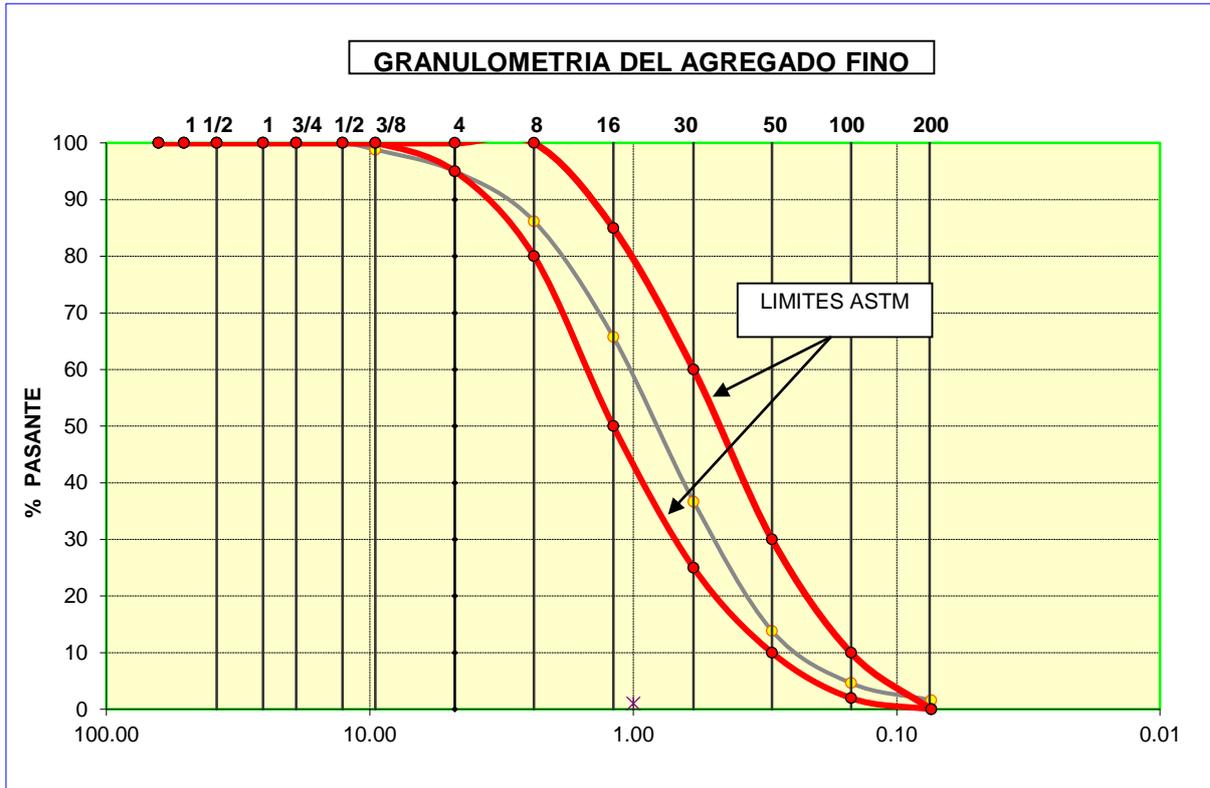


Figura 10 Granulometría del ensayo 3 del agregado fino

ENSAYO 4

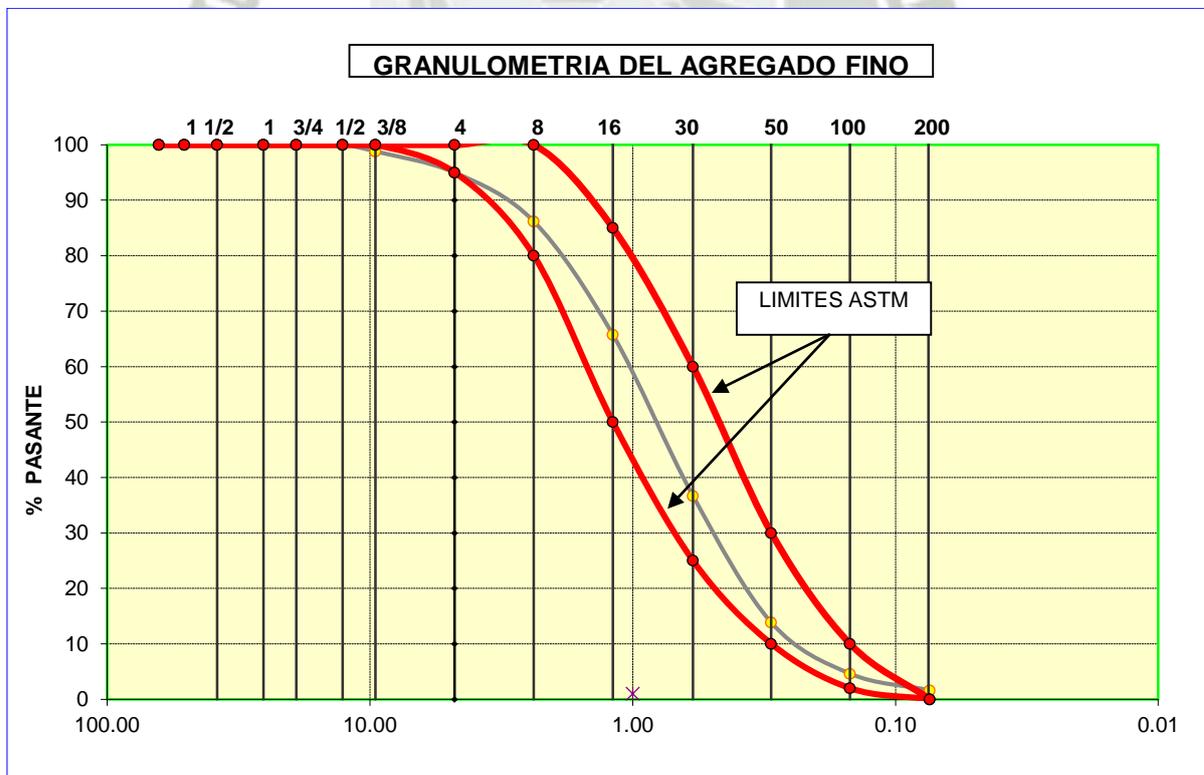


Figura 11 Granulometría del ensayo 4 del agregado fino

3.2. CEMENTO, HIDROXIDO DE CALCIO Y AGUA

3.2.1. CEMENTO YURA PORTLAND TIPO I

El cemento Tipo I es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado. 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.

3.2.2. CEMENTO YURA PORTLAND TIPO IP

El Cemento Portland Puzolánico 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 Portland Puzolánico YURA 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.

3.2.3. HIDROXIDO DE CALCIO

El hidróxido de calcio, dihidróxido de calcio o cal hidratada con fórmula Ca(OH)₂, se obtiene por hidratación del óxido de calcio (cal viva) en unos equipos denominados hidratadores.

También se puede obtener, como subproducto procedente de residuos cálcicos de procesos de fabricación de diversas sustancias, por precipitación de la mezcla de una solución de cloruro de calcio con una de hidróxido de sodio o haciendo reaccionar carburo de calcio con agua.

Para este ensayo la cal hidratada debe ser hidróxido de calcio de grado reactivo, con una pureza mínima del 95% y debe poseer una finura tal que el residuo sobre el tamiz normalizado de 45 mm (N° 325) no sea mayor que el 5% determinado conforme la NTP 334.045.

3.2.4. AGUA

El agua es un elemento principal en la preparación del concreto, como también juega un papel importante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto.

El agua está relacionada con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se

puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109) producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable destilada.

El agua que contiene menos de 2000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

3.2.5. SUPERFICIE O FINURA

La finura de un cemento es función del grado de molienda del mismo y está íntimamente ligado a su valor hidráulico. Puesto que la hidratación de los granos de cemento ocurre desde la superficie hacia el interior, el área superficial total de las partículas de cemento constituyen el material de hidratación. La importancia de la finura de un cemento radica en la influencia que puede tener sobre la velocidad de hidratación, la resistencia inicial y el calor generado.

La fragua de los cementos es más rápida y el agrietamiento más temprano conforme son más finos. La exudación disminuye conforme la fineza se incrementa; y la absorción se incrementa con el grosor del grano.

La resistencia a la compresión se incrementa más que la resistencia a la tensión conforme aumenta la fineza del cemento. La resistencia a la compresión está relacionada a la resistencia a la flexión como la raíz cuadrada de la superficie específica. La contracción parece ser una función lineal de la superficie específica y el agrietamiento puede relacionarse con el grado de desarrollo de resistencia del concreto y en general, los cementos que ganan rápidamente su resistencia son los más propensos a agrietarse. Al aumentar la fineza de cualquier cemento aumenta su velocidad para desarrollar resistencia y así indirectamente, el riesgo de grietas por contracción.

3.2.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica se define como el cociente de la densidad de una sustancia dada a la densidad de agua, cuando ambos están en la misma temperatura, es por lo tanto una cantidad sin dimensiones. La gravedad específica es un caso especial, o en de algunos usos sinónimos con, densidad relativa, con el último término preferido a menudo en la escritura científica moderna. Para los ensayos de actividad puzolánica se requirieron estos datos.

| PUZOLANA KM48 | PESO (gr) | PESO (gr) | PESO (gr) |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| PICNOMETRO + AGUA | 22.42 | 22.42 | 22.42 |
| PUZOLANA | 3 | 3 | 3 |
| PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA | 24.26 | 24.3 | 24.34 |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA | 2.586 | 2.679 | 2.778 |

| | |
|----------------|--------------|
| Gs prom | 2.681 |
|----------------|--------------|

| PUZOLANA YURA | PESO (gr) | PESO (gr) | PESO (gr) |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| PICNOMETRO + AGUA | 22.42 | 22.42 | 22.42 |
| PUZOLANA | 3 | 3 | 3 |
| PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA | 24.22 | 24.2 | 24.26 |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA | 2.500 | 2.459 | 2.586 |

| | |
|----------------|--------------|
| Gs prom | 2.515 |
|----------------|--------------|

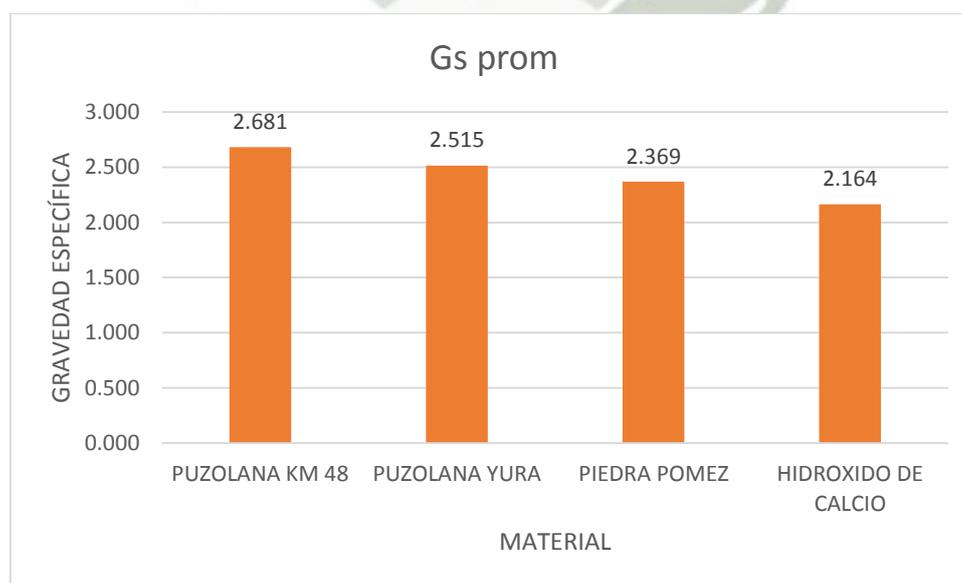
| PIEDRA POMEZ | PESO (gr) | PESO (gr) | PESO (gr) |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| PICNOMETRO + AGUA | 22.42 | 22.42 | 22.42 |
| PIEDRA POMEZ | 3 | 3 | 3 |
| PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA | 24.14 | 24.18 | 24.14 |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA | 2.344 | 2.419 | 2.344 |

| | |
|----------------|--------------|
| Gs prom | 2.369 |
|----------------|--------------|

| HIDROXIDO DE CALCIO | PESO (gr) | PESO (gr) | PESO (gr) |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| PICNOMETRO + AGUA | 22.42 | 22.42 | 22.42 |
| HIDROXIDO DE CALCIO | 3 | 3 | 3 |
| PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA | 24.06 | 24 | 24.04 |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA | 2.206 | 2.113 | 2.174 |

| | |
|----------------|--------------|
| Gs prom | 2.164 |
|----------------|--------------|

TABLA 22 Gravedad Específica (Fuente propia)



GRÁFICA 1 Comparación de la gravedad específica (Fuente propia)

3.2.7. PESO ESPECÍFICO

El peso específico del cemento corresponde al material en estado compacto. Su valor suele variar para los cementos Portland normales entre 3.0 y 3.2. En el caso de cementos adicionados el valor es menor de 3.0 y depende de la finura del material adicionado.

Es por su menor peso específico que los cementos Portland adicionados proporcionan una mayor cantidad de pasta para un mismo peso de cemento, esto mejora las características de trabajabilidad de los concretos elaborados con estos cementos.

Procedimiento:

- Lavar el frasco Le Chatelier y secar su interior (asegurarse que se encuentre libre de residuos y de humedad).
- Llenar el frasco Le Chatelier entre las marcas de 0 y 1 ml (se recomienda llenar el frasco hasta la marca de 0 ml), con cualquiera de los dos líquidos especificados en la parte correspondiente a material y equipo. Secar el cuello del frasco si es necesario.
- Sumergir el frasco en Baño María a temperatura ambiente hasta que no existan diferencias mayores de 0.2 C entre la temperatura del líquido dentro del frasco y la temperatura del líquido exterior a éste. Debido a que cuando se desprendan las burbujas de aire el líquido dentro del frasco disminuirá, llenar éste con una pipeta entre las marcas de 0 y 1 ml (se recomienda mantener la medida en cero). Anotar en la hoja de reporte el volumen de líquido dentro del frasco y la temperatura de ensayo (temperatura ambiente).
- Pesar una cantidad de cemento de 64 ± 0.05 g y depositarla en el frasco. Debe tener cuidado al depositar el cemento de evitar salpicaduras y observar que el cemento no se adhiera al interior del frasco por encima del líquido. Se puede utilizar un aparato vibratorio o un embudo para acelerar la colocación del cemento y para prevenir que éste se adhiera al cuello del frasco.
- Colocar el tapón en el frasco y hacer girar éste en una posición inclinada o girarlo horizontalmente y suavemente en círculo, de tal manera de liberar de aire el cemento hasta que ya no exista escape de burbujas hacia la superficie.
- Sumergir el frasco en el Baño María y controlar la temperatura de éste tal como se hizo en el numeral 3) de este apartado. Medir el volumen y anotarlo.
- Para desalojar el cemento del frasco que contiene kerosene, colocar éste boca abajo, sin destaparlo. Mover el frasco, y el cemento se ubicará en las cercanías de la boca de éste. Si quedan residuos de cemento adheridos al frasco, utilice ácido clorhídrico para enjuagarlo.

Cálculos:

Para determinar la densidad del cemento se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\rho_c = \frac{M}{(V_f - V_i)}$$

Donde:

M: Masa de la muestra de cemento.

V_i : Volumen inicial del líquido introducido al frasco Le Chatelier, en cm³.

V_f : Volumen final del líquido (después de introducir los 64 g de cemento), en cm³.

ρ_c : Densidad del cemento, en g/cm³.

Resultados:

| | | | |
|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|
| CEMENTO TIPO I | PESO ESPECÍFICO | 3.153 | gr/cm ³ |
|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| CEMENTO TIPO I | 64 | 64 | 64 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.4 | 0.55 | 0.7 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.55 | 20.9 | 21.1 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 3.176 | 3.145 | 3.137 | gr/cm ³ |

| | | | |
|------------------------|------------------------|-------|--------------------|
| CEMENTO TIPO IP | PESO ESPECÍFICO | 2.838 | gr/cm ³ |
|------------------------|------------------------|-------|--------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| CEMENTO TIPO IP | 64 | 64 | 64 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.8 | 0.8 | 0.75 | ml |
| LECTURA FINAL | 23.5 | 23.35 | 23.15 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.819 | 2.838 | 2.857 | gr/cm ³ |

| | | | |
|---------------------|------------------------|-------|--------------------|
| PIEDRA POMEZ | PESO ESPECÍFICO | 2.227 | gr/cm ³ |
|---------------------|------------------------|-------|--------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| PIEDRA POMEZ | 50 | 50 | 50 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.4 | 0.6 | 0.65 | ml |
| LECTURA FINAL | 22.9 | 23 | 23.1 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.222 | 2.232 | 2.227 | gr/cm ³ |

| | | | |
|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|
| PUZOLANA KM 48 | PESO ESPECÍFICO | 2.537 | gr/cm ³ |
|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|

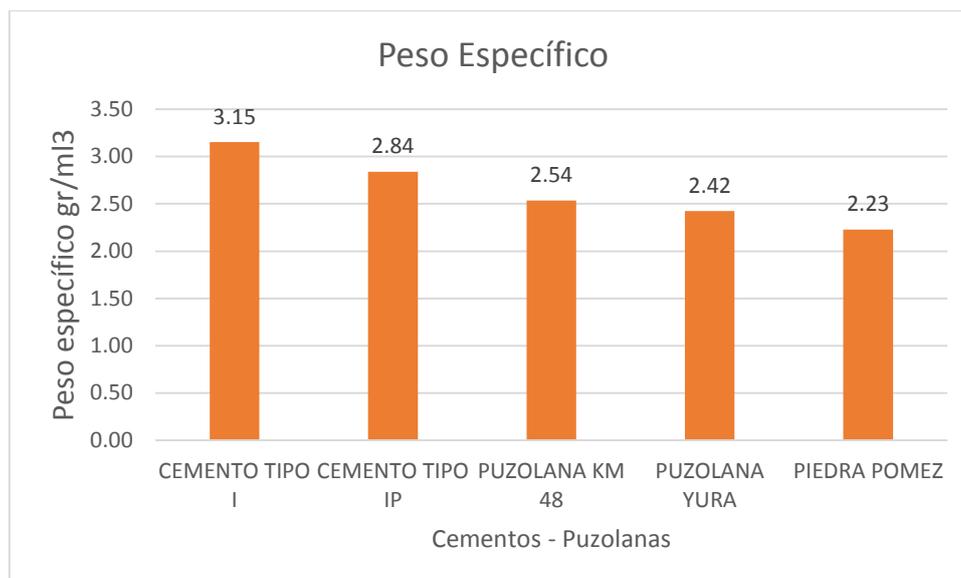
| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| PUZOLANA KM 48 | 57 | 50 | 50 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.45 | 0.5 | 0.65 | ml |
| LECTURA FINAL | 23.35 | 20.2 | 20 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.489 | 2.538 | 2.584 | gr/cm ³ |

| | | | |
|----------------------|------------------------|-------|--------------------|
| PUZOLANA YURA | PESO ESPECÍFICO | 2.423 | gr/cm ³ |
|----------------------|------------------------|-------|--------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| PUZOLANA YURA | 50 | 50 | 50 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.5 | 0.6 | 0.65 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.9 | 21.25 | 21.5 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.451 | 2.421 | 2.398 | gr/cm ³ |

TABLA 23 *Peso Específico (Fuente propia)*

Cuadro comparativo de los diferentes pesos específicos



GRÁFICA 2 *Peso Específico (Fuente propia)*

Reemplazo parcial del volumen de cemento por puzolana

| | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|
| PIEDRA PÓMEZ 20% | PESO ESPECÍFICO | 3.051 | gr/ml³ |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| PIEDRA PÓMEZ | 60.2 | 60.2 | 60.2 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.7 | 0.8 | 0.7 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.5 | 20.8 | 20.1 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 3.040 | 3.010 | 3.103 | gr/ml ³ |

| | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|
| PIEDRA PÓMEZ 30% | PESO ESPECÍFICO | 3.013 | gr/ml³ |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| PIEDRA PÓMEZ | 58.4 | 58.4 | 58.4 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.6 | 0.8 | 0.65 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.2 | 19.8 | 20.2 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.980 | 3.074 | 2.987 | gr/ml ³ |

| | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|
| PIEDRA PÓMEZ 40% | PESO ESPECÍFICO | 2.890 | gr/ml³ |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| PIEDRA PÓMEZ | 56.5 | 56.5 | 56.5 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.8 | 0.8 | 0.75 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.3 | 20.5 | 20.2 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.897 | 2.868 | 2.905 | gr/ml ³ |

| | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| PUZOLANA Km 48 20% | PESO ESPECÍFICO | 3.097 | gr/ml3 |
|---------------------------|------------------------|--------------|---------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| PUZOLANA Km 48 | 61.5 | 61.5 | 61.5 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.7 | 0.8 | 0.76 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.25 | 21 | 20.6 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 3.146 | 3.045 | 3.100 | gr/ml3 |

| | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| PUZOLANA Km 48 30% | PESO ESPECÍFICO | 2.993 | gr/ml3 |
|---------------------------|------------------------|--------------|---------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| PUZOLANA Km 48 | 60.3 | 60.3 | 60.3 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.4 | 0.3 | 0.35 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.9 | 20.2 | 20.4 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.941 | 3.030 | 3.007 | gr/ml3 |

| | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| PUZOLANA Km 48 40% | PESO ESPECÍFICO | 2.857 | gr/ml3 |
|---------------------------|------------------------|--------------|---------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| PUZOLANA Km 48 | 59 | 59 | 59 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.85 | 0.9 | 0.85 | ml |
| LECTURA FINAL | 21.65 | 21.4 | 21.5 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.837 | 2.878 | 2.857 | gr/ml3 |

| | | | |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| PUZOLANA YURA 20% | PESO ESPECÍFICO | 3.130 | gr/ml3 |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|

| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| PUZOLANA YURA | 61 | 61 | 61 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.75 | 0.89 | 0.8 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.2 | 20.4 | 20.3 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 3.136 | 3.127 | 3.128 | gr/ml3 |

| | | | |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| PUZOLANA YURA 30% | PESO ESPECÍFICO | 3.075 | gr/ml3 |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|

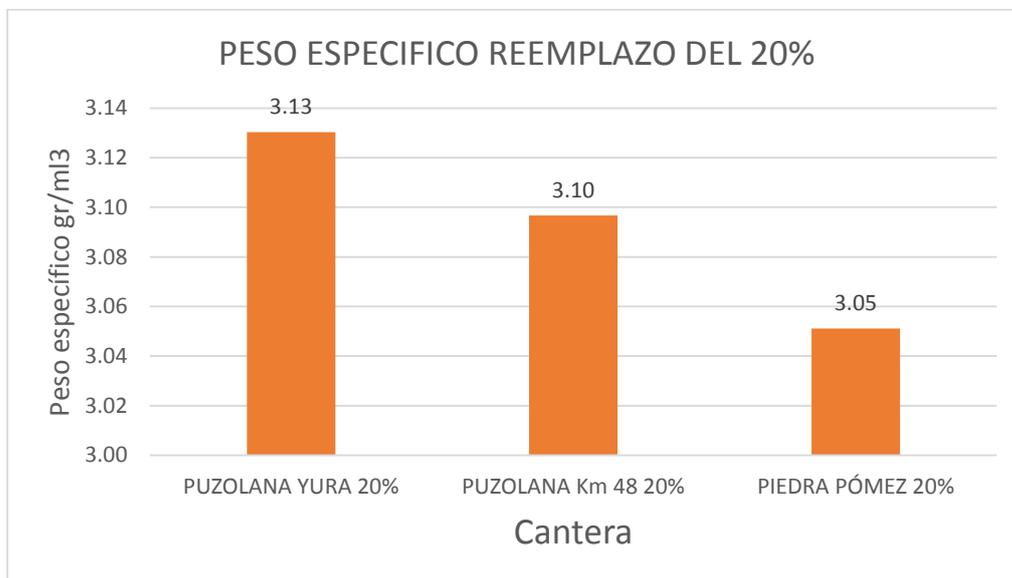
| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| PUZOLANA YURA | 59.60 | 59.60 | 59.60 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.5 | 0.5 | 0.65 | ml |
| LECTURA FINAL | 19.8 | 20 | 20 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 3.088 | 3.056 | 3.080 | gr/ml3 |

| | | | |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| PUZOLANA YURA 40% | PESO ESPECÍFICO | 2.969 | gr/ml3 |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|

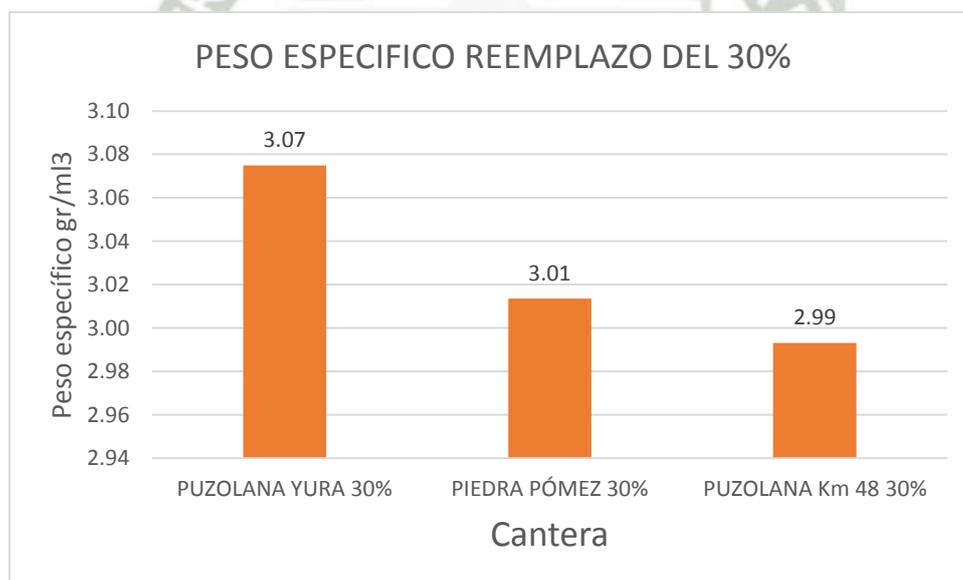
| | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| PUZOLANA YURA | 58.10 | 58.10 | 58.10 | gr |
| LECTURA INICIAL | 0.75 | 0.75 | 0.8 | ml |
| LECTURA FINAL | 20.3 | 20.3 | 20.4 | ml |
| PESO ESPECÍFICO | 2.972 | 2.972 | 2.964 | gr/ml3 |

TABLA 24 Reemplazo parcial de cemento por puzolana (Fuente propia)

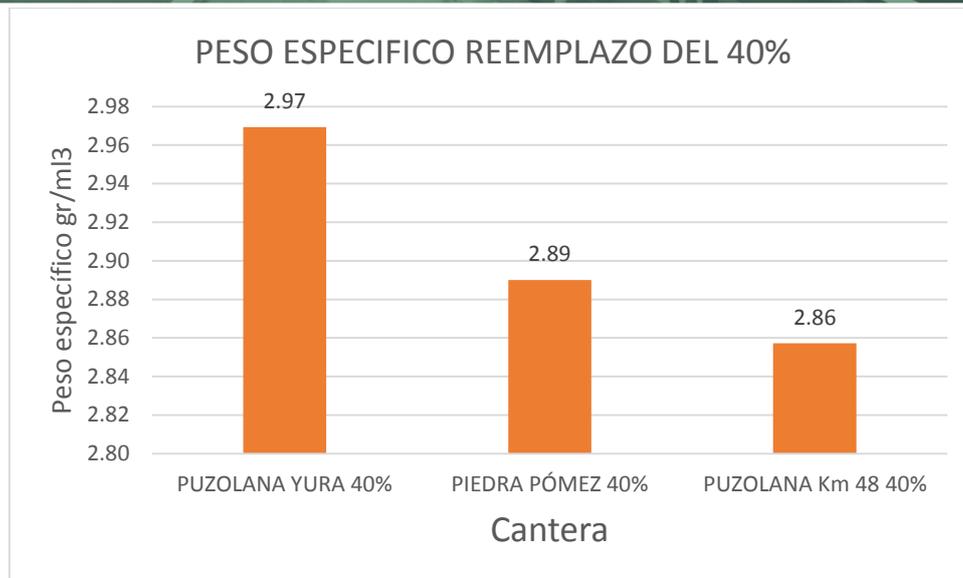
Cuadro comparativo de los diferentes reemplazos de cemento por puzolana



GRÁFICA 3 Peso específico reemplazo del 20% (Fuente propia)



GRÁFICA 4 Peso específico reemplazo del 30% (Fuente propia)



GRÁFICA 5 Peso específico reemplazo del 40% (Fuente propia)

3.3. ACTIVIDAD PUZOLANICA CON CEMENTO Y CAL

3.3.1. REACCIÓN PUZOLANICA

Una puzolana es un material, natural o artificial, que contiene fundamentalmente silicio o silicio y aluminio (el conjunto sílice más alúmina varía a menudo entre el 70 y el 80 %), esto les da un carácter ácido y, por tanto, una gran afinidad por la cal (tendencia a combinarse con la cal en presencia de agua a temperatura ambiente). Además, la puzolana está compuesta de fase vítrea en su mayor parte, siendo la fase cristalina muy pequeña, lo que hace que sean materiales de alta reactividad.

La puzolana por si misma posee un valor cementante nulo o muy pequeño. Sin embargo finamente molida y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido cálcico (activador) a temperatura ambiente, dando lugar a una nueva formación de compuestos estables, poco solubles en el agua y que poseen características cementantes, es decir capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico bajo el nombre de puzolanas se incluyen productos que son bastante diferentes en cuanto a su origen, estructura, composición química y mineralógica y que tienen en común lo que se denomina “actividad puzolánica”.

Las propiedades técnicas de los materiales con adiciones puzolánicas, se derivan, principalmente, de tres características de la reacción puzolánica.

1. Es una reacción lenta, al contrario que la reacción de hidratación del cemento que es rápida, por tanto, la velocidad de liberación del calor y el desarrollo de resistencias serán procesos más lentos.
2. Es una reacción que consume hidróxido de calcio en vez de generarlo, lo que es importante para la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes ácidos.
3. Al producirse en un tiempo posterior los productos de reacción rellenan, de forma muy eficiente, los espacios capilares que quedan después de la hidratación de los componentes del cemento. así se mejora la impermeabilidad y la resistencia mecánicas del sistema (menor porosidad).

3.3.2. MOLIENTA DE PUZOLANA

La molienda de las puzolanas naturales de las tres diferentes canteras se realizaron en un molido de billas en el Laboratorio del Parque Industrial de Rio Seco de la Universidad San Agustín.

La puzolana o escoria granulada de alto horno o cemento de escoria que será adicionado con el cemento, deberá ser ensayada en el mismo estado de finura que aquella a la cual será combinada según la NTP 334 090 Cementos Portland adicionados Requisitos o mayor al 80% del pasante por la malla número 325 según la NTP 334.045 Cementos Método de ensayo para determinar la finura por tamizado húmedo con tamiz normalizado de 45 μm (N° 325).

Para lograr la finura se estableció primero el tiempo de molienda de cada puzolana y se elaboró la curva de moliendabilidad.

3.3.2.1. PUZOLANA KM 48

Para lograr un porcentaje pasante mayor al 80% primero se realizó un tamizado por la malla número 10 y luego se procedió a colocar la muestra en el molino de billas y se hicieron tres ensayos con tiempos de 0 minutos, 60 minutos, 90 minutos y 150 minutos de molienda obteniendo su curva de moliendabilidad.

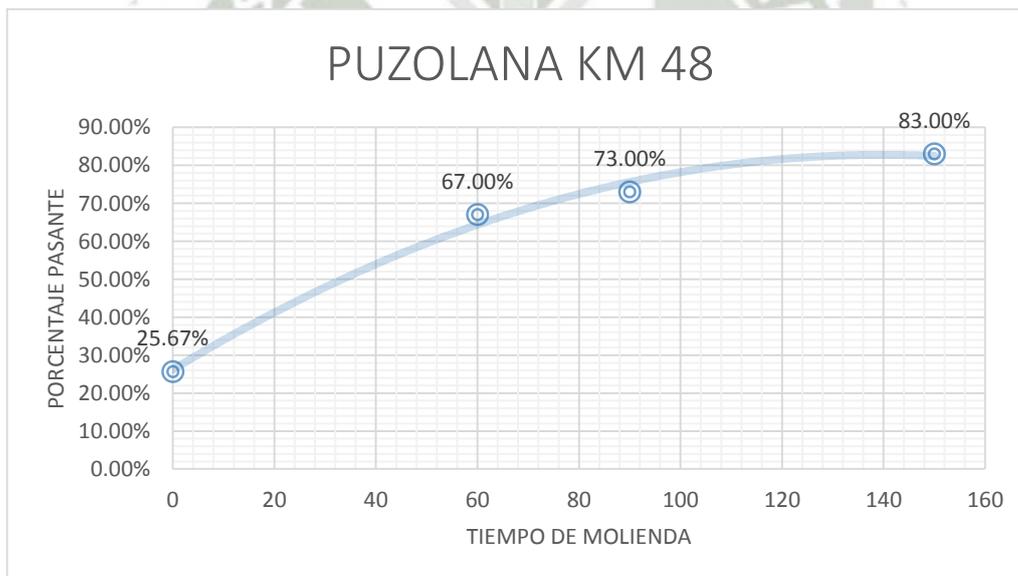


Figura 12 Curva de moliendabilidad de la puzolana del Km 48 (Fuente propia)

3.3.2.2. PIEDRA POMEZ

Para lograr un porcentaje pasante mayor al 80% primero se realizó un tamizado por la malla número 10 y luego se procedió a colocar la muestra en el molino de billas y se hicieron tres ensayos con tiempos de 0 minutos, 60 minutos, 90 minutos y 150 minutos de molienda obteniendo su curva de moliendabilidad.

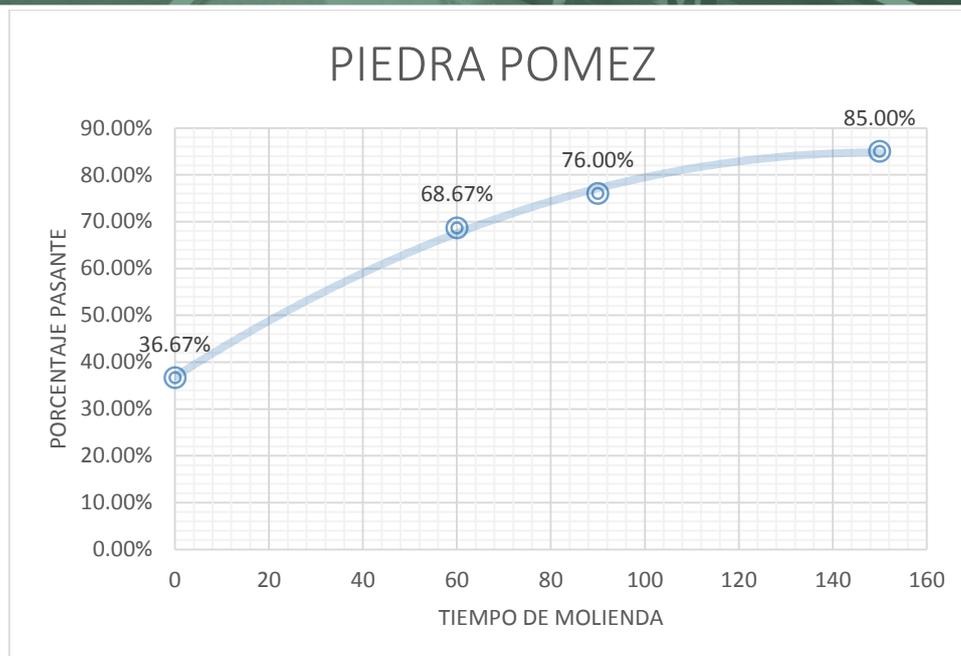


Figura 13 Curva de moliendabilidad de la Piedra Pómez (Fuente propia)

3.4. CEMENTOS METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND

El ensayo de índice de actividad puzolánica es utilizado para determinar si una puzolana o escoria presenta un nivel aceptable del desarrollo de su resistencia cuando es empleada en cementos Portland puzolánicos o cementos Portland de escoria.

La norma establece los siguientes requisitos para este ensayo:

- Arena estándar gradada: La arena empleada para elaborar los especímenes debe ser de sílice natural y gradada.
- Cemento Portland: El cemento Portland empleado debe cumplir con los requisitos de la NTP 334.009 y debe tener un mínimo de resistencia a la compresión de 35 MPa a los 28 días.
- Puzolana o escoria: la puzolana o escoria que va ser empleada como adición, deberá ser usada con la misma finura con que será adicionada.

El procedimiento del ensayo será el siguiente:

- Moldear los especímenes del mortero patrón y del mortero de ensayo de acuerdo con la NTP 334.051. En el mortero de ensayo, reemplazar el 35% del volumen absoluto de la cantidad de cemento usada en el mortero patrón por un volumen absoluto equivalente de la muestra de ensayo, se realizan tandas de tres cubos tal como sigue:

Mortero patrón:

250 g de cemento Portland

687.5 g de arena estándar gradada

X mL de agua requerida para producir una fluidez entre 100% y 115%

Mortero de ensayo para puzolana:

- 162.5 g de cemento Portland.
- $87.5 * \frac{\text{densidad de la muestra}}{\text{densidad del cemento Portland}}$, g de muestra.
- 687.5 g de arena estándar gradada.
- Y mL de agua requerida para producir fluidez, entre 100% y 115%.

- Después de moldear, almacenar los especímenes y los moldes (sobre las placas base) en un cuarto o cámara humedad a $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ durante 20h a 24h. Mientras se encuentren en el cuarto o cámara humedad proteger su superficie de goteo de agua. Sacar los moldes del cuarto o cámara húmeda y desmoldar los cubos. Colocar los cubos en un recipiente de vidrio o metal, cerrar el recipiente herméticamente, y almacenar a $38 \pm 1.7^\circ\text{C}$ durante 27 días. Dejar enfriar los especímenes a $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ antes de ensayarlos.
- Para determinar la resistencia a la compresión de los tres especímenes del mortero patrón y de los tres especímenes del mortero de ensayo a la edad de 28 días.
- Se calcula el Índice de actividad puzolánica con cemento Portland tal como sigue:

$$\text{Índice de actividad puzolánica con cemento Portland} = \frac{A}{B} * 100$$

Donde:

A= Es el promedio de la resistencia a la compresión de los cubos del mortero de ensayo, en MPa (kg/cm²).

B= Es el promedio de la resistencia de la compresión de los cubos del mortero patrón, en MPa (kg/cm²).

Diagramas de control

Los diagramas de control se utilizan para evaluar el comportamiento a través del tiempo, en este caso se utilizaron para seleccionar los datos con menor variación entre si y obtener la mejor muestra, por lo que se consideró como límites inferior y superior \pm la desviación estándar (σ), obtenida de la siguiente manera.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

X_i = Resistencia del espécimen.

\bar{X} = Promedio de datos.

N = Número de datos.

Diagrama de control del Mortero Patrón

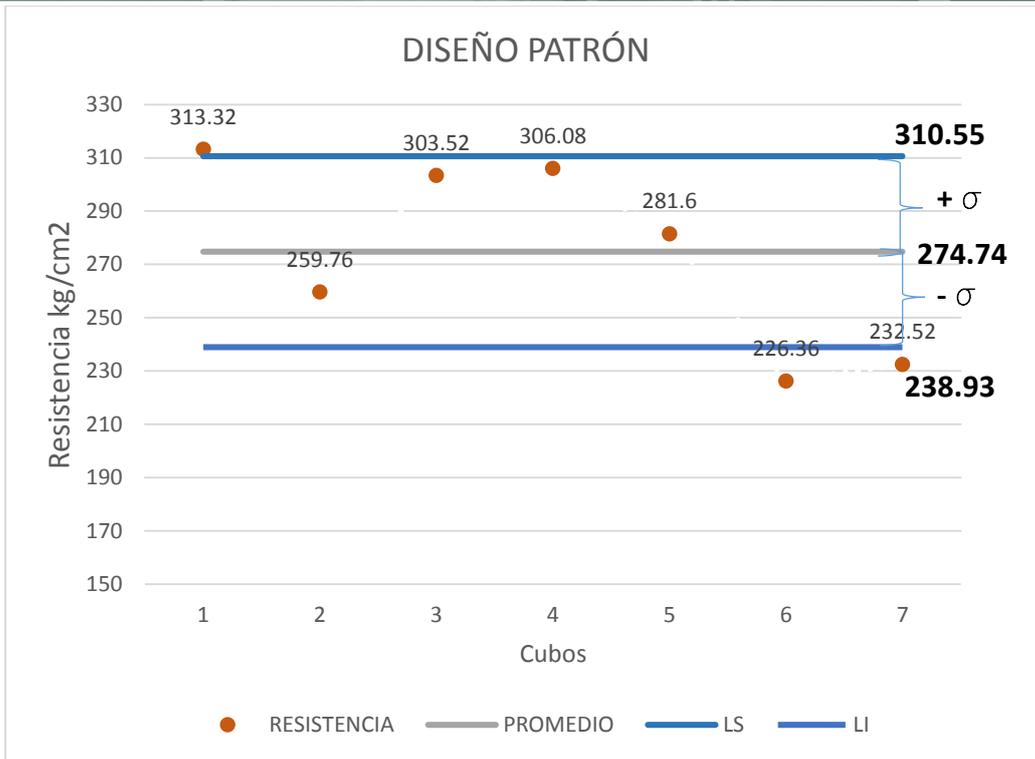


DIAGRAMA DE CONTROL 1 Diseño Patrón (Fuente propia)

Diagrama de control Piedra Pómez

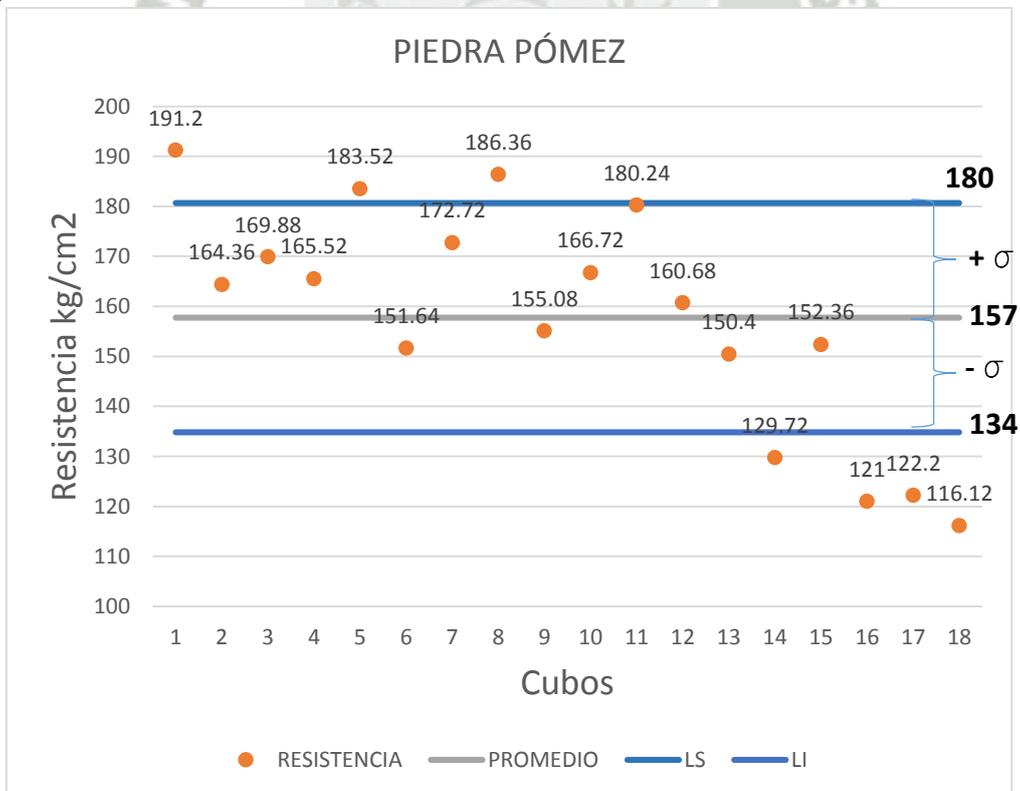


DIAGRAMA DE CONTROL 2 Piedra Pómez (Fuente propia)

Diagrama de control Puzolana Km 48

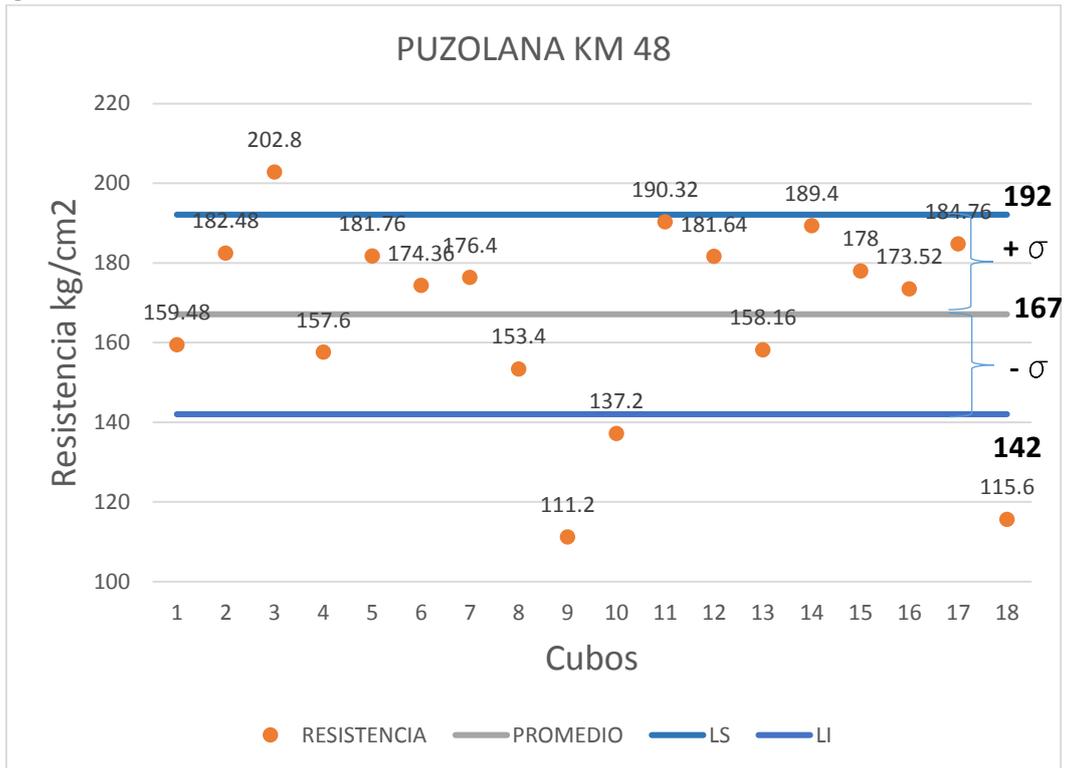


DIAGRAMA DE CONTROL 3 Puzolana km 48 (Fuente propia)

Diagrama de control Puzolana Yura

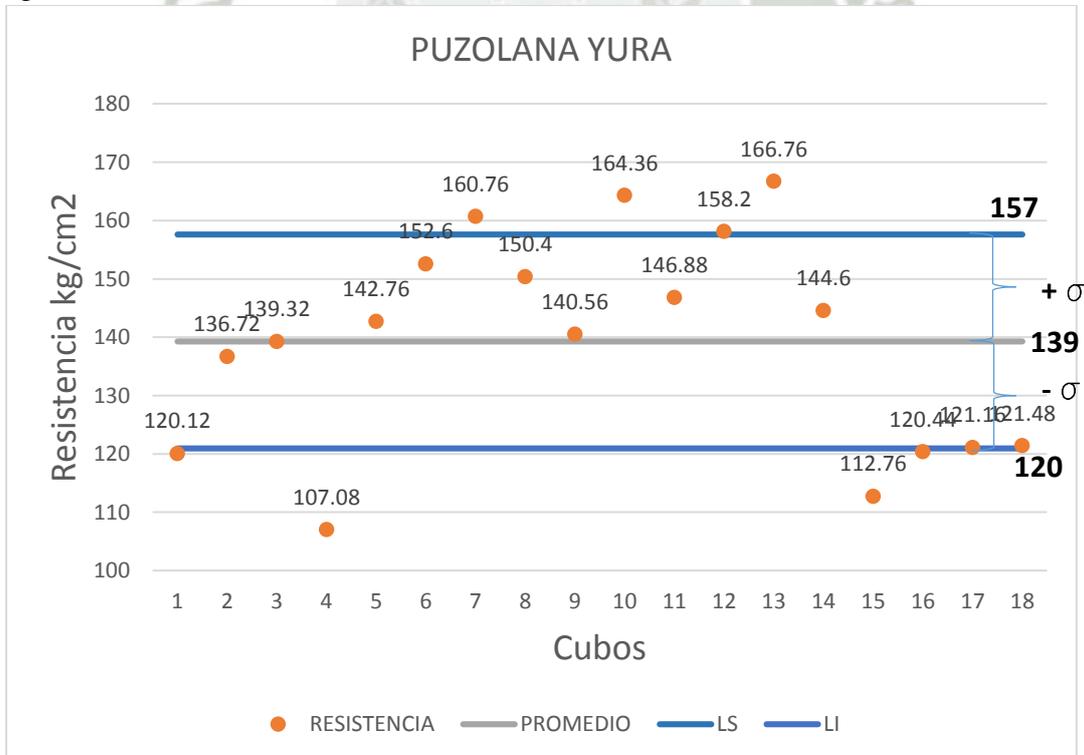


DIAGRAMA DE CONTROL 4 Puzolana Yura (Fuente propia)

3.5. CEMENTOS METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA POR EL MÉTODO DE LA CAL

El ensayo determina el grado de actividad de un material pulverizado y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, a la temperatura ambiente, formando compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

La norma establece los siguientes requisitos para este ensayo:

- Arena estándar gradada: La arena empleada para elaborar los especímenes debe ser de sílice natural y gradada.
- Cal hidratada: La cal hidratada debe ser hidróxido de grado reactivo, con pureza mínima del 95% calculada como $\text{Ca}(\text{OH})_2$; debe tener una finura tal que el residuo sobre el tamiz normalizado de 45mm (N° 325) no sea mayor que el 5%.
- Puzolana: Para efecto del presente ensayo, la puzolana debe poseer una finura tal que el residuo sobre el tamiz normalizado de 45mm (N° 325) no sea mayor que el 20%.

El procedimiento del ensayo será el siguiente:

- La dosificación se compone de una parte de cal hidratada y 9 partes de arena gradada estándar en masa, más una cantidad de puzolana seca al horno igual a dos veces la masa de la cal multiplicada por un factor obtenido de dividir la gravedad específica de la puzolana entre la gravedad específica de la cal. La cantidad de agua de mezcla, medida en mililitros, debe ser tal que se obtenga una fluidez de $110\% \pm 5\%$.
- Para el mezclado se prepara suficiente cantidad de mortero para moldear por lo menos tres especímenes cúbicos de 50mm. La puzolana seca y la cal se colocarán juntas en un recipiente cerrado y se agitarán vigorosamente durante dos minutos. El mortero se mezcla tal como se especifica en la norma NTP 334.003, excepto que cuando se refiera al cemento se deberá entender, en este caso, que se trata de una mezcla puzolana – cal.
- Después de moldear los especímenes para cada puzolana ensayada, cubrir los especímenes con una placa de metal no reactivo o con un vidrio rígido y almacenarlos en un cuarto o cámara húmeda a $23^\circ\text{C} \pm 1.7^\circ\text{C}$ durante $24\text{h} \pm 2\text{h}$. Sacar los especímenes del cuarto o cámara húmeda con la placa cubierta sellada al molde y almacenar a $55^\circ\text{C} \pm 1.7^\circ\text{C}$ con la placa cubierta hacia abajo. Cuando los especímenes han alcanzado una edad de 7 días, sacarlos del recinto y dejarlos enfriar a $23^\circ\text{C} \pm 1.7^\circ\text{C}$ durante $4\text{h} \pm \frac{1}{4}\text{h}$.

Diagramas de control

Los diagramas de control se utilizan para evaluar el comportamiento a través del tiempo, en este caso se utilizaron para seleccionar los datos con menor variación entre si y obtener la mejor muestra, por lo que se consideró como límites inferior y superior \pm la desviación estándar (σ), obtenida de la siguiente manera.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

X_i = Resistencia del espécimen

\bar{X} = Promedio de datos

N = Número de datos

Diagrama de control Piedra Pómez

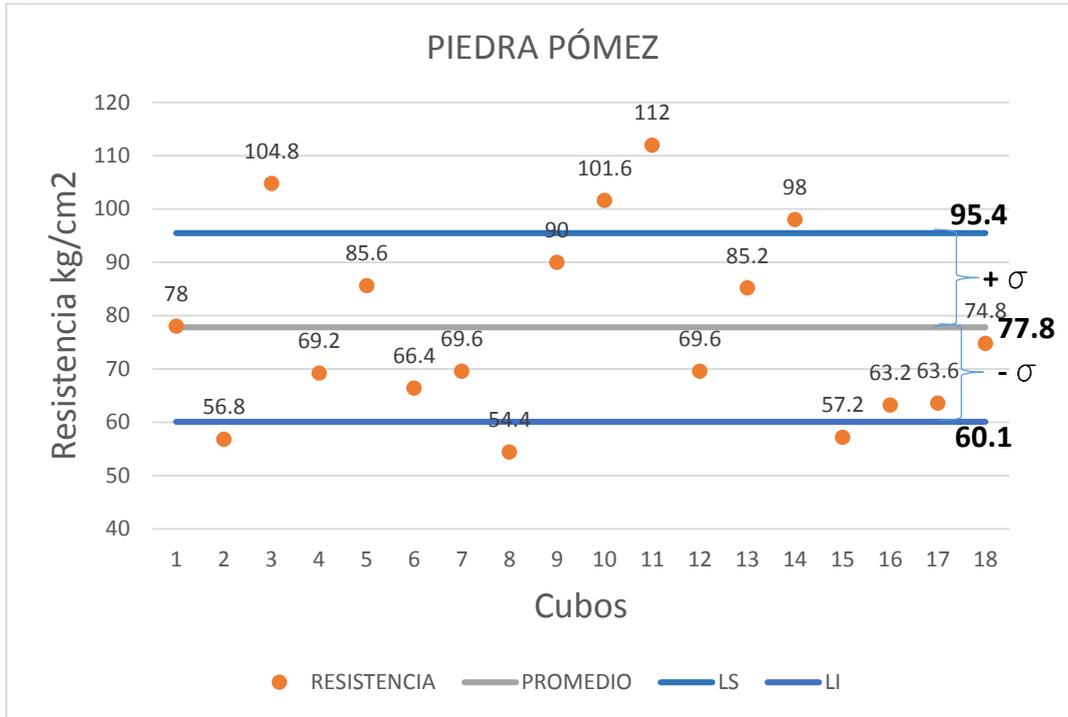


DIAGRAMA DE CONTROL 5 Piedra Pómez (Fuente propia)

Diagrama de control Puzolana km 48

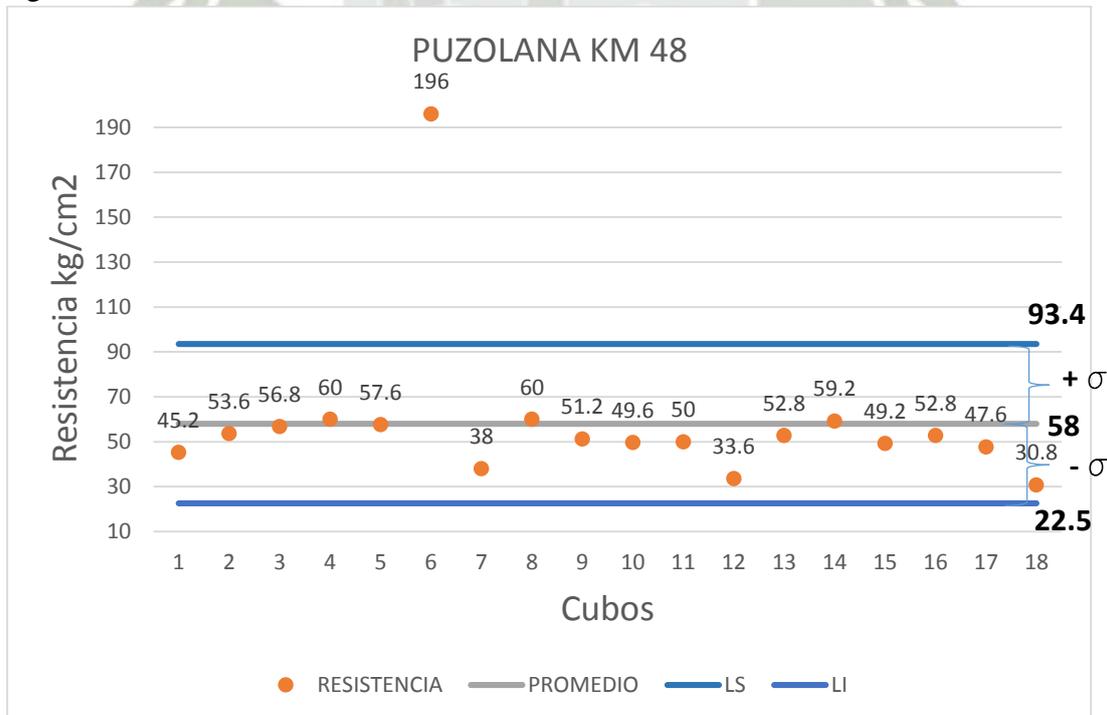


DIAGRAMA DE CONTROL 6 Puzolana Km 48 (Fuente propia)

Diagrama de control Puzolana Yura

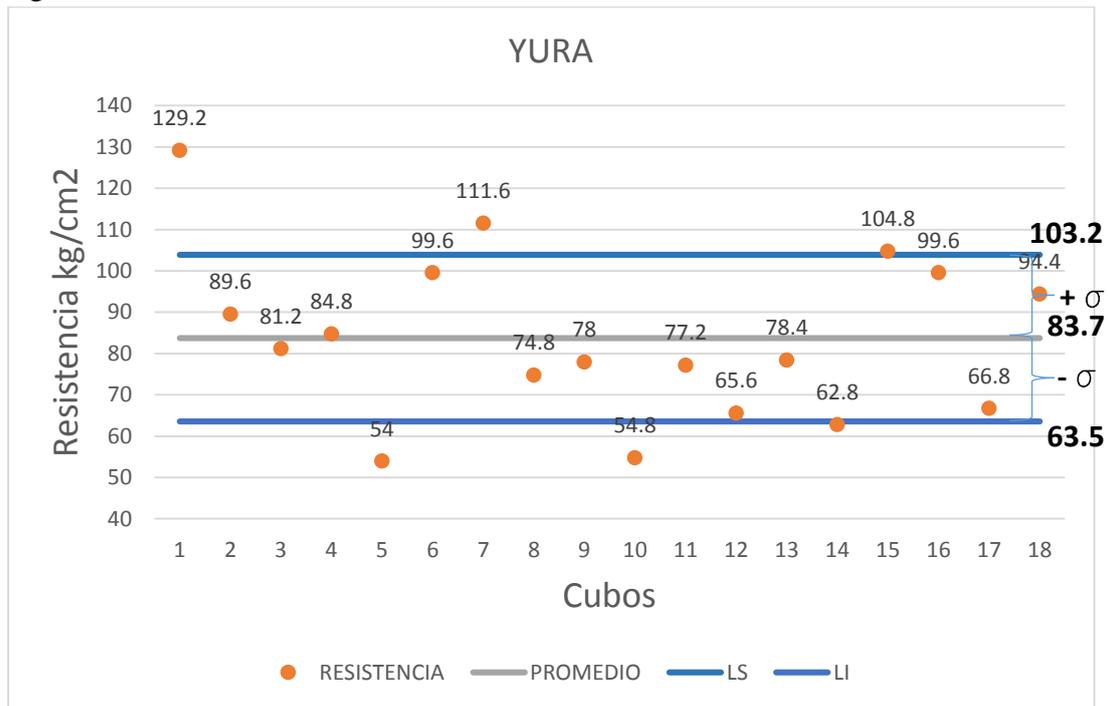


DIAGRAMA DE CONTROL 7 Puzolana de Yura (Fuente propia)

3.6. DISEÑOS DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL ACI

El comité 211 del American Concrete Institute ha desarrollado un procedimiento de diseño bastante simple el cual, basándose en tablas preestablecidas, permite establecer valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica del concreto.

Secuencia de diseño:

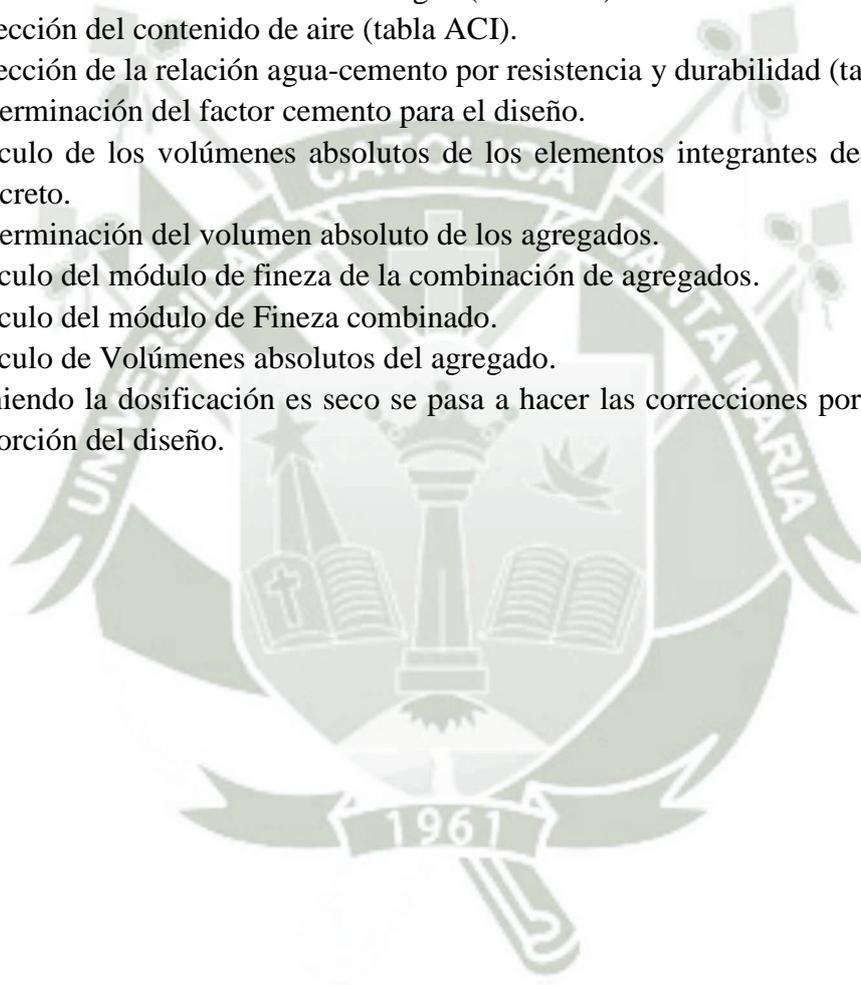
- Determinación de la resistencia promedio a partir de la resistencia especificada para esta investigación se requirió una resistencia de 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 350 kg/cm².
- Determinación del Tamaño Máximo Nominal
- Determinación del asentamiento en la presente investigación se usó un Slump de 2” como punto de partida para poder observar las variaciones al usar la puzolana.
- Determinación del volumen natural del agua (tabla del ACI).
- Determinación del contenido de aire (tablas del ACI).
- Determinación de la relación agua-cemento por resistencia y durabilidad (tablas del ACI).
- Determinación del factor cemento.
- Determinación del contenido de agregado grueso (tabla del ACI).
- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.
- Teniendo la dosificación en seco se pasa a hacer las correcciones por humedad y absorción del diseño.
- Finalmente se obtiene la relación en función al cemento.

3.7. DISEÑOS DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

En el método de Diseño del Comité 211 del American Concrete Institute, como primer paso se determina los contenidos de cemento, agua, aire y agregado grueso y, por diferencia de la suma de volúmenes absolutos en relación con la unidad, el volumen absoluto y peso seco del agregado fino.

Secuencia de diseño:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia especificada para esta investigación se requirió una resistencia de 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 350 kg/cm².
- Selección del Tamaño Máximo Nominal.
- Selección del asentamiento en la presente investigación se usó un Slump de 2” como punto de partida para poder observar las variaciones al usar la puzolana.
- Selección del volumen natural del agua (tabla ACI).
- Selección del contenido de aire (tabla ACI).
- Selección de la relación agua-cemento por resistencia y durabilidad (tabla ACI)
- Determinación del factor cemento para el diseño.
- Cálculo de los volúmenes absolutos de los elementos integrantes de la pasta de concreto.
- Determinación del volumen absoluto de los agregados.
- Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados.
- Cálculo del módulo de Fineza combinado.
- Cálculo de Volúmenes absolutos del agregado.
- Teniendo la dosificación es seco se pasa a hacer las correcciones por humedad y absorción del diseño.



3.8. DISEÑOS DE MEZCLAS REALIZADOS

3.8.1. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I SIN ADICIÓN DE PUZOLANA $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaciado: 12/06/2017 | | | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|------|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 0% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | | | |
| Cemento | 11.42 | | Cemento | 11.42 | | | |
| Puzolana | 0.00 | | Puzolana | 0.00 | | 0.62 | |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 28.20 | | | | |

3.8.2. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I SIN ADICIÓN DE
PUZOLANA $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 13/06/2017 | | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|------|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 0% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | | | |
| Cemento | 13.69 | | Cemento | 13.69 | | | |
| Puzolana | 0.00 | | Puzolana | 0.00 | | 0.52 | |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 29.44 | | | | |

3.8.3. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I SIN ADICIÓN DE
PUZOLANA $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 14/06/2017 | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | |
| | | Porcentaje | 0% | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | | |
| Cemento | 16.11 | | Cemento | 16.11 | | |
| Puzolana | 0.00 | | Puzolana | 0.00 | | 0.44 |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 30.60 | | | |

3.8.4. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 17/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 9.14 | 0.78 | Cemento | 9.14 | 0.78 |
| Puzolana | 1.29 | | Puzolana | 1.29 | |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.5. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 17/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | Cantidad de Probetas: | | 16 |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 8.00 | | Cemento | 8.00 | |
| Puzolana | 1.69 | 0.89 | Puzolana | 1.69 | 0.89 |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.6. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 17/07/2017 | | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|----|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 40% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | | | |
| Cemento | 6.85 | | Cemento | 6.85 | | | |
| Puzolana | 1.94 | 1.04 | Puzolana | 1.94 | 1.04 | | |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | | | |

3.8.7. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 18/07/2017 | | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|------|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 20% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | | | |
| Cemento | 10.95 | | Cemento | 10.95 | | | |
| Puzolana | 1.55 | | Puzolana | 1.55 | | 0.65 | |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 29.44 | | | | |

3.8.8. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 18/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 9.58 | 0.74 | Cemento | 9.58 | 0.74 |
| Puzolana | 2.03 | | Puzolana | 2.03 | |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.9. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 18/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 8.21 | | Cemento | 8.21 | |
| Puzolana | 2.32 | | Puzolana | 2.32 | |
| | | 0.86 | | | 0.86 |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.10. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 19/07/2017 | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | |
| | | Porcentaje | 20% | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | | |
| Cemento | 12.89 | | Cemento | 12.89 | | |
| Puzolana | 1.82 | | Puzolana | 1.82 | | 0.55 |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 30.60 | | | |

3.8.11. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 19/07/2017 | | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|------|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 30% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | | | |
| Cemento | 11.28 | | Cemento | 11.28 | | | |
| Puzolana | 2.39 | | Puzolana | 2.39 | | 0.63 | |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 30.60 | | | | |

3.8.12. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PIEDRA
PÓMEZ $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 19/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Piedra Pómez | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,227.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 9.67 | 0.73 | Cemento | 9.67 | 0.73 |
| Puzolana | 2.73 | | Puzolana | 2.73 | |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.13. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 20/07/2017 | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 9.14 | | Cemento | 9.14 | |
| Puzolana | 1.47 | 0.78 | Puzolana | 1.47 | 0.78 |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.14. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 20/07/2017 | | | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|------|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Km48 | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 30% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | | | |
| Cemento | 8.00 | | Cemento | 8.00 | | | |
| Puzolana | 1.93 | | Puzolana | 1.93 | | 0.89 | |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 28.20 | | | | |

3.8.15. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 20/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 6.85 | | Cemento | 6.85 | |
| Puzolana | 2.21 | | Puzolana | 2.21 | |
| | | 1.04 | | | 1.04 |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.16. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 24/07/2017 | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 10.95 | | Cemento | 10.95 | |
| Puzolana | 1.76 | | Puzolana | 1.76 | |
| | | | 0.65 | | |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.17. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 24/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 9.58 | | Cemento | 9.58 | |
| Puzolana | 2.31 | | Puzolana | 2.31 | |
| | | 0.74 | | | 0.74 |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.18. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 24/07/2017 | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 8.21 | | Cemento | 8.21 | |
| Puzolana | 2.64 | | Puzolana | 2.64 | |
| | | | 0.86 | | |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.19. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 25/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 12.89 | | Cemento | 12.89 | |
| Puzolana | 2.07 | | Puzolana | 2.07 | |
| | | | 0.55 | | |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.20. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 25/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 11.28 | | Cemento | 11.28 | |
| Puzolana | 2.72 | | Puzolana | 2.72 | |
| | | | 0.63 | | |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.21. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA
KM 48 $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 25/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Km48 | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,537.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 9.67 | | Cemento | 9.67 | |
| Puzolana | 3.11 | | Puzolana | 3.11 | |
| | | 0.73 | | | 0.73 |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.22. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA
YURA $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 26/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 9.14 | | Cemento | 9.14 | |
| Puzolana | 1.40 | | Puzolana | 1.40 | |
| | | 0.78 | | | 0.78 |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.23. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA
YURA $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 26/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 8.00 | | Cemento | 8.00 | |
| Puzolana | 1.84 | | Puzolana | 1.84 | |
| | | | 0.89 | | |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.24. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA
YURA $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 26/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.10 | | Agua | 7.11 | |
| Cemento | 6.85 | | Cemento | 6.85 | |
| Puzolana | 2.11 | | Puzolana | 2.11 | |
| | | 1.04 | | | 1.04 |
| Ag. Fino | 26.73 | | Ag. Fino | 24.96 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.20 | |

3.8.25. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA
YURA $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 31/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 10.95 | | Cemento | 10.95 | |
| Puzolana | 1.68 | | Puzolana | 1.68 | |
| | | 0.65 | | | 0.65 |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.26. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA
YURA $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 31/07/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | Cantidad de Probetas: | | 16 |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 9.58 | | Cemento | 9.58 | |
| Puzolana | 2.21 | | Puzolana | 2.21 | |
| | | 0.74 | | | 0.74 |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.27. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA
YURA $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 31/07/2017 | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.08 | | Agua | 7.09 | |
| Cemento | 8.21 | | Cemento | 8.21 | |
| Puzolana | 2.52 | | Puzolana | 2.52 | |
| | | | 0.86 | | |
| Ag. Fino | 25.04 | | Ag. Fino | 22.18 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.44 | |

3.8.28. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 20% DE PUZOLANA
YURA $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 01/08/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 20% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 12.89 | | Cemento | 12.89 | |
| Puzolana | 1.98 | 0.55 | Puzolana | 1.98 | 0.55 |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.29. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 30% DE PUZOLANA
YURA $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 01/08/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 30% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 11.28 | 0.63 | Cemento | 11.28 | 0.63 |
| Puzolana | 2.60 | | Puzolana | 2.60 | |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.30. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO I y 40% DE PUZOLANA
YURA $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 01/08/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | 1 | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 3153 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 40% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.05 | | Agua | 7.06 | |
| Cemento | 9.67 | | Cemento | 9.67 | |
| Puzolana | 2.97 | 0.73 | Puzolana | 2.97 | 0.73 |
| Ag. Fino | 23.24 | | Ag. Fino | 19.36 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 30.60 | |

3.8.31. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO IP $f_c=210\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 02/08/2017 | | | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|------|--|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | | | |
| f_c (kg/cm ²) | 210 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 | | |
| cemento tipo | IP | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 | | |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 2838.2212 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 | | |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% | | |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% | | |
| | | Procedencia | Yura | | | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 | | |
| | | Porcentaje | 0% | | | | |
| Método de Diseño: | | | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | | |
| Agua | 7.09 | | Agua | 7.09 | | | |
| Cemento | 11.42 | | Cemento | 11.42 | | | |
| Puzolana | 0.00 | | Puzolana | 0.00 | | 0.62 | |
| Ag. Fino | 25.79 | | Ag. Fino | 24.49 | | | |
| Ag. Grueso | 26.20 | Ag. Grueso | 27.66 | | | | |

3.8.32. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO IP $f_c=280\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 02/08/2017 | |
|--|-----------|--|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 280 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | IP | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 2838.2212 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 0% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| 16 | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.06 | | Agua | 7.07 | |
| Cemento | 13.69 | | Cemento | 13.69 | |
| Puzolana | 0.00 | | Puzolana | 0.00 | |
| | | | | | |
| | | 0.52 | | | 0.52 |
| Ag. Fino | 23.92 | | Ag. Fino | 21.66 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 28.75 | |

3.8.33. DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO TIPO IP $f_c=350\text{kg/cm}^2$.

| Diseño de Mezclas | | | | Fecha de vaceado: 02/08/2017 | |
|---|-----------|---|---|---|--------------|
| Datos de Diseño | | Características Físicas del Agregado fino | | Características Físicas del Agregado Grueso | |
| f_c (kg/cm ²) | 350 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2320 | Tamaño Máximo (Plg) | 1/2 |
| cemento tipo | IP | Módulo de Fineza | 2.99 | Peso específico seco (Kg/cm ³) | 2653 |
| Peso específico seco (kg/cm ³) | 2838.2212 | Absorción | 2.46% | Peso unitario compactado seco (Kg/cm ³) | 1536.7 |
| Peso específico Agua (kg/cm ³) | 1000 | Humedad | 1.13% | Absorción | 1.55% |
| Contenido de AIRE | S | Características Puzolana | | Humedad | 0.15% |
| | | Procedencia | Yura | | |
| Slump | 2" | Peso específico seco (Kg/vm ³) | 2,423.00 | Módulo de fineza | 6.296 |
| | | Porcentaje | 0% | | |
| Método de Diseño: | | | | | |
| ACI | | | Módulo de fineza de la combinación de agregados | | |
| Cantidad de Probetas: | | 16 | | Cantidad de Probetas: | |
| | | | | 16 | |
| Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c | Insumo secos | Peso (kg) | Relación a/c |
| Agua | 7.04 | | Agua | 7.05 | |
| Cemento | 16.11 | | Cemento | 16.11 | |
| Puzolana | 0.00 | | Puzolana | 0.00 | |
| | | | 0.44 | 0.44 | |
| Ag. Fino | 21.91 | | Ag. Fino | 18.81 | |
| Ag. Grueso | 26.20 | | Ag. Grueso | 29.72 | |

4. CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL CONCRETO

4.1. ESTADO FRESCO.

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el endurecimiento de la masa. En ese lapso el concreto es transportado, encofrado y luego compactado manualmente o por vibración. El estado fresco, es aquí cuando el concreto parece una masa. Es blando y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas, y así se conserva durante su colocación y su compactación, en esta etapa se presentan diferentes propiedades:

4.1.1. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP)

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “Slump” o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto siguiendo los siguientes pasos:

- Procedimiento:

Llenado: Se coloca el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos solo con agua. No se permite emplear aceite ni grasa. El operador se sitúa sobre las pisaderas evitando el movimiento del molde durante el llenado. Se llena el molde en tres capas y se apisona cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón distribuidas uniformemente. La capa inferior se llena hasta aproximadamente 1/3 del volumen total y la capa media hasta aproximadamente 2/3 del volumen total del cono, es importante recalcar que no se debe llenar por alturas, sino por volúmenes.

Apisonado: Al apisonar la capa inferior se darán los primeros golpes con la varilla-pisón ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes de modo que la varilla-pisón hasta la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde, puesto que los golpes de la varilla normalizada producirán una disminución del volumen por compactación. Se enrasa la superficie de la capa superior y se limpia el hormigón derramado en la zona adyacente al molde. Inmediatamente después de terminado el llenado, enrase y limpieza se carga el molde con las manos, sujetándolo por las asas y dejando las pisaderas libres y se levanta en dirección vertical sin perturbar el hormigón en un tiempo de 5 +/- 2 segundos. Toda la operación de llenado y levantamiento del molde no debe demorar más de 2.5 minutos.

Una vez levantado el molde la disminución de altura del hormigón moldeado respecto al molde deberá medirse. La medición se hace en el eje central del molde en su posición original. De esta manera, la medida del asiento permite determinar principalmente la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.

- Ensayo:

Se deben preparar por lo menos tres probetas de ensayo de cada muestra para evaluar la resistencia a la compresión en determinada edad por el promedio. Generalmente la resistencia al concreto se evalúa a las edades de 7 y 28 días. Luego de realizar la mezcla con ayuda de una mezcladora se procede a vaciar la mezcla la cual se colocará en una bandeja metálica no absorbente para realizar el remezclado y enseguida se procede a llenar el molde hasta un tercio de su altura compactando con la barra con 25 golpes verticales distribuidos en el área. El proceso se repite con las dos capas siguientes, la barra penetrará en la capa precedente no más de una pulgada.

La última capa se colocará, con material en exceso para enrasar a tope con el borde superior del molde sin agregar material. Después de consolidar cada capa se procederá a golpear ligeramente las paredes del molde con la barra de compactación para eliminar los vacíos que pudieran haber quedado. La superficie del cilindro será terminada con la barra o regla de madera a fin de lograr una superficie plana suave y perpendicular a la generatriz del cilindro. Las probetas se retirarán de los moldes entre 18 y 24 horas después de moldeadas y luego sumergirlas en agua para su curado.

Datos obtenidos:

| DISEÑO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | CEMENTO TIPO | SLUMP |
|--------|--|-----------------|-------|
| ACI | 210 | I | 2.5 |
| MF | 210 | I | 3.9 |
| ACI | 280 | I | 1.25 |
| MF | 280 | I | 1.5 |
| ACI | 350 | I | 1.75 |
| MF | 350 | I | 2.5 |
| ACI | 210 | IP | 1.5 |
| MF | 210 | IP | 2.1 |
| ACI | 280 | IP | 2 |
| MF | 280 | IP | 1 |
| ACI | 350 | IP | 1.5 |
| MF | 350 | IP | 1.8 |

TABLA 25 Slump para concretos con cemento tipo I y tipo IP (Fuente propia)

| CANTERA DE PIEDRA PÓMEZ | | | |
|-----------------------------|--------|--|-------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | SLUMP |
| 20% | ACI | 210 | 1.5 |
| | MF | 210 | 1.45 |
| | ACI | 280 | 3.1 |
| | MF | 280 | 3.5 |
| | ACI | 350 | 2.1 |
| | MF | 350 | 2.1 |
| 30% | ACI | 210 | 2 |
| | MF | 210 | 2.3 |
| | ACI | 280 | 3.5 |

| | | | |
|-----|-----|-----|------|
| | MF | 280 | 5.8 |
| | ACI | 350 | 4.5 |
| | MF | 350 | 3.5 |
| 40% | ACI | 210 | 2.75 |
| | MF | 210 | 2.1 |
| | ACI | 280 | 7 |
| | MF | 280 | 7.4 |
| | ACI | 350 | 5 |
| | MF | 350 | 6.3 |

TABLA 26 Slump cantera piedra pómez (Fuente propia)

| CANTERA DEL km 48 | | | |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|-------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f c (kg/cm ²) | SLUMP |
| 20% | ACI | 210 | 2.8 |
| | MF | 210 | 5.1 |
| | ACI | 280 | 4.7 |
| | MF | 280 | 4.1 |
| | ACI | 350 | 4.5 |
| | MF | 350 | 5.4 |
| 30% | ACI | 210 | 3 |
| | MF | 210 | 5.8 |
| | ACI | 280 | 4.5 |
| | MF | 280 | 6.5 |
| | ACI | 350 | 5.2 |
| | MF | 350 | 5.7 |
| 40% | ACI | 210 | 3.5 |
| | MF | 210 | 4 |
| | ACI | 280 | 7.4 |
| | MF | 280 | 5.7 |
| | ACI | 350 | 5 |
| | MF | 350 | 6.1 |

TABLA 27 Slump cantera km 48 (Fuente propia)

| CANTERA DE YURA | | | |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|-------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f c (kg/cm ²) | SLUMP |
| 20% | ACI | 210 | 3.7 |
| | MF | 210 | 5.4 |
| | ACI | 280 | 3 |
| | MF | 280 | 6 |
| | ACI | 350 | 4.2 |
| | MF | 350 | 4 |
| 30% | ACI | 210 | 5.4 |
| | MF | 210 | 5.5 |
| | ACI | 280 | 6 |

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| | MF | 280 | 3.9 |
| | ACI | 350 | 6.2 |
| | MF | 350 | 5.7 |
| 40% | ACI | 210 | 5.8 |
| | MF | 210 | 6 |
| | ACI | 280 | 4 |
| | MF | 280 | 6.3 |
| | ACI | 350 | 6.7 |
| | MF | 350 | 6.4 |

TABLA 28 Slump cantera de Yura (Fuente propia)

4.1.2. PESO UNITARIO O PESO ESP.

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. Se procede a llenar la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie con la mano.

Procedimiento:

Se apisona la primera capa del concreto con la barra compactadora, realizando 25 golpes, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se procede a llenar hasta las dos terceras partes de la medida y de nuevo se compacta con 25 golpes.

Finalmente, se llena por completo el recipiente hasta que este rebose, y de nuevo se compacta con 25 golpes, el concreto sobrante se elimina utilizando la barra compactadora como regla. Determine el peso del recipiente más su contenido y el peso del recipiente solo.

(Norma Técnica Peruana, 2011).

Datos obtenidos:

| DISEÑO | RESISTENCIA f'c (kg/cm ²) | CEMENTO TIPO | PESO UNITARIO gr/cm ³ |
|--------|--|-----------------|--|
| ACI | 210 | I | 2.3 |
| MF | 210 | I | 2.37 |
| ACI | 280 | I | 2.34 |
| MF | 280 | I | 2.33 |
| ACI | 350 | I | 2.32 |
| MF | 350 | I | 2.33 |
| ACI | 210 | IP | 2.26 |
| MF | 210 | IP | 2.28 |
| ACI | 280 | IP | 2.23 |
| MF | 280 | IP | 2.26 |
| ACI | 350 | IP | 2.23 |
| MF | 350 | IP | 2.24 |

TABLA 29 Peso unitario de concretos con cemento tipo I y tipo IP (Fuente propia)

| CANTERA DE PIEDRA PÓMEZ | | | |
|-------------------------|--------|---------------------------------------|----------------------------------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f'c (kg/cm ²) | PESO UNITARIO gr/cm ³ |
| 20% | ACI | 210 | 2.27 |
| | MF | 210 | 2.27 |
| | ACI | 280 | 2.28 |
| | MF | 280 | 2.28 |
| | ACI | 350 | 2.25 |
| | MF | 350 | 2.31 |
| 30% | ACI | 210 | 2.25 |
| | MF | 210 | 2.23 |
| | ACI | 280 | 2.25 |
| | MF | 280 | 2.27 |
| | ACI | 350 | 2.29 |
| | MF | 350 | 2.3 |
| 40% | ACI | 210 | 2.23 |
| | MF | 210 | 2.24 |
| | ACI | 280 | 2.25 |
| | MF | 280 | 2.25 |
| | ACI | 350 | 2.23 |
| | MF | 350 | 2.31 |

TABLA 30 Peso unitario cantera piedra pómez (Fuente propia)

| CANTERA DEL km 48 | | | |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|----------------------------------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f'c (kg/cm ²) | PESO UNITARIO gr/cm ³ |
| 20% | ACI | 210 | 2.24 |
| | MF | 210 | 2.28 |
| | ACI | 280 | 2.26 |
| | MF | 280 | 2.3 |
| | ACI | 350 | 2.27 |
| | MF | 350 | 2.29 |
| 30% | ACI | 210 | 2.24 |
| | MF | 210 | 2.27 |
| | ACI | 280 | 2.25 |
| | MF | 280 | 2.29 |
| | ACI | 350 | 2.27 |
| | MF | 350 | 2.28 |

| | | | |
|-----|-----|-----|------|
| 40% | ACI | 210 | 2.23 |
| | MF | 210 | 2.26 |
| | ACI | 280 | 2.24 |
| | MF | 280 | 2.25 |
| | ACI | 350 | 2.28 |
| | MF | 350 | 2.29 |

TABLA 31 Peso Unitario cantera del km 48 (Fuente propia)

| CANTERA DE YURA | | | |
|-----------------------|--------|---|----------------------------------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | PESO UNITARIO gr/cm ³ |
| 20% | ACI | 210 | 2.25 |
| | MF | 210 | 2.25 |
| | ACI | 280 | 2.25 |
| | MF | 280 | 2.26 |
| | ACI | 350 | 2.27 |
| | MF | 350 | 2.3 |
| 30% | ACI | 210 | 2.23 |
| | MF | 210 | 2.24 |
| | ACI | 280 | 2.26 |
| | MF | 280 | 2.27 |
| | ACI | 350 | 2.26 |
| | MF | 350 | 2.28 |
| 40% | ACI | 210 | 2.23 |
| | MF | 210 | 2.24 |
| | ACI | 280 | 2.25 |
| | MF | 280 | 2.25 |
| | ACI | 350 | 2.25 |
| | MF | 350 | 2.27 |

TABLA 32 Peso unitario cantera de Yura (Fuente propia)

4.1.3. CONTROL DE LA TEMPERATURA

Cuando se habla del control de las temperaturas del concreto se refiere a poder manejar las propiedades que la mezcla tiene en estado fresco para que de este modo se pueda generar un balance térmico de la estructura a vaciar.

Los factores que pueden influir en la determinación del control de la temperatura del concreto pueden ser varios pero entre los más importantes están los climas extremos. Por ejemplo, en climas cálidos se ven afectados los límites de la velocidad de la evaporación, y en el clima frío se reducen los procesos de hidratación. Como resultado a estas variables y factores se pueden tener resultados que van ligados íntimamente a fenómenos físico mecánicos como lo son la fisuración, el desgaste y la resistencia en el concreto.

La temperatura varía de un concreto a otro. Depende primordialmente de sus componentes, su masa y su calor específico. Por otro lado, se deben tener en cuenta los agentes externos que influyen directamente en la mezcla para variar de una u otra forma la temperatura del concreto, como lo son la temperatura

ambiente, las condiciones ambientales, el espesor del elemento estructural y los métodos de protección que se apliquen a cada uno de los casos. La disipación del calor en la estructura de concreto está relacionada directamente con las dimensiones transversales que tenga el elemento.

Cuando se realice una producción de concreto con temperatura controlada se debe tener en cuenta el siguiente plan de manejo:

- Tener claro cuál será la temperatura a la cual se llevará el concreto.
- Tomar las debidas acciones en cuanto a cómo se va a controlar la temperatura, puede ser:
 - Enfriar el agua.
 - Usar hielo.
 - Enfriar los agregados.
 - Controlar las humedades.
 - Controlar las condiciones de almacenamiento de otros materiales.
- Tener un control y logística en el abastecimiento de materiales necesarios para éste fin.
- Tener total control y la logística necesaria para el cargue, transporte y colocación del concreto.
- Existen varios tipos de enfriamiento, que principalmente son:
 - Enfriamiento del agua con hielo.
 - Enfriamiento de agua con sistemas de enfriamiento.
 - Protección, manejo y enfriamiento del agregado (Almacenar bajo techo, uso de aspersores, rociado – saturación).

Datos obtenidos:

| DISEÑO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | CEMENTO TIPO | TEMPERATURA |
|--------|--|-----------------|-------------|
| ACI | 210 | I | 18.8 |
| MF | 210 | I | 18.2 |
| ACI | 280 | I | 18.4 |
| MF | 280 | I | 17.3 |
| ACI | 350 | I | 18.2 |
| MF | 350 | I | 18.3 |
| ACI | 210 | IP | 18.1 |
| MF | 210 | IP | 18.2 |
| ACI | 280 | IP | 18 |
| MF | 280 | IP | 18.4 |
| ACI | 350 | IP | 18.4 |
| MF | 350 | IP | 19 |

TABLA 33 Temperatura con cemento tipo I y tipo IP (Fuente propia)

| CANTERA DE PIEDRA PÓMEZ | | | |
|--------------------------------|--------|--|-------------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | TEMPERATURA |
| 20% | ACI | 210 | 18 |
| | MF | 210 | 18 |

| | | | |
|-----|-----|-----|-------|
| | ACI | 280 | 18.4 |
| | MF | 280 | 18.4 |
| | ACI | 350 | 17.7 |
| | MF | 350 | 17.7 |
| 30% | ACI | 210 | 18 |
| | MF | 210 | 18 |
| | ACI | 280 | 18 |
| | MF | 280 | 17.8 |
| | ACI | 350 | 18 |
| | MF | 350 | 18.3 |
| 40% | ACI | 210 | 17.75 |
| | MF | 210 | 18 |
| | ACI | 280 | 18.7 |
| | MF | 280 | 18.4 |
| | ACI | 350 | 18.5 |
| | MF | 350 | 18 |

TABLA 34 Temperatura cantera piedra pómez (Fuente propia)

| CANTERA DEL km 48 | | | |
|--------------------------------|--------|--|-------------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f c (kg/cm ²) | TEMPERATURA |
| 20% | ACI | 210 | 17 |
| | MF | 210 | 17 |
| | ACI | 280 | 17.7 |
| | MF | 280 | 16.8 |
| | ACI | 350 | 18.6 |
| | MF | 350 | 18.7 |
| 30% | ACI | 210 | 16.3 |
| | MF | 210 | 16.4 |
| | ACI | 280 | 16.7 |
| | MF | 280 | 17 |
| | ACI | 350 | 18.5 |
| | MF | 350 | 18.5 |
| 40% | ACI | 210 | 17.5 |
| | MF | 210 | 18 |
| | ACI | 280 | 16.9 |
| | MF | 280 | 17 |
| | ACI | 350 | 19 |
| | MF | 350 | 19.1 |

TABLA 35 Temperatura cantera del km 48 (Fuente propia)

| CANTERA DE YURA | | | |
|--------------------------------|--------|---|-------------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA f _c (kg/cm ²) | TEMPERATURA |
| 20% | ACI | 210 | 18.4 |
| | MF | 210 | 18.1 |
| | ACI | 280 | 18.8 |
| | MF | 280 | 18.6 |
| | ACI | 350 | 18 |
| | MF | 350 | 18 |
| 30% | ACI | 210 | 17.6 |
| | MF | 210 | 17.8 |
| | ACI | 280 | 18.5 |
| | MF | 280 | 18.8 |
| | ACI | 350 | 17.7 |
| | MF | 350 | 18 |
| 40% | ACI | 210 | 17.8 |
| | MF | 210 | 17.8 |
| | ACI | 280 | 18.4 |
| | MF | 280 | 18.4 |
| | ACI | 350 | 18.2 |
| | MF | 350 | 18.6 |

TABLA 36 Temperatura cantera de Yura (Fuente propia)

4.2. ESTADO ENDURECIDO.

4.2.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente se les suele colocar a los cilindros una capa de neopreno tanto en la parte superior e inferior. El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí, a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los diámetros medidos difieren en más de 2% no se debe someter a prueba el cilindro. Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con maquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35MPa/s. La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura entre el área promedio de la sección. En caso de que la razón longitud diámetro del cilindro se halle entre 1.75 y 1.00, en la norma ASTM-C39 se presentan los factores de corrección. Se someten a prueba por lo menos dos cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba, en nuestro caso en algunos casos hicimos la rotura de 4 cilindros de la misma edad de 7, 14 y 28 días.

Fórmula utilizada:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}$$

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

Donde:

C = Resistencia a la compresión (kg/cm²).

P = Carga de rotura en compresión (kg).

A = Área de la sección transversal (cm²).

Factores que afectan la resistencia:

- Relación agua- cemento:
Es el factor principal de la resistencia a la compresión de los concretos con o sin aire incorporado, disminuye con el aumento de la relación agua-cemento.
- El contenido de cemento:
La resistencia disminuye conforme se reduce el contenido de cemento.
- El tipo de cemento:
La rapidez de desarrollo de la resistencia varía para los concretos hechos con diferentes tipos de cemento.
- Las condiciones de curado:
Dado que las reacciones de hidratación del cemento solo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad durante el periodo de curado para que el concreto pueda incrementar su resistencia con el tiempo.

Datos obtenidos: DATOS PROMEDIO DE ROTURA DE 4 PROBETAS CILINDRICAS POR DIAS DE CURADO, TOTAL = 792 PROBETAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN.

| DISEÑO | RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²) | DIAS DE CURADO | CEMENTO TIPO | RESISTENCIA OBTENIDA f _c kg/cm ² | |
|--------|--|----------------|--------------|--|--------|
| ACI | 210 | 7 | I | 295.18 | |
| | | 14 | | 319.24 | |
| | | 28 | | 372.37 | |
| MF | | 7 | | 259.81 | |
| | | 14 | | 299.77 | |
| | | 28 | | 308.85 | |
| ACI | | 280 | | 7 | 347.56 |
| | | | | 14 | 394.60 |
| | | | | 28 | 423.17 |
| MF | 7 | | | 338.14 | |
| | 14 | | | 389.88 | |
| | 28 | | | 405.71 | |
| ACI | 350 | | 7 | 389.80 | |
| | | | 14 | 423.16 | |
| | | | 28 | 443.19 | |
| MF | | 7 | 405.57 | | |
| | | 14 | 426.89 | | |
| | | 28 | 444.49 | | |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|--------|--------|----|--------|
| ACI | 210 | 7 | IP | 119.16 | | |
| | | 14 | | 186.00 | | |
| | | 28 | | 181.31 | | |
| MF | | 7 | | 131.65 | | |
| | | 14 | | 161.49 | | |
| | | 28 | | 188.04 | | |
| ACI | | 280 | | 7 | IP | 187.04 |
| | | | | 14 | | 192.08 |
| | | | | 28 | | 272.80 |
| MF | 7 | | 202.00 | | | |
| | 14 | | 208.58 | | | |
| | 28 | | 254.47 | | | |
| ACI | 350 | | 7 | IP | | 216.82 |
| | | | 14 | | | 245.44 |
| | | | 28 | | | 319.63 |
| MF | | 7 | 252.97 | | | |
| | | 14 | 257.29 | | | |
| | | 28 | 294.83 | | | |

TABLA 37 Resistencia a la compresión de concretos con cementos tipo I y tipo IP (Fuente propia)

| CANTERA DE PIEDRA PÓMEZ | | | | | |
|-------------------------|--------|---|----------------|---|--------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA DE DISEÑO f_c (kg/cm ²) | DÍAS DE CURADO | RESISTENCIA OBTENIDA f_c kg/cm ² | |
| 20% | ACI | 210 | 7 | 183.34 | |
| | | | 14 | 224.18 | |
| | | | 28 | 234.11 | |
| | MF | | 7 | 196.18 | |
| | | | 14 | 264.97 | |
| | | | 28 | 270.76 | |
| | ACI | 280 | 7 | 298.01 | |
| | | | 14 | 310.58 | |
| | | | 28 | 369.56 | |
| | | | MF | 7 | 277.95 |
| | | | | 14 | 333.56 |
| | | | | 28 | 365.15 |
| ACI | 350 | 7 | 355.85 | | |
| | | 14 | 380.17 | | |
| | | 28 | 473.35 | | |
| | | MF | 7 | 323.13 | |
| | | | 14 | 418.91 | |
| | | | 28 | 428.13 | |
| 30% | ACI | 210 | 7 | 152.72 | |
| | | | 14 | 182.66 | |
| | | | 28 | 221.21 | |
| | | | MF | 7 | 152.94 |

| | | | | |
|-----|-----|-----|----|--------|
| | ACI | 280 | 14 | 171.67 |
| | | | 28 | 198.04 |
| | | | 7 | 223.35 |
| | | | 14 | 266.49 |
| | | | 28 | 280.81 |
| | | | 7 | 220.94 |
| | MF | 280 | 14 | 252.61 |
| | | | 28 | 266.57 |
| | | | 7 | 308.11 |
| | | | 14 | 357.38 |
| | | | 28 | 373.08 |
| | | | 7 | 325.38 |
| 40% | ACI | 350 | 14 | 346.90 |
| | | | 28 | 407.20 |
| | | | 7 | 124.88 |
| | | | 14 | 137.09 |
| | | | 28 | 164.46 |
| | | | 7 | 137.35 |
| | MF | 350 | 14 | 144.59 |
| | | | 28 | 159.31 |
| | | | 7 | 178.53 |
| | | | 14 | 220.35 |
| | | | 28 | 227.20 |
| | | | 7 | 160.41 |
| 40% | ACI | 280 | 14 | 204.39 |
| | | | 28 | 207.32 |
| | | | 7 | 195.81 |
| | | | 14 | 270.47 |
| | | | 28 | 341.87 |
| | | | 7 | 223.60 |
| | MF | 280 | 14 | 284.69 |
| | | | 28 | 293.72 |
| | | | 7 | 195.81 |
| | | | 14 | 270.47 |
| | | | 28 | 341.87 |
| | | | 7 | 223.60 |
| 40% | ACI | 350 | 14 | 284.69 |
| | | | 28 | 293.72 |
| | | | 7 | 195.81 |
| | | | 14 | 270.47 |
| | | | 28 | 341.87 |
| | | | 7 | 223.60 |
| | MF | 350 | 14 | 284.69 |
| | | | 28 | 293.72 |
| | | | 7 | 195.81 |
| | | | 14 | 270.47 |
| | | | 28 | 341.87 |
| | | | 7 | 223.60 |

TABLA 38 Resistencia a la compresión de la cantera de piedra pómez (Fuente propia)

| CANTERA DEL km 48 | | | | | | |
|-----------------------|--------|--|----------------|--|--------|--------|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm ²) | DIAS DE CURADO | RESISTENCIA OBTENIDA f _c kg/cm ² | | |
| 20% | ACI | 210 | 7 | 209.85 | | |
| | | | 14 | 231.23 | | |
| | | | 28 | 315.99 | | |
| | MF | | 210 | 7 | 196.14 | |
| | | | | 14 | 253.09 | |
| | | | | 28 | 265.22 | |
| | ACI | | | 280 | 7 | 253.19 |
| | | | | | 14 | 298.32 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|--------|--------|--------|
| | MF | 350 | 28 | 343.12 | | |
| | | | 7 | 256.84 | | |
| | | | 14 | 311.86 | | |
| | | | 28 | 316.89 | | |
| | ACI | | 7 | 334.79 | | |
| | | | 14 | 405.32 | | |
| | | | 28 | 423.42 | | |
| | | | 7 | 302.42 | | |
| | MF | | 14 | 372.04 | | |
| | | | 28 | 399.92 | | |
| | | | 7 | 144.94 | | |
| | | | 14 | 174.79 | | |
| 30% | ACI | 210 | 28 | 205.85 | | |
| | | | 7 | 113.53 | | |
| | | | 14 | 148.80 | | |
| | | | 28 | 204.49 | | |
| | MF | | 7 | 224.10 | | |
| | | | 14 | 226.95 | | |
| | | | 28 | 271.64 | | |
| | | | 7 | 196.97 | | |
| | ACI | | 280 | 14 | 212.24 | |
| | | | | 28 | 274.65 | |
| | | | | 7 | 263.28 | |
| | | | | 14 | 305.74 | |
| MF | 350 | 28 | | 320.81 | | |
| | | 7 | | 213.25 | | |
| | | 14 | | 231.67 | | |
| | | 28 | | 286.54 | | |
| 40% | | ACI | | 210 | 7 | 97.53 |
| | | | | | 14 | 109.99 |
| | | | | | 28 | 152.58 |
| | | | | | 7 | 98.25 |
| | | MF | 14 | | 135.50 | |
| | | | 28 | | 158.04 | |
| | | | 7 | | 135.56 | |
| | | | 14 | | 151.71 | |
| | ACI | 280 | 28 | | 200.14 | |
| | | | 7 | | 127.68 | |
| | | | 14 | | 157.32 | |
| | | | 28 | | 173.60 | |
| MF | 350 | | 7 | 268.16 | | |
| | | | 14 | 307.15 | | |
| | | | 28 | 316.84 | | |
| | | | 7 | 199.72 | | |
| ACI | | | 350 | 14 | 253.77 | |
| | | | | 28 | 269.13 | |

TABLA 39 Resistencia a la compresión de la cantera del km 48 (Fuente propia)

| CANTERA DE YURA | | | | |
|-----------------------|--------|---|----------------|---|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (kg/cm ²) | DIAS DE CURADO | RESISTENCIA OBTENIDA f'c kg/cm ² |
| 20% | ACI | 210 | 7 | 182.92 |
| | | | 14 | 200.39 |
| | | | 28 | 242.38 |
| | MF | | 7 | 174.17 |
| | | | 14 | 202.29 |
| | | | 28 | 237.88 |
| | ACI | 280 | 7 | 245.25 |
| | | | 14 | 275.33 |
| | | | 28 | 319.96 |
| | MF | | 7 | 238.36 |
| | | | 14 | 278.39 |
| | | | 28 | 317.44 |
| ACI | 350 | 7 | 305.38 | |
| | | 14 | 377.44 | |
| | | 28 | 380.13 | |
| | | MF | 7 | 286.94 |
| | | | 14 | 342.39 |
| | | | 28 | 367.99 |
| 30% | ACI | 210 | 7 | 161.54 |
| | | | 14 | 180.36 |
| | | | 28 | 200.64 |
| | MF | | 7 | 138.55 |
| | | | 14 | 146.31 |
| | | | 28 | 180.98 |
| | ACI | 280 | 7 | 233.92 |
| | | | 14 | 256.71 |
| | | | 28 | 282.31 |
| | MF | | 7 | 173.22 |
| | | | 14 | 252.16 |
| | | | 28 | 275.78 |
| ACI | 350 | 7 | 270.50 | |
| | | 14 | 298.23 | |
| | | 28 | 352.03 | |
| | | MF | 7 | 243.70 |
| | | | 14 | 338.61 |
| | | | 28 | 345.49 |
| 40% | ACI | 210 | 7 | 117.11 |
| | | | 14 | 125.19 |
| | | | 28 | 147.24 |
| | MF | | 7 | 100.23 |
| | | | 14 | 115.17 |
| | | | 28 | 135.09 |

| | | | | |
|--|-----|-----|----|--------|
| | ACI | 280 | 7 | 172.77 |
| | | | 14 | 191.36 |
| | | | 28 | 240.17 |
| | MF | | 7 | 160.39 |
| | | | 14 | 204.49 |
| | | | 28 | 214.11 |
| | ACI | 350 | 7 | 216.05 |
| | | | 14 | 251.94 |
| | | | 28 | 273.87 |
| | MF | | 7 | 189.79 |
| | | | 14 | 219.21 |
| | | | 28 | 257.42 |

TABLA 40 Resistencia a la compresión de la cantera de Yura (Fuente propia)

4.2.2. RESISTENCIA A TRACCIÓN

El ensayo de tracción indirecta también llamado ensayo de compresión diametral o ensayo brasileño, es uno de los ensayos más empleados para evaluar la resistencia a la tracción del concreto (Normas ASTM C496 Resistencia a la tracción indirecta de Especímenes Cilíndricos, BS 1881-117, ISO 4108, UNE 83-306). Debido a la facilidad con que se puede ejecutar el ensayo, su utilización se ha extendido al campo de aplicación de otros materiales, tales como las rocas y los cerámicos. El ensayo consiste en aplicar sobre una probeta que puede ser cilíndrica, cúbica o prismática, dos cargas iguales y opuestas de compresión. Bajo estas condiciones el modo de rotura típico, asociado con el ensayo, es la rotura de la probeta en dos mitades en correspondencia con el plano de aplicación de las cargas. (Paz & Chaiña, 2015).

PROCEDIMIENTO:

- Medir los diámetros de las probetas a ensayar.
- Medir la altura de las probetas a ensayar.
- Colocación del listón de apoyo a lo largo de la placa inferior, y después se coloca la probeta encima de tal manera que el punto de tangencia de las dos bases este concentrada sobre las láminas de apoyo y luego colocamos el segundo listón sobre la probeta.
- La velocidad de carga continua será 0.05 MPa/S.
- Se anotó la carga de la maquina en el momento de romper, al igual que la apariencia del concreto.

Fórmula utilizada:

$$T = \frac{2P}{\pi * L * d}$$

Dónde:

T = Esfuerzo de tracción indirecta (kg/cm²).

L = Altura de la probeta (cm).

d = Diámetro de la probeta (cm).

P = Carga de rotura (kg). (American Society For Testing Materials, 1996).

Datos obtenidos: DATOS PROMEDIO DE ROTURA DE 4 PROBETAS

CILINDRICAS POR DIAS DE CURADO, TOTAL = 264 PROBETAS ENSAYADAS

A TRACCIÓN INDIRECTA.

| DISEÑO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | DIAS DE CURADO | CEMENTO TIPO | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN f_c (kg/cm ²) |
|--------|--|-------------------|-----------------|--|
| ACI | 210 | 28 | I | 47.26 |
| MF | | | | 43.42 |
| ACI | 280 | | | 55.09 |
| MF | | | | 50.26 |
| ACI | 350 | | | 56.94 |
| MF | | | | 51.40 |
| ACI | 210 | | IP | 112.24 |
| MF | | | | 103.09 |
| ACI | 280 | | | 124.49 |
| MF | | | | 122.13 |
| ACI | 350 | | | 155.39 |
| MF | | | | 139.20 |

TABLA 41 Resistencia a la tracción con cementos tipo I y tipo IP (Fuente propia)

| CANTERA DE PIEDRA PÓMEZ | | | | |
|-----------------------------|--------|-------------------|--|---|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | DIAS DE CURADO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN f_c (kg/cm ²) |
| 20% | ACI | 28 | 210 | 31.72 |
| | MF | | 210 | 37.44 |
| | ACI | | 280 | 38.51 |
| | MF | | 280 | 33.32 |
| | ACI | | 350 | 38.25 |
| | MF | | 350 | 39.51 |
| 30% | ACI | | 210 | 30.40 |
| | MF | | 210 | 24.03 |
| | ACI | | 280 | 32.60 |
| | MF | | 280 | 29.57 |
| | ACI | | 350 | 36.88 |
| | MF | | 350 | 34.79 |
| 40% | ACI | | 210 | 23.04 |
| | MF | | 210 | 22.18 |
| | ACI | | 280 | 24.99 |
| | MF | | 280 | 24.31 |
| | ACI | | 350 | 33.20 |
| | MF | | 350 | 34.96 |

TABLA 42 Resistencia a la Tracción cantera piedra pómez (Fuente propia)

| CANTERA DEL km 48 | | | | |
|-----------------------|--------|----------------|---|---|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | DIAS DE CURADO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN f_c (kg/cm ²) |
| 20% | ACI | 28 | 210 | 29.06 |
| | MF | | 210 | 26.74 |
| | ACI | | 280 | 32.08 |
| | MF | | 280 | 32.44 |
| | ACI | | 350 | 39.09 |
| | MF | | 350 | 41.35 |
| 30% | ACI | | 210 | 22.68 |
| | MF | | 210 | 21.36 |
| | ACI | | 280 | 29.16 |
| | MF | | 280 | 27.88 |
| | ACI | | 350 | 30.45 |
| | MF | | 350 | 29.16 |
| 40% | ACI | | 210 | 20.11 |
| | MF | | 210 | 20.92 |
| | ACI | | 280 | 22.90 |
| | MF | | 280 | 20.86 |
| | ACI | | 350 | 38.13 |
| | MF | | 350 | 28.68 |

TABLA 43 Resistencia a la Tracción cantera del km 48 (Fuente propia)

| CANTERA DE YURA | | | | |
|-----------------------|--------|----------------|---|---|
| % ADICIÓN DE PUZOLANA | DISEÑO | DIAS DE CURADO | RESISTENCIA f_c (kg/cm ²) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN f_c (kg/cm ²) |
| 20% | ACI | 28 | 210 | 27.19 |
| | MF | | 210 | 27.37 |
| | ACI | | 280 | 36.16 |
| | MF | | 280 | 35.81 |
| | ACI | | 350 | 41.72 |
| | MF | | 350 | 41.46 |
| 30% | ACI | | 210 | 22.70 |
| | MF | | 210 | 25.24 |
| | ACI | | 280 | 28.25 |
| | MF | | 280 | 27.48 |
| | ACI | | 350 | 37.21 |
| | MF | | 350 | 38.50 |
| 40% | ACI | | 210 | 20.21 |
| | MF | | 210 | 19.18 |
| | ACI | | 280 | 27.48 |
| | MF | | 280 | 25.10 |
| | ACI | | 350 | 31.42 |
| | MF | | 350 | 32.55 |

TABLA 44 Resistencia a la Tracción cantera Yura (Fuente propia)

4.2.3. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

El comité 201 del ACI, define la durabilidad como la habilidad de resistir el intemperismo, ataque químico, abrasión y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro en la estructura.

Se define la resistencia a la abrasión como la habilidad de una superficie de concreto a ser desgastada por roce o fricción.

APARATOS:

- ❖ Máquina de los Ángeles: La resistencia al impacto se mide utilizando la Máquina de Los Ángeles.
- ❖ Carga Abrasiva: consiste en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390 y 445 gramos.
- ❖ Moldes: Cubos de concreto de 5.0 cm de lado, del concreto con cemento Tipo I, Tipo IP y con diferentes porcentajes de puzolana.

PROCEDIMIENTO:

- Se elaboró cubos de concreto de 5.0 cm.
- Secamos los cubos en el horno a una temperatura de 40°C hasta obtener peso constante.
- Anotamos el peso de la muestra antes del ensayo.
- Colocamos la muestra y la carga abrasiva en la máquina de los Ángeles y la hacemos rotar durante 1000 revoluciones.
- Tamizamos la porción más fina por el tamiz N°12.
- Pesamos la muestra retenida por el tamiz.
- Determinamos el porcentaje de desgaste por diferencia de pesos.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} * 100$$

Donde:

P_1 = Peso Inicial.

P_2 = Peso final.

Datos obtenidos:

| 30-ago | | Tipo 1 | | |
|--------|--------|--------------|----------------------|----------|
| f'c | Diseño | Peso Inicial | Peso ret malla N°12 | Abrasión |
| 210 | MF | 2885 | 2411 | 16% |
| | ACI | 2833.5 | 2265 | 20% |
| 280 | MF | 2722.5 | 2175 | 20% |
| | ACI | 2950.5 | 2454.5 | 17% |
| 350 | MF | 2871 | 2373 | 17% |
| | ACI | 2848.5 | 2384 | 16% |
| 29-ago | | Tipo 1P | | |
| f'c | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 210 | MF | 2850 | 1925 | 32% |
| | ACI | 2900 | 1995 | 31% |
| 280 | MF | 2765 | 2200 | 20% |
| | ACI | 2855 | 2255 | 21% |

| | | | | |
|-----|-----|------|------|-----|
| 350 | MF | 3020 | 2555 | 15% |
| | ACI | 2845 | 2130 | 25% |

TABLA 45 Abrasión de concretos con cemento tipo I y tipo IP (Fuente propia)

| 14-ago | | Pomez 210 kg/cm ² | | |
|------------|--------|------------------------------|---------------------|----------|
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2548.6 | 1756.2 | 31% |
| | ACI | 2518.6 | 1764.9 | 30% |
| 30% | MF | 2510.5 | 1515.7 | 40% |
| | ACI | 2493.9 | 1631.5 | 35% |
| 40% | MF | 2202.3 | 1255.2 | 43% |
| | ACI | 2405.2 | 1353.4 | 44% |
| 17-ago | | Km 48 210 kg/cm ² | | |
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2625.9 | 1875.2 | 29% |
| | ACI | 2689.6 | 1943.9 | 28% |
| 30% | MF | 2579.6 | 1593.7 | 38% |
| | ACI | 2562.4 | 1596.9 | 38% |
| 40% | MF | 2541.3 | 1438.7 | 43% |
| | ACI | 2611.3 | 1482.1 | 43% |
| 23-ago | | Yura 210 kg/cm ² | | |
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2815 | 1895 | 33% |
| | ACI | 2885 | 1930 | 33% |
| 30% | MF | 2755 | 1695 | 38% |
| | ACI | 2740 | 1680 | 39% |
| 40% | MF | 2730 | 1550 | 43% |
| | ACI | 2735 | 1630 | 40% |

TABLA 46 Abrasión de concretos con resistencia f_c 210 kg/cm² (Fuente propia)

| 15-ago | | Pomez 280 kg/cm ² | | |
|------------|--------|------------------------------|----------------------|----------|
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2715.2 | 2056.2 | 24% |
| | ACI | 2677.4 | 2039.6 | 24% |
| 30% | MF | 2658 | 1932 | 27% |
| | ACI | 2695.2 | 1980.6 | 27% |
| 40% | MF | 2687.8 | 1783 | 34% |
| | ACI | 2665.1 | 1763 | 34% |
| 21-ago | | Km 48 280 kg/cm ² | | |
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2748.8 | 2057.9 | 25% |
| | ACI | 2755.2 | 2090.6 | 24% |
| 30% | MF | 2778.4 | 1973.5 | 29% |
| | ACI | 2775.9 | 1986.1 | 28% |
| 40% | MF | 2694.4 | 1586.5 | 41% |
| | ACI | 2777.3 | 1657.2 | 40% |

| 28-ago | | YURA | | 280 kg/cm ² |
|------------|--------|--------------|----------------------|---------------------------|
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2750 | 1950 | 29% |
| | ACI | 2865 | 1930 | 33% |
| 30% | MF | 2795 | 2025 | 28% |
| | ACI | 2770 | 2080 | 25% |
| 40% | MF | 2680 | 1870 | 30% |
| | ACI | 2845 | 2080 | 27% |

TABLA 47 Abrasión de concretos con resistencia f_c 280 kg/cm² (Fuente propia)

| 16-ago | | Pomez | | 350 kg/cm ² |
|------------|--------|--------------|----------------------|---------------------------|
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2664.4 | 2095.5 | 21% |
| | ACI | 2712.4 | 2116 | 22% |
| 30% | MF | 2594.9 | 1989 | 23% |
| | ACI | 2798.5 | 2181.9 | 22% |
| 40% | MF | 2588.2 | 1857.3 | 28% |
| | ACI | 1569.9 | 1099.2 | 29% |

| 22-ago | | Km 48 | | 350 kg/cm ² |
|------------|--------|--------------|----------------------|---------------------------|
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2840 | 2215 | 22% |
| | ACI | 2855 | 2285 | 20% |
| 30% | MF | 2855 | 2190 | 23% |
| | ACI | 2780 | 2060 | 26% |
| 40% | MF | 2860 | 2220 | 22% |
| | ACI | 2745 | 1955 | 29% |

| 29-ago | | YURA | | 350 kg/cm ² |
|------------|--------|--------------|----------------------|---------------------------|
| Porcentaje | Diseño | Peso Inicial | Peso ret. malla N°12 | Abrasión |
| 20% | MF | 2935 | 2300 | 22% |
| | ACI | 2895 | 2320 | 20% |
| 30% | MF | 2820 | 2180 | 23% |
| | ACI | 2880 | 2280 | 21% |
| 40% | MF | 2820 | 2105 | 25% |
| | ACI | 2820 | 2140 | 24% |

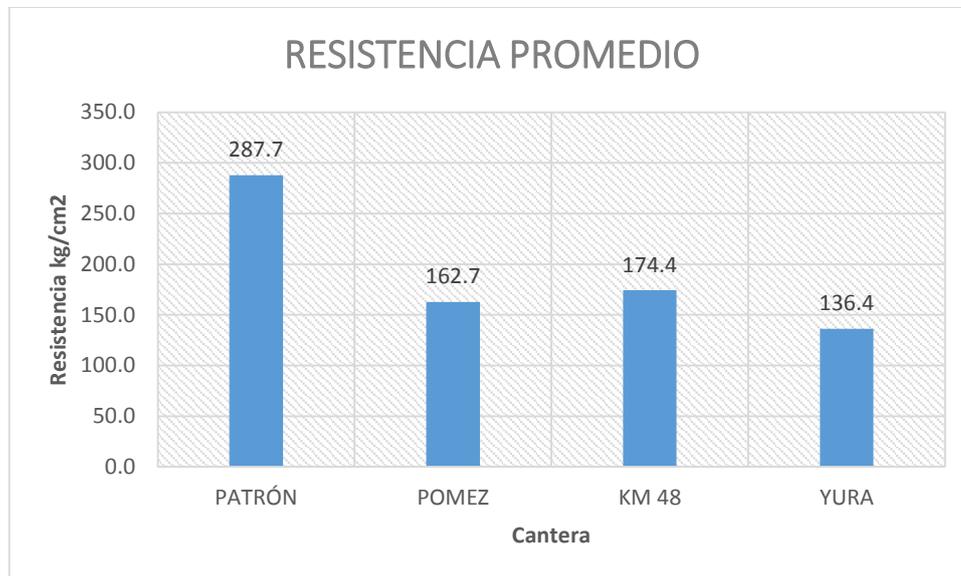
TABLA 48 Abrasión de concretos con resistencia f_c 350 kg/cm² (Fuente propia)

5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE ACTIVIDAD PUZOLANICA

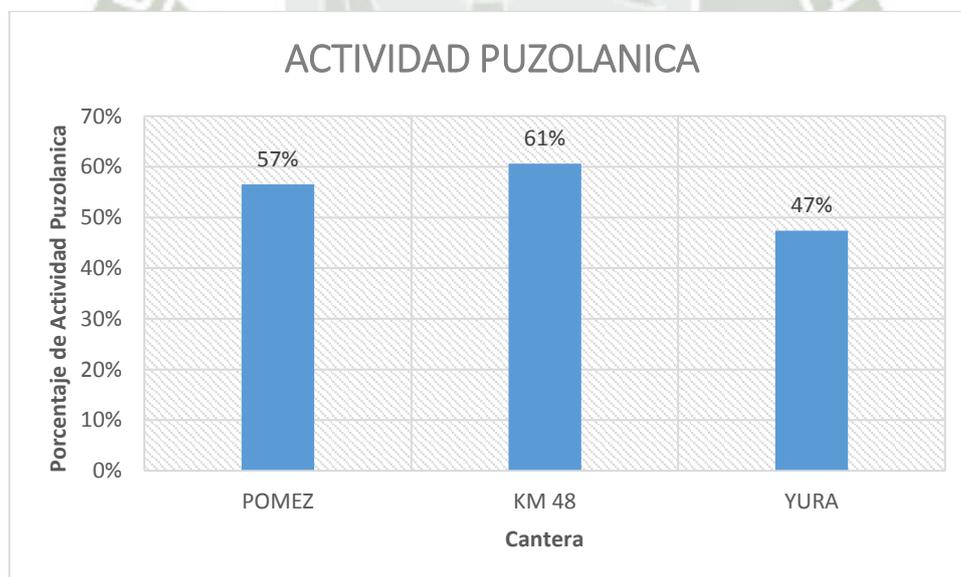
5.1.1. ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CEMENTO

Se observa en el cuadro la resistencia promedio del mortero patrón y las diferentes puzolanas para luego hallar su índice de actividad puzolánica por el método del cemento.



GRÁFICA 6 Resistencia Promedio de actividad puzolánica con cemento (Fuente propia)

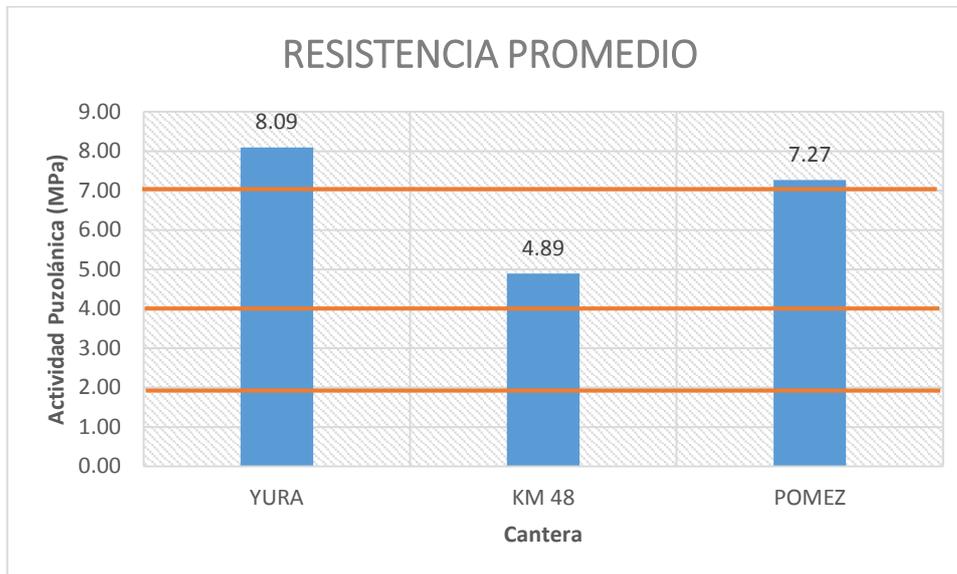
Observamos en el cuadro que la cantera del Km 48 tiene una actividad puzolánica del 61%, la cantera de piedra pómez tiene una actividad puzolánica del 57% y la cantera de Yura tiene una actividad puzolánica del 47%.



GRÁFICA 7 Actividad Puzolánica con cemento (Fuente propia)

5.1.2. ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CAL

Se observa en el cuadro la resistencia promedio en MPa de las diferentes puzolanas para luego hallar su índice de actividad puzolánica por el método de la cal.



GRÁFICA 8 Resistencia promedio de actividad puzolánica con cal (Fuente propia)

| RESISTENCIA A COMPRESION (MPa) | CLASIFICACION PROPUESTA PARA EL MATERIAL |
|--------------------------------|--|
| Menos de 2 | Poco activo |
| Entre 2 - 4 | Actividad baja |
| Entre 4 - 7 | Actividad media |
| Entre 7 - 10 | Actividad alta |
| Superior a 10 | Muy activo |

TABLA 49 Clasificación propuesta para la actividad puzolánica con cal

Fuente: Estudio de la aptitud de un material como adición activa al cemento M / PILAR DE LUXAN, Dra. en Ciencias Químicas M / ISABEL SANCHEZ DE ROJAS, Leda, en Ciencias Químicas IETCC/CSIC.

5.2. COMPARACIÓN DEL CONCRETO CON CEMENTO TIPO I, TIPO 1P Y EL CONCRETO ADICIONADO CON LAS PUZOLANAS DE LAS CANTERAS DE AREQUIPA

Para comparación del concreto con cemento TIPO 1, TIPO 1P y el concreto adicionado con puzolana se clasificó por propiedades tanto en concreto en estado fresco como en concreto endurecido con el fin de hacer un análisis comparativo independiente para cada una de las propiedades del concreto, además también se clasifica por resistencia a la compresión de diseño o $f'c$, a su vez también con el

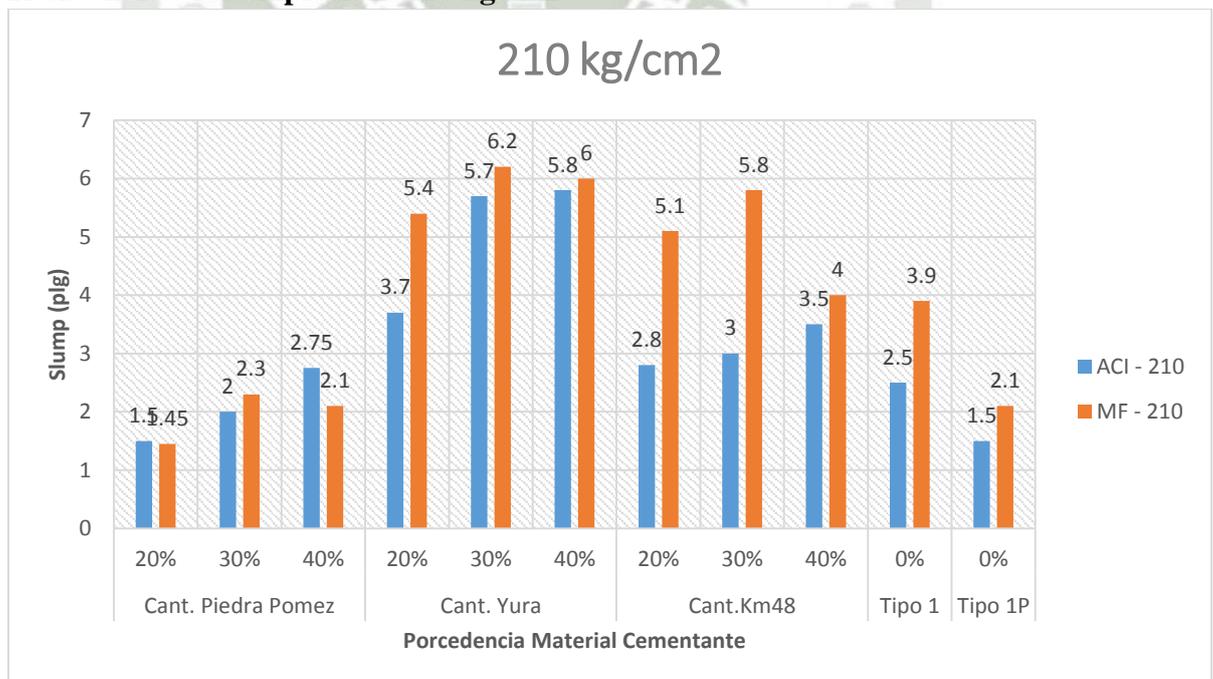
fin de hacer un análisis comparativo independiente para cada resistencia planteada. El objetivo principal de este análisis es identificar el mejor resultado de las diferentes canteras, así como el mejor porcentaje de puzolana a utilizar para obtener los mejores resultados en las propiedades físicas del concreto y por ultimo identificar el mejor método de diseño a trabajar con las diferentes canteras de puzolana.

Este análisis contiene una comparación general para cada resistencia a la compresión planteada donde se muestra el valor obtenido para cada propiedad especificada en cada caso y para cada vaceado realizado con los diferentes porcentajes de puzolana adicionados con la cantera respectiva y los vaceados con cemento TIPO 1 y TIPO 1P. Además, para las propiedades de asentamiento y resistencia a la compresión, contiene una comparación más detallada entre canteras, analizando cada una con el mismo porcentaje de adición de puzolana e incluyendo los datos para la propiedad especificada de los vaceados con cemento TIPO 1 y TIPO 1P.

5.2.1. Asentamiento, Plasticidad o Slump (plg)

5.2.1.1. Comparación General

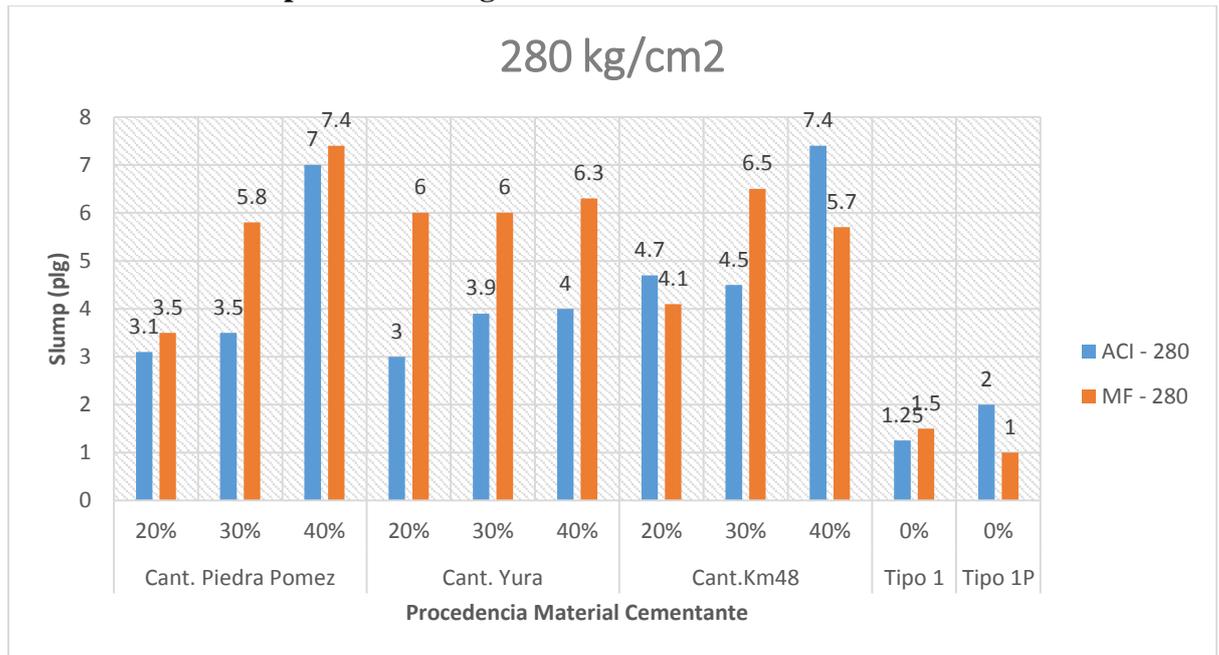
Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²



GRÁFICA 9 Resistencia a la compresión 210 kg/cm² (Fuente propia)

Se observa que el diseño de mezclas por el método de Modulo de Fineza de La combinación de agregados (MF) obtiene concretos con mayor plasticidad en casi todos los escenarios, aproximadamente un 10% a 30% más. Además, también se observa que la plasticidad en los concretos adicionados con puzolana es considerablemente mayor a la que resulta de usar concretos sin adición de puzolana.

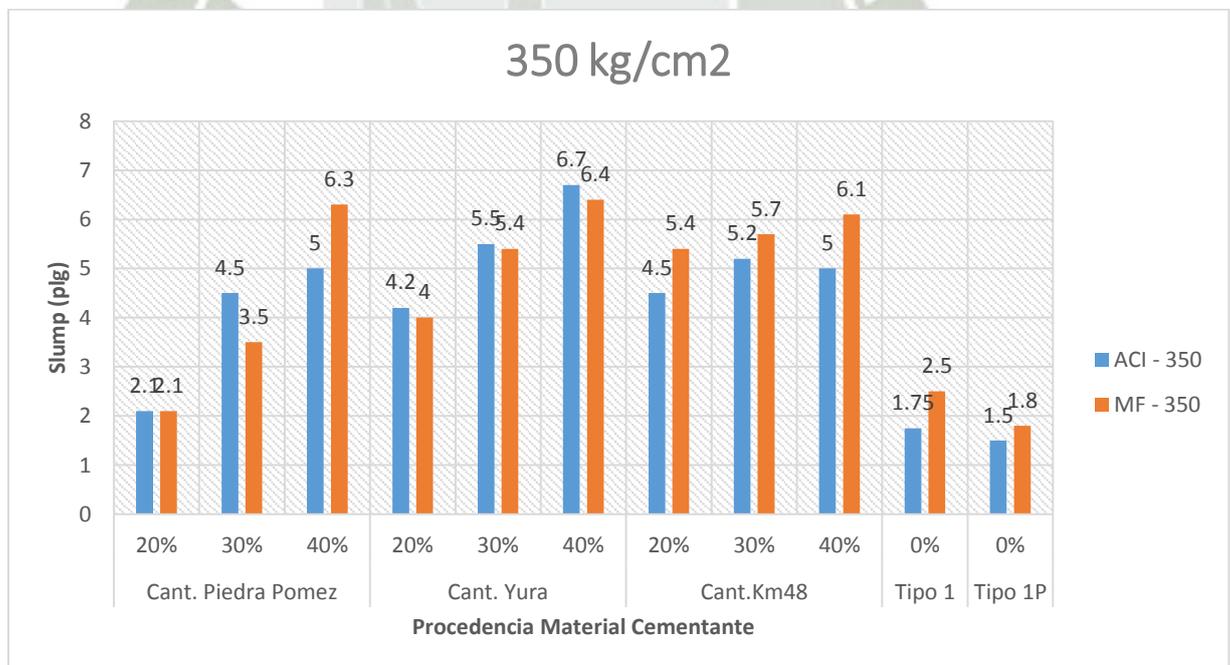
Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²



GRÁFICA 10 Resistencia a la compresión 280 kg/cm² (Fuente propia)

Se puede observar que el diseño de mezclas por el método de Modulo de Fineza de La combinación de agregados (MF) obtiene concretos con mayor plasticidad en casi todos los escenarios al igual que en el anterior gráfico. Del mismo modo el resultado sigue siendo similar, los concretos con adición de puzolana presentan mayor plasticidad que los concretos vacceados sin adición.

Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²



GRÁFICA 11 Resistencia a la compresión 350 kg/cm² (Fuente propia)

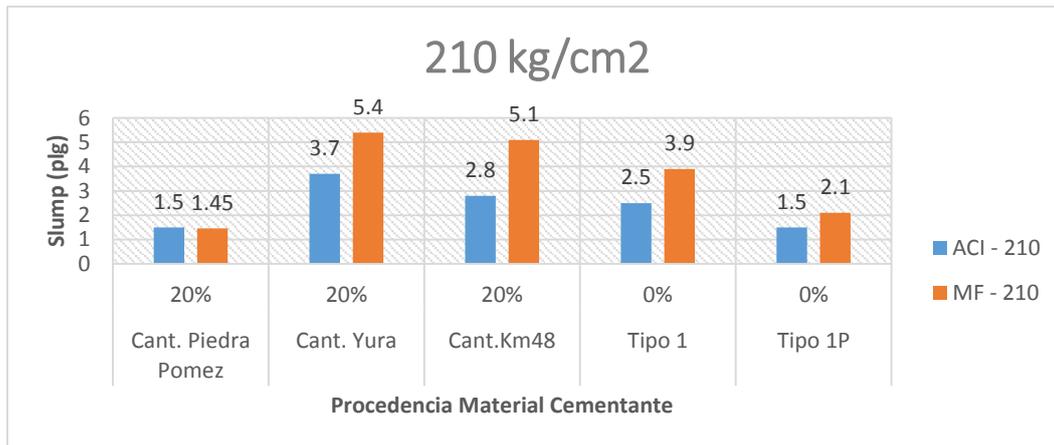
Del mismo modo que en los anteriores gráficos, el diseño de mezclas por el método de Modulo de Fineza de La combinación de agregados (MF) obtiene concretos con mayor plasticidad en casi todos los escenarios, sin embargo, siendo que la diferencia

de resultados es mínima e inferiores a una pulgada, se puede deducir que el método de diseño de mezclas utilizado para concretos de resistencia 350 kg/cm² no influye significativamente entre sí, en la variación de plasticidad obtenidas. Del mismo modo que en los anteriores gráficos se observa que los concretos con adición de puzolana presentan mayor plasticidad que los concretos vacados sin adición.

5.2.1.2. Comparación detallada entre canteras

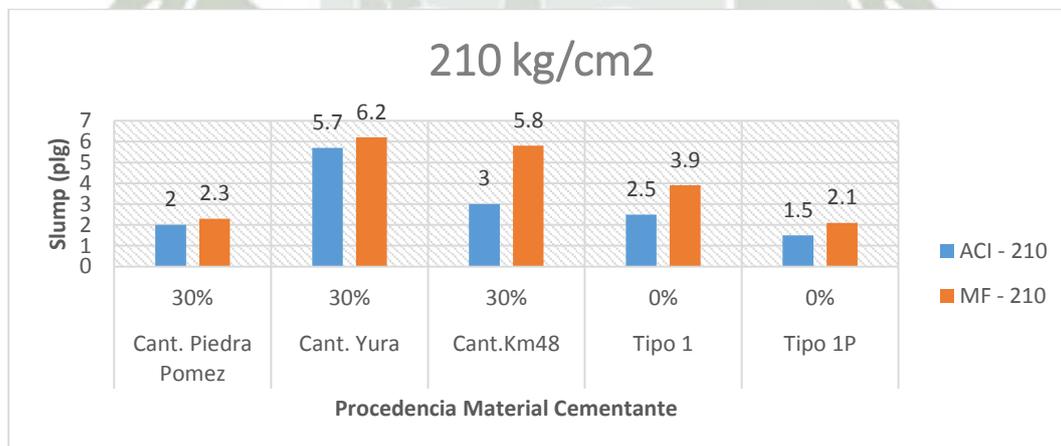
Resistencia a la compresión de diseño: 210 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



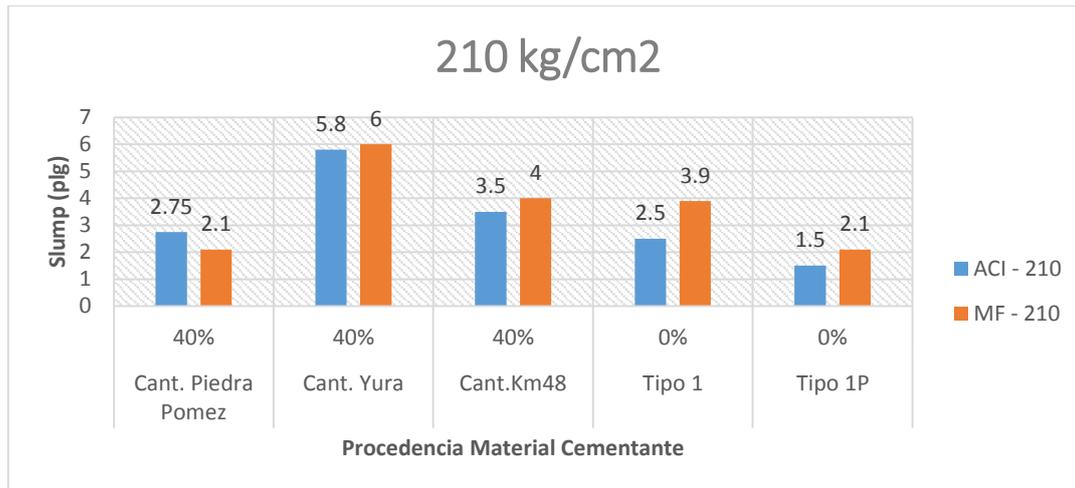
GRÁFICA 12 Resistencia a la compresión 210 kg/cm² con adición de 20% de puzolana (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 13 Resistencia a la compresión 210 kg/cm² con adición de 30% de puzolana (Fuente propia)

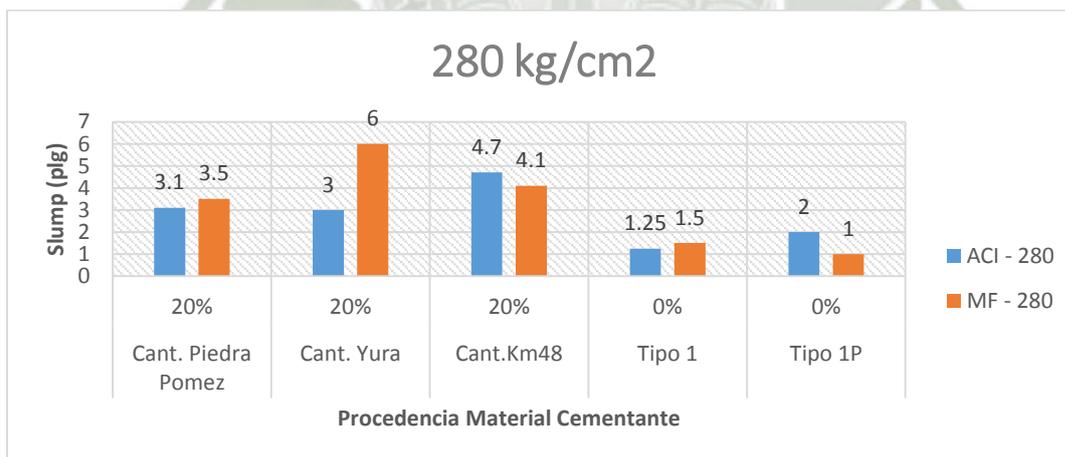
Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 14 Resistencia a la compresión 210 kg/cm² con adición de 40% de puzolana (Fuente propia)

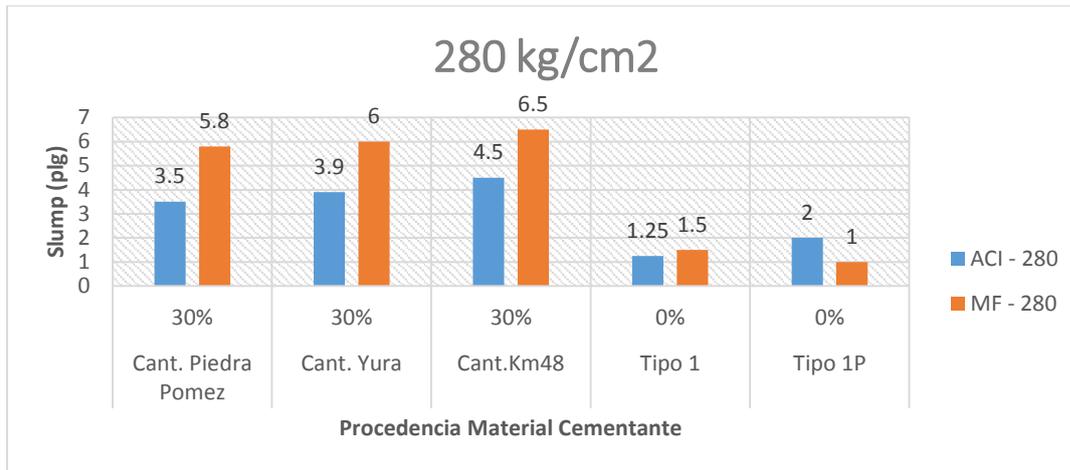
De los anteriores diagramas mostrados se puede observar que la cantera con mayor slump o asentamiento es la cantera de Yura para los tres casos de adición de puzolana expuestos (20%, 30% y 40%), también se observa que en para el diseño hecho por el método de ACI, el incremento de asentamiento es proporcional al porcentaje de puzolana adicionada, mientras que para el método de diseño de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados, se observa que únicamente el incremento se da hasta un 30% de adición, y para 40% disminuye sin superar el 20% de adición. Como resultado, se observa que la cantera Yura presenta el máximo asentamiento para un concreto de 210 kg/cm² de 6.2 pulgadas.

**Resistencia a la compresión de diseño: 280 kg/cm²
Con 20% de adición de puzolana:**



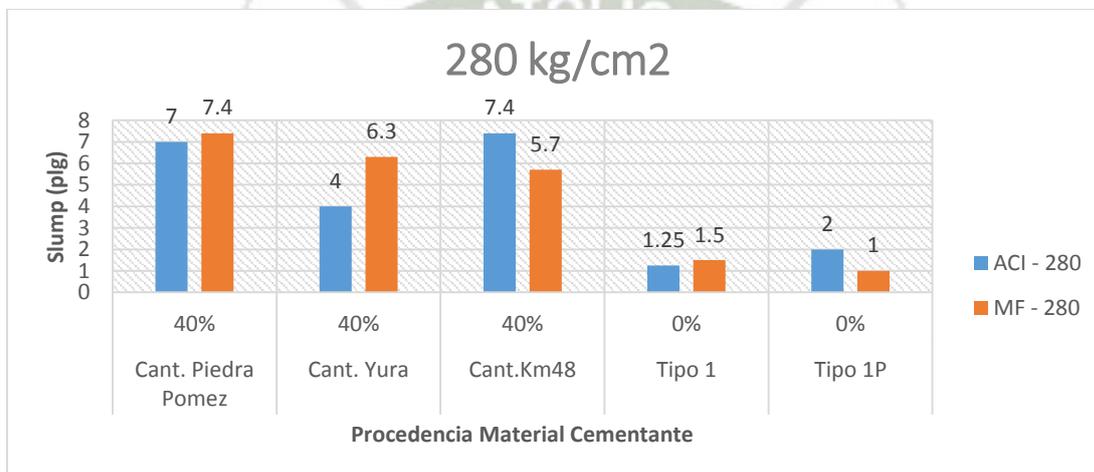
GRÁFICA 15 Resistencia a la compresión 280 kg/cm² con adición de 20% de puzolana (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 16 Resistencia a la compresión 280 kg/cm² con adición de 30% de puzolana (Fuente propia)

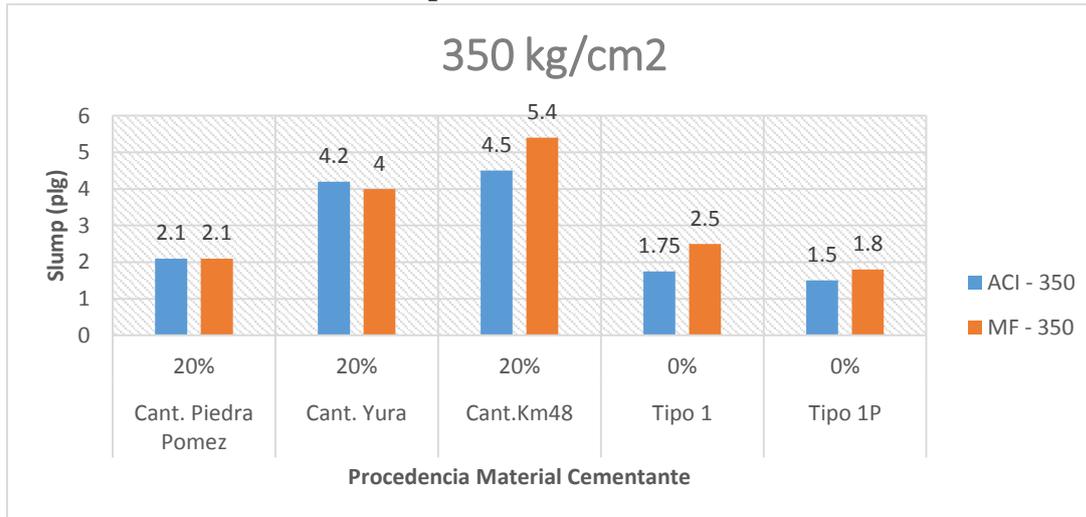
Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 17 Resistencia a la compresión 280 kg/cm² con adición de 40% de puzolana (Fuente propia)

Se puede observar que, los asentamientos para un concreto de 280 kgf/cm² el asentamiento es inferior al de uno de 210 kgf/cm², sin embargo, para este concreto la diferencia de asentamientos entre las adiciones de puzolana ya no es tan elevada como en concretos de resistencia 210 kgf/cm², sin embargo, se puede observar en el gráfico de adición 20% que la cantera de Yura generó mayor asentamiento por sobre el resto en el método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados. Además, se puede observar que el incremento de asentamiento es proporcional al de adición de puzolana en todos los gráficos. Debido a que en este caso no existe diferencias relevantes entre asentamientos, se puede afirmar que para concretos de resistencias 280 kgf/cm² cualquiera de las canteras expuestas, dará buenos resultados, superando por más de 3 a 4 pulgadas a dependiendo del método de diseño, a concretos convencionales hechos sin adición de puzolana en el material cementante, sin embargo, ya que la cantera de Yura presentó menor variación en sus resultados, podría ser considerada como la mejor opción.

**Resistencia a la compresión de diseño: 350 kg/cm²
Con 20% de adición de puzolana:**



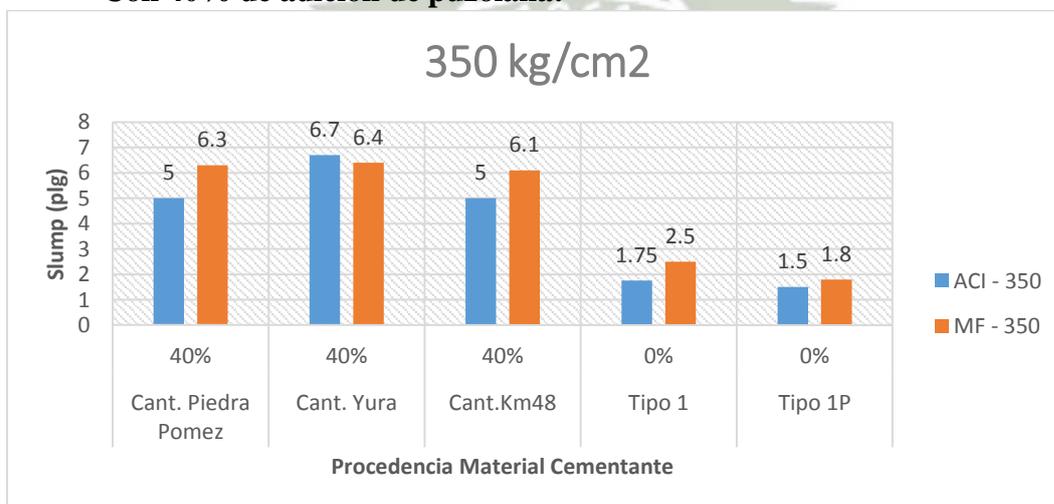
GRÁFICA 18 Resistencia a la compresión 350 kg/cm² con adición de 20% de puzolana (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 19 Resistencia a la compresión 350 kg/cm² con adición de 30% de puzolana (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



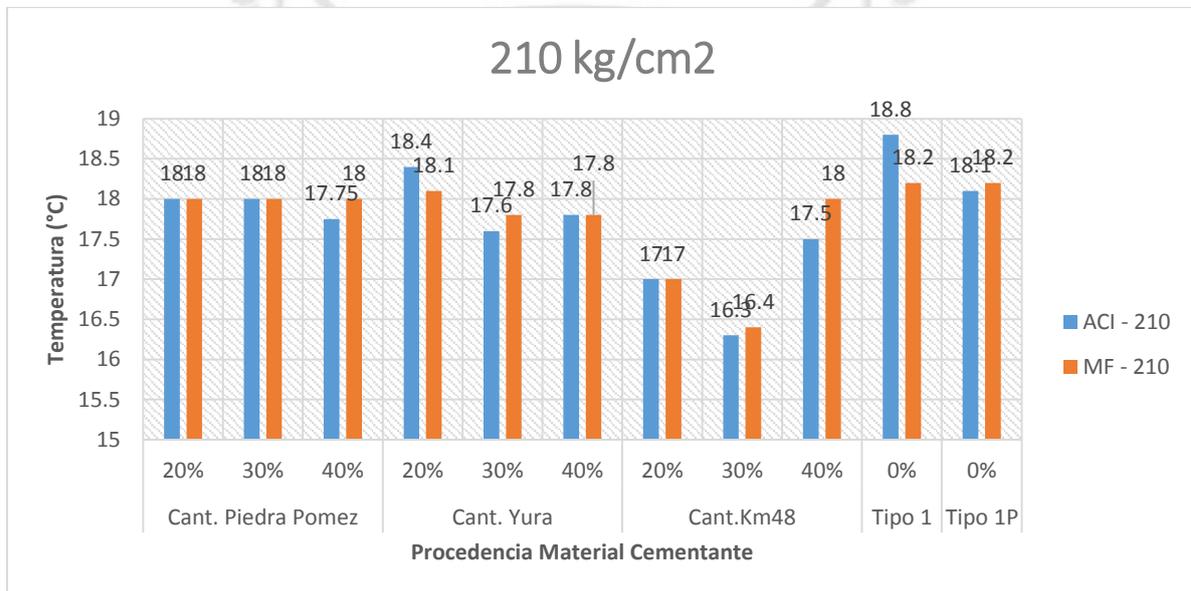
GRÁFICA 20 Resistencia a la compresión 350 kg/cm² con adición de 40% de puzolana (Fuente propia)

Del mismo modo que en los anteriores gráficos expuestos para resistencias 210kg/cm² y 280kg/cm² se observa una gran diferencia en asentamiento de un concreto convencional hecho sin adición de puzolana y uno con adición, para este caso en concretos de resistencia 350kg/cm², se observa que como en el anterior caso, no existen diferencias considerablemente relevantes en los asentamientos, y que a su vez el incremento de asentamiento es proporcional al incremento de adición de puzolana, sin embargo, se puede observar que a excepción de los concretos adicionados con 40% de puzolana, la cantera de Km48 es la que ha generado mayores asentamientos en el concreto, y considerando que en el gráfico de adición de 40% la diferencia entre canteras es insignificante, además de que el método de diseño también presenta insignificantes diferencias entre sí, se puede afirmar que la cantera óptima para este diseño es la cantera Km 48.

5.2.2. Temperatura (C°)

5.2.2.1. Comparación General

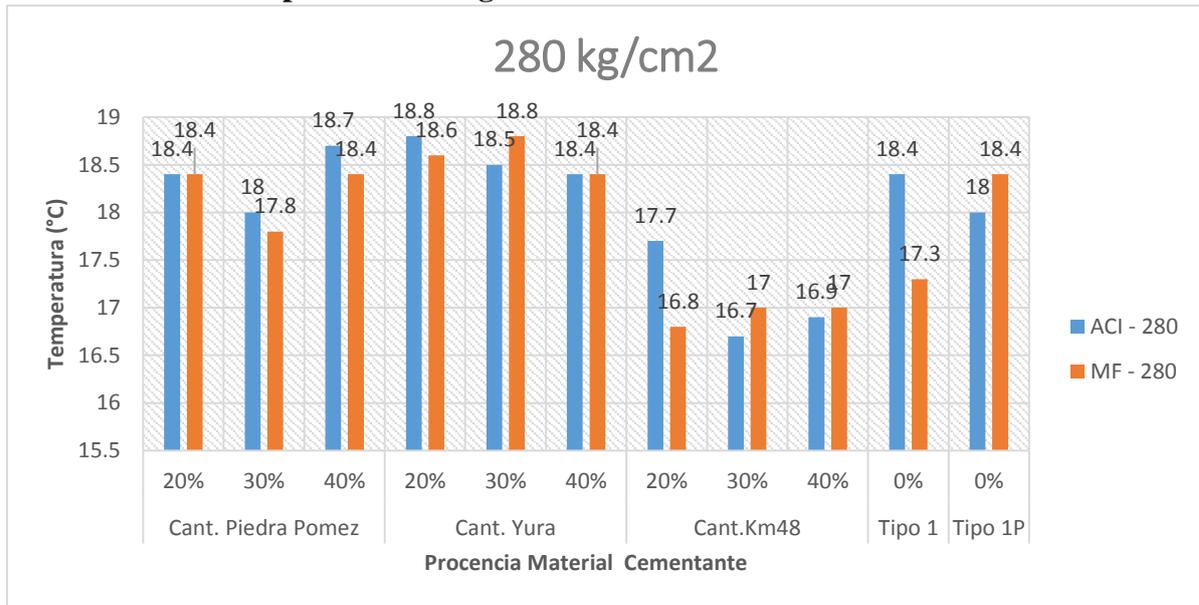
Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²



GRÁFICA 21 Temperatura para concretos de f_c 210 kg/cm² (Fuente propia)

Se observa que exceptuando la cantera Km48 a una adicción del 30% de puzolana, todos los datos de temperatura oscilan entre 17°C y 18.8°C, esto indica que la adicción de puzolana para concretos de resistencia a la compresión 210 kg/cm² no tiene mayor influencia en la temperatura del concreto.

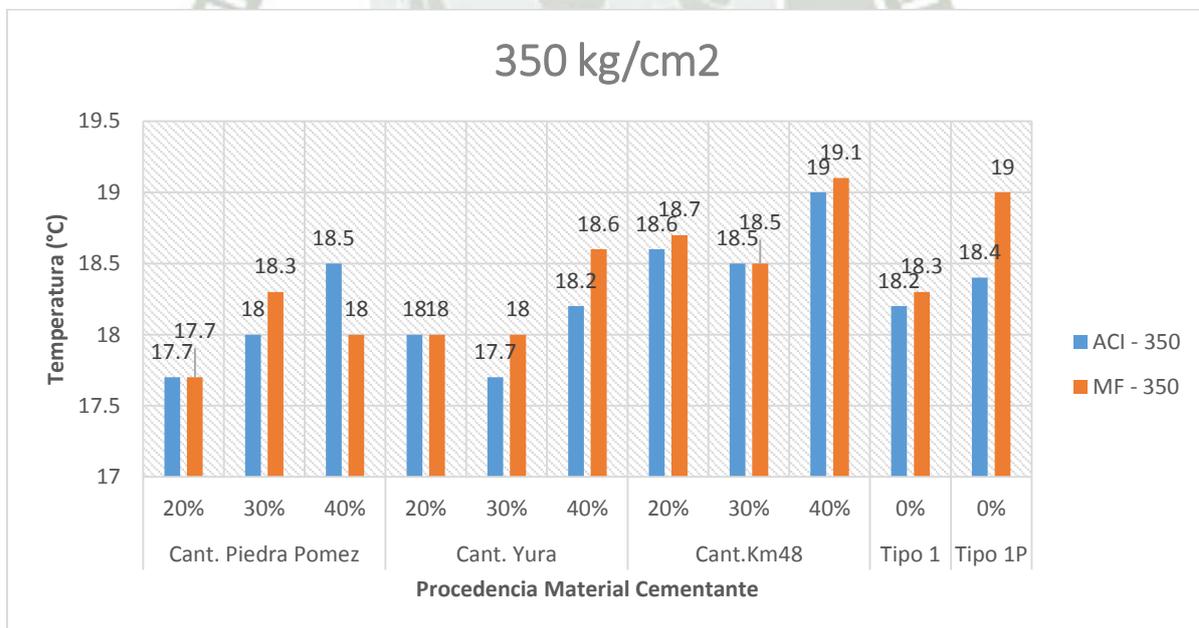
Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²



GRÁFICA 22 Temperatura para concretos de f'c 280 kg/cm² (Fuente propia)

Al igual que el grafico anterior, a pesar de existir variación en temperatura en el concreto usando la cantera Km48, la variación apenas es de 1°C con respecto al promedio del resto y tal como en para concretos de resistencia a la compresión 210kg/cm², los valores de temperatura oscilan entre 17°C y 18.8°C indicando que para concretos de resistencia a la compresión 280 kg/cm² tampoco tiene mayor influencia en la temperatura del concreto.

Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²



GRÁFICA 23 Temperatura para concretos de f'c 350 kg/cm² (Fuente propia)

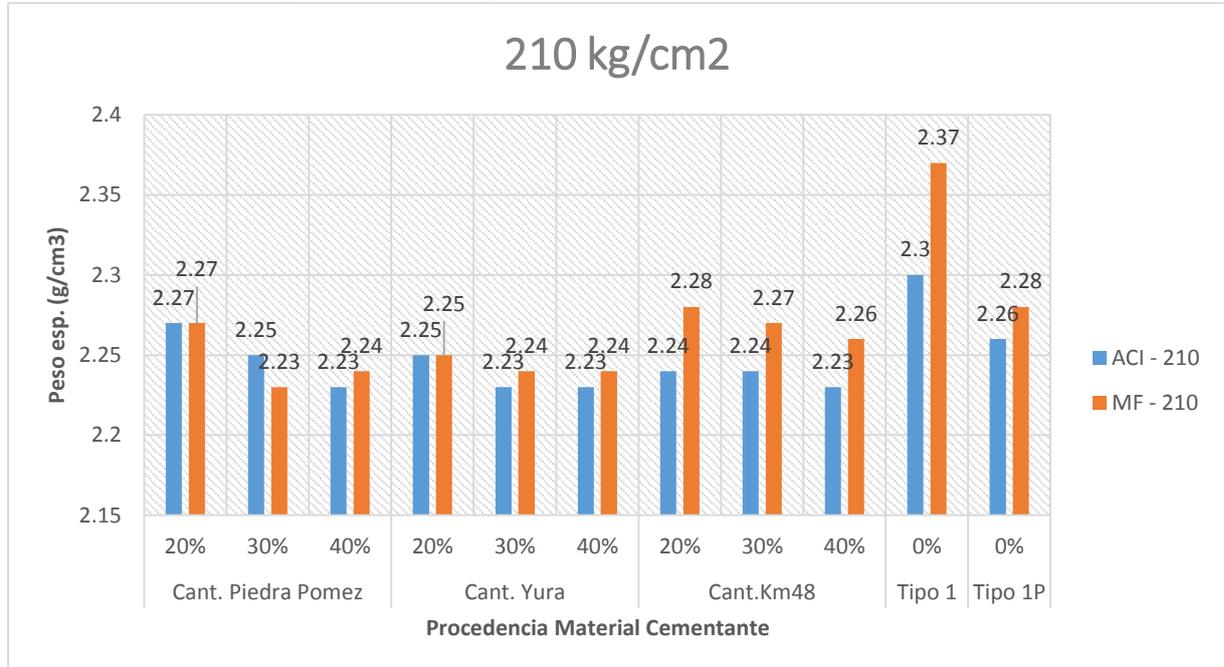
Según el grafico se observa que las canteras Piedra Pómez y Yura, son las que presentan menores temperaturas, sin embargo, la variación con respecto al resto de datos, no es relevante como para afirmar un descenso de temperatura considerable en el concreto a pesar que disminuye la temperatura en concretos adicionados con respecto a concretos tradicionales sin adición de puzolana, por lo que en general se concluye que así como en

los anteriores casos, para resistencia a la compresión de 210kg/cm² y 280kg/cm² , la adición de puzolana no presenta mayor influencia en la temperatura de concretos de resistencia a la compresión de 350kg/cm².

5.2.3. *Peso esp. Del concreto fresco (kg/cm³)*

5.2.3.1. Comparación General

Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²

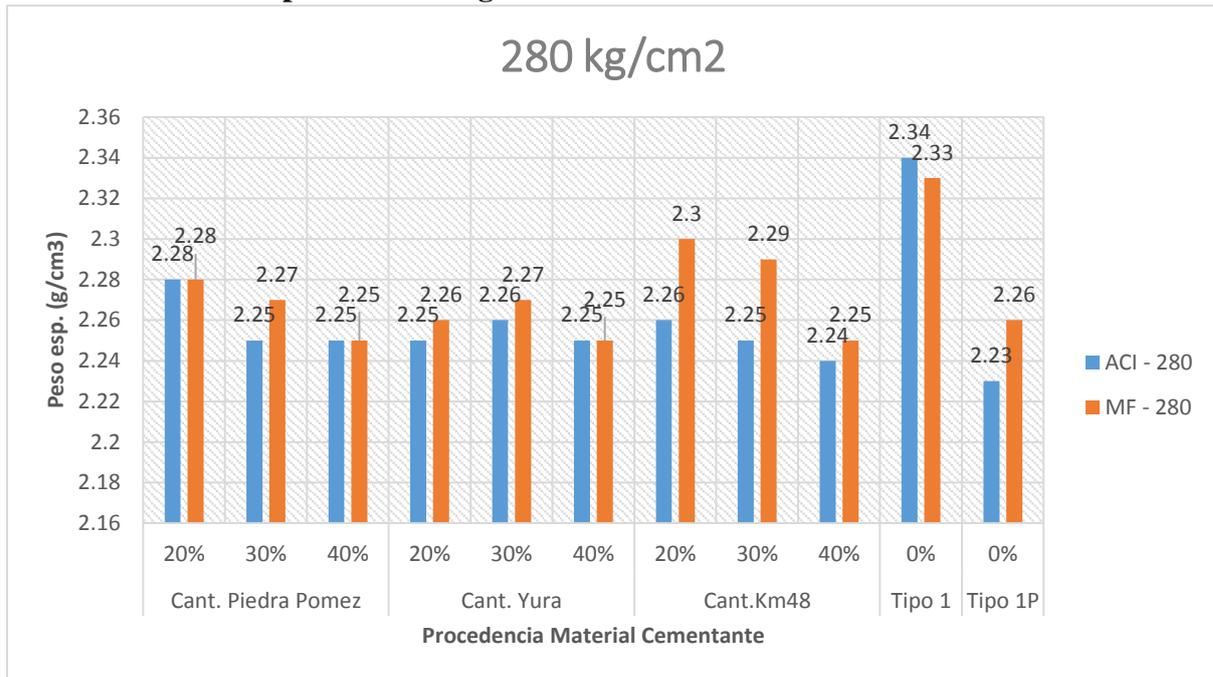


GRÁFICA 24 *Peso específico del concreto fresco para concretos de f'c 210 kg/cm² (Fuente propia)*

De acuerdo al gráfico, se observa que no existe variación significativa entre métodos de diseño de mezclas, además se observa que el concreto vacado sin adición de puzolana con cemento Tipo 1, presenta mayor peso específico, llegando hasta un peso de 2.3g/cm³ y 2.37g/cm², ambos superando a los otros vacados, sin embargo, a excepción de este diseño, no existe diferencia relevante entre las diferentes canteras.

Además, también se aprecia que la relación entre el porcentaje adicionado de puzolana y el peso específico es inversamente proporcional a pesar de no ser una diferencia relevante, es decir, a mayor adición de puzolana, el peso específico es menor.

Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²

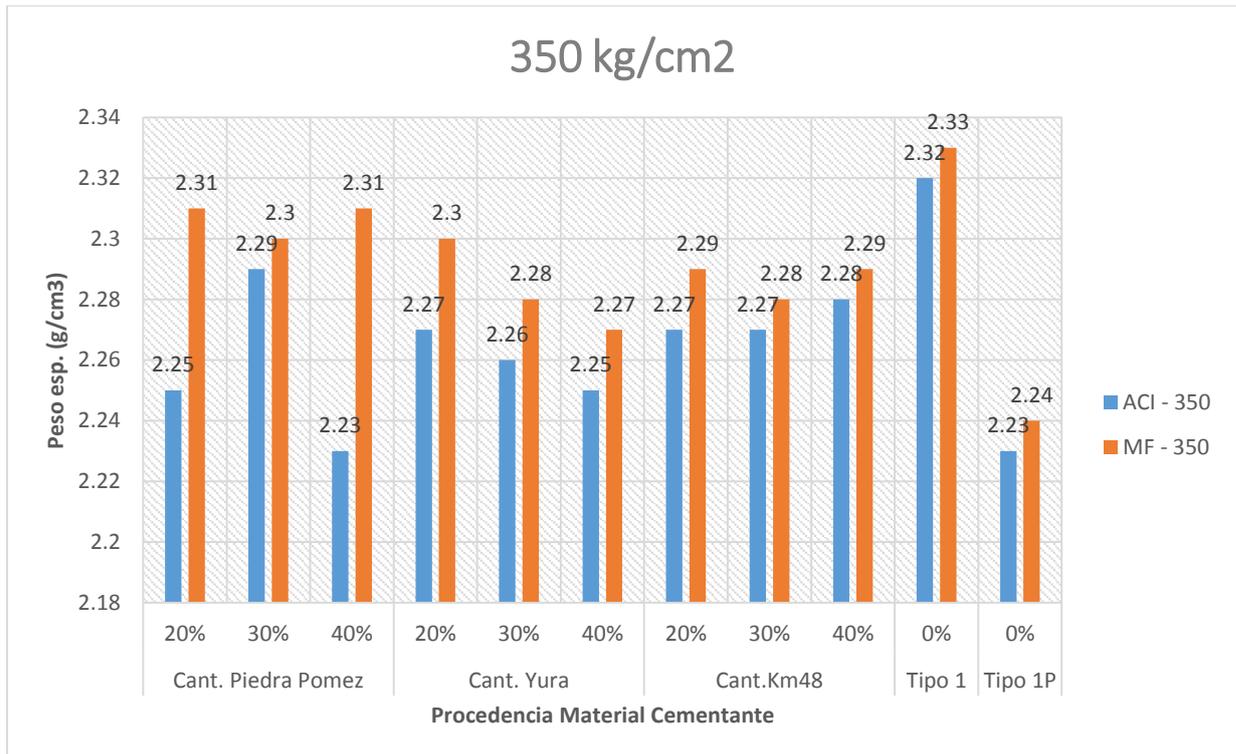


GRÁFICA 25 Peso específico del concreto fresco para concretos de f_c 280 kg/cm² (Fuente propia)

Del mismo modo que el anterior gráfico, se observa que no existe variación significativa entre métodos de diseño de mezclas y que el concreto vacado sin adición de puzolana con cemento Tipo 1, presenta mayor peso específico, llegando hasta un peso de 2.34g/cm³ y 2.33g/cm², sin embargo, a excepción de este diseño, no existe diferencia relevante entre las diferentes canteras.

También se aprecia que la relación entre el porcentaje adicionado de puzolana y el peso específico es inversamente proporcional a pesar de no ser una diferencia relevante, es decir, a mayor adición de puzolana, el peso específico es menor.

Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²



GRÁFICA 26 Peso específico del concreto fresco para concretos de f_c 350 kg/cm² (Fuente propia)

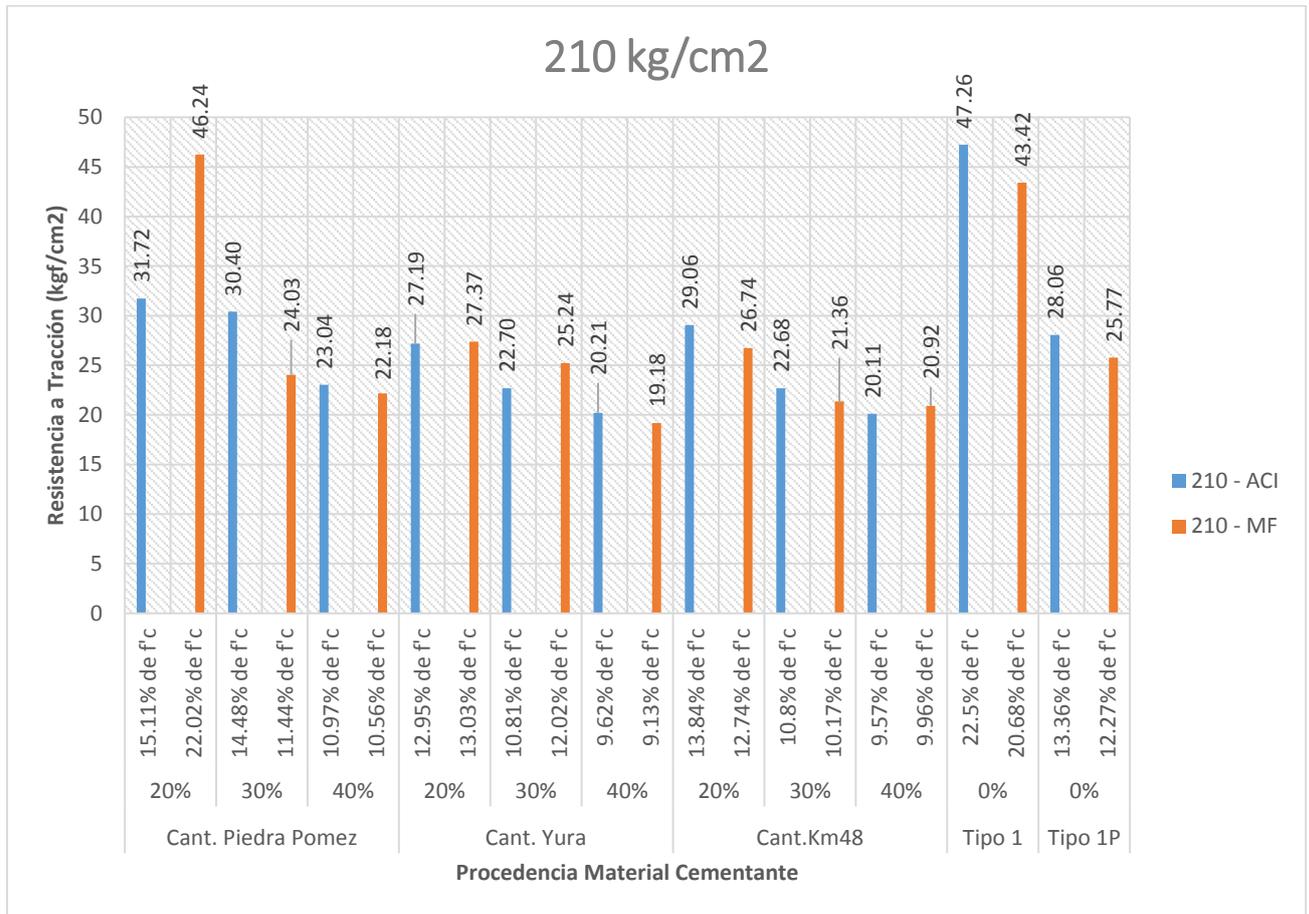
Se observa que para el caso de los concretos con resistencia a la compresión de diseño 350 kg/cm² existe variación entre métodos de diseño de mezclas que a pesar de ser menor a 0.5 g/cm³, es relevante en la diferenciación entre métodos de diseño, siendo el método de Modulo de Fineza de la combinación de agregados el que obtuvo resultados más elevados casi alcanzando al peso específico de los concretos vacados sin adicción de puzolana con cemento Tipo 1.

En este caso, no se puede afirmar que la relación porcentaje de adición y peso específico sea inversamente proporcional ya que no existe un patrón en el grafico que indique una relación aproximada.

5.2.4. Resistencia a la tracción (kg/cm²)

5.2.4.1. Comparación General

Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²

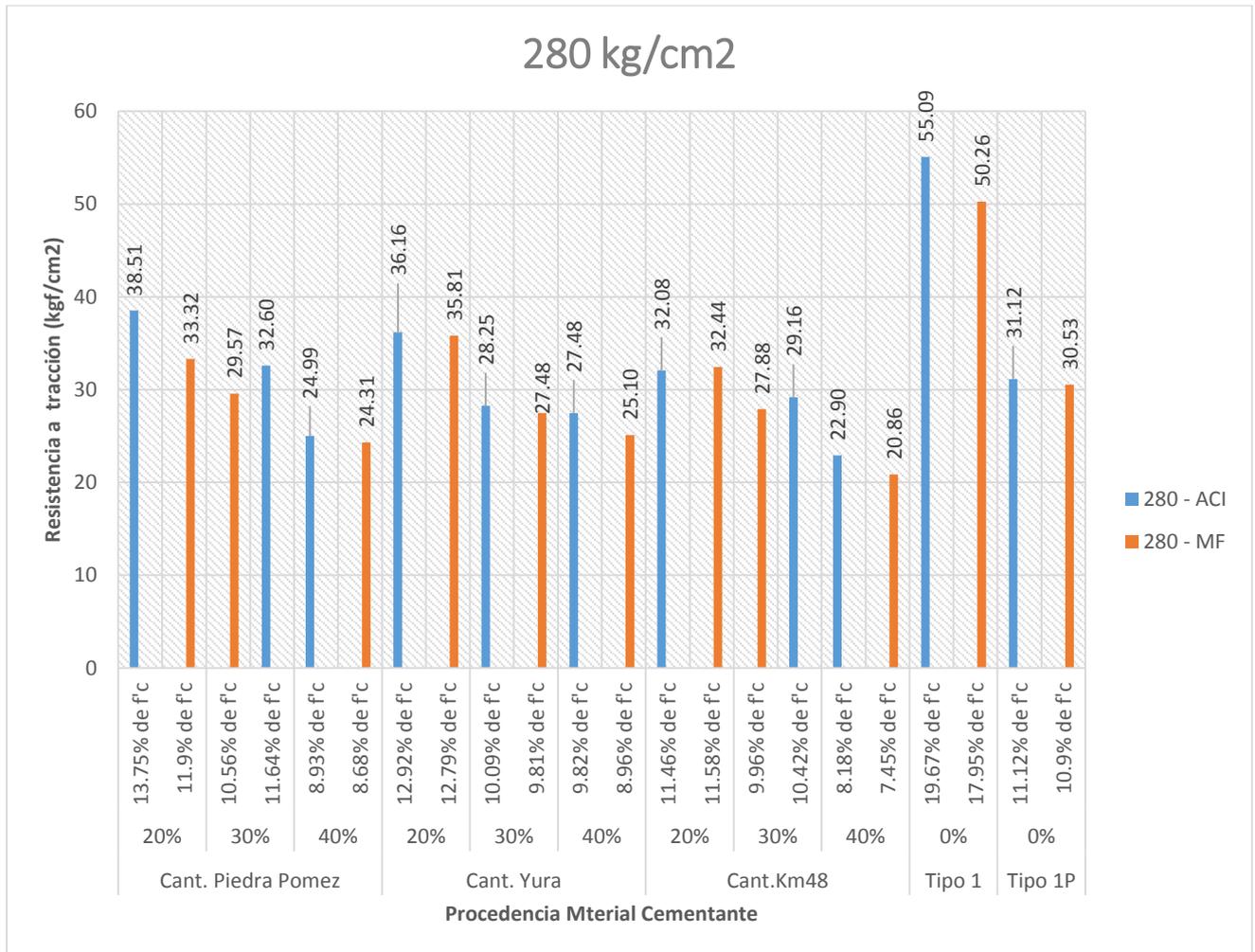


GRÁFICA 27 Comparativa de resistencia a la tracción para concretos f_c 210 kg/cm² (Fuente propia)

Como se sabe, la resistencia a la tracción oscila entre el 8% y 10% de la resistencia a compresión de los concretos, en este caso, únicamente los diseños con 40% de adición de puzolana se encuentran dentro de esos parámetros, mientras que los demás diseños sobrepasan estos valores, en este grafico se puede ver que el concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 llegó a obtener mayores resistencias a tracción por ambos métodos de diseño y que con excepción del concreto con adición de puzolana al 20% de la cantera de Piedra Pómez, el método de diseño que alcanzó mayores resistencias a tracción fue el método del ACI.

Además, se puede observar que la relación entre adición de puzolana y la resistencia a la tracción es inversamente proporcional. Por ultimo no existen diferencias relevantes entre una comparación por cantera, teniendo una variación máxima de 3% de f_c.

Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²

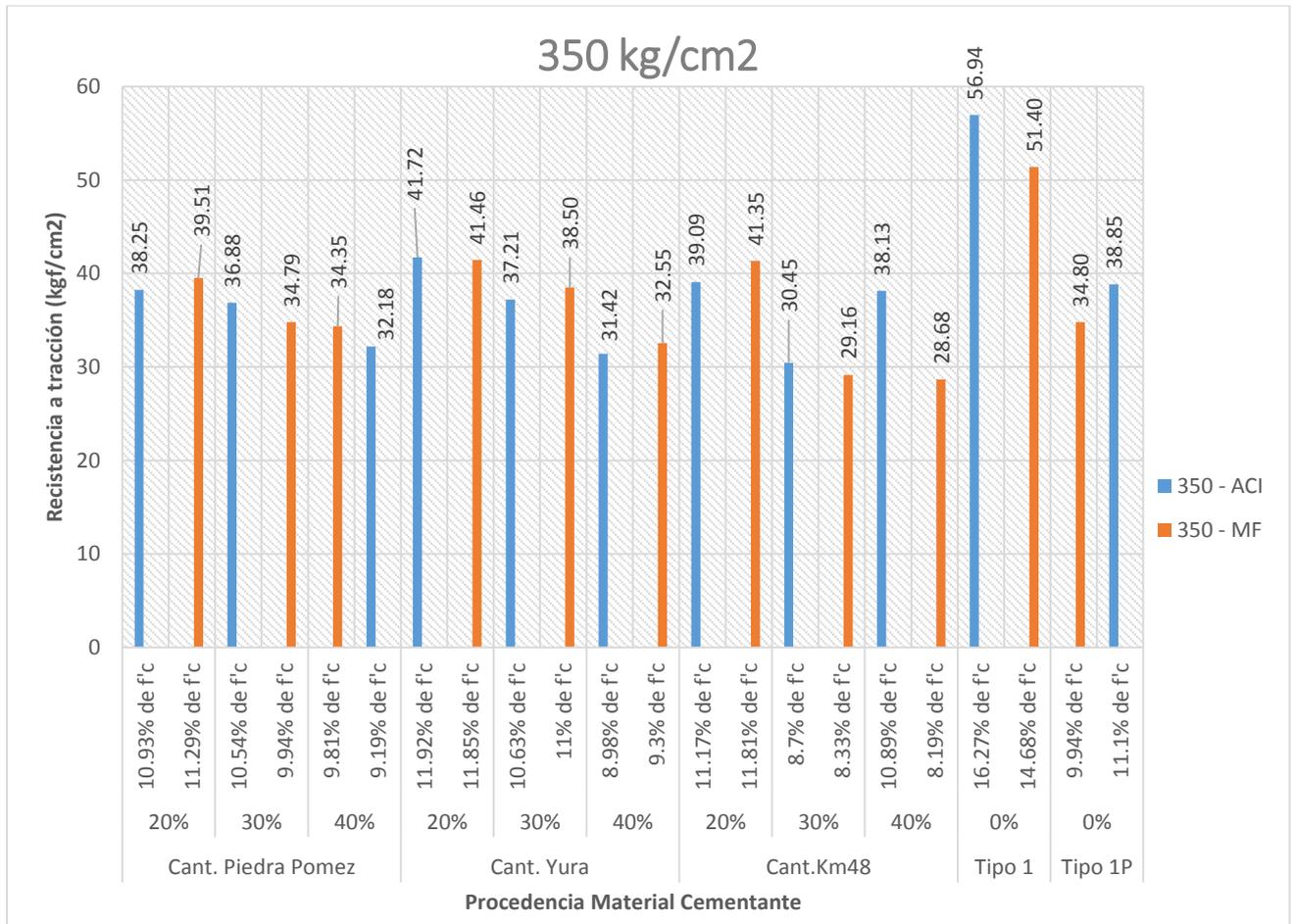


GRÁFICA 28 Comparativa de resistencia a la tracción para concretos 280 kg/cm² (Fuente propia)

En este caso también solo los diseños con 40% de adición de puzolana se encuentran dentro de lo usual (8% a 10% de f^c), mientras que los demás diseños sobrepasan estos valores, además aquí también se puede ver que el concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 llegó a obtener mayores resistencias a tracción por ambos métodos de diseño y que el método de diseño que alcanzó mayores resistencias a tracción fue el método del ACI.

Aquí también se puede observar que la relación entre adición de puzolana y la resistencia a la tracción es inversamente proporcional. Del mismo modo que para concretos de resistencias a la compresión 210 kg/cm², no existen diferencias relevantes entre una comparación por cantera, teniendo una variación máxima de 2% de f^c.

Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²



GRÁFICA 29 Comparativa de resistencia a la tracción para concretos f'c 350 kg/cm² (Fuente propia)

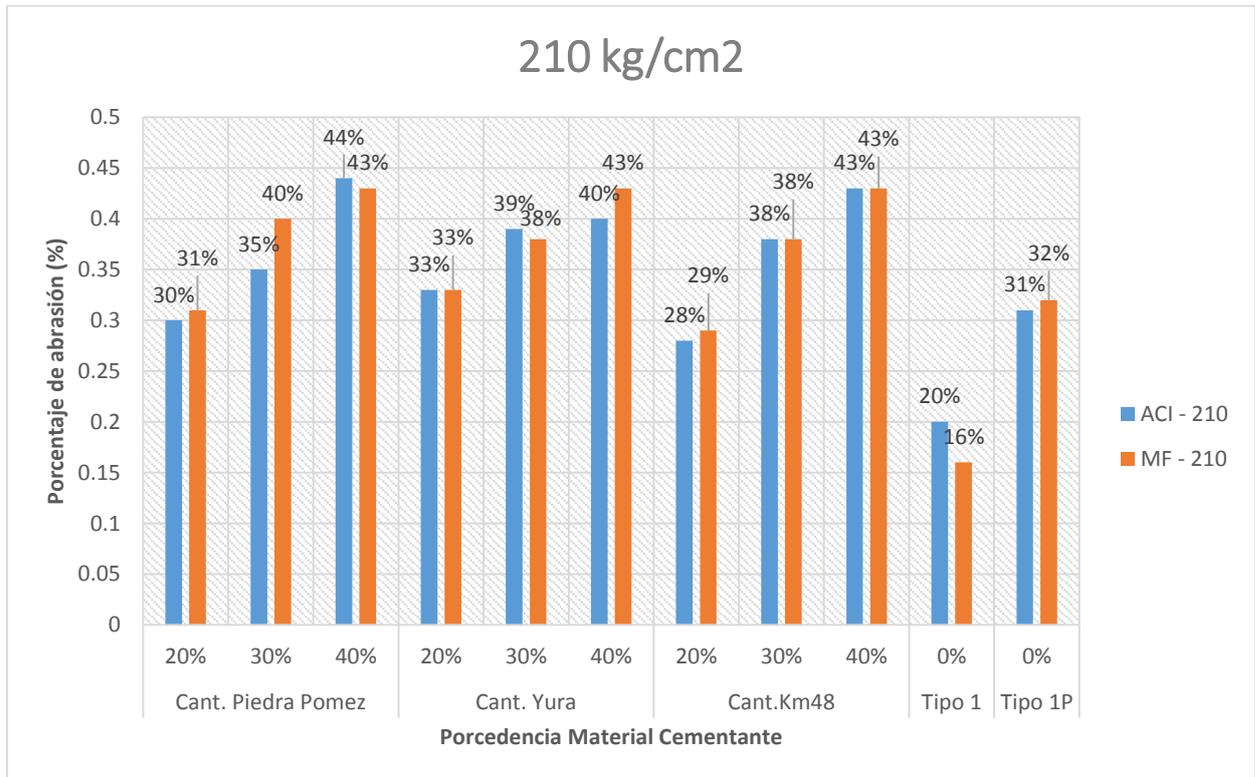
En este caso podemos observar que a excepción del concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1, las resistencias a tracción de los concretos, se encuentran dentro de lo usual (8% a 10% de f'c), y del mismo modo que en los otros casos, se puede ver que el concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 llegó a obtener mayores resistencias a tracción por ambos métodos de diseño. Sin embargo, este caso, el método de diseño no fue relevante ya que la variación obtenida entre ambos métodos es mínima e insignificante.

Por último, se puede observar que la relación entre adición de puzolana y la resistencia a la tracción es inversamente proporcional, y que el mismo modo que para concretos de resistencias a la compresión 210 kg/cm² y 280 kg/cm², no existen diferencias relevantes entre una comparación por cantera, teniendo una variación máxima de 2% de f'c.

5.2.5. Abrasión (%)

5.2.5.1. Comparación General

Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²

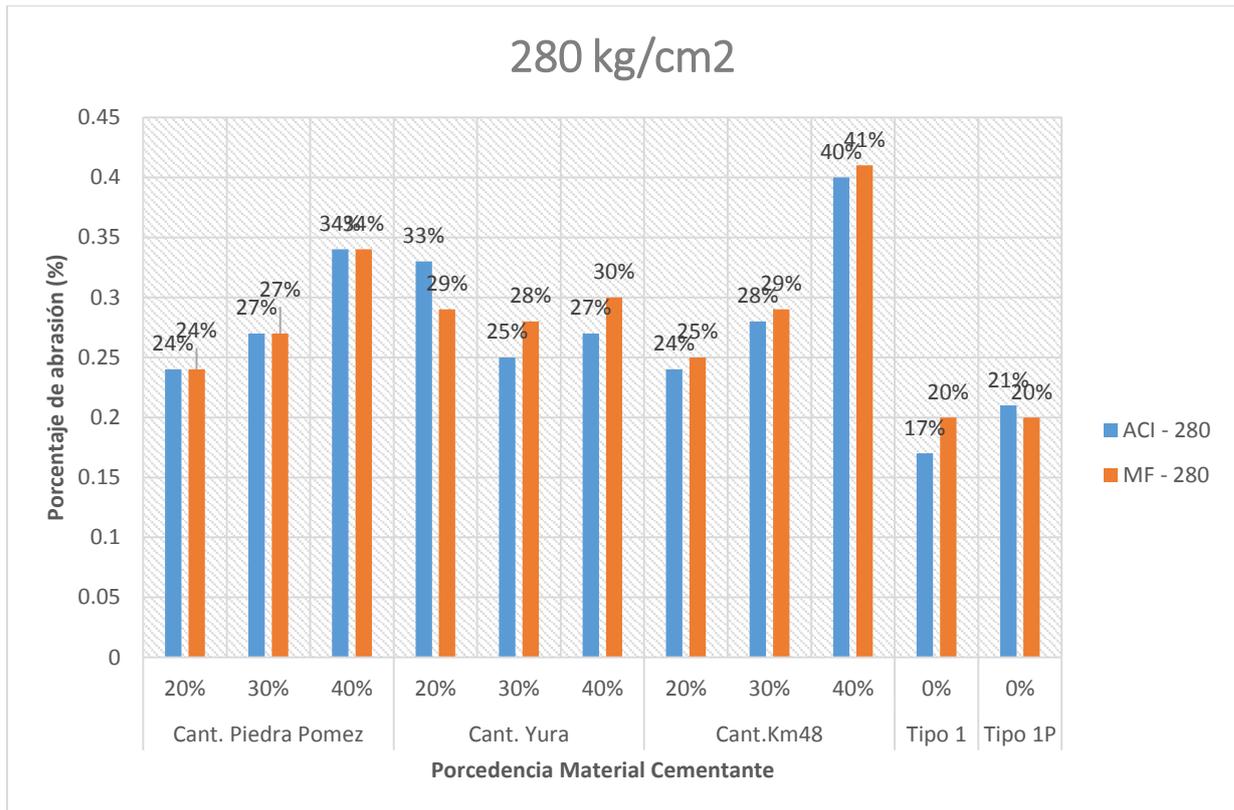


GRÁFICA 30 Comparativa general para Abrasión de concretos f c 210 kg/cm² (Fuente propia)

Para este grafico se observa que entre métodos de diseño de mezcla no existen variaciones significativas, además que la variación entre resultados por cantera no es tampoco significativa y que la relación entre abrasión y porcentaje de adición de puzolana es proporcional.

Al igual que en la mayoría de propiedades vistas, el concreto vacado sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 es el que obtuvo los resultados más elevados o favorables en este caso, ya que presentó menos porcentaje de abrasión llegando hasta un 16% por el método de Modulo de Fineza de combinación de agregados.

Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²

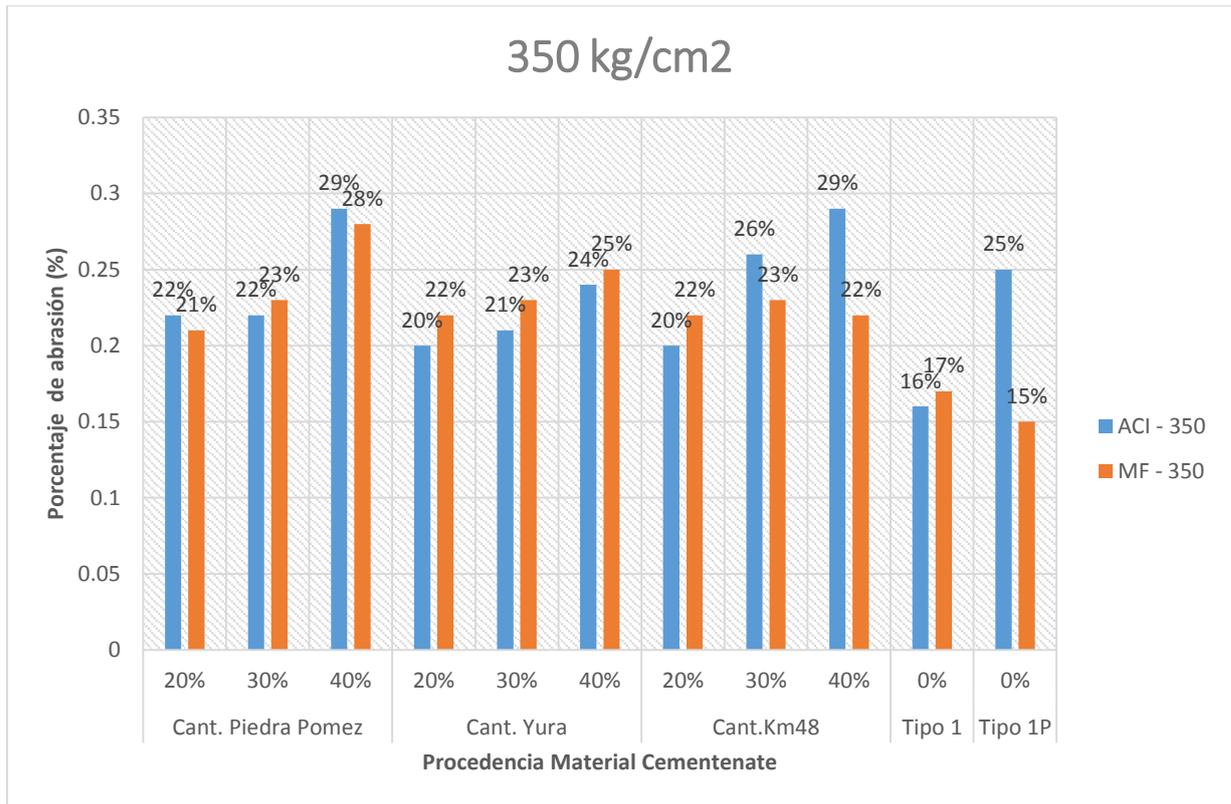


GRÁFICA 31 Comparativa general para Abrasión de concretos f'c 280 kg/cm² (Fuente propia)

Al igual que para concretos de resistencias a la compresión 210 kg/cm² grafico se observa que entre métodos de diseño de mezcla no existen variaciones significativas, sin embargo la variación entre canteras es relevante en este caso, ya que se puede observar que la cantera Yura, presenta mayor desgaste que el resto al utilizarse una adición del 20% de puzolana, y que la cantera Km48, con una adición del 40% fue la que generó mayor desgaste superando por más de 5% a las otras analizadas al 40% de adición.

El concreto vaciado sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 presentó los mejores resultados en este caso, ya que presentó menos porcentaje de abrasión llegando hasta un 17% en este caso, por el método de ACI.

Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²



GRÁFICA 32 Comparativa general para Abrasión de concretos f'c 350 kg/cm² (Fuente propia)

En este caso, la variación que existe entre métodos de diseño solo se puede ver en concretos con adición de la cantera Piedra Pómez y concretos sin adición puzolánica con cemento Tipo 1P, sin embargo, la variación entre canteras se puede considerar irrelevante en este caso, debido a la poca variación que existe entre ellas analizándolas para cada porcentaje de adición.

A su vez, y como en los anteriores casos, el concreto vaciado sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 presentó los mejores resultados, ya que presentó menor porcentaje de abrasión llegando hasta un 16% en este caso, por el método de Modulo de Fineza de combinación de agregados.

5.2.6. Resistencia a la compresión (kg/cm²)

5.2.6.1. Comparación General (a 28 días de curado)

Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²

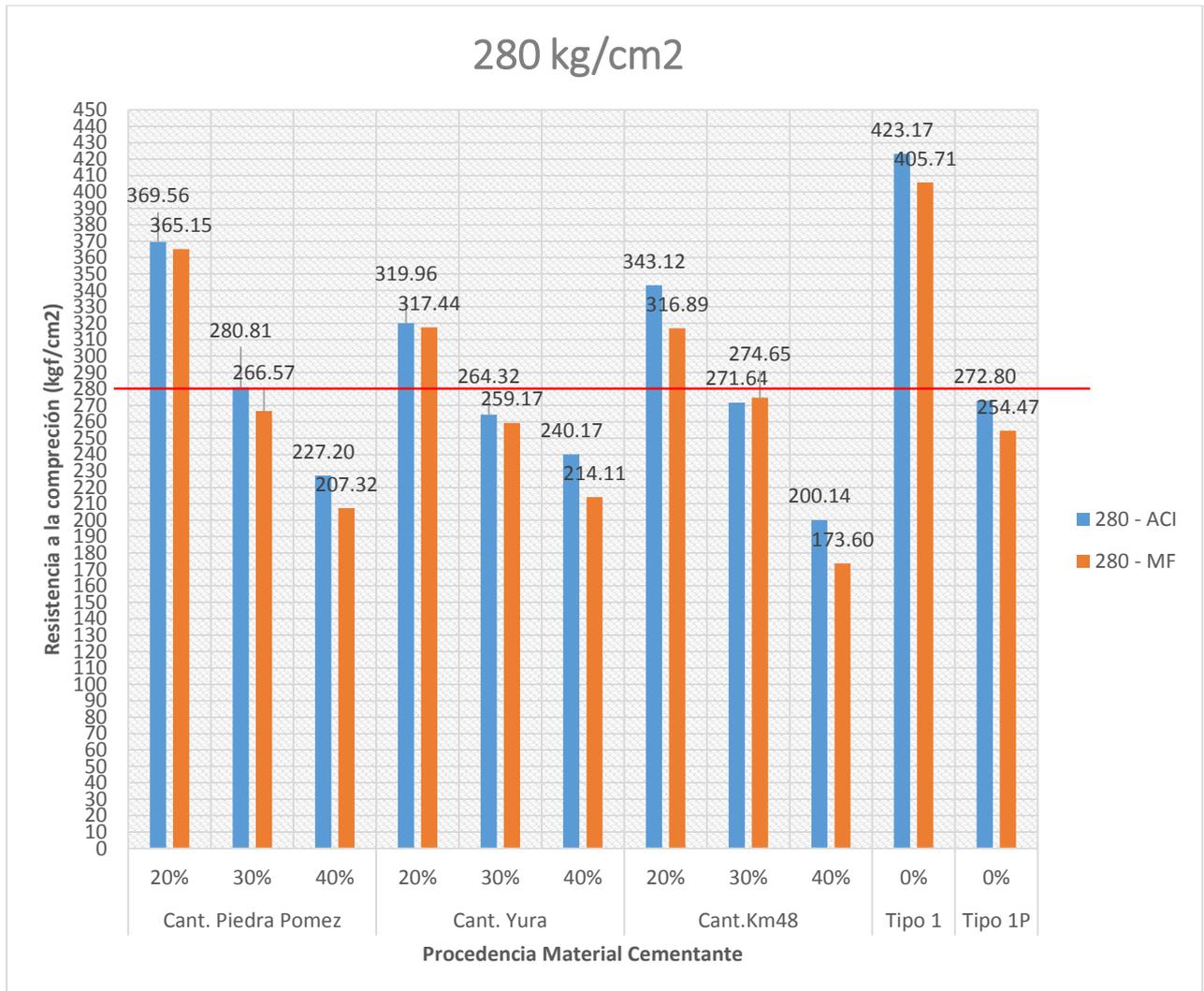


GRÁFICA 33 Comparativa de resistencia a la compresión para concretos f_c 210 kg/cm² (Fuente propia)

De acuerdo al gráfico, con excepción del concreto adicionado con 20% de puzolana de la cantera Piedra Pómez, el método de diseño con resultados más altos es del ACI, sin embargo, la variación en algunos casos no es significativa. Además, se observa que únicamente los concretos adicionados con 20% de puzolana sobrepasan la resistencia requerida junto con el concreto con adición de 30% de puzolana de la Cantera piedra pómez, y también, de los concretos sin adición puzolánica, únicamente los concretos hechos con cemento Tipo 1 sobrepasaron la resistencia requerida mientras que los hechos con cemento Tipo 1P no alcanzaron la resistencia requerida.

Cabe mencionar que los concretos con 30% de adición que no alcanzaron la resistencia requerida se acercaron a la resistencia requerida, mientras que en su totalidad los concretos con 40% de adición de puzolana, no alcanzaron la resistencia requerida de 210kg/cm². Esto se debe a que la relación entre resistencia a la compresión y adición de puzolana es inversamente proporcional.

Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²

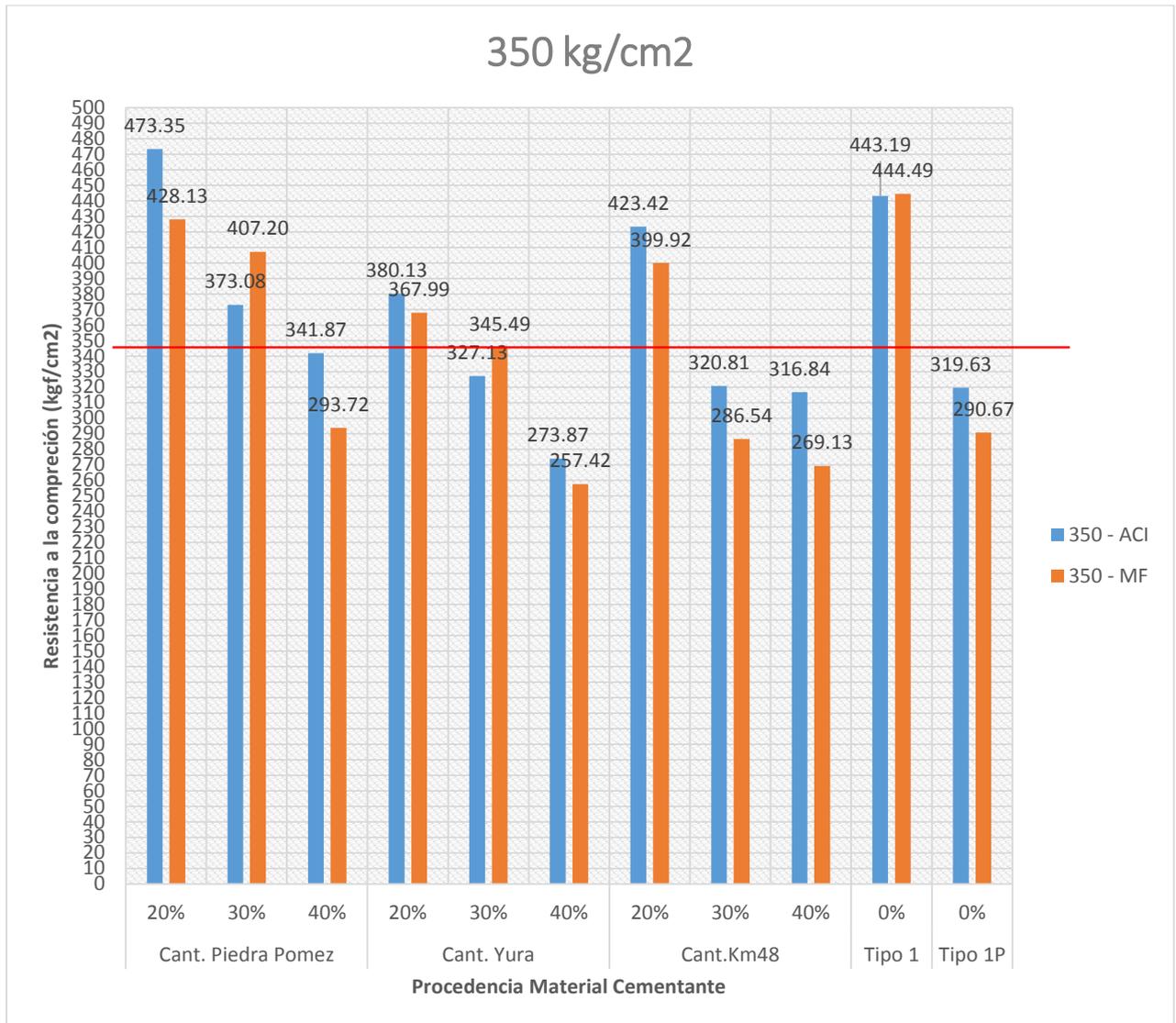


GRÁFICA 34 Comparativa de resistencia a la compresión para concretos f_c 280 kg/cm² (Fuente propia)

De acuerdo al gráfico, el método de diseño con resultados más altos es del ACI, sin embargo, la variación en casi todos los casos no es significativa. Además, se observa que, al igual que para concretos de resistencia a la compresión 210 kg/cm² únicamente los concretos adicionados con 20% de puzolana sobrepasan la resistencia requerida junto con el concreto con adición de 30% de puzolana de la Cantera piedra pómez, y también, de los concretos sin adición puzolánica, únicamente los concretos hechos con cemento Tipo 1 sobrepasaron la resistencia requerida mientras que los hechos con cemento Tipo 1P no alcanzaron la resistencia requerida.

Y de igual manera, los concretos con 30% de adición que no alcanzaron la resistencia requerida se acercaron a la resistencia requerida, mientras que en su totalidad los concretos con 40% de adición de puzolana, no alcanzaron la resistencia requerida de 280kg/cm². Esto se debe a que la relación entre resistencia a la compresión y adición de puzolana es inversamente proporcional.

Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²



GRÁFICA 35 Comparativa de resistencia a la compresión para concretos f_c 350 kg/cm² (Fuente propia)

De acuerdo al gráfico, con excepción del concreto adicionado con 30% de puzolana de la cantera Piedra Pómez y Yura, el método de diseño con resultados más altos es del ACI, sin embargo, la variación en algunos casos no es significativa. Además, se observa que, al igual que para concretos de resistencia a la compresión 210 kg/cm² y 280kg/cm² únicamente los concretos adicionados con 20% de puzolana sobrepasan la resistencia requerida junto con el concreto con adición de 30% de puzolana de la Cantera Piedra Pómez, y también, de los concretos sin adición puzolánica, únicamente los concretos hechos con cemento Tipo 1 sobrepasaron la resistencia requerida mientras que los hechos con cemento Tipo 1P no alcanzaron la resistencia requerida.

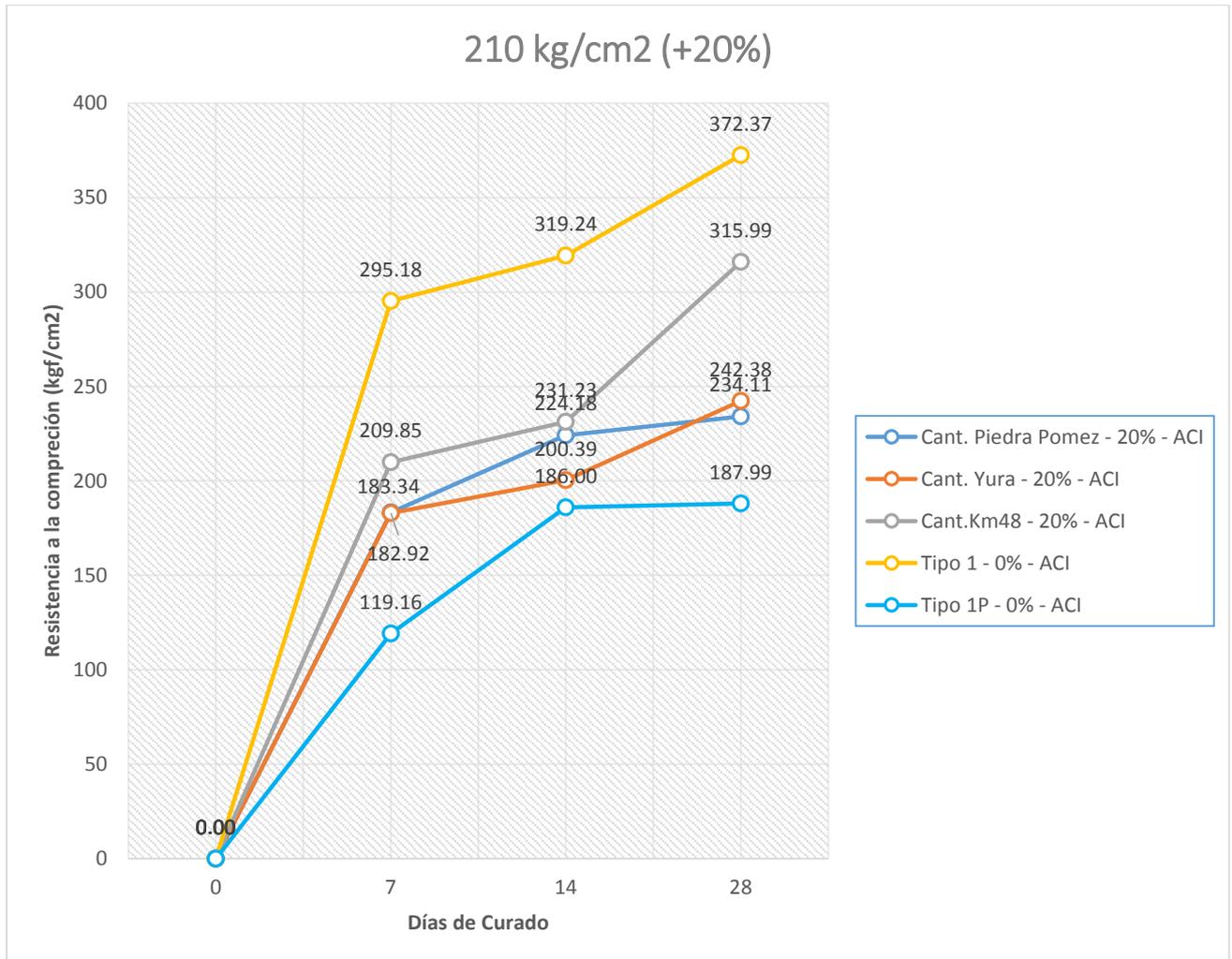
A su vez también, los concretos con 30% de adición que no alcanzaron la resistencia requerida se acercaron a la resistencia requerida, mientras que en su totalidad los concretos con 40% de adición de puzolana, no alcanzaron la resistencia requerida de 350kgf/cm². Esto se debe a que la relación entre resistencia a la compresión y adición de puzolana es inversamente proporcional. Sin embargo, en la cantera de Km 48, los resultados de la adición de 30% y 40% fueron similares.

5.2.6.2. Comparación detallada entre canteras (a 7, 14 y 28 días de curado)

5.2.6.2.1. Método: ACI

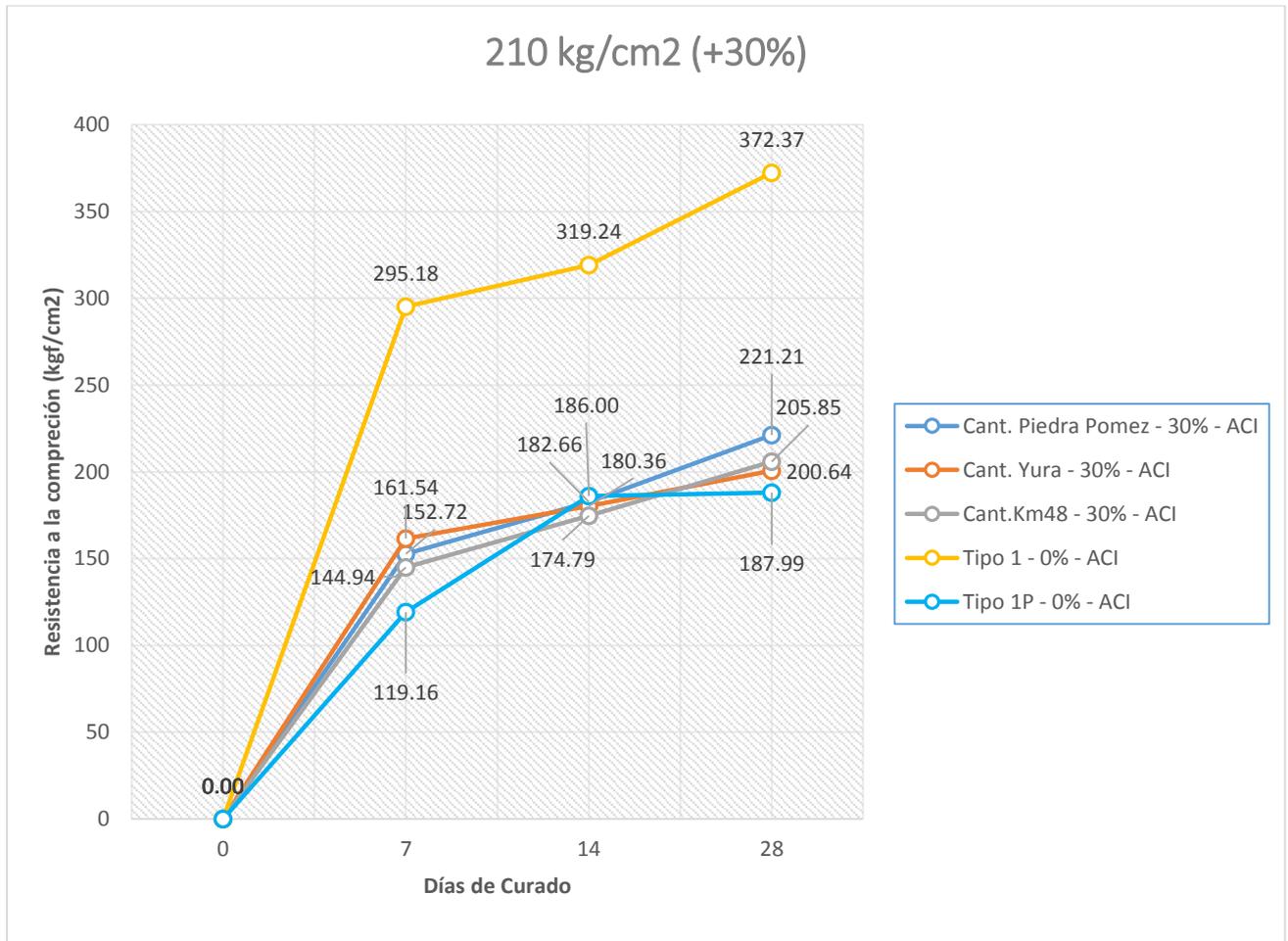
Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



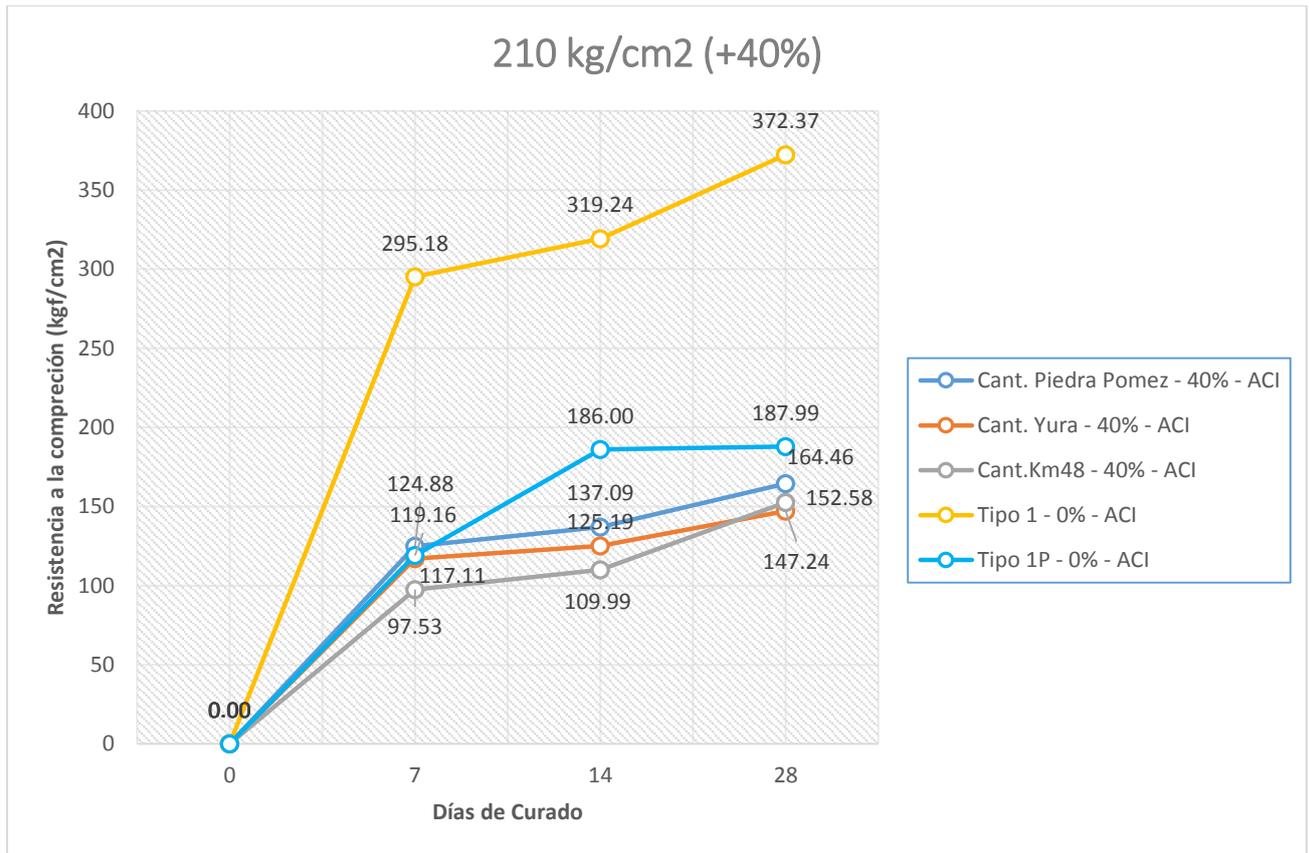
GRÁFICA 36 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 37 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 38 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

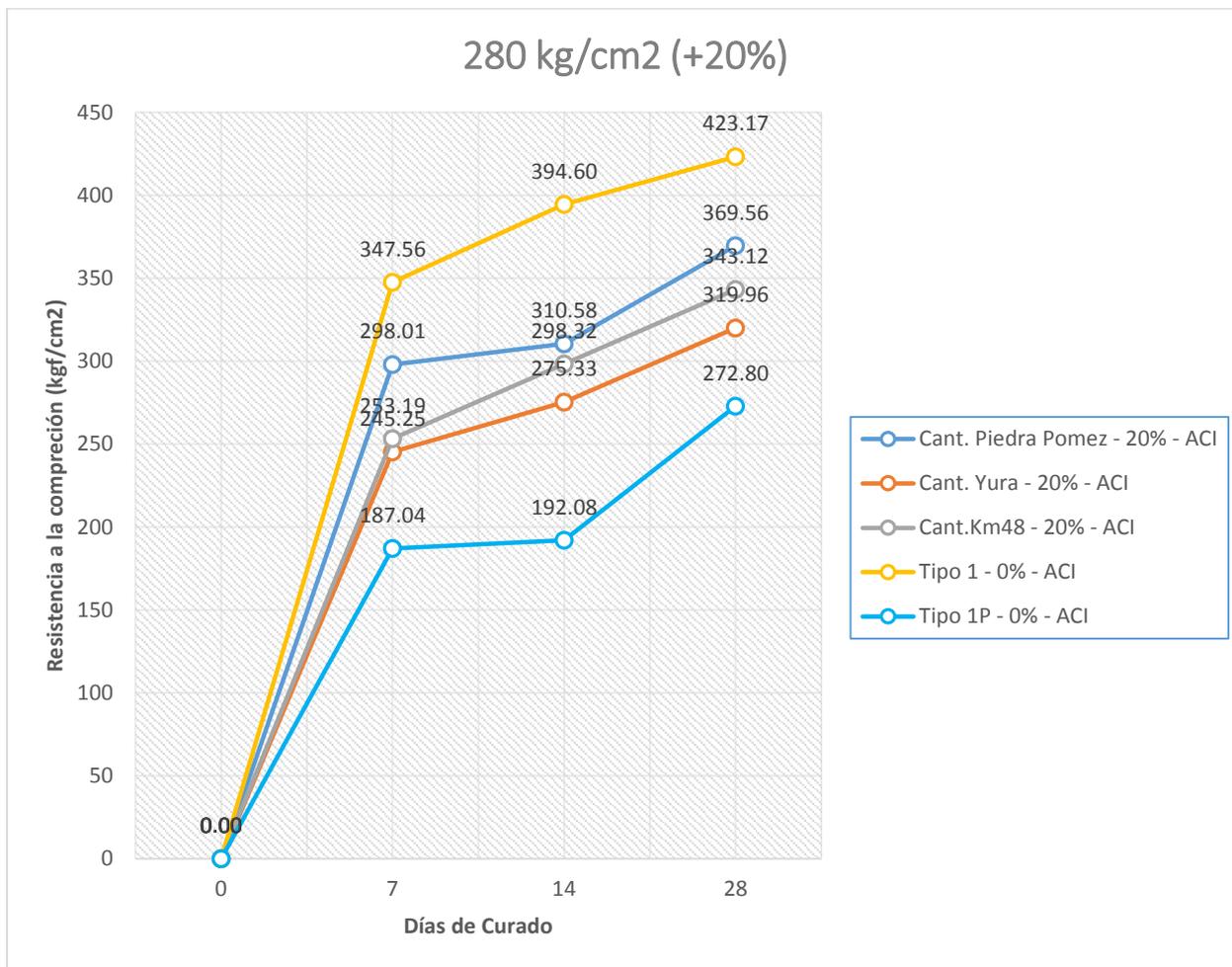
Como se puede observar a medida que la cantidad de puzolana adicionada aumenta, las resistencias a la compresión van disminuyendo, además también que el concreto hecho sin adición con cemento Tipo 1P, únicamente supero a los concretos hechos con adición de puzolana al 40%, y que no alcanzó la resistencia a la compresión requerida.

Se puede observar que el concreto hecho con adición de puzolana al 30% de la cantera Piedra Pómez, fue el que llegó con mayor exactitud a la resistencia requerida de diseño de 210 Kg/cm² con 221.21 Kg/cm² y que los concretos con adición de puzolana al 30% de las canteras YURA y Km48, a pesar de no llegar a la resistencia de diseño requerida, se encontraron cerca de lograrlo.

De los concretos con adición de puzolana se puede observar en casi todos los escenarios, dos cambios de pendientes en las gráficas, ya que inicia con una pendiente determinada hasta los 7 días de curado, luego esta se reduce hasta llegar a los 14 días de curado, para nuevamente tener otro cambio de pendiente y elevar el valor de resistencia a la compresión.

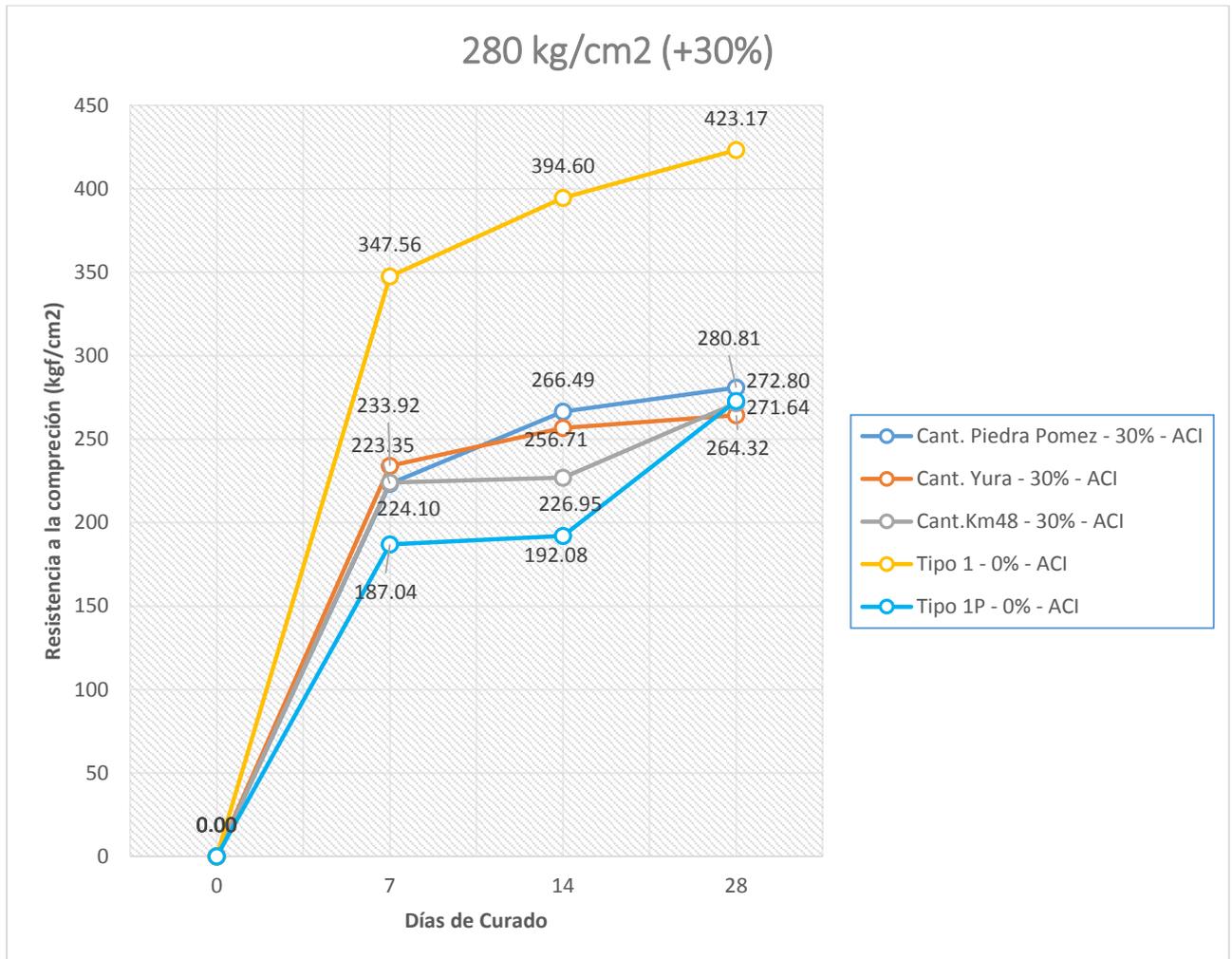
Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



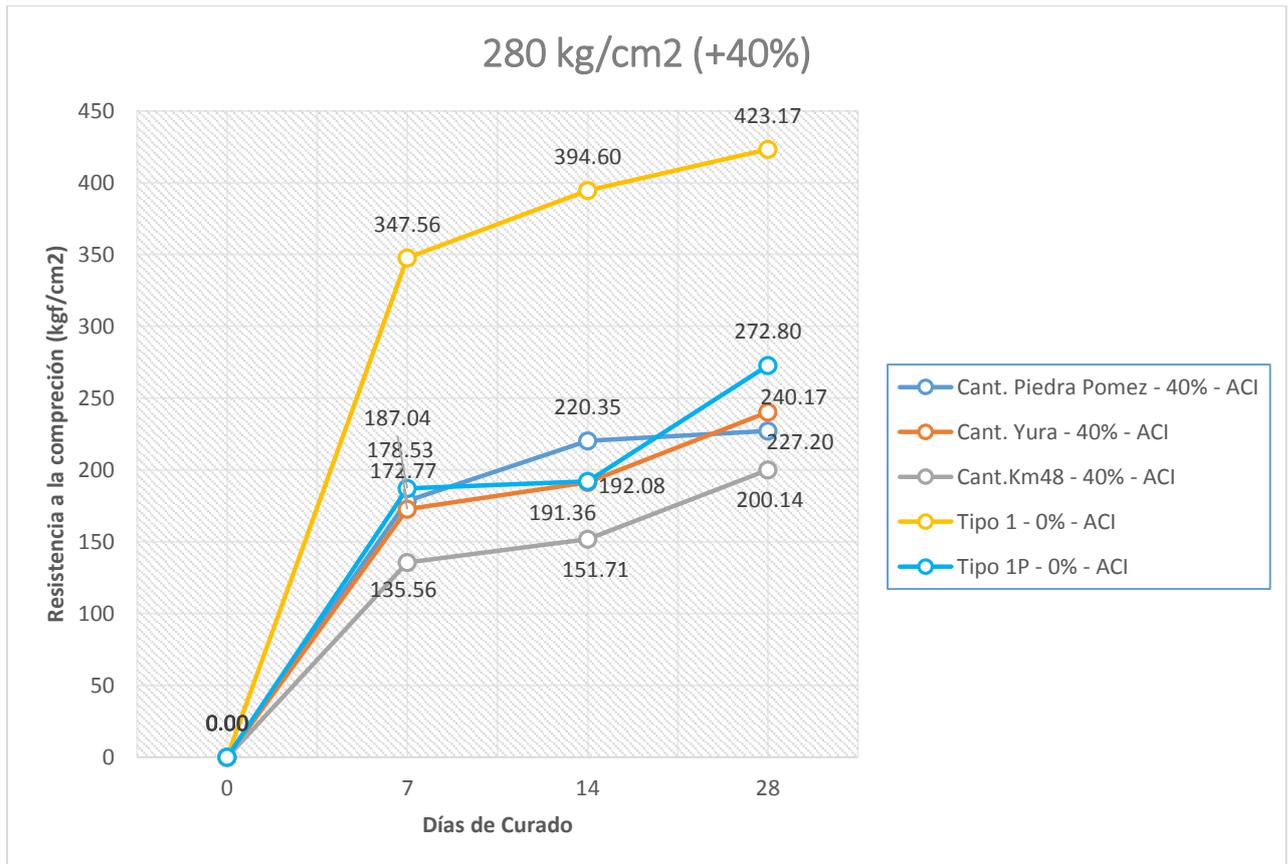
GRÁFICA 39 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 40 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 41 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

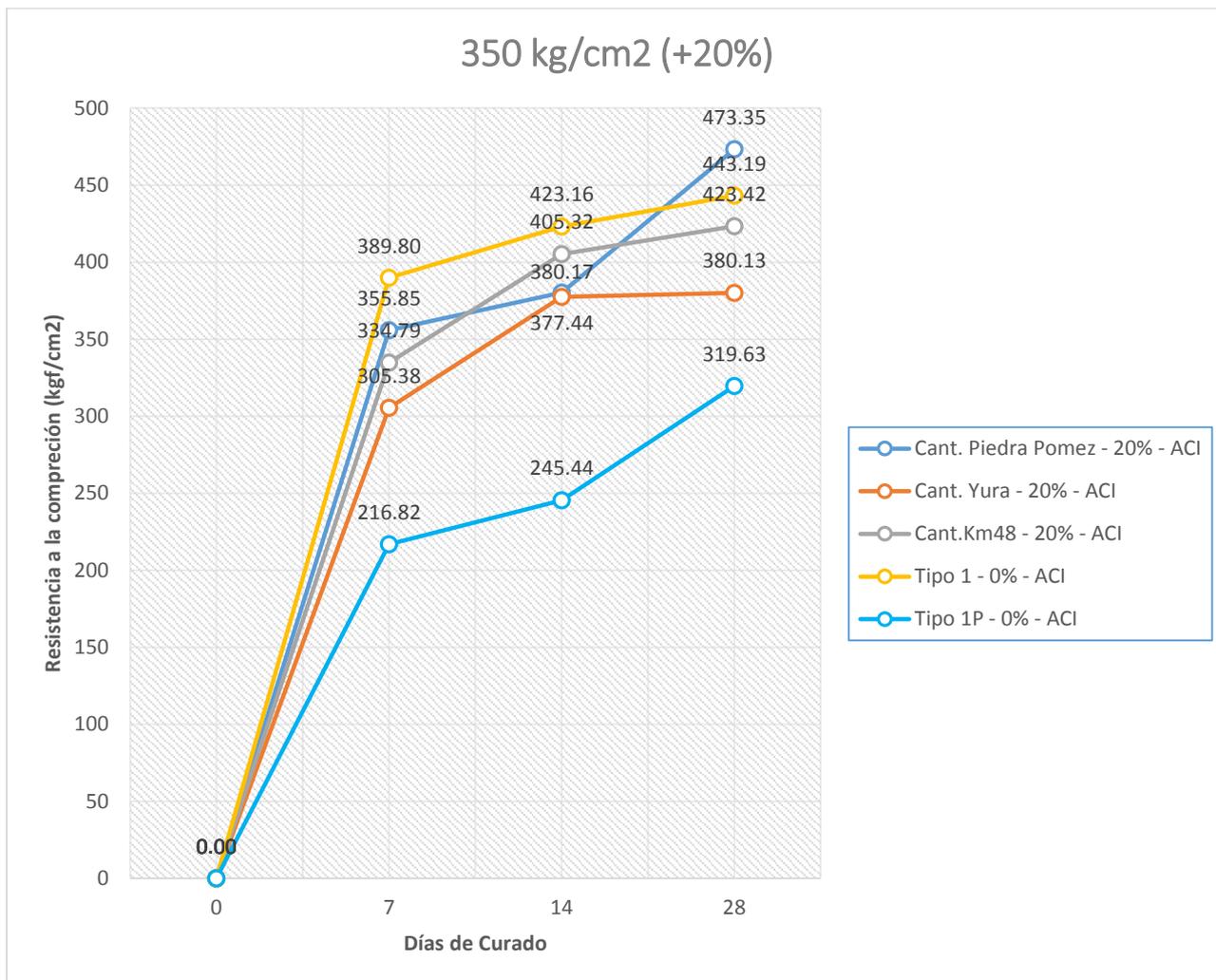
Del mismo modo que para los anteriores gráficos, a medida que la cantidad de puzolana adicionada aumenta, las resistencias a la compresión van disminuyendo, además también se observa que el concreto hecho sin adición con cemento Tipo 1P, únicamente supero a los concretos hechos con adición de puzolana al 40%, y que no alcanzó la resistencia a la compresión requerida.

Se puede observar que el concreto hecho con adición de puzolana al 30% de la cantera Piedra Pómez, fue el que llegó a acercarse más a la resistencia requerida de diseño de 280 Kg/cm² con 272.8 Kg/cm² y en este caso, los concretos con adición de puzolana al 30% de las canteras YURA y Km48, no lograron acercarse a la resistencia requerida.

De igual manera, en concretos con adición de puzolana también se puede observar en casi todos los escenarios, dos cambios de pendientes en las gráficas, ya que inicia con una pendiente determinada hasta los 7 días de curado, luego esta se reduce hasta llegar a los 14 días de curado, para nuevamente tener otro cambio de pendiente y elevar el valor de resistencia a la compresión.

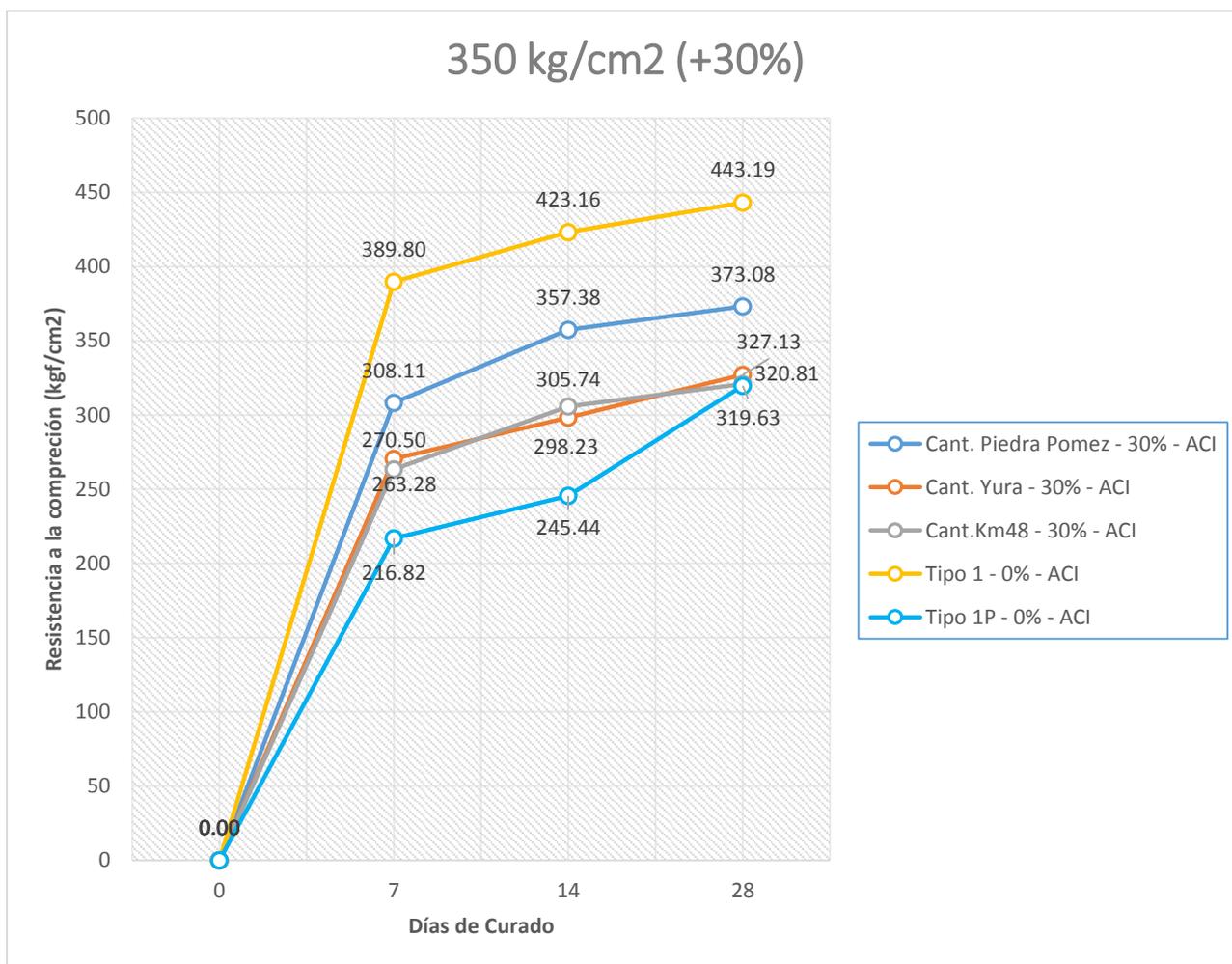
Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



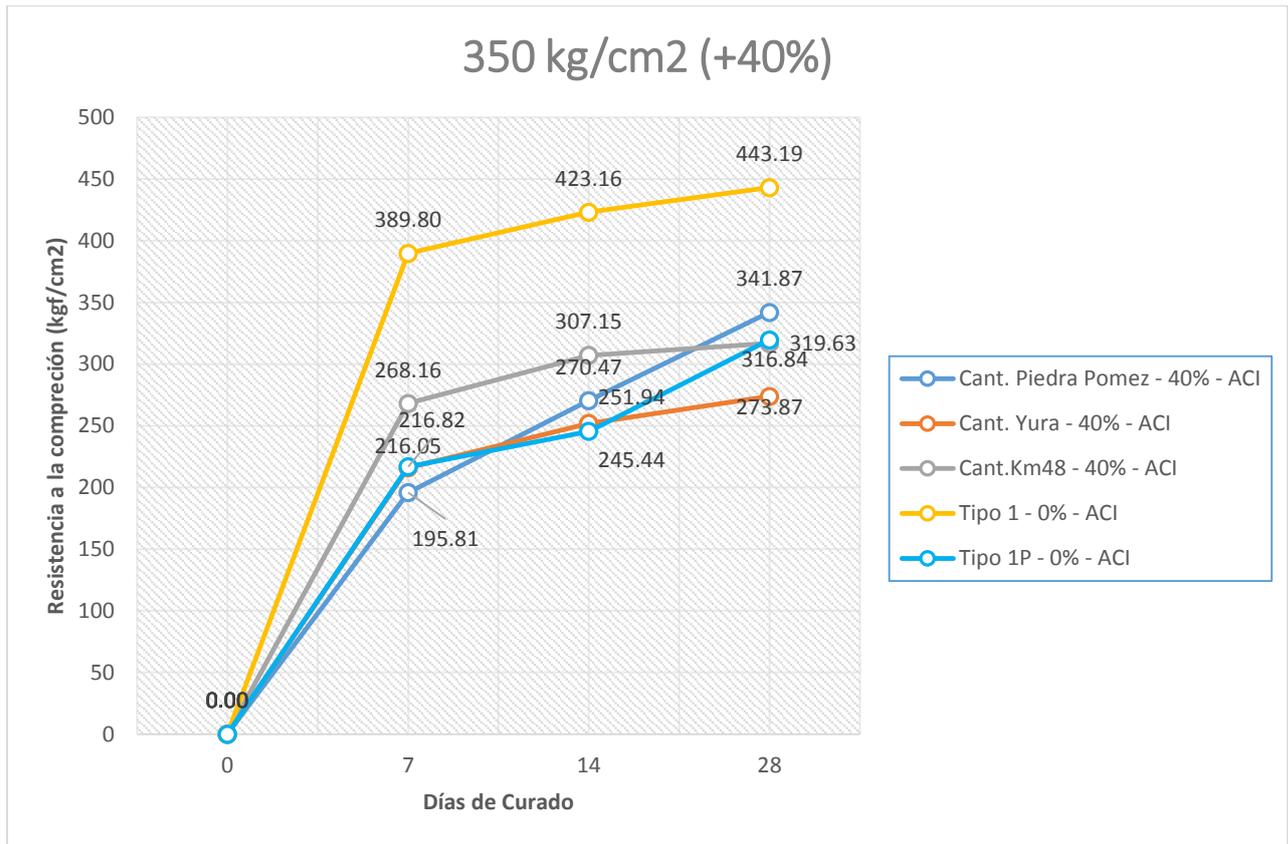
GRÁFICA 42 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 43 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 44 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI (Fuente propia)

Se puede observar como en los concretos de resistencias a la compresión de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² por el método de ACI, que a medida que la cantidad de puzolana adicionada aumenta, las resistencias a la compresión van disminuyendo y que el concreto hecho sin adición con cemento Tipo 1P, únicamente supero a los concretos hechos con adición de puzolana al 40%, y que no alcanzó la resistencia a la compresión requerida.

En este caso, se puede observar que el concreto con adición de puzolana al 20% de la cantera Piedra Pómez, logró superar inclusive al concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1, logrando una resistencia a la compresión de 473.35 kg/cm².

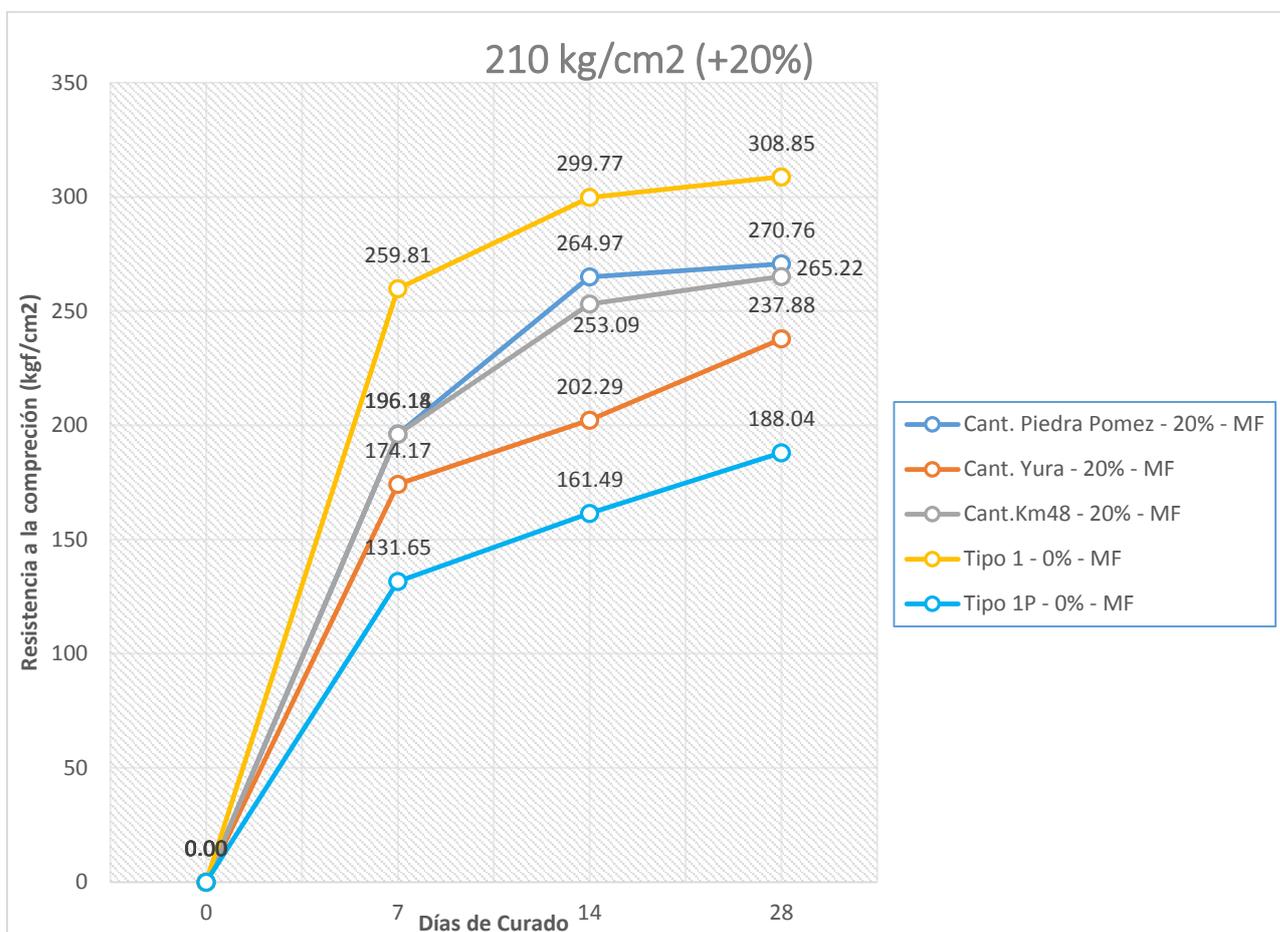
Del mismo modo, se puede observar que el concreto hecho con adición de puzolana al 30% de la cantera Piedra Pómez, fue el que llegó y superó a la resistencia requerida de diseño de 350 Kg/cm² con 373.08 Kg/cm² y como en concretos de resistencia a la compresión 280 kg/cm² diseñados por el método ACI los concretos con adición de puzolana al 30% de las canteras YURA y Km48, no lograron acercarse a la resistencia requerida.

A sí mismo, en concretos con adición de puzolana también se puede observar en casi todos los escenarios, dos cambios de pendientes en las gráficas, ya que inicia con una pendiente determinada hasta los 7 días de curado, luego esta se reduce hasta llegar a los 14 días de curado, para nuevamente tener otro cambio de pendiente y elevar el valor de resistencia a la compresión.

5.2.6.2.2. Método: Modulo de Fineza de la combinación de agregados

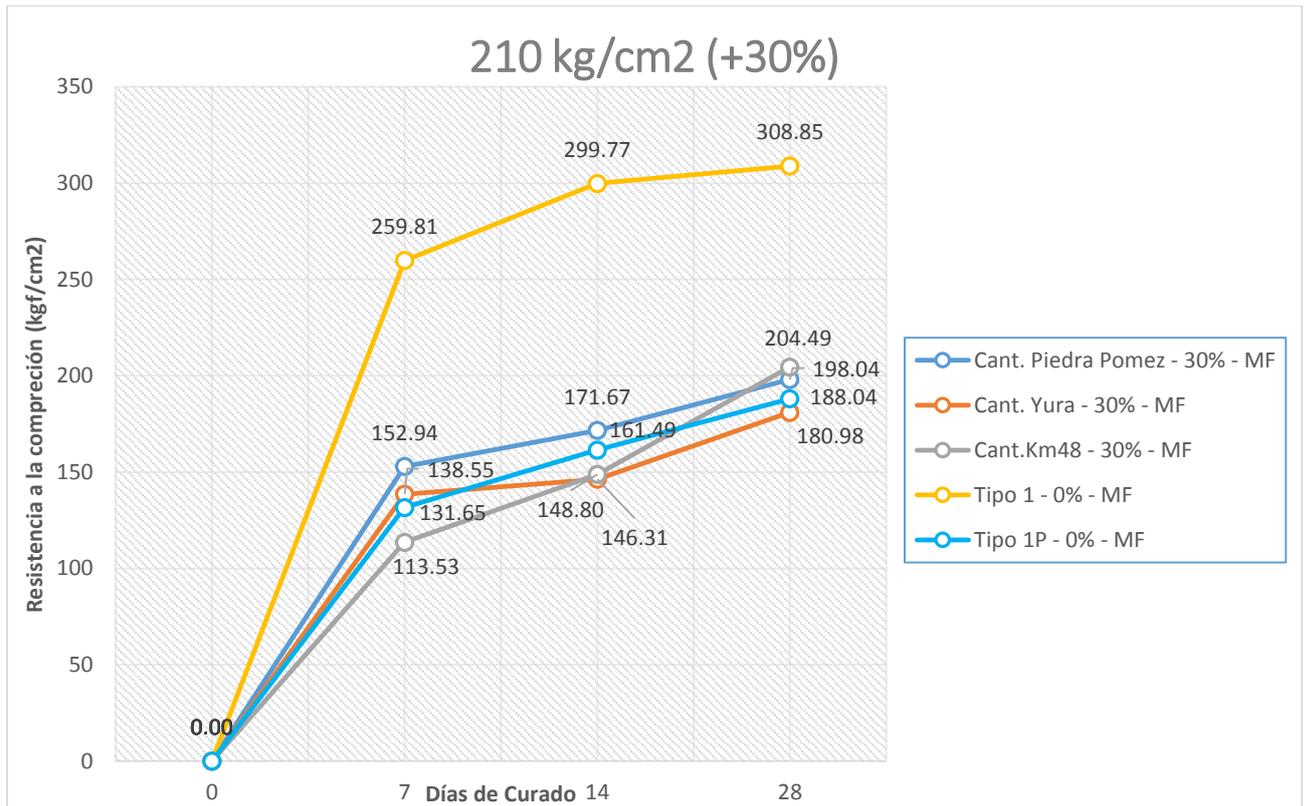
Resistencia a la compresión: 210 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



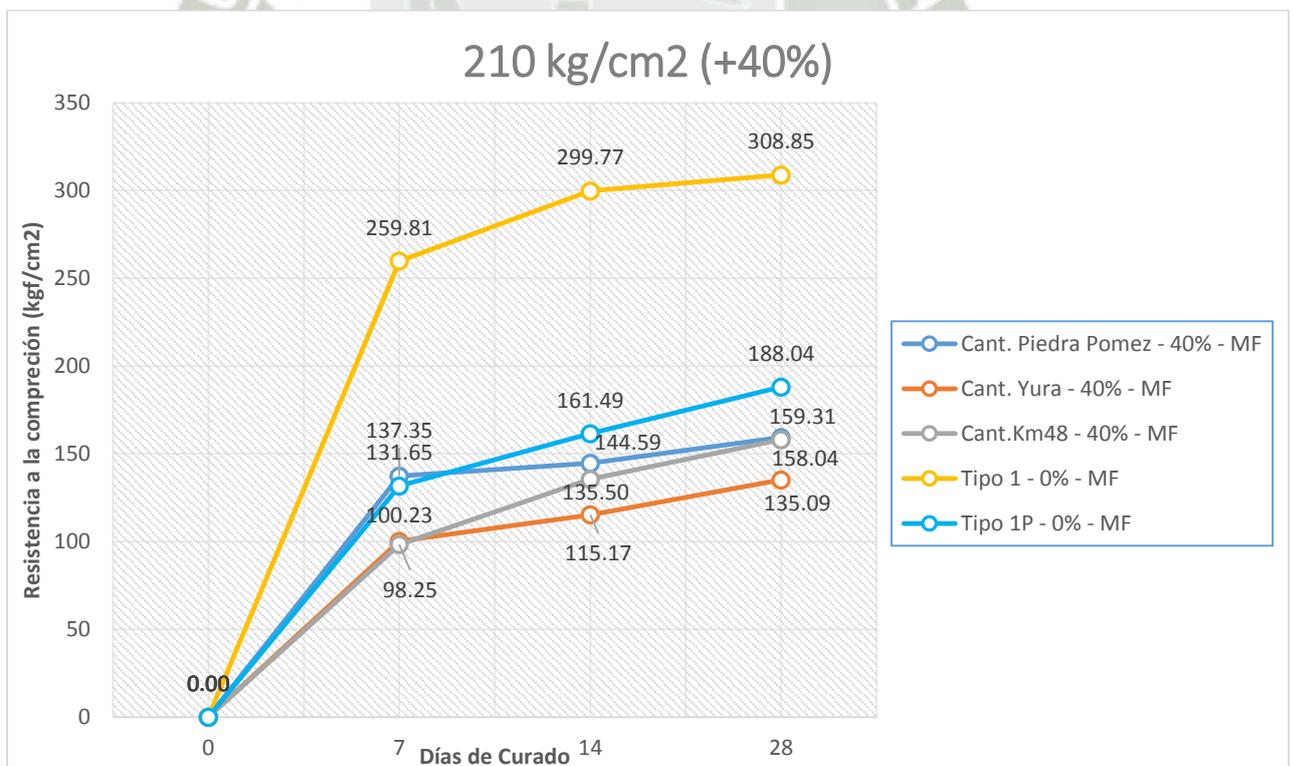
GRÁFICA 45 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 46 Comparación entre canteras para un f'c de 210 kg/cm2 con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 47 Comparación entre canteras para un f'c de 210 kg/cm2 con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

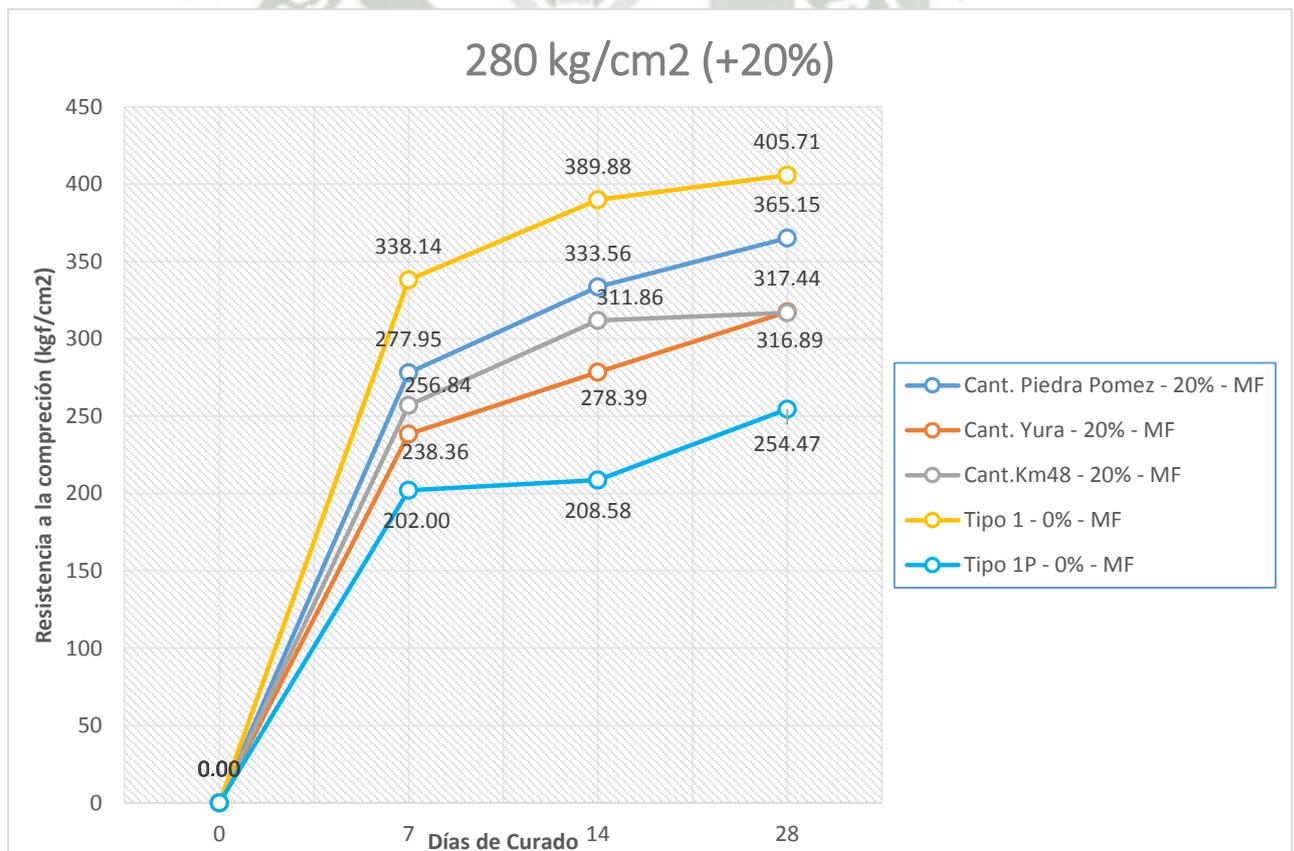
Como se puede observar a medida que la cantidad de puzolana adicionada aumenta, las resistencias a la compresión van disminuyendo y que como en el anterior método de diseño expuesto, el concreto hecho sin adición con cemento Tipo 1P, únicamente supero a los concretos hechos con adición de puzolana al 40% sin lograr alcanzar la resistencia a la compresión requerida.

Se puede observar que el concreto hecho con adición de puzolana al 30% de la cantera Piedra Pómez, fue el que más se pudo acercar a la resistencia requerida de diseño de 210 Kg/cm² con 204.49 Kg/cm² mientras que los concretos con adición de puzolana al 30% de las canteras YURA y Km48, se encuentran por debajo de este alejándose aún más de la resistencia requerida.

De los concretos con adición de puzolana se puede observar en este método de diseño, que en casi todos los escenarios hay dos cambios de pendientes en las gráficas, ya que inician con una pendiente determinada hasta los 7 días de curado, luego esta se reducen hasta llegar a los 14 días de curado, para nuevamente tener otro cambio de pendiente, que a diferencia del anterior método, esta vez la pendiente se reducen aún más, tomando la forma típica de una curva de resistencia a la compresión de concretos, como en el caso del concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1.

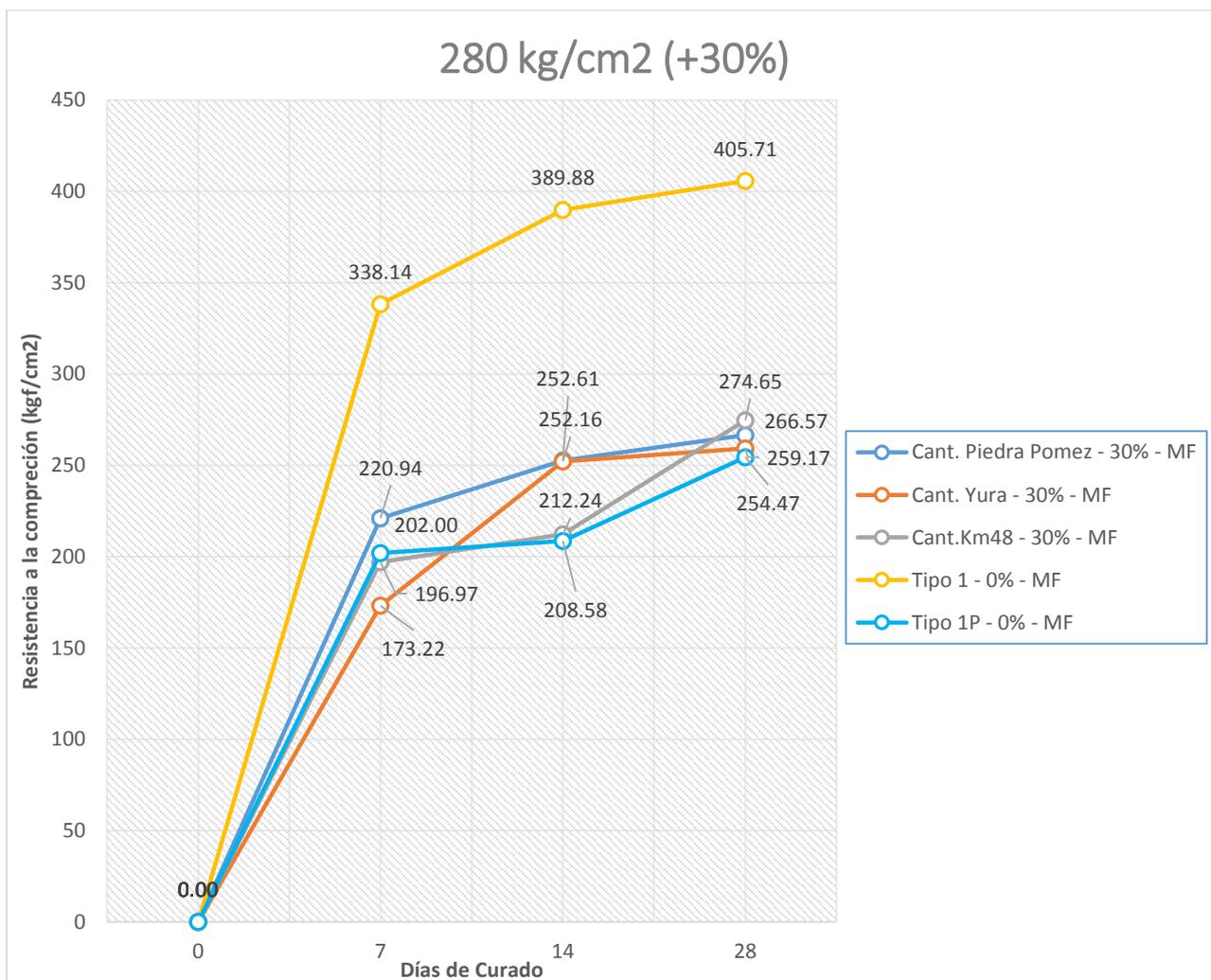
Resistencia a la compresión: 280 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



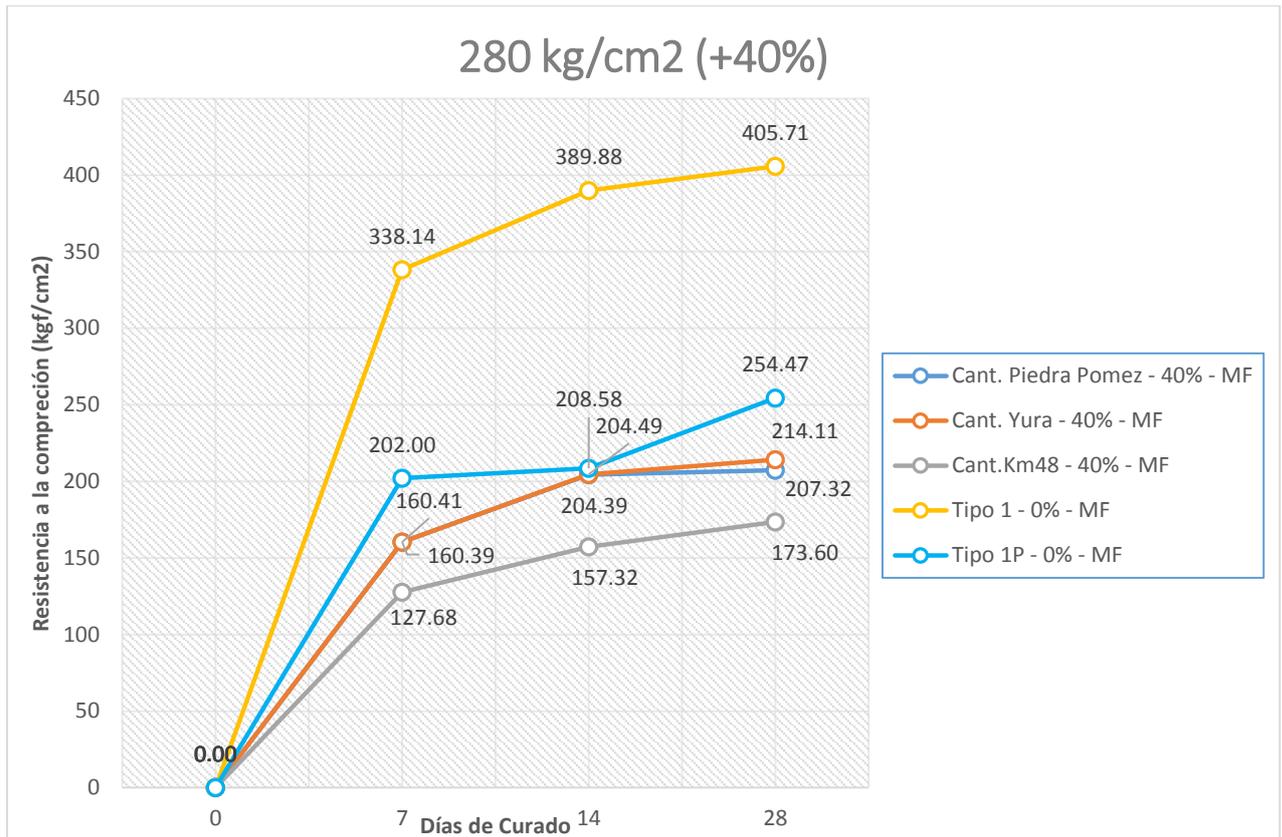
GRÁFICA 48 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 49 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 50 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

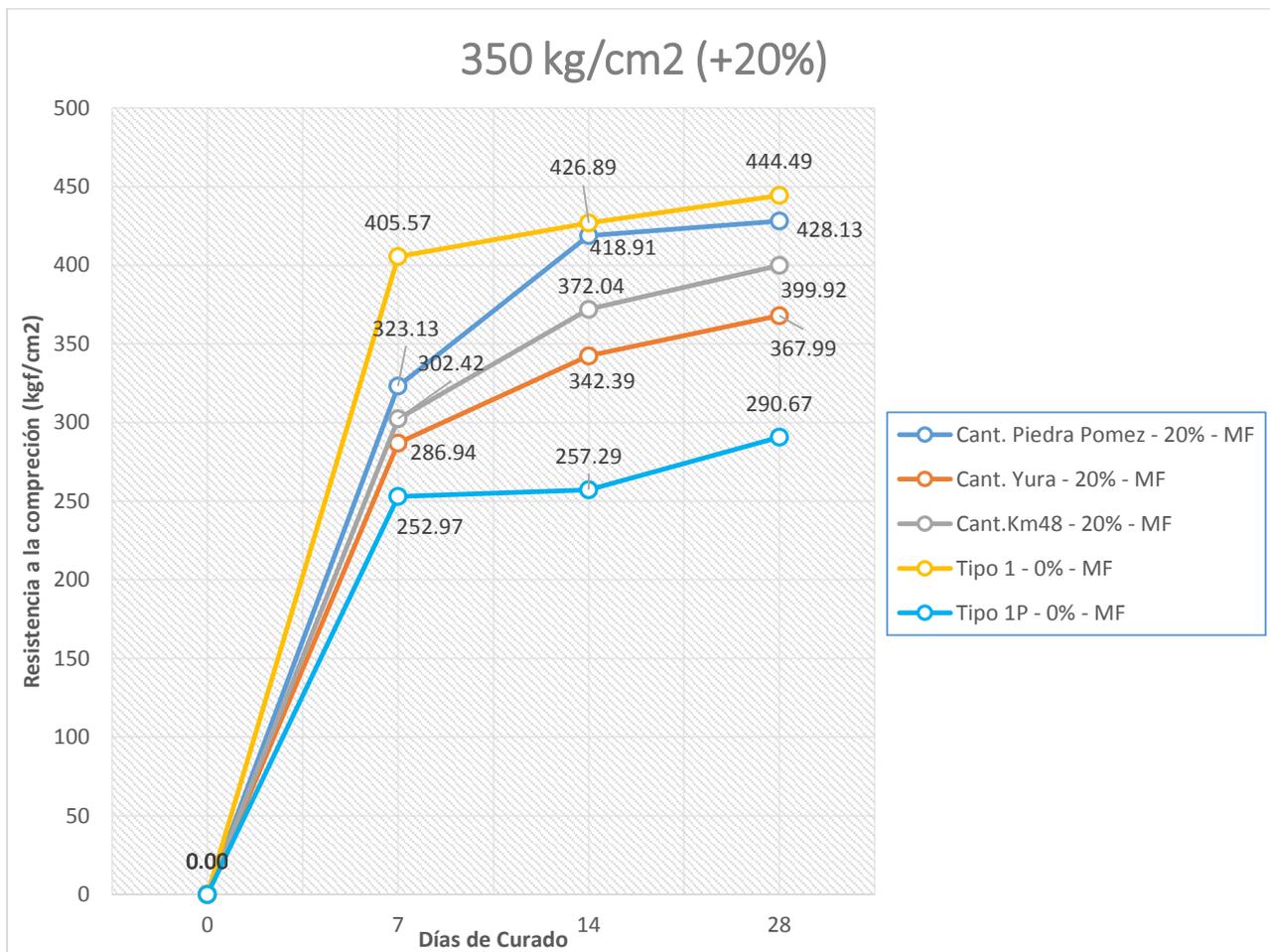
Aquí se puede observar la misma relación que en anteriores casos, a medida que la cantidad de puzolana adicionada aumenta, las resistencias a la compresión disminuyen e igual que el anterior método de diseño expuesto, el concreto hecho sin adición con cemento Tipo 1P, únicamente supero a los concretos hechos con adición de puzolana al 40% sin lograr alcanzar la resistencia a la compresión requerida.

También se puede observar que el concreto hecho con adición de puzolana al 30% de la cantera Piedra Pómez, fue el que más se pudo acercar a la resistencia requerida de diseño de 280 Kg/cm² con 274.65 Kg/cm² mientras que los concretos con adición de puzolana al 30% de las canteras YURA y Km48, se encuentran por debajo de este.

Además, en los concretos con adición de puzolana se puede observar en este método de diseño, como en los concretos de resistencia a la compresión 210 kg/cm² de este mismo método de diseño, que en casi todos los escenarios existen dos cambios de pendientes en las gráficas que inician con una pendiente determinada hasta los 7 días de curado, luego esta se reducen hasta llegar a los 14 días de curado, para nuevamente tener otro cambio de pendiente, que a diferencia del anterior método, esta vez la pendiente se reducen aún más, tomando la forma típica de una curva de resistencia a la compresión de concretos, como en el caso del concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1.

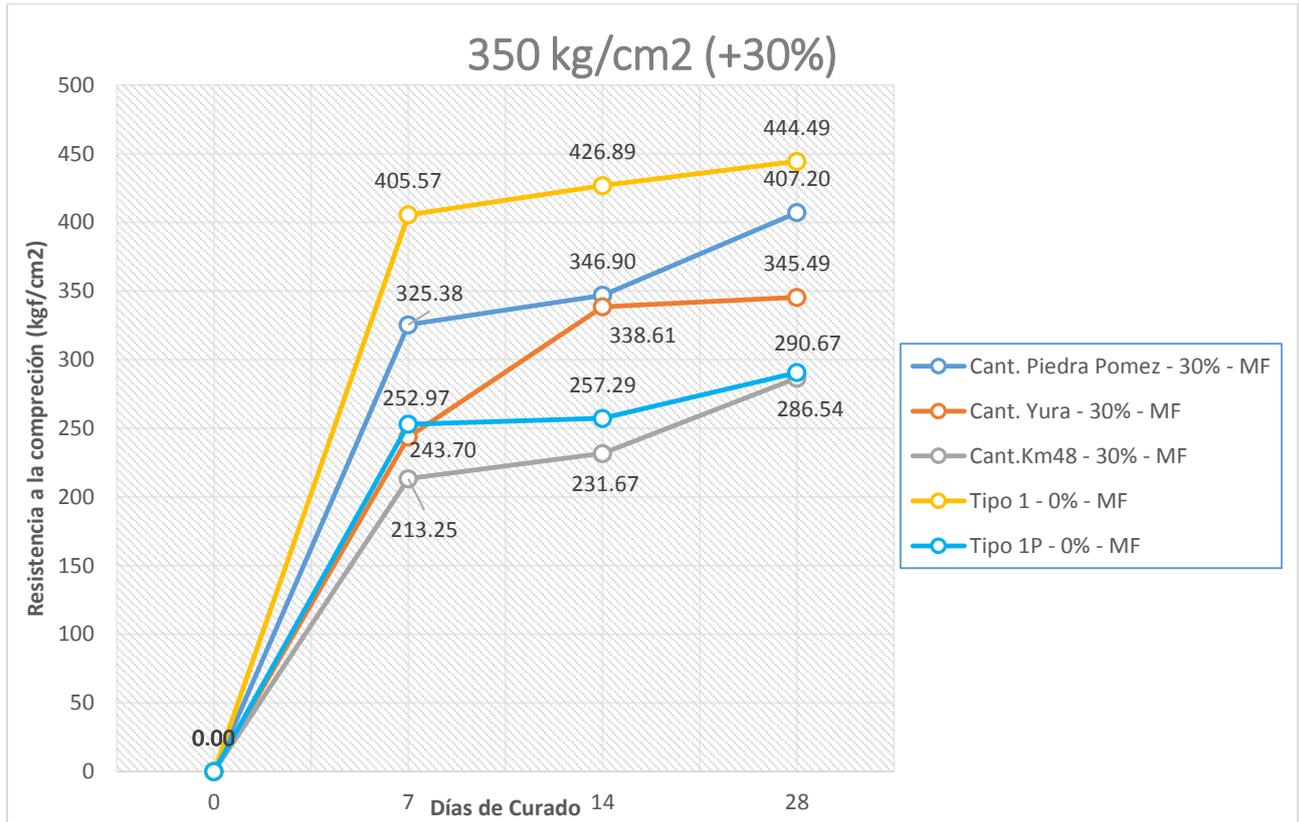
Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²

Con 20% de adición de puzolana:



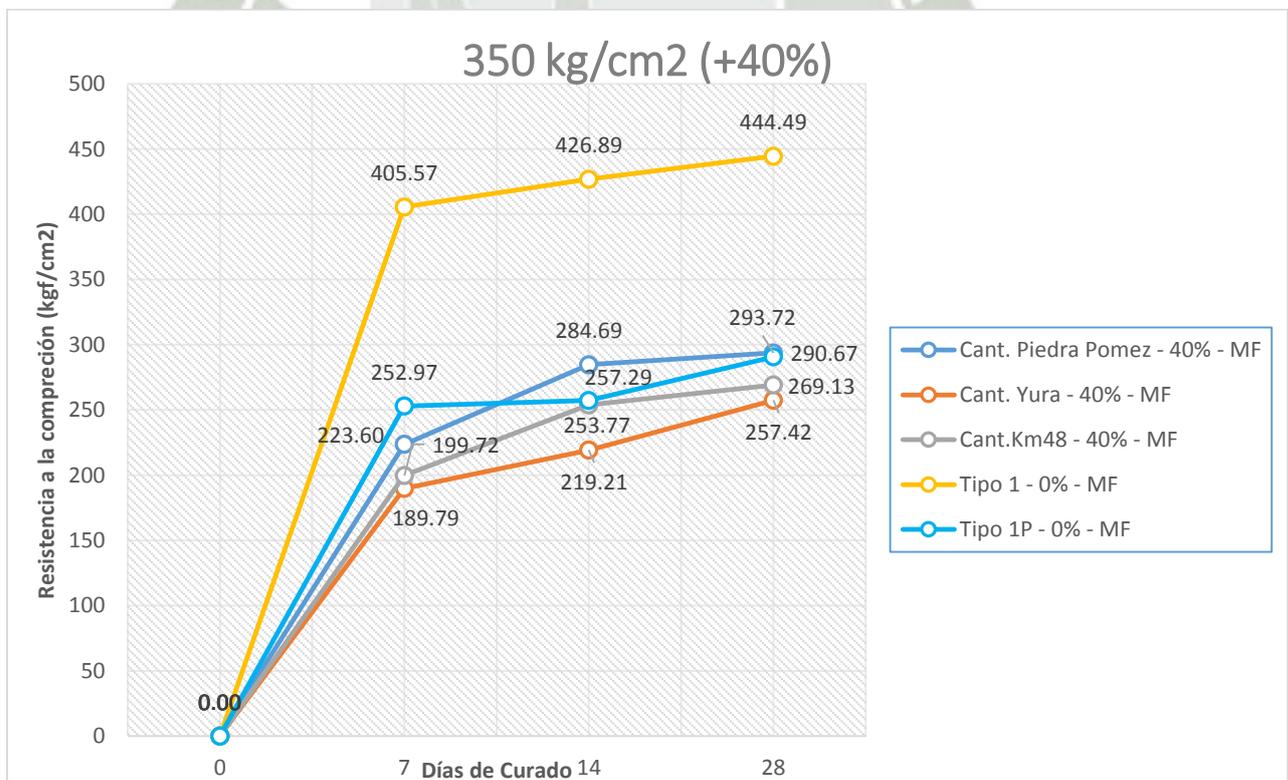
GRÁFICA 51 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Con 30% de adición de puzolana:



GRÁFICA 52 Comparación entre canteras para un f'c de 350 kg/cm2 con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Con 40% de adición de puzolana:



GRÁFICA 53 Comparación entre canteras para un f'c de 350 kg/cm2 con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados (Fuente propia)

Del mismo modo que en anteriores casos, a medida que la cantidad de puzolana adicionada aumenta, las resistencias a la compresión disminuyen e igual que el anterior método de diseño expuesto, el concreto hecho sin adición con cemento Tipo 1P, únicamente supero a los concretos hechos con adición de puzolana al 40% sin lograr alcanzar la resistencia a la compresión requerida.

Se puede observar que el concreto hecho con adición de puzolana al 30% de la cantera Piedra Pómez, fue el único de los concretos analizados para este porcentaje de adición, que pudo llegar y sobrepasar a la resistencia requerida de diseño de 350 Kg/cm² con 407.2 Kg/cm² mientras que los concretos con adición de puzolana al 30% de las canteras YURA y Km48, se encuentran por debajo de este y no alcanzaron la resistencia requerida, sin embargo solo la cantera YURA pudo acercarse a la resistencia requerida, mientras que la cantera Km48 no.

Además, en los concretos con adición de puzolana se puede observar en este método de diseño, como en los concretos de resistencia a la compresión 210 kg/cm² y 280 kg/cm² de este mismo método de diseño, que en casi todos los escenarios existen dos cambios de pendientes en las gráficas que inician con una pendiente determinada hasta los 7 días de curado, luego esta se reducen hasta llegar a los 14 días de curado, para nuevamente tener otro cambio de pendiente, que a diferencia del anterior método, esta vez la pendiente se reducen aún más, tomando la forma típica de una curva de resistencia a la compresión de concretos, como en el caso del concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1.

5.3. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA PUZOLANA DE CADA CANTERA PARA CADA RESISTENCIA DEL CONCRETO

| | Yura | Km48 | Piedra Pómez |
|-----------|---|---|---|
| Slump | Incremento del asentamiento hasta un 200% más del asentamiento de diseño, dependiendo del porcentaje de adición de puzolana, a su vez, dependiendo también del porcentaje de adición y del método de diseño, este incremento de asentamiento será inversamente proporcional a la resistencia a compresión lograda, mayor slump involucrará menor resistencia a la compresión. | Incremento del asentamiento hasta un 250% más del asentamiento de diseño, dependiendo del porcentaje de adición de puzolana, a su vez, dependiendo también del porcentaje de adición y del método de diseño, este incremento de asentamiento será inversamente proporcional a la resistencia a compresión lograda, mayor slump involucrará menor resistencia a la compresión. | Incremento del asentamiento hasta un 250% más del asentamiento de diseño, dependiendo del porcentaje de adición de puzolana, a su vez, dependiendo también del porcentaje de adición y del método de diseño, este incremento de asentamiento será inversamente proporcional a la resistencia a compresión lograda, mayor slump involucrará menor resistencia a la compresión. |
| Peso Esp. | Sin variación representativa con un promedio de 2.28 g/cm ³ independientemente de la resistencia a la compresión de diseño planteada y el porcentaje de adición de puzolana. | Sin variación representativa con un promedio de 2.28 g/cm ³ independientemente de la resistencia a la compresión de diseño planteada y el porcentaje de adición de puzolana. | Sin variación representativa con un promedio de 2.28 g/cm ³ independientemente de la resistencia a la compresión de diseño planteada y el porcentaje de adición de puzolana, sin embargo, para diseños a altas resistencias, especial |

| | | | |
|------------|---|---|---|
| | | | mente por el método de Modulo de Fineza de la combinación de agregados, existe un incremento de peso esp. Respecto al método de diseño por ACI, de 10% aproximadamente. |
| Temp. | Sin variación representativa con un promedio de 18°C independientemente de la resistencia a la compresión de diseño planteada y el porcentaje de adición de puzolana. | Sin variación representativa con un promedio de 17.5°C independientemente de la resistencia a la compresión de diseño planteada y el porcentaje de adición de puzolana, sin embargo, para diseños a altas resistencias la temperatura llega hasta 19°C que a pesar de existir incremento, no representa un valor significativo. | Sin variación representativa con un promedio de 18°C independientemente de la resistencia a la compresión de diseño planteada y el porcentaje de adición de puzolana. |
| Res. Trac. | Ya que la resistencia a la tracción representa entre el 8% y 10% de la resistencia a la compresión, independientemente dependiendo del método de diseño y el porcentaje de adición de puzolana, en todos los casos, cumple con este parámetro. Sin embargo, para porcentajes de adición de puzolana de 20%, la resistencia a la tracción incrementa hasta un 14% dependiendo de la resistencia a la compresión planteada. | Ya que la resistencia a la tracción representa entre el 8% y 10% de la resistencia a la compresión, independientemente dependiendo del método de diseño y el porcentaje de adición de puzolana, en todos los casos, cumple con este parámetro. Sin embargo, para porcentajes de adición de puzolana de 20%, la resistencia a la tracción incrementa hasta un 13% dependiendo de la resistencia a la compresión planteada. | Ya que la resistencia a la tracción representa entre el 8% y 10% de la resistencia a la compresión, independientemente dependiendo del método de diseño y el porcentaje de adición de puzolana, en todos los casos, cumple con este parámetro. Sin embargo, para porcentajes de adición de puzolana de 20%, la resistencia a la tracción incrementa hasta un 15% dependiendo de la resistencia a la compresión planteada. |
| Abras. | Dependiendo del método de diseño, la resistencia a la compresión de diseño y el porcentaje de adición de puzolana, la abrasión va desde 20% a 40% en promedio, partiendo de porcentaje de adición de puzolana 20% para resultados menores hasta adición de 40% para mayores resultados. Además, a medida que la resistencia a la compresión de diseño incrementa, el | Dependiendo del método de diseño, la resistencia a la compresión de diseño y el porcentaje de adición de puzolana, la abrasión va desde 20% a 40% en promedio, partiendo de porcentaje de adición de puzolana 20% para resultados menores hasta adición de 40% para mayores resultados. Además, a medida que la resistencia a la compresión de diseño incrementa, el | Dependiendo del método de diseño, la resistencia a la compresión de diseño y el porcentaje de adición de puzolana, la abrasión va desde 20% a 40% en promedio, partiendo de porcentaje de adición de puzolana 20% para resultados menores hasta adición de 40% para mayores resultados. Además, a medida que la resistencia a la compresión de diseño incrementa, el |

| | porcentaje de abrasión disminuye. | porcentaje de abrasión disminuye. | porcentaje de abrasión disminuye. |
|------------|---|--|---|
| Res. Comp. | Únicamente para concretos con 20% de adición de puzolana alcanza y supera la resistencia a la compresión deseada. Dependiendo de la resistencia a la compresión deseada supera aproximadamente en 15% a la resistencia a la compresión de diseño, principalmente a utilizar el método de diseño de ACI. La resistencia a la compresión disminuye a media que el porcentaje de adición incrementa. | Únicamente para concretos con 20% de adición de puzolana alcanza y supera la resistencia a la compresión deseada. Dependiendo de la resistencia a la compresión deseada supera en concretos de resistencia a la compresión de diseño 210 kg/cm ² en 50% a la resistencia a la compresión de diseño, principalmente a utilizar el método de diseño de ACI, sin embargo, el incremento es menor al 30% en resistencias de diseño mayores. La resistencia a la compresión disminuye a media que el porcentaje de adición incrementa. | Únicamente para concretos con 20% y 30% de adición de puzolana alcanza y supera la resistencia a la compresión deseada. Dependiendo de la resistencia a la compresión deseada supera aproximadamente en 35% a la resistencia a la compresión de diseño, principalmente a utilizar el método de diseño de ACI. La resistencia a la compresión disminuye a media que el porcentaje de adición incrementa. |

TABLA 50 Determinación de la influencia de la puzolana de cada cantera para cada resistencia (Fuente propia)

5.4. ANÁLISIS DEL COSTO-BENEFICIO DE UN CONCRETO ADICIONADO CON PUZOLANA Y UN CONCRETO CONVENCIONAL

Tomando como base la Guía de los Fundamentos para la Gestión de Proyectos (GUÍA DEL PMBOK) del PMI (Project Management Institute) en su 5ta edición, en el capítulo 8, GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL PROYECTO en el proceso PLANIFICAR LA GESTIÓN DE CALIDAD, una de las herramientas y técnicas es el análisis Costo – Beneficio, el cual indica que los principales beneficios de cumplir con los requisitos de calidad incluyen menos re trabajo, mayor productividad, costos menores, mayor grado de satisfacción y mayor rentabilidad, por consiguiente, la realización de un análisis costo-beneficio para cada concreto permite comparar el costo del nivel de calidad con el beneficio esperado. Sin embargo, para esta investigación, únicamente se tomará en cuenta los siguientes concretos para este análisis:

- Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.
- Concretos con adición de puzolana de la cantera Km 48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

- Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.
- Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.
- Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.
- Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

Tomando en cuenta como criterio de selección que hayan superado o alcanzado la propiedad de resistencia a la compresión, además únicamente se considerará como beneficios, las propiedades resistencia a la compresión y asentamiento. Respecto al resto de propiedades, no se tomaron en consideración debido a la poca relevancia en los objetivos de esta investigación y la poca variación que presentan los datos obtenidos entre sí.

5.4.1. Costo de Puzolanas

En los cuadros observamos el costo de molienda en un molino de billas a un 85% de pasante por la malla N° 325 es de S/.130.8 por tonelada de cada puzolana, el costo de extracción es de S/. 100 por cada 15 metros cúbicos y es el mismo para cada cantera, por último, el de transporte considerado hasta el Parque Industrial de la Universidad Católica Santa María es de S/. 250 para la cantera Piedra Pómez, S/. 300 para la cantera Km 48 y S/. 200 para la cantera YURA, por cada 15 metros cúbicos.

Los precios unitarios incluyen IGV.

| <u>PUZOLANA</u> <u>P. Pómez</u> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|--|----------|--------|------------|---------------|
| Extracción | 1 | m3 | 6.67 | 6.67 |
| Transporte | 1 | m3 | 16.67 | 16.67 |
| Molienda | 1 | m3 | 291.29 | 291.29 |
| Total | | | | 314.63 |

| <u>PUZOLANA</u> <u>KM 48</u> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|---|----------|--------|------------|---------------|
| Extracción | 1 | m3 | 6.67 | 6.67 |
| Transporte | 1 | m3 | 20 | 20 |
| Molienda | 1 | m3 | 331.84 | 331.84 |
| Total | | | | 358.51 |

| <u>PUZOLANA</u> <u>YURA</u> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|--|----------|--------|------------|---------------|
| Extracción | 1 | m3 | 6.67 | 6.67 |
| Transporte | 1 | m3 | 13.33 | 13.33 |
| Molienda | 1 | m3 | 316.93 | 316.93 |
| Total | | | | 336.93 |

TABLA 51 Costos unitarios por canteras (Fuente propia)

5.4.2. Costos Unitarios por metro cúbico

Los precios unitarios considerados en este análisis de costos para cada diseño incluyen IGV.

5.4.2.1. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| <i>F'c = 210 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------|----------|--------|------------|---------------|
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 6.708 | bls | 23.03 | S/ 154.49 |
| Puzolana | 0.018 | m3 | 314.63 | S/ 5.66 |
| Agregado Fino | 0.359 | m3 | 60 | S/ 21.54 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 206.50 |
| <i>F'c = 210 MF</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 6.708 | bls | 23.03 | S/ 154.49 |
| Puzolana | 0.018 | m3 | 314.63 | S/ 5.66 |
| Agregado Fino | 0.336 | m3 | 60 | S/ 20.16 |
| Agregado Grueso | 0.332 | m3 | 80 | S/ 26.56 |
| | | | Total | S/ 207.04 |
| <i>F'c = 280 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.038 | bls | 23.03 | S/ 185.12 |
| Puzolana | 0.022 | m3 | 314.63 | S/ 6.92 |
| Agregado Fino | 0.337 | m3 | 60 | S/ 20.22 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 237.06 |
| <i>F'c = 280 MF</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.038 | bls | 23.03 | S/ 185.12 |
| Puzolana | 0.022 | m3 | 314.63 | S/ 6.92 |
| Agregado Fino | 0.298 | m3 | 60 | S/ 17.88 |
| Agregado Grueso | 0.346 | m3 | 80 | S/ 237.84 |
| | | | Total | S/ 237.76 |
| <i>F'c = 350 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 9.459 | bls | 23.03 | S/ 217.84 |
| Puzolana | 0.026 | m3 | 314.63 | S/ 8.18 |
| Agregado Fino | 0.313 | m3 | 60 | S/ 18.78 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 269.61 |

| $F'c = 350 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|----------------------------------|----------|--------|--------------|------------------|
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 9.459 | bls | 23.03 | S/ 217.84 |
| Puzolana | 0.026 | m3 | 314.63 | S/ 8.18 |
| Agregado Fino | 0.26 | m3 | 60 | S/ 15.60 |
| Agregado Grueso | 0.36 | m3 | 80 | S/ 28.80 |
| | | | Total | S/ 270.59 |

TABLA 52 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.2.2. Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| $F'c = 210 ACI$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------------|----------|--------|--------------|------------------|
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 6.708 | bls | 23.03 | S/ 154.49 |
| Puzolana | 0.021 | m3 | 358.51 | S/ 7.53 |
| Agregado Fino | 0.359 | m3 | 60 | S/ 21.54 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 208.36 |

| $F'c = 210 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|----------------------------------|----------|--------|--------------|------------------|
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 6.708 | bls | 23.03 | S/ 154.49 |
| Puzolana | 0.021 | m3 | 358.51 | S/ 7.53 |
| Agregado Fino | 0.336 | m3 | 60 | S/ 20.16 |
| Agregado Grueso | 0.332 | m3 | 80 | S/ 26.56 |
| | | | Total | S/ 208.90 |

| $F'c = 280 ACI$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------------|----------|--------|--------------|------------------|
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.038 | bls | 23.03 | S/ 185.12 |
| Puzolana | 0.025 | m3 | 358.51 | S/ 8.96 |
| Agregado Fino | 0.337 | m3 | 60 | S/ 20.22 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 239.10 |

| $F'c = 280 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|----------------------------------|----------|--------|--------------|------------------|
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.038 | bls | 23.03 | S/ 185.12 |
| Puzolana | 0.025 | m3 | 358.51 | S/ 8.96 |
| Agregado Fino | 0.298 | m3 | 60 | S/ 17.88 |
| Agregado Grueso | 0.346 | m3 | 80 | S/ 27.68 |
| | | | Total | S/ 239.80 |

| $F'c = 350$ ACI | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
|-----------------------------------|----------|--------|--------------|---------------|---------------|
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 9.459 | bls | 23.03 | S/ | 217.84 |
| Puzolana | 0.029 | m3 | 358.51 | S/ | 10.40 |
| Agregado Fino | 0.313 | m3 | 60 | S/ | 18.78 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ | 24.64 |
| | | | Total | S/ | 271.82 |
| $F'c = 350$ MF | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 9.459 | bls | 23.03 | S/ | 217.84 |
| Puzolana | 0.029 | m3 | 358.51 | S/ | 10.40 |
| Agregado Fino | 0.26 | m3 | 60 | S/ | 15.60 |
| Agregado Grueso | 0.36 | m3 | 80 | S/ | 28.80 |
| | | | Total | S/ | 272.80 |

TABLA 53 Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.2.3. Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| $F'c = 210$ ACI | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
|-----------------------------------|----------|--------|--------------|---------------|---------------|
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 6.708 | bls | 23.03 | S/ | 154.49 |
| Puzolana | 0.02 | m3 | 336.93 | S/ | 6.74 |
| Agregado Fino | 0.359 | m3 | 60 | S/ | 21.54 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ | 24.64 |
| | | | Total | S/ | 207.57 |
| $F'c = 210$ MF | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 6.708 | bls | 23.03 | S/ | 154.49 |
| Puzolana | 0.02 | m3 | 336.93 | S/ | 6.74 |
| Agregado Fino | 0.336 | m3 | 60 | S/ | 20.16 |
| Agregado Grueso | 0.332 | m3 | 80 | S/ | 26.56 |
| | | | Total | S/ | 208.11 |
| $F'c = 280$ ACI | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 8.038 | bls | 23.03 | S/ | 185.12 |
| Puzolana | 0.024 | m3 | 336.93 | S/ | 8.09 |
| Agregado Fino | 0.337 | m3 | 60 | S/ | 20.22 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ | 24.64 |
| | | | Total | S/ | 238.23 |

| $F'c = 280 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------------|----------|--------|------------|---------------|
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.038 | bls | 23.03 | S/ 185.12 |
| Puzolana | 0.024 | m3 | 336.93 | S/ 8.09 |
| Agregado Fino | 0.298 | m3 | 60 | S/ 17.88 |
| Agregado Grueso | 0.346 | m3 | 80 | S/ 27.68 |
| | | | Total | S/ 239.93 |
| $F'c = 350 ACI$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 9.459 | bls | 23.03 | S/ 217.84 |
| Puzolana | 0.028 | m3 | 336.93 | S/ 9.43 |
| Agregado Fino | 0.313 | m3 | 60 | S/ 18.78 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 270.86 |
| $F'c = 350 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 9.459 | bls | 23.03 | S/ 217.84 |
| Puzolana | 0.028 | m3 | 336.93 | S/ 9.43 |
| Agregado Fino | 0.26 | m3 | 60 | S/ 15.60 |
| Agregado Grueso | 0.36 | m3 | 80 | S/ 28.80 |
| | | | Total | S/ 271.84 |

TABLA 54 Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.2.4. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| $F'c = 210 ACI$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------------|----------|--------|------------|---------------|
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 5.87 | bls | 23.03 | S/ 135.19 |
| Puzolana | 0.024 | m3 | 314.63 | S/ 7.55 |
| Agregado Fino | 0.359 | m3 | 60 | S/ 21.54 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 189.08 |
| $F'c = 210 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 5.87 | bls | 23.03 | S/ 135.19 |
| Puzolana | 0.024 | m3 | 314.63 | S/ 7.55 |
| Agregado Fino | 0.336 | m3 | 60 | S/ 20.16 |

| | | | | | |
|-----------------------------|----------|--------|------------|---------------|--------|
| Agregado Grueso | 0.332 | m3 | 80 | S/ | 26.56 |
| | | | Total | S/ | 189.62 |
| <i>F'c = 280 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 7.034 | bls | 23.03 | S/ | 161.99 |
| Puzolana | 0.028 | m3 | 314.63 | S/ | 8.81 |
| Agregado Fino | 0.337 | m3 | 60 | S/ | 20.22 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ | 24.64 |
| | | | Total | S/ | 215.83 |
| <i>F'c = 280 MF</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 7.034 | bls | 23.03 | S/ | 161.99 |
| Puzolana | 0.028 | m3 | 314.63 | S/ | 8.81 |
| Agregado Fino | 0.298 | m3 | 60 | S/ | 17.88 |
| Agregado Grueso | 0.346 | m3 | 80 | S/ | 27.68 |
| | | | Total | S/ | 216.53 |
| <i>F'c = 350 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 8.277 | bls | 23.03 | S/ | 190.62 |
| Puzolana | 0.033 | m3 | 314.63 | S/ | 10.38 |
| Agregado Fino | 0.313 | m3 | 60 | S/ | 18.78 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ | 24.64 |
| | | | Total | S/ | 244.59 |
| <i>F'c = 350 MF</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 8.277 | bls | 23.03 | S/ | 190.62 |
| Puzolana | 0.033 | m3 | 314.63 | S/ | 10.38 |
| Agregado Fino | 0.26 | m3 | 60 | S/ | 15.60 |
| Agregado Grueso | 0.36 | m3 | 80 | S/ | 28.80 |
| | | | Total | S/ | 245.56 |

TABLA 55 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.2.5. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| | | | | | |
|-----------------------------|----------|--------|------------|---------------|--------|
| <i>F'c = 210 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 8.385 | bls | 23.03 | S/ | 193.11 |
| Puzolana | 0 | - | - | S/ | - |
| Agregado Fino | 0.359 | m3 | 60 | S/ | 21.54 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ | 24.64 |
| | | | Total | S/ | 239.45 |

| $F'c = 210 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------------|----------|--------|--------------|---------------|
| Agua | 0.222 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.385 | bls | 23.03 | S/ 193.11 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.336 | m3 | 60 | S/ 20.16 |
| Agregado Grueso | 0.332 | m3 | 80 | S/ 26.56 |
| | | | Total | S/ 239.99 |
| $F'c = 280 ACI$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 10.048 | bls | 23.03 | S/ 231.41 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.337 | m3 | 60 | S/ 20.22 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 276.43 |
| $F'c = 280 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 10.048 | bls | 23.03 | S/ 231.41 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.298 | m3 | 60 | S/ 17.88 |
| Agregado Grueso | 0.346 | m3 | 80 | S/ 27.68 |
| | | | Total | S/ 277.13 |
| $F'c = 350 ACI$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 11.824 | bls | 23.03 | S/ 272.31 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.313 | m3 | 60 | S/ 18.78 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 315.89 |
| $F'c = 350 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 11.824 | bls | 23.03 | S/ 272.31 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.26 | m3 | 60 | S/ 15.60 |
| Agregado Grueso | 0.36 | m3 | 80 | S/ 28.80 |
| | | | Total | S/ 316.87 |

TABLA 56 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.2.6. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| <i>F'c = 210 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------------|----------|--------|--------------|------------------|
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.385 | bls | 20.5 | S/ 171.89 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.347 | m3 | 60 | S/ 20.82 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 217.52 |
| <i>F'c = 210 MF</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 8.385 | bls | 20.5 | S/ 171.89 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.329 | m3 | 60 | S/ 19.74 |
| Agregado Grueso | 0.325 | m3 | 80 | S/ 26.00 |
| | | | Total | S/ 217.80 |
| <i>F'c = 280 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 10.048 | bls | 20.5 | S/ 205.98 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.322 | m3 | 60 | S/ 19.32 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 250.11 |
| <i>F'c = 280 MF</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.221 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 10.048 | bls | 20.5 | S/ 205.98 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.291 | m3 | 60 | S/ 17.46 |
| Agregado Grueso | 0.338 | m3 | 80 | S/ 27.04 |
| | | | Total | S/ 250.65 |
| <i>F'c = 350 ACI</i> | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) |
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ 0.17 |
| Cemento | 11.824 | bls | 20.5 | S/ 242.39 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ - |
| Agregado Fino | 0.295 | m3 | 60 | S/ 17.70 |
| Agregado Grueso | 0.308 | m3 | 80 | S/ 24.64 |
| | | | Total | S/ 284.90 |

| $F'c = 350 MF$ | Cantidad | Unidad | P.U. (S/.) | Parcial (S/.) | |
|----------------------------------|----------|--------|------------|---------------|--------|
| Agua | 0.22 | m3 | 0.75 | S/ | 0.17 |
| Cemento | 11.824 | bls | 20.5 | S/ | 242.39 |
| Puzolana | 0 | m3 | - | S/ | - |
| Agregado Fino | 0.253 | m3 | 60 | S/ | 15.18 |
| Agregado Grueso | 0.349 | m3 | 80 | S/ | 27.92 |
| | | | Total | S/ | 285.66 |

TABLA 57 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo IP por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.3. Beneficio

Para el análisis de beneficio únicamente se consideró las propiedades de resistencia a la compresión y asentamiento, el beneficio se calculó dividiendo el resultado obtenido entre el valor de diseño planteado, obteniendo un valor en porcentaje donde 100% indica cumplimiento del valor de diseño planteado y valores superiores o inferiores indican incremento o decremento en el valor esperado.

5.4.3.1. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| $F'c = 210 ACI$ | f_c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|-----------------------------------|-------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 210 | 2 | 234.11 | 1.5 | 111% | 75% |
| $F'c = 280 ACI$ | f_c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 369.56 | 3.1 | 132% | 155% |
| $F'c = 350 ACI$ | f_c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 473.35 | 2.1 | 135% | 105% |
| $F'c = 210 MF$ | f_c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 210 | 2 | 270.76 | 1.45 | 129% | 73% |

| <u>$F'c = 280 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|---|----------------|--------------------|---|---------------|---------------------------------|--------------------|
| Dato | 280 | 2 | 365.15 | 3.5 | 130% | 175% |
| <u>$F'c = 350 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 428.13 | 2.1 | 122% | 105% |

TABLA 58 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.3.2. Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| <u>$F'c = 210 ACI$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|--|----------------|--------------------|---|---------------|---------------------------------|--------------------|
| Dato | 210 | 2 | 315.99 | 2.8 | 150% | 140% |
| <u>$F'c = 280 ACI$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 343.12 | 4.7 | 123% | 235% |
| <u>$F'c = 350 ACI$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 423.42 | 4.5 | 121% | 225% |
| <u>$F'c = 210 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 210 | 2 | 265.22 | 5.1 | 126% | 255% |
| <u>$F'c = 280 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 316.89 | 4.1 | 113% | 205% |

| <u>$F'c = 350 MF$</u> | f'c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|---|-----|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 350 | 2 | 399.92 | 5.4 | 114% | 270% |

TABLA 59 Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.3.3. Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| <u>$F'c = 210 ACI$</u> | f'c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|--|-----|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 210 | 2 | 242.38 | 3.7 | 115% | 185% |
| <u>$F'c = 280 ACI$</u> | f'c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 319.96 | 3 | 114% | 150% |
| <u>$F'c = 350 ACI$</u> | f'c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 380.13 | 4.2 | 109% | 210% |
| <u>$F'c = 210 MF$</u> | f'c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 210 | 2 | 237.88 | 5.4 | 113% | 270% |
| <u>$F'c = 280 MF$</u> | f'c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 317.44 | 6 | 113% | 300% |

| <u>$F'c = 350 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|---|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 350 | 2 | 367.99 | 4 | 105% | 200% |

TABLA 60 Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado (Fuente propia)

5.4.3.4. Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| <u>$F'c = 210 ACI$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|--|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 210 | 2 | 221.21 | 2 | 105% | 100% |
| <u>$F'c = 280 ACI$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 280.81 | 3.5 | 100% | 175% |
| <u>$F'c = 350 ACI$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 373.08 | 4.5 | 107% | 225% |
| <u>$F'c = 210 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 210 | 2 | 198.04 | 2.3 | 94% | 115% |
| <u>$F'c = 280 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 266.57 | 5.8 | 95% | 290% |
| <u>$F'c = 350 MF$</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 407.2 | 3.5 | 116% | 175% |

TABLA 61 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado (Fuente propia)

5.4.3.5. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| | | | | | | |
|--|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| <u>$F'c = 210$ ACI</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 210 | 2 | 372.37 | 2.5 | 177% | 125% |
| <u>$F'c = 280$ ACI</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 423.17 | 1.25 | 151% | 63% |
| <u>$F'c = 350$ ACI</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 443.19 | 1.75 | 127% | 88% |
| <u>$F'c = 210$ MF</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 210 | 2 | 308.85 | 3.9 | 147% | 195% |
| <u>$F'c = 280$ MF</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 280 | 2 | 405.71 | 1.5 | 145% | 75% |
| <u>$F'c = 350$ MF</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
| Dato | 350 | 2 | 444.49 | 2.5 | 127% | 125% |

TABLA 62 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado (Fuente propia)

5.4.3.6. Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Módulo de Fineza de la Combinación de agregados.

| <u>$F'c = 210$ ACI</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|--|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 210 | 2 | 187.99 | 1.5 | 90% | 75% |

| <u>$F'c = 280$ ACI</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|--|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 280 | 2 | 272.8 | 2 | 97% | 100% |

| <u>$F'c = 350$ ACI</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|--|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 350 | 2 | 319.63 | 1.5 | 91% | 75% |

| <u>$F'c = 210$ MF</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|---|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 210 | 2 | 188.04 | 2.1 | 90% | 105% |

| <u>$F'c = 280$ MF</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|---|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 280 | 2 | 254.47 | 1 | 91% | 50% |

| <u>$F'c = 350$ MF</u> | f _c | Slump de diseño | Resistencia a la compresión Real | Slump Real | Beneficio Res. A la Comp. | Beneficio Slump |
|---|----------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-----------------|
| Dato | 350 | 2 | 290.67 | 1.8 | 83% | 90% |

TABLA 63 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado (Fuente propia)

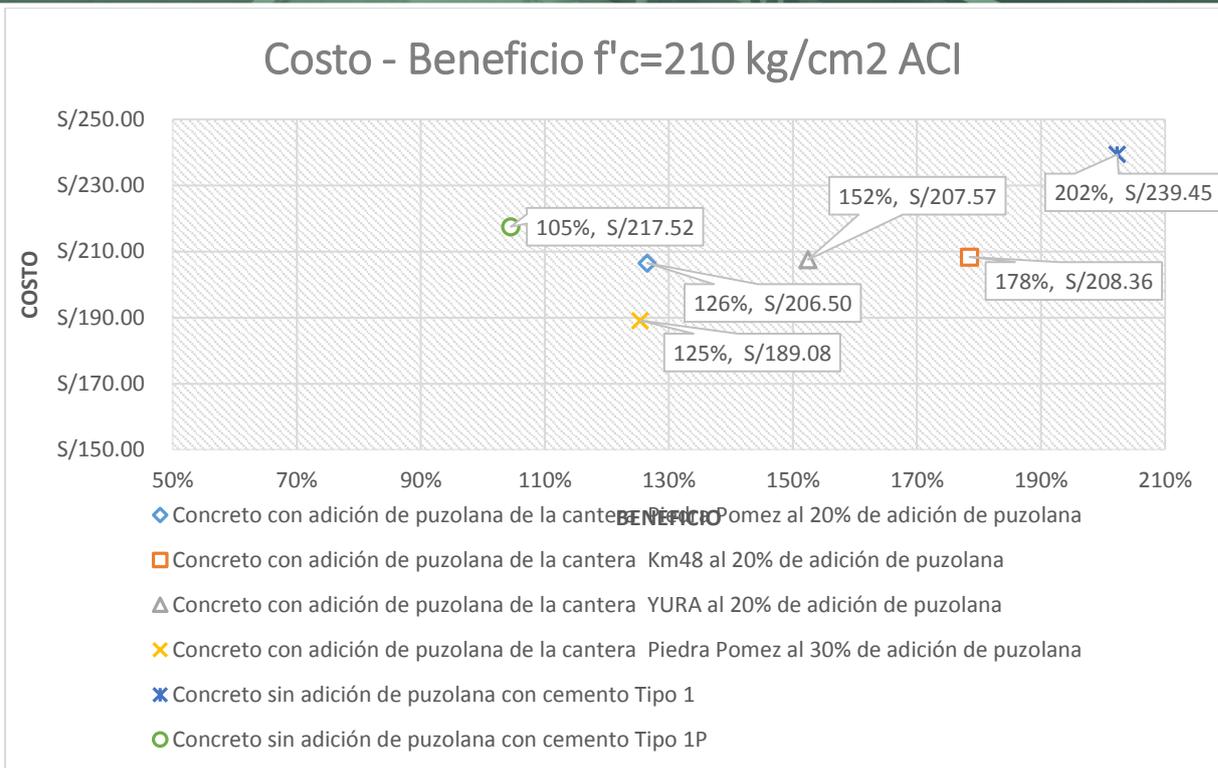
5.4.4. Análisis Costo – Beneficio

Debido a que el nivel de importancia o influencia que representan cada una de las propiedades expuestas en el análisis es diferente se consideró un factor de 1 para la resistencia a la compresión y un factor de 0.2 para el asentamiento o slump.

5.4.4.1. Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm² por el método ACI.

| <i>F'c = 210 ACI</i> | Beneficio | | | Costo | |
|--|---|---|---|---------------|---------------------------------|
| | Factor de Influencia | 100% | 20% | 100% | |
| | Resistencia a la compresión (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Slump (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Beneficio = Resistencia * factor + Slump * factor | Costo Parcial | Costo = Costo Unitario * factor |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana | 111% | 75% | 126% | S/ 206.50 | S/ 206.50 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana | 150% | 140% | 178% | S/ 208.36 | S/ 208.36 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana | 115% | 185% | 152% | S/ 207.57 | S/ 207.57 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana | 105% | 100% | 125% | S/ 189.08 | S/ 189.08 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 | 177% | 125% | 202% | S/ 239.45 | S/ 239.45 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P | 90% | 75% | 105% | S/ 217.52 | S/ 217.52 |

TABLA 64 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm² por el método ACI (Fuente propia)



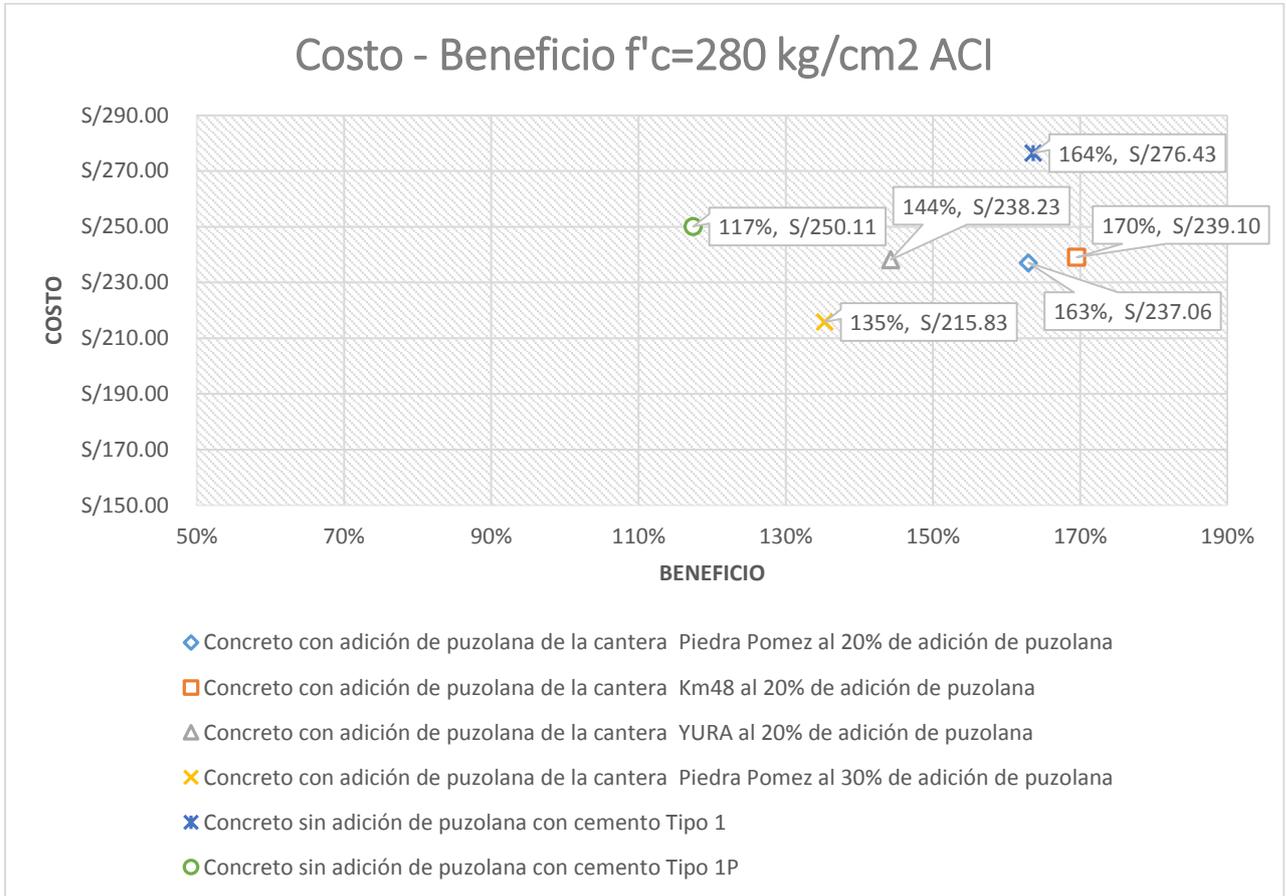
GRÁFICA 54 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm2 por el método ACI (Fuente propia)

5.4.4.2. Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm2 por el método ACI.

| F'c = 280 ACI | Beneficio | | | Costo | |
|--|--|---|---|---------------|---------------------------------|
| | Factor deInfluencia | 100% | 20% | 100% | |
| | Reistencia a la compresión (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Slump (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Beneficio = Resistencia * factor + Slump * factor | Costo Parcial | Costo = Costo Unitario * factor |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pomez al 20% de adición de puzolana | 132% | 155% | 163% | S/ 237.06 | S/ 237.06 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana | 123% | 235% | 170% | S/ 239.10 | S/ 239.10 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana | 114% | 150% | 144% | S/ 238.23 | S/ 238.23 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pomez al 30% de adición de puzolana | 100% | 175% | 135% | S/ 215.83 | S/ 215.83 |

| | | | | | |
|--|------|------|------|--------------|--------------|
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 | 151% | 63% | 164% | S/ 276.43 | S/ 276.43 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P | 97% | 100% | 117% | S/ 250.11 | S/ 250.11 |

TABLA 65 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm² por el método ACI (Fuente propia)



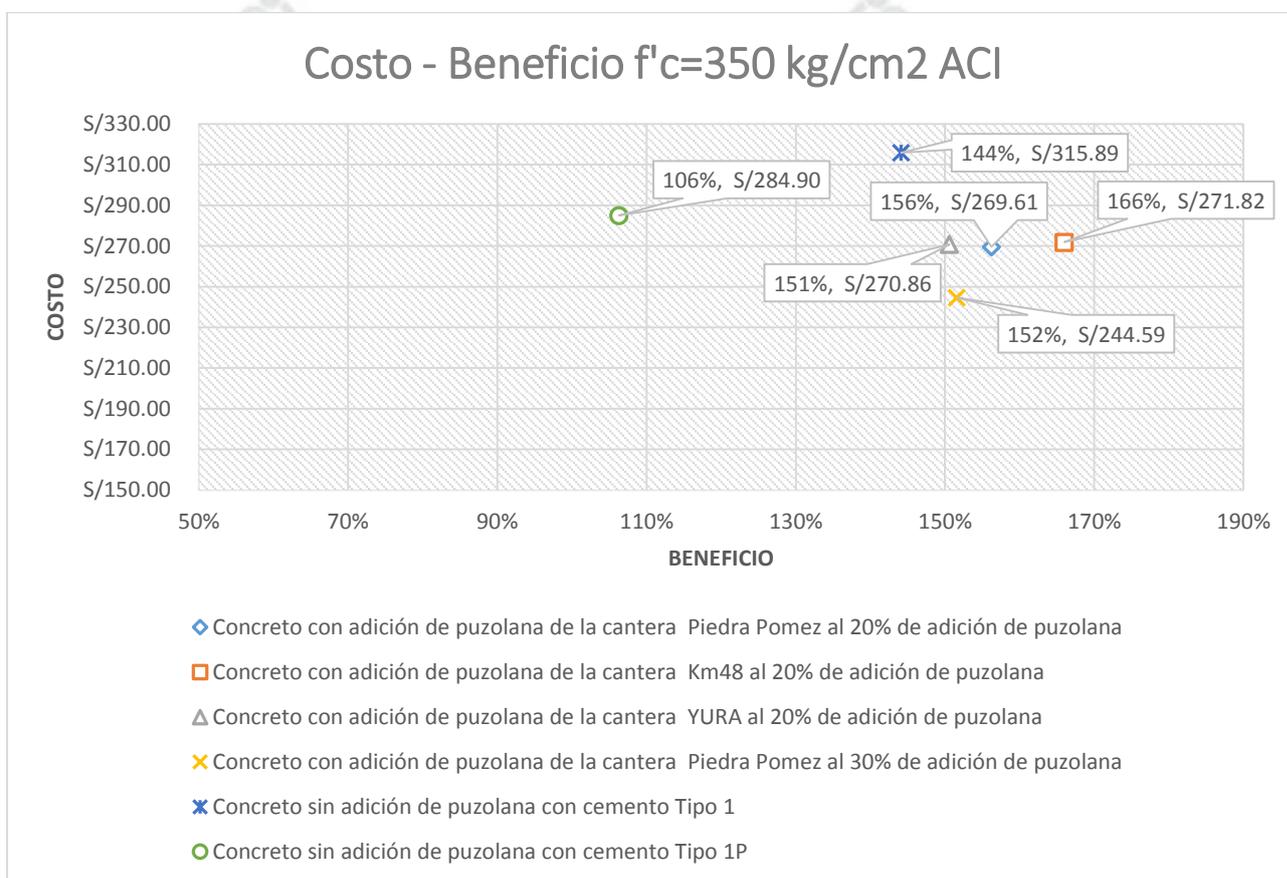
GRÁFICA 55 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm² por el método ACI (Fuente propia)

5.4.4.3. Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm² por el método ACI.

| F'_c = 350 ACI | Beneficio | | | Costo | |
|--|---|---|---|---------------|---------------------------------|
| | Factor de Influencia | 100% | 20% | 100% | |
| | Resistencia a la compresión (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Slump (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Beneficio = Resistencia * factor + Slump * factor | Costo Parcial | Costo = Costo Unitario * factor |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana | 135% | 105% | 156% | S/ 269.61 | S/ 269.61 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana | 121% | 225% | 166% | S/ 271.82 | S/ 271.82 |

| | | | | | |
|--|------|------|------|--------------|--------------|
| Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana | 109% | 210% | 151% | S/ 270.86 | S/ 270.86 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana | 107% | 225% | 152% | S/ 244.59 | S/ 244.59 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 | 127% | 88% | 144% | S/ 315.89 | S/ 315.89 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P | 91% | 75% | 106% | S/ 284.90 | S/ 284.90 |

TABLA 66 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm2 por el método ACI (Fuente propia)



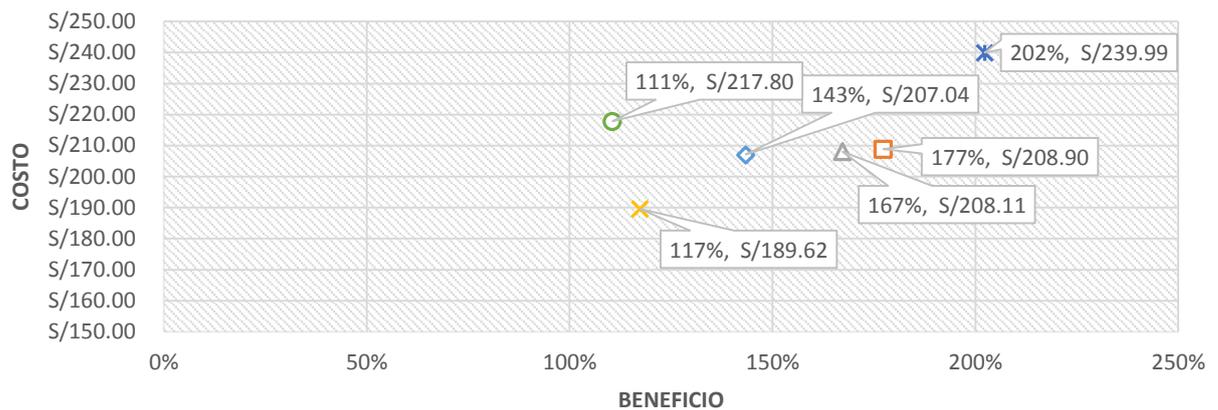
GRÁFICA 56 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm2 por el método ACI (Fuente propia)

5.4.4.4. Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

| $F'_c = 210 MF$ | Beneficio | | | Costo | |
|--|---|---|---|---------------|---------------------------------|
| | Factor de Influencia | 100% | 20% | 100% | |
| | Resistencia a la compresión (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Slump (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Beneficio = Resistencia * factor + Slump * factor | Costo Parcial | Costo = Costo Unitario * factor |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana | 129% | 73% | 143% | S/ 207.04 | S/ 207.04 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana | 126% | 255% | 177% | S/ 208.90 | S/ 208.90 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana | 113% | 270% | 167% | S/ 208.11 | S/ 208.11 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana | 94% | 115% | 117% | S/ 189.62 | S/ 189.62 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 | 147% | 195% | 202% | S/ 239.99 | S/ 239.99 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P | 90% | 105% | 111% | S/ 217.80 | S/ 217.80 |

TABLA 67 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados (Fuente propia)

Costo - Beneficio $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ MF



- ◆ Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pomez al 20% de adición de puzolana
- ◻ Concreto con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana
- △ Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana
- × Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pomez al 30% de adición de puzolana
- ✖ Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1
- Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P

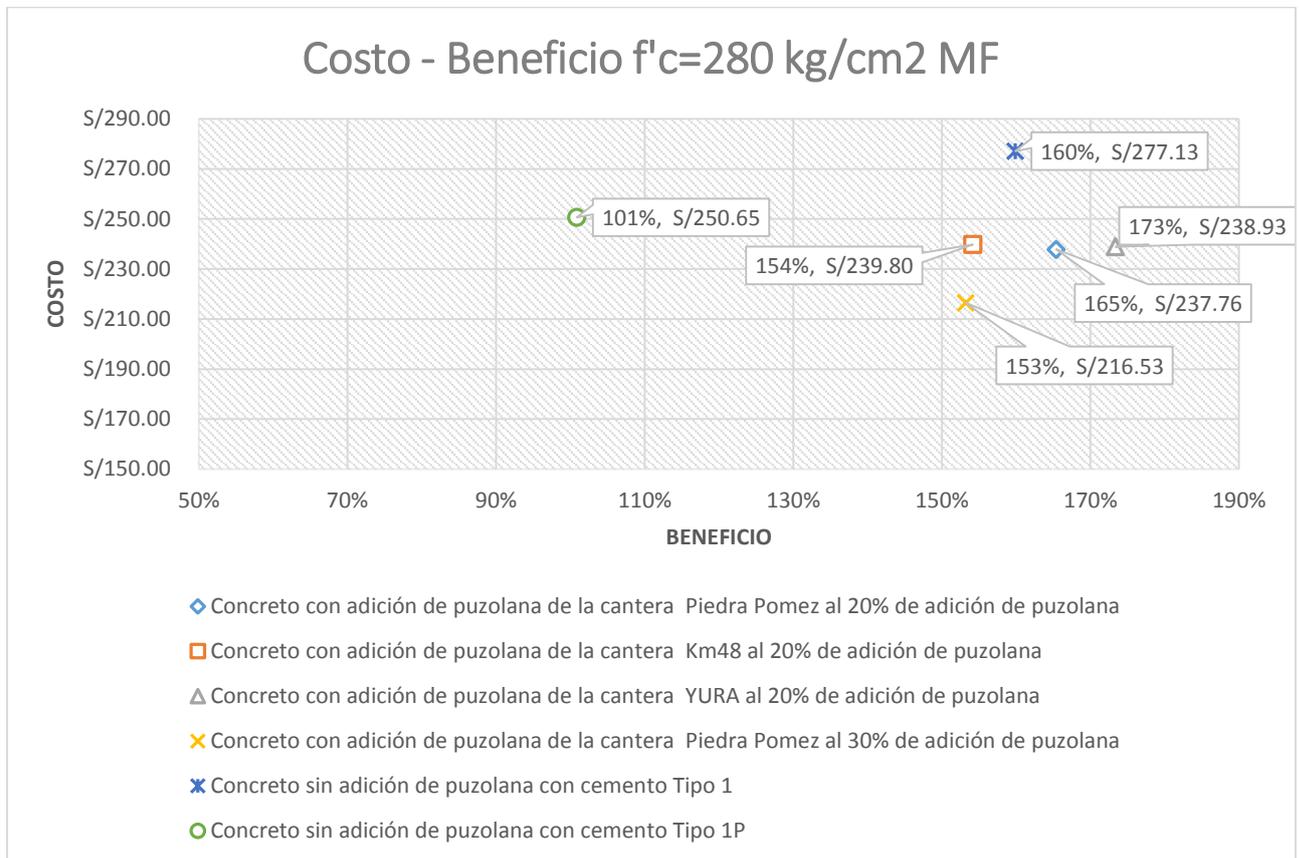
GRÁFICA 57 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm^2 por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados (Fuente propia)

5.4.4.5. Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm^2 por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

| $F'c = 280 \text{ MF}$ | Beneficio | | | Costo | |
|---|---|---|---|---------------|---------------------------------|
| | Factor de Influencia | 100% | 20% | 100% | |
| | Resistencia a la compresión (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Slump (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Beneficio = Resistencia * factor + Slump * factor | Costo Parcial | Costo = Costo Unitario * factor |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana | 130% | 175% | 165% | S/ 237.76 | S/ 237.76 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana | 113% | 205% | 154% | S/ 239.80 | S/ 239.80 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana | 113% | 300% | 173% | S/ 238.93 | S/ 238.93 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana | 95% | 290% | 153% | S/ 216.53 | S/ 216.53 |

| | | | | | |
|---|------|-----|------|--------------|--------------|
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 | 145% | 75% | 160% | S/ 277.13 | S/ 277.13 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P | 91% | 50% | 101% | S/ 250.65 | S/ 250.65 |

TABLA 68 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado (Fuente propia)



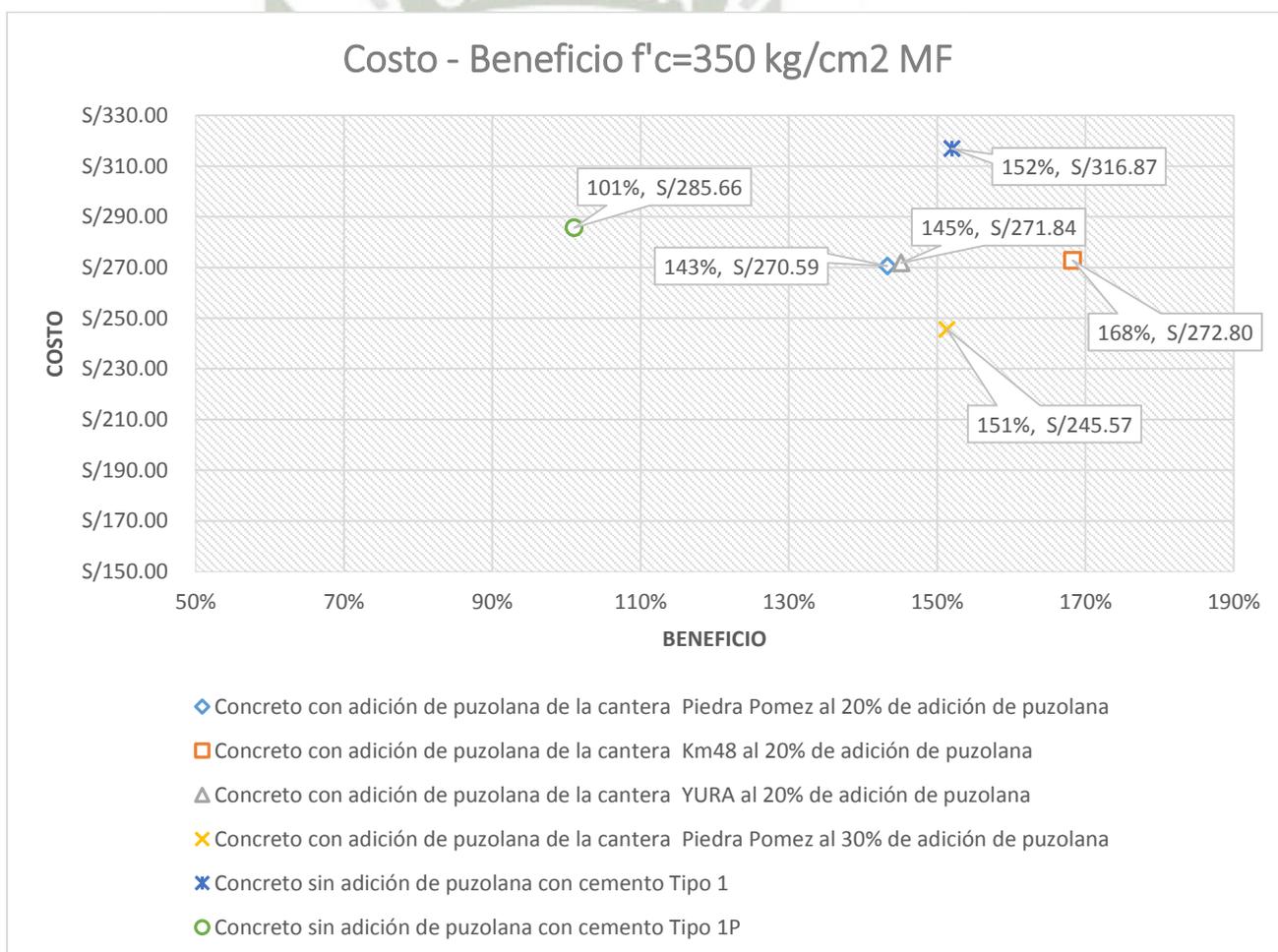
GRÁFICA 58 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado (Fuente propia)

5.4.4.6. Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

| F'_c = 350 MF | Beneficio | | | Costo | |
|--|---|---|--|---------------|---------------------------------|
| Factor de Influencia | 100% | 20% | | 100% | |
| | Resistencia a la compresión (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Slump (porcentaje de incremento * factor de influencia) | Beneficio = Resistencia * factor + Slump * factor | Costo Parcial | Costo = Costo Unitario * factor |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana | 122% | 105% | 143% | S/ 270.59 | S/ 270.59 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera | 114% | 270% | 168% | S/ 272.80 | S/ 272.80 |

| | | | | | |
|--|------|------|------|--------------|--------------|
| Km48 al 20% de adición de puzolana | | | | | |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana | 105% | 200% | 145% | S/ 271.84 | S/ 271.84 |
| Concreto con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana | 116% | 175% | 151% | S/ 245.57 | S/ 245.57 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 | 127% | 125% | 152% | S/ 316.87 | S/ 316.87 |
| Concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P | 83% | 90% | 101% | S/ 285.66 | S/ 285.66 |

TABLA 69 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado (Fuente propia)



GRÁFICA 59 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado (Fuente propia)

En este análisis se observa que, en todos los escenarios, a pesar de obtener buenos beneficios el concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 tiene un costo muy elevado por m³, además se observa que el concreto sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P tiene beneficios apenas entre 1% y 11% más y teniendo un costo superior al de los concretos con puzolana adicionada.

En el caso de los concretos con adición de puzolana, se obtuvieron costos similares para concretos con adición al 20% con beneficios variables pero superiores a un 50% adicional dependiendo del concreto analizado, mientras que con adición del 30% se observa un menor costo y beneficios inferiores a concretos con 20% de adición de puzolana, pero mayores a los concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se realizó una comparación entre canteras de puzolana en la ciudad de Arequipa, de propiedades obtenidas para cada concreto diseñado con sustitución parcial de puzolana y sin sustitución de esta, obteniendo los resultados utilizados en el análisis comparativo de esta investigación.
2. El porcentaje de puzolana adicional ideal para cumplir con los objetivos de resistencia a la compresión y reducción de costos con respecto a concretos convencionales diseñados utilizando cemento Tipo 1P y Tipo 1, es 30% de la cantera Piedra Pómez, ya que alcanzó la resistencia a la compresión requerida y tuvo una reducción de costo por m³ de concreto de S/. 34.3 y S/. 60.8 en promedio respectivamente para los concretos convencionales mencionados, dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño planteada.
3. Los resultados de los ensayos de actividad puzolánica por los dos métodos empleados, revelan que los materiales utilizados efectivamente son considerados puzolanas reactivas.
4. Según los ensayos de actividad puzolánica con cal obtenemos que la cantera de YURA y la cantera de Piedra Pómez tienen una actividad puzolánica alta y la cantera del Km 48 una actividad media.
5. Durante el diseño de mezcla se debe realizar un reemplazo volumétrico del cemento por puzolana, ya que un reemplazo por peso incrementaría la cantidad de puzolana adicionada generando mayor demanda de agua y sin obtener los beneficios de esta.
6. La relación entre adición de puzolana y resistencia a la compresión, en los concretos trabajados, es inversamente proporcional, ya que la resistencia a la compresión disminuye a medida que la adición de puzolana aumenta, debido a la sustitución del cemento por puzolana.
7. Para lograr cumplir con el propósito de las puzolanas de incrementar la resistencia a la compresión, es necesario hacer la optimización de la relación agua cemento, ya que las puzolanas investigadas incrementan la trabajabilidad del concreto permitiendo reducir la relación agua/cemento e incrementar la resistencia a la compresión.
8. Del análisis de los resultados realizados se puede inferir que si es factible utilizar hasta un 20% de adición de puzolana en reemplazo volumétrico del cemento ya que mantiene la resistencia a la compresión de diseño sin degradar las demás características de concreto, comparado a un concreto convencional sin sustitución parcial de puzolana.
9. Debido a que el cemento Yura Tipo 1 genera 75% de silicatos de calcio y un 25% de hidróxido de calcio, según lo calculado, el uso de una adición de 40% de puzolana ocasiona que el concreto no alcance las resistencias a la compresión requeridas ya que no existe suficiente hidróxido de calcio para hacer reaccionar en su totalidad al material puzolánico adicionado.
10. Para concretos de resistencia a la compresión 210 kg/cm², el concreto elaborado con adición de la cantera Km48 al 20% de adición fue el que alcanzó mayores resistencias a la compresión a pesar de ser la cantera con menor actividad puzolánica calculada por el método de la cal, ya que se

presume que en concretos de resistencia a compresión bajas, la cantidad de cemento utilizada genera el suficiente hidróxido de calcio para satisfacer la reacción de esta puzolana. Sin embargo, para resistencias mayores a 210 kg/cm², esta cantera no sobresalió debido a su poca actividad puzolánica.

11. Los concretos hechos con adición de puzolana al 20% de la cantera Piedra Pómez, alcanzaron las mayores resistencias para concretos de resistencias $f'c$ 280 kg/cm² y 350 kg/cm², debido a la gran actividad puzolánica que presentan.
12. Los concretos hechos con adición de puzolana al 20% de la cantera Yura alcanzaron altas resistencias a la compresión en concretos de $f'c$ 280 y kg/cm² y 350 kg/cm², pero no superaron a los concretos adicionados de la cantera Piedra Pómez al mismo porcentaje de adición a pesar que esta cantera presenta la mayor actividad puzolánica por el método de la cal.
13. Según los ensayos de resistencia a la tracción indirecta de probetas se logró identificar que está entre el 8% y 15% de la resistencia a la compresión, dependiendo del material puzolánico utilizado y el porcentaje de adición utilizado, cabe resaltar que el porcentaje de adición de puzolana de 40%, no solo reduce significativamente la resistencia a la compresión sino por consiguiente la resistencia a la tracción y no es recomendable su aplicación.
14. Los resultados de abrasión indican que con un porcentaje de 20% de adición de puzolana ya sea de cualquier cantera investigada, es recomendable para concretos que estén expuestos a superficies de rodadura o intemperismo, debido a la poca abrasión que presentaron en los ensayos.
15. La puzolana que genera mayor trabajabilidad para concretos de resistencias $f'c = 210$ kg/cm² y 280 kg/cm² es la de YURA, presentando slump de hasta 6 pulgadas y para concretos de resistencias $f'c = 350$ kg/cm² es la cantera Km48, presentando slump de hasta 5.4 pulgadas, sin necesidad de aditivos plastificantes.
16. La variación entre los valores de las propiedades de peso específico y temperatura son mínimas, por lo que se concluye que la adición de puzolana al concreto no afecta significativamente a estas propiedades, sin embargo en vaceados masivos si sería significativa.
17. La cantera de puzolana y porcentaje de adición de puzolana con el mejor balance entre costo y beneficio es la cantera de Km 48 al 20% de adición de puzolana, ya que presenta en la mayoría de casos comparados, altos beneficios y costos inferiores inclusive al concreto convencional elaborado con cemento Tipo 1P.
18. Se realizó el ensayo de peso específico del cemento Tipo I y Tipo IP obteniendo pesos específicos de 3.153 gr/cm³ y 2.838 gr/cm³, mientras que en las fichas técnicas indican 3.13 gr/cm³ y 2.85 gr/cm³ respectivamente, por lo que para concretos de resistencias a la compresión $f'c=210$ kg/cm², $f'c=280$ kg/cm² y $f'c=350$ kg/cm² se concluye que:
 - En la variación en kilogramos por metro cúbico en un diseño con cemento Tipo I, la cantidad de cemento varía entre 0.0259 – 0.0365, la cantidad de agregado fino varía entre 1.9487 - 2.7478, la cantidad de agregado grueso no varía, en un diseño por el método del ACI, respectivamente al utilizar el peso esp. del cemento calculado del ensayo y el peso esp. de la ficha técnica.

- En la variación en kilogramo por metro cúbico en un diseño con cemento Tipo I, la cantidad de cemento varía entre 0.028 – 0.041, la cantidad de agregado fino varía entre 0.976 - 1.147, la cantidad de agregado grueso varía entre 1.102 – 1.813 en un diseño por el método de la combinación de agregados, respectivamente al utilizar el peso esp. del cemento calculado del ensayo y el peso esp. de la ficha técnica.
- En la variación en kilogramo por metro cúbico en un diseño con cemento Tipo IP, la cantidad de cemento varía entre 0.0165 – 0.0233, la cantidad de agregado fino varía entre 1.241 - 1.75, la cantidad de agregado grueso no varía, en un diseño por el método del ACI, respectivamente al utilizar el peso esp. del cemento calculado del ensayo y el peso esp. de la ficha técnica.
- En la variación en kilogramo por metro cúbico en un diseño con cemento Tipo IP, la cantidad de cemento varía entre 0.018 – 0.026, la cantidad de agregado fino varía entre 0.621 - 0.73, la cantidad de agregado grueso varía entre 0.701 – 1.154 en un diseño por el método de la combinación de agregados, respectivamente al utilizar el peso esp. del cemento calculado del ensayo y el peso esp. de la ficha técnica.

Debido a las variaciones encontradas, si se requiere hacer un diseño de mezcla óptimo y más económico será necesario calcular los pesos específicos del tipo de cemento a utilizar.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer las curvas de moliendabilidad para cada material investigado, para asegurar la finura requerida para el material puzolánico pasante por la malla #325.
2. Para el ensayo de actividad puzolánica se recomienda realizar más de tres especímenes y seleccionar los resultados mediante diagramas de control como se hizo en esta investigación.
3. Se recomienda mezclar la puzolana y el cemento previo a la elaboración del concreto para tener una mejor uniformidad en la mezcla y una mejor reacción de la puzolana.
4. Se recomienda mantener una granulometría predefinida de los agregados para todas las mezclas de concreto, para evitar variación en los resultados y lograr una mejor investigación.
5. Se recomienda incrementar el tiempo de mezclado ligeramente (aproximadamente +30 seg), para asegurar la reacción puzolánica y tener una mezcla uniforme de concreto.
6. No es recomendable exceder más de 3 minutos de mezcla ya que puede existir segregación en el concreto.
7. El uso de concretos adicionados con puzolana se recomienda para concretos auto compactados debido al gran incremento en el asentamiento del concreto, siempre que cumplan con los objetivos de resistencia a la compresión especificada.
8. Se recomienda hacer ensayos de peso específico (botella de Le Chatelier) del cemento y materiales puzolánicos para obtener los valores reales a utilizar en cada diseño de mezcla.
9. Se recomienda hacer los ensayos de gravedad específica para realizar los ensayos de actividad puzolánica.
10. Se recomienda la industrialización de molienda de material puzolánico debido a los grandes beneficios que estos aportan al concreto y las grandes reducciones de costos que generan.
11. Se recomienda la adquisición de mallas granulométricas de menores diámetros como la malla #325 debido a su importancia para este tipo de investigaciones.
12. Se recomienda la adquisición de moldes cúbicos debido a que varios ensayos requieren este tipo de moldes.
13. Se recomienda hacer uso de equipos certificados para poder validar los resultados como es debido.
14. Es recomendable contar con supervisión del personal de laboratorio en el uso de los equipos, para evitar accidentes.
15. Es de carácter obligatorio el uso de equipos de protección personal (EPPs) en el laboratorio.

PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

1. Se propone realizar pruebas acústicas, térmicas y ensayos dinámicos para conocer este tipo de concretos y llegar a inferir sobre las aplicaciones que podría llegar a tener a nivel productividad y rendimiento en obra.
2. Se propone realizar un análisis del comportamiento estructural de estos concretos adicionados con puzolana en reemplazo parcial del cemento.
3. Se propone una optimización de diseños de mezcla con el fin de generar mejores costos – beneficios para cada una de las puzolanas utilizadas.
4. Se propone realizar estudios de nuevas canteras en la ciudad de Arequipa.
5. Se propone un mayor estudio de la piedra pómez como material puzolánico.



BIBLIOGRAFÍA

- Biondi Shaw, A. (2005). Los cementos adicionados. Construyendo Caminos & Obras, 4.
- Calleja, J. (1977). Adiciones y cementos con adiciones. España: Materiales de construcción.
- C.Soria Santamaria, F. (1995). Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción. Materiales de Construcción, 16.
- CN. Arreshvhina, Z. Fadhadli, H. Mohd Warid, A.H. Zuhairy, Roswadi. (2006). MICROSTRUCTURAL BEHAVIOR OF AERATED CONCRETE CONTAINING HIGH VOLUME OF GGBFS. Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference.
- Calleja, J. (1969). Las Puzolanas. Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid.
- Calleja, J. (1983). Adiciones y cementos con adiciones. Cemento-Hormigón.
- Calleja, J. (1988). Adiciones activas, tradicionales y no tradicionales. en cementos y hormigones. Trabajos Presentados en las Jornadas en español y portugués sobre Estructuras y Materiales. Madrid.
- Enrique Rivva Lopez. (2010). Diseño de Mezclas, Editorial ICG. Concreto Tomo 2. 1era Edición.
- Estudio de la aptitud de un material como adición activa al cemento M / PILAR DE LUXAN, Dra. en Ciencias Químicas M / ISABEL SANCHEZ DE ROJAS, Leda, en Ciencias Químicas IETCC/CSIC
- INGEMMET. (2007). Estudio Geológico Económico por Rocas y Minerales Industriales de Arequipa y Alrededores.
- Irving Kett, Engieniereed Concrete, Mix design and test methods.
- J. Payá, J. Monzó, M.V. Borrachero, P. Serna, S. Velázquez, L.M. Ordóñez. (2002). EL FACTOR DE EFICACIA CEMENTANTE DE PUZOLANAS SILÍCEAS Y SILICOALUMINOSAS MUY REACTIVAS. VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandia.
- José Calleja, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (España), Cementos Puzolánicos
- Leonid Mariano Orihuela Gutierrez y Pablo Almicar Portugal Barriga Año. (2004). Tesis Concretos de Alto Desempeño.
- Narayanan Neithalath y Ramamurthy K. (2000). Microstructural investigations on aerated concrete.
- Normas ASTM (American Society for Testing and Materials).
- Normas Peruanas ITINTEC. 11.
- NTP 334.003 Cementos. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.
- NTP 334.005 Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento Portland
- NTP 334.009 Cementos. Cemento portland. Requisitos
- NTP 334.045 Cementos. Método de ensayo para determinar la finura por tamizado húmedo con tamiz normalizado de 45 μm (N° 325)
- NTP 334.046 Cementos. Método de ensayo para determinar la finura por tamizado húmedo con tamiz ITINTEC 149 μm (N100) y 74 μm (N200)
- NTP 334.051 Cementos. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento portland cubos de 50 mm de lado.
- NTP 334.057 Cemento. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de

- cemento portland
- NTP 334.060 Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico
 - NTP 334.066 Cementos. Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica utilizando cemento portland
 - NTP 334.090 Cementos. Cementos portland adicionados. Requisitos
 - NTP 334.097 Cementos. Arena normalizada. Requisitos
 - NTP 334.120 Cementos. Método de ensayo normalizado de resistencia a la flexión de mortero de Cementos portland.
 - NTP 334.055 Cementos. Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica por el método de la cal
 - NTP 334.077 Cementos. Ambientes, gabinetes y tanques de almacenamiento utilizados en los ensayos de cemento y concreto. Requisitos
 - NTP 334.104 Cementos. Adiciones minerales del hormigón (concreto) puzolana natural cruda o calcinada y ceniza. Especificaciones
 - Pablo Lledó. (2013). Director de Proyectos Como aprobar en el examen PMP sin morir en el intento.
 - Project Management Institute. (2013). Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). Quinta Edición.
 - QUISPE ARONES, ELVIO ARTURO. (2013). Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del penetrómetro dinámico de cono (DCP) para suelos puzolanicos zona Cerro Colorado.
 - Revista Costos del grupo S10 – Edición Agosto del 2014.
 - V. L. Bonavetti, V. F. Rahhal, E. F. Irassar. (2002). Materiales de Construcción. Evolution of the hydration in cements with additions
 - VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, 2002, Gandia J. Payá, J. Monzó, M.V. Borrachero, P. Serna, S. Velázquez, L.M. Ordóñez.

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Total de emisión de CO ₂ en América Latina (Fuente SCOTIABANK) | 18 |
| Figura 2 Potencial de puzolana en el Perú por regiones..... | 25 |
| Figura 3 Producción de puzolana de la región Arequipa | 25 |
| Figura 4 Granulometría del ensayo 1 del agregado grueso | 23 |
| Figura 5 Granulometría del ensayo 2 del agregado grueso | 23 |
| Figura 6 Granulometría del ensayo 3 del agregado grueso | 24 |
| Figura 7 Granulometría del ensayo 4 del agregado grueso | 24 |
| Figura 8 Granulometría del ensayo 1 del agregado fino | 32 |
| Figura 9 Granulometría del ensayo 2 del agregado fino | 32 |
| Figura 10 Granulometría del ensayo 3 del agregado fino | 33 |
| Figura 11 Granulometría del ensayo 4 del agregado fino | 33 |
| Figura 12 Curva de moliendabilidad de la puzolana del Km 48 | 43 |
| Figura 13 Curva de moliendabilidad de la Piedra Pómez | 44 |

LISTADO DE GRÁFICAS

| | |
|---|-----|
| GRÁFICA 1 Comparación de la gravedad específica..... | 36 |
| GRÁFICA 2 Peso Específico | 39 |
| GRÁFICA 3 Peso específico reemplazo del 20% | 41 |
| GRÁFICA 4 Peso específico reemplazo del 30% | 41 |
| GRÁFICA 5 Peso específico reemplazo del 40% | 42 |
| GRÁFICA 6 Resistencia Promedio de actividad puzolánica con cemento..... | 105 |
| GRÁFICA 7 Actividad Puzolánica con cemento..... | 105 |
| GRÁFICA 8 Resistencia promedio de actividad puzolánica con cal..... | 106 |
| GRÁFICA 9 Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² | 107 |
| GRÁFICA 10 Resistencia a la compresión 280 kg/cm ² | 108 |
| GRÁFICA 11 Resistencia a la compresión 350 kg/cm ² | 108 |
| GRÁFICA 12 Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² con adición de 20% de puzolana | 109 |
| GRÁFICA 13 Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² con adición de 30% de puzolana | 109 |
| GRÁFICA 14 Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² con adición de 40% de puzolana | 110 |
| GRÁFICA 15 Resistencia a la compresión 280 kg/cm ² con adición de 20% de puzolana | 110 |
| GRÁFICA 16 Resistencia a la compresión 280 kg/cm ² con adición de 30% de puzolana | 111 |
| GRÁFICA 17 Resistencia a la compresión 280 kg/cm ² con adición de 40% de puzolana | 111 |
| GRÁFICA 18 Resistencia a la compresión 350 kg/cm ² con adición de 20% de puzolana | 112 |
| GRÁFICA 19 Resistencia a la compresión 350 kg/cm ² con adición de 30% de puzolana | 112 |
| GRÁFICA 20 Resistencia a la compresión 350 kg/cm ² con adición de 40% de puzolana | 112 |
| GRÁFICA 21 Temperatura para concretos de f'c 210 kg/cm ² | 113 |
| GRÁFICA 22 Temperatura para concretos de f'c 280 kg/cm ² | 114 |
| GRÁFICA 23 Temperatura para concretos de f'c 350 kg/cm ² | 114 |
| GRÁFICA 24 Peso específico del concreto fresco para concretos de f'c 210 kg/cm ² | 115 |
| GRÁFICA 25 Peso específico del concreto fresco para concretos de f'c 280 kg/cm ² | 116 |
| GRÁFICA 26 Peso específico del concreto fresco para concretos de f'c 350 kg/cm ² | 117 |
| GRÁFICA 27 Comparativa de resistencia a la tracción para concretos f'c 210 kg/cm ² | 118 |
| GRÁFICA 28 Comparativa de resistencia a la tracción para concretos 280 kg/cm ² | 119 |
| GRÁFICA 29 Comparativa de resistencia a la tracción para concretos f'c 350 kg/cm ² | 120 |
| GRÁFICA 30 Comparativa general para Abrasión de concretos f'c 210 kg/cm ² | 121 |
| GRÁFICA 31 Comparativa general para Abrasión de concretos f'c 280 kg/cm ² | 122 |
| GRÁFICA 32 Comparativa general para Abrasión de concretos f'c 350 kg/cm ² | 123 |
| GRÁFICA 33 Comparativa de resistencia a la compresión para concretos f'c 210 kg/cm ² . | 124 |
| GRÁFICA 34 Comparativa de resistencia a la compresión para concretos f'c 280 kg/cm ² . | 125 |
| GRÁFICA 35 Comparativa de resistencia a la compresión para concretos f'c 350 kg/cm ² . | 126 |

| | |
|--|-----|
| GRÁFICA 36 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm ² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 127 |
| GRÁFICA 37 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm ² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 128 |
| GRÁFICA 38 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm ² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 129 |
| GRÁFICA 39 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm ² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 130 |
| GRÁFICA 40 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm ² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 131 |
| GRÁFICA 41 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm ² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 132 |
| GRÁFICA 42 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm ² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 133 |
| GRÁFICA 43 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm ² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 134 |
| GRÁFICA 44 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm ² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por el ACI..... | 135 |
| GRÁFICA 45 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm ² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 136 |
| GRÁFICA 46 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm ² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 137 |
| GRÁFICA 47 Comparación entre canteras para un f_c de 210 kg/cm ² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 137 |
| GRÁFICA 48 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm ² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 138 |
| GRÁFICA 49 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm ² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 139 |
| GRÁFICA 50 Comparación entre canteras para un f_c de 280 kg/cm ² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 140 |
| GRÁFICA 51 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm ² con una adición de 20% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 141 |
| GRÁFICA 52 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm ² con una adición de 30% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 142 |
| GRÁFICA 53 Comparación entre canteras para un f_c de 350 kg/cm ² con una adición de 40% para 7, 14 y 28 días de curado por método de la combinación de los agregados..... | 142 |
| GRÁFICA 54 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm ² por el método ACI..... | 161 |
| GRÁFICA 55 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm ² por el método ACI..... | 162 |
| GRÁFICA 56 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm ² por el método ACI..... | 163 |
| GRÁFICA 57 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados..... | 165 |
| GRÁFICA 58 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado..... | 166 |
| GRÁFICA 59 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado..... | 167 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA 1 Producción de minerales no metálicos en el Perú en el año 2005-2010 | 17 |
| TABLA 2 Requisitos químicos de las puzolanas | 21 |
| TABLA 3 Requisitos Físicos de las puzolanas | 21 |
| TABLA 4 Peso específico y absorción | 27 |
| TABLA 5 Peso unitario..... | 28 |
| TABLA 6 Contenido de humedad | 29 |
| TABLA 7 Abrasión..... | 29 |
| TABLA 8 Tamaños estándares de agregados procesados AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 1997 | 18 |
| TABLA 9 Ensayo 1 de granulometría del agregado grueso..... | 19 |
| TABLA 10 Ensayo 2 de granulometría del agregado grueso..... | 20 |
| TABLA 11 Ensayo 3 de granulometría del agregado grueso..... | 21 |
| TABLA 12 Ensayo 4 de granulometría del agregado grueso..... | 22 |
| Tabla 13 Porcentaje de absorción del agregado fino..... | 25 |
| TABLA 14 Peso específico del agregado fino | 25 |
| TABLA 15 Peso unitario del agregado fino..... | 26 |
| TABLA 16 Límites del agregado fino ASTM C33..... | 26 |
| TABLA 17 Contenido de humedad | 27 |
| TABLA 18 Ensayo 1 de granulometría del agregado fino..... | 28 |
| TABLA 19 Ensayo 2 de granulometría del agregado fino..... | 29 |
| TABLA 20 Ensayo 3 de granulometría del agregado fino..... | 30 |
| TABLA 21 Ensayo 4 de granulometría del agregado fino..... | 31 |
| TABLA 22 Gravedad Específica | 36 |
| TABLA 23 Peso Específico | 38 |
| TABLA 24 Reemplazo parcial de cemento por puzolana..... | 41 |
| TABLA 25 Slump para concretos con cemento tipo I y tipo IP | 86 |
| TABLA 26 Slump cantera piedra pómez..... | 87 |
| TABLA 27 Slump cantera km 48 | 87 |
| TABLA 28 Slump cantera de Yura..... | 88 |
| TABLA 29 Peso unitario de concretos con cemento tipo I y tipo IP | 88 |
| TABLA 30 Peso unitario cantera piedra pómez | 89 |
| TABLA 31 Peso Unitario cantera del km 48 | 90 |
| TABLA 32 Peso unitario cantera de Yura | 90 |
| TABLA 33 Temperatura con cemento tipo I y tipo IP..... | 91 |
| TABLA 34 Temperatura cantera piedra pómez | 92 |
| TABLA 35 Temperatura cantera del km 48..... | 92 |
| TABLA 36 Temperatura cantera de Yura..... | 93 |
| TABLA 37 Resistencia a la compresión de concretos con cementos tipo I y tipo IP | 95 |
| TABLA 38 Resistencia a la compresión de la cantera de piedra pómez..... | 96 |
| TABLA 39 Resistencia a la compresión de la cantera del km 48 | 97 |
| TABLA 40 Resistencia a la compresión de la cantera de Yura | 99 |
| TABLA 41 Resistencia a la tracción con cementos tipo I y tipo IP | 100 |
| TABLA 42 Resistencia a la Tracción cantera piedra pómez | 100 |
| TABLA 43 Resistencia a la Tracción cantera del km 48 | 101 |
| TABLA 44 Resistencia a la Tracción cantera Yura | 101 |
| TABLA 45 Abrasión de concretos con cemento tipo I y tipo IP | 103 |
| TABLA 46 Abrasión de concretos con resistencia $f'c$ 210 kg/cm ² | 103 |
| TABLA 47 Abrasión de concretos con resistencia $f'c$ 280 kg/cm ² | 104 |
| TABLA 48 Abrasión de concretos con resistencia $f'c$ 350 kg/cm ² | 104 |
| TABLA 49 Clasificación propuesta para la actividad puzolánica con cal..... | 106 |
| TABLA 50 Determinación de la influencia de la puzolana de cada cantera para cada resistencia | |

| | |
|---|-----|
| | 145 |
| TABLA 51 Costos unitarios por canteras | 146 |
| TABLA 52 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados | 148 |
| TABLA 53 Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados | 149 |
| TABLA 54 Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados | 150 |
| TABLA 55 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados | 151 |
| TABLA 56 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 152 |
| TABLA 57 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados..... | 154 |
| TABLA 58 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados | 155 |
| TABLA 59 Concretos con adición de puzolana de la cantera Km48 al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregados | 156 |
| TABLA 60 Concretos con adición de puzolana de la cantera YURA al 20% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado..... | 157 |
| TABLA 61 Concretos con adición de puzolana de la cantera Piedra Pómez al 30% de adición de puzolana por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado..... | 157 |
| TABLA 62 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1 por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado | 158 |
| TABLA 63 Concretos sin adición de puzolana con cemento Tipo 1P por los métodos ACI y Modulo de Fineza de la Combinación de agregado | 159 |
| TABLA 64 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm ² por el método ACI | 160 |
| TABLA 65 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm ² por el método ACI | 162 |
| TABLA 66 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm ² por el método ACI | 163 |
| TABLA 67 Concretos de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregados..... | 164 |
| TABLA 68 Concretos de Resistencia a la Compresión 280 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado | 166 |
| TABLA 69 Concretos de Resistencia a la Compresión 350 kg/cm ² por el método Módulo de Fineza de la combinación de agregado | 167 |

LISTADO DE DIAGRAMAS DE CONTROL

| | |
|--|----|
| DIAGRAMA DE CONTROL 1 Diseño Patrón | 46 |
| DIAGRAMA DE CONTROL 2 Piedra Pómez..... | 46 |
| DIAGRAMA DE CONTROL 3 Puzolana km 48..... | 47 |
| DIAGRAMA DE CONTROL 4 Puzolana Yura | 47 |
| DIAGRAMA DE CONTROL 5 Piedra Pómez..... | 49 |
| DIAGRAMA DE CONTROL 6 Puzolana Km 48 | 49 |
| DIAGRAMA DE CONTROL 7 Puzolana de Yura | 50 |

LISTADO DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Vista en planta de la cantera del km 48..... | 22 |
| Ilustración 2 Extensión aproximada de la cantera de puzolana blanca km 48 | 23 |
| Ilustración 3 Vista en planta de la cantera de Piedra Pómez..... | 24 |



AREQUIPA-PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONSTANCIA

El que suscribe, **Dr. Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia** Coordinador de Laboratorio de Suelos y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

ENMANUEL CARPIO FERNANDEZ
EFFREN ANTHONY PEÑA SANCHEZ

Código N° 2010602831

Código N° 2012246171

Han realizado los ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES CANTERAS DE PUZOLANA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA PARA EL USO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS DE RESISTENCIAS $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 EN EL AÑO 2017”.**

Los ensayos efectuados por los señores bachilleres fueron los siguientes:

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |
|----------|--|
| 11.00 | Peso específico del cemento + puzolana |
| 2.00 | Peso Específico Cemento |
| 3.00 | Peso Específico Puzolana |
| 4.00 | Gravedad Específica |
| 4.00 | Actividad Puzolánica con Cemento |
| 3.00 | Actividad Puzolánica con Cal |
| 67.00 | Abrasión |
| 1062.00 | Rotura de Probetas |
| 9.00 | Peso Unitario Suelto |
| 9.00 | Peso Unitario Compactado |
| 2.00 | Peso Específico y Absorción |
| 6.00 | Contenido de Humedad |
| 8.00 | Granulometría |

El costo total de los ensayos realizados asciende a: S/. 5748.00

El costo cancelado por dichos ensayos asciende a: S/. 500.00* (Comprobante BO17-00000292)

*Según autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el 03/05/17 y el 16/09/17.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 05 de Octubre del 2017

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Dr. Ing. ALEJANDRO VICTOR HIDALGO VALDIVIA
 COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA CIVIL
 EPIC- FAJCA - CAMPUS PARQUE INDUSTRIAL

Cayetano Arenas N°152 - Parque Industrial - Arequipa - Perú Telf : 054 227915 email: labcivil@ucsm.edu.pe

