



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Sistematización y clasificación de materiales pétreos de 4 canteras representativas de la provincia de Pichincha mediante una aplicación para sistema Android, que permita dosificar sin aditivos, hormigón con resistencia menor a  $350 \text{ kg/cm}^2$**

Cox Santillán, Edy Julián

Vizcaíno Narváez, Santiago Javier

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Titulación, Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil

Ingeniero. Durán Carrillo, José Ricardo, Mgs.












10 de septiembre del 2021

# Curiginal

## Document Information

Analyzed document	Tesis - completa_VERSION4-bitcap.pdf (D111849314)
Submitted	8/30/2021 10:50:00 PM
Submitted by	
Submitter email	biblioteca@espe.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	ilbbioteca.GDC@analysis.urkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/93998610-Departamento-de-ciencias-de-la-tierra-y-la-construccion.html">https://docplayer.es/93998610-Departamento-de-ciencias-de-la-tierra-y-la-construccion.html</a> Fetched: 6/18/2021 3:30:51 AM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/71897909.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/71897909.pdf</a> Fetched: 12/9/2020 8:46:46 AM	 2
<b>SA</b>	<b>Proyecto_Andrade_Camino_Campaña_Sarango.docx</b> Document Proyecto_Andrade_Camino_Campaña_Sarango.docx (D25648682)	 13
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11740/1/Tesis%20883%20-%20Fonseca%20Acosta%20Alex%20Bladimir.pdf">https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11740/1/Tesis%20883%20-%20Fonseca%20Acosta%20Alex%20Bladimir.pdf</a> Fetched: 6/30/2021 9:02:51 AM	 6
<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/71902051.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/71902051.pdf</a> Fetched: 6/30/2021 10:01:44 PM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/161551961-Universidad-central-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-ciencias-fisicas-y-matematica.html">https://docplayer.es/161551961-Universidad-central-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-ciencias-fisicas-y-matematica.html</a> Fetched: 7/8/2021 1:55:04 PM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3339/CIVIL%20-%20Alexis%20Paredes%20Bendez%C3%BA.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3339/CIVIL%20-%20Alexis%20Paredes%20Bendez%C3%BA.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 6/22/2021 7:09:54 AM	 2
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11818/1/Tesis%20901%20-%20Pe%C3%B1a%20Galv%C3%A1n%20Diana%20Isabel.pdf">https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11818/1/Tesis%20901%20-%20Pe%C3%B1a%20Galv%C3%A1n%20Diana%20Isabel.pdf</a> Fetched: 7/10/2020 7:18:02 PM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/205427564-Autor-andachi-solis-oscar-eduardo-tutor-ing-mg-wilson-santiago-medina-robalino.html">https://docplayer.es/205427564-Autor-andachi-solis-oscar-eduardo-tutor-ing-mg-wilson-santiago-medina-robalino.html</a> Fetched: 8/12/2021 4:22:19 AM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22770/1/T-UCE-0011-ICF-289.pdf">http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22770/1/T-UCE-0011-ICF-289.pdf</a> Fetched: 8/18/2021 5:04:56 AM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/98171344-Universidad-central-del-ecuador.html">https://docplayer.es/98171344-Universidad-central-del-ecuador.html</a> Fetched: 5/8/2020 2:57:48 AM	 1



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **Sistematización y clasificación de materiales pétreos de 4 canteras representativas de la provincia de Pichincha mediante una aplicación para sistema Android, que permita dosificar sin aditivos, hormigón con resistencia menor a 350 kg/cm<sup>2</sup>** fue realizado por los señores **Cox Santillán, Eddy Julián y Vizcaíno Narváez, Santiago Javier** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de agosto de 2021

Firma:

**JOSE  
RICARDO  
DURAN  
CARRILLO**

Firmado digitalmente por  
JOSE RICARDO DURAN  
CARRILLO  
DN: C=EC, O=SECURITY  
DATA S.A. I, OU=ENTIDAD  
DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION,  
SERIALNUMBER=11092011  
204, CN=JOSE RICARDO  
DURAN CARRILLO

**Ing. Durán Carrillo, José Ricardo Mgs.**

**C.I: 1706361192**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Cox Santillán, Eddy Julián y Vizcaíno Narváez, Santiago Javier** con cédulas de ciudadanía No. 1723343792 y No. 0401357686, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Sistematización y clasificación de materiales pétreos de 4 canteras representativas de la provincia de Pichincha mediante una aplicación para sistema Android, que permita dosificar sin aditivos, hormigón con resistencia menor a 350 kg/cm<sup>2</sup>** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de agosto de 2021

Firma:

**Cox Santillán, Eddy Julián**

C.C 1723343792

Firma:

**Vizcaíno Narváez, Santiago Javier**

C.C 0401357686



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Cox Santillán, Eddy Julián y Vizcaíno Narváez, Santiago Javier** con cédulas de ciudadanía No. 1723343792 y No. 0401357686, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Sistematización y clasificación de materiales pétreos de 4 canteras representativas de la provincia de Pichincha mediante una aplicación para sistema Android, que permita dosificar sin aditivos, hormigón con resistencia menor a 350 kg/cm<sup>2</sup>** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 27 de agosto de 2021

Firma:

**Cox Santillán, Eddy Julián**

C.C 1723343792

Firma:

**Vizcaíno Narváez, Santiago Javier**

C.C 0401357686

### **Dedicatoria**

Esta tesis va dedicada a mis padres que han hecho innumerables sacrificios para brindarme la oportunidad de poder conseguir esta gran meta, por haberme apoyado e inculcado que todo es posible con dedicación esfuerzo y mucha disciplina, a mis abuelitos y familiares por estar siempre pendiente de mi formación académica y personal, a mis docentes que dejaron todo su esfuerzo en las aulas para transmitirnos sus enseñanzas.

**Julián Cox**

Este trabajo va dedicado para mi familia; mi padre por quererme y enseñarme que la constancia tarde o temprano tiene su recompensa, así como a nunca rendirme por más adverso que sea el camino , mi madre por amarme y apoyarme incondicionalmente no solo durante mi etapa universitaria, sino durante el transcurso de toda mi vida, mi hermano por brindarme sus consejos, su apoyo y compañía todos estos años universitarios, y a mi hermana por cada una de esas palabras de aliento que me impulsaron a seguir a delante.

**Santiago Vizcaíno**

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres por su apoyo y consejos que me han brindado durante mi formación tanto académica como personal; a los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por sus enseñanzas durante nuestra carrera, sobre todo, a los ingenieros Ricardo Durán y Maribel Aldaz que fueron nuestra guía durante todo el proceso; así como, al ingeniero Juan Haro quien brindo soporte técnico para la realización de este proyecto. También agradezco al club de Taekwondo ESPE, que guiados por el Maestro Eduardo Loachamin hicieron que la experiencia Universitaria se viva de una manera amena y reconfortante; a mis compañeros y comandantes de aula por su amistad sincera y experiencias inolvidables, en especial, a Denise que ha sido mi compañera incondicional. Por último, quiero agradecer a las personas encargadas de las cuatro canteras Holcim, Pintag, Cymca y Sevilla que nos facilitaron la toma de muestras y acceso a los datos.

**Julián Cox**

En estas cortas líneas me gustaría agradecer a mis padres y hermanos que han hecho posible este logro, sin su paciencia y apoyo incondicional habría sido imposible, al Ing. José Ricardo Durán Carrillo por su guía y conocimientos para dirigir este proyecto de titulación, a los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por cada una de las enseñanzas transmitidas en sus cátedras, enseñanzas que servirán como herramientas para mi vida profesional y a mis amigos que formaron parte de mi formación académica y personal durante esta etapa universitaria tan agradable.

**Santiago Vizcaíno**

## Índice

<b>Certificado.....</b>	<b>3</b>
<b>Autoría de Responsabilidad .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>14</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>17</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>22</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>29</b>
<b>Capítulo 1: Generalidades.....</b>	<b>30</b>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	30
<i>Formulación del problema.....</i>	<i>30</i>
<i>Antecedentes .....</i>	<i>30</i>
<i>Justificación .....</i>	<i>32</i>
<i>Importancia .....</i>	<i>32</i>
<i>Objetivo general .....</i>	<i>34</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>34</i>
<b>Capítulo 2: Marco Teórico.....</b>	<b>35</b>
EL CONCRETO .....	35
<i>Dosificación.....</i>	<i>37</i>
<i>Mezclado .....</i>	<i>37</i>
<i>Trabajabilidad.....</i>	<i>38</i>
<i>Sangrado y asentamiento.....</i>	<i>39</i>



<i>Consolidación</i> .....	39
<i>Tiempo de fraguado</i> .....	39
<i>Curado</i> .....	40
<i>Resistencia</i> .....	41
EL CEMENTO.....	42
EL AGUA EN EL CONCRETO .....	42
AGREGADOS EN EL CONCRETO.....	43
<i>Densidad Aparente Seca de agregados finos</i> .....	45
<i>Densidad Aparente Seca de agregados gruesos</i> .....	46
<i>Porcentaje de absorción de agregados finos</i> .....	46
<i>Porcentaje de absorción de agregados gruesos</i> .....	46
<i>Módulo de Finura</i> .....	47
<i>Tamaño Máximo Nominal</i> .....	47
<i>Humedad</i> .....	48
<i>Masa unitaria seca y compactada – Peso volumétrico</i> .....	48
<i>Granulometría</i> .....	49
<i>Abrasión</i> .....	49
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO.....	49
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO ACI 211 – PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA SELECCIONAR EL PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO DE PESO NORMAL, PESADO Y MASIVO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	50
<i>Elección del Asentamiento</i> .....	50
<i>Elección del Tamaño máximo nominal</i> .....	51
<i>Determinación del contenido de aire de la mezcla</i> .....	52
<i>Estimación de la cantidad de agua</i> .....	53
<i>Resistencia de diseño</i> .....	54
<i>Estimación de la relación agua-cemento</i> .....	56
<i>Cálculo del contenido de cemento</i> .....	56
<i>Contenido de agregado fino y grueso</i> .....	57
<i>Cálculo de proporciones</i> .....	58

FUNDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS .....	58
<i>Toma de temperatura</i> .....	58
<i>Verificación de Asentamiento</i> .....	59
<i>Preparación y Curado de las muestras</i> .....	59
NORMAS .....	60
<b>Capítulo 3: Clasificación, Dosificación y Fundición .....</b>	<b>61</b>
CARACTERIZACIÓN AGREGADOS GRUESOS.....	61
<i>Humedad</i> .....	61
<i>Densidad relativa y absorción</i> .....	63
<i>Masa unitaria seca y compactada</i> .....	68
<i>Granulometría</i> .....	72
<i>Abrasión y desgaste</i> .....	83
CARACTERIZACIÓN AGREGADOS FINOS .....	89
<i>Humedad</i> .....	89
<i>Densidad relativa y absorción</i> .....	92
<i>Masa unitaria seca y compactada</i> .....	98
<i>Granulometría</i> .....	99
RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN .....	106
<i>Agregado Grueso</i> .....	106
<i>Agregado fino</i> .....	106
DOSIFICACIÓN.....	107
<i>Corrección por humedad</i> .....	113
FUNDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS .....	118
<b>Capítulo 4: Análisis y Resultados .....</b>	<b>124</b>
CANTERA HOLCIM - PIFO .....	124
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 180 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	124
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	125
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	127

<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 270 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	128
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 315 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	130
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 350 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	131
<i>Curvas de resistencias</i> .....	133
<i>Ajuste de resistencias finales</i> .....	134
CANTERA PINTAG .....	135
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 180 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	135
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	136
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	138
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 270 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	139
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 315 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	141
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 350 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	142
<i>Curvas de resistencias</i> .....	144
<i>Ajuste de resistencias finales</i> .....	145
CANTERA CYMCA - GUAYLLABAMBA.....	146
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 180 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	146
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	147
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	149
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 270 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	150
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 315 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	152
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 350 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	153
<i>Curvas de resistencias</i> .....	155
<i>Ajuste de resistencias finales</i> .....	156
CANTERA SEVILLA & SEVILLA .....	157
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 180 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	157
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	158
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 240 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	160
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 270 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	161
<i>Resistencia a compresión simple <math>f'c = 315 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	163

<i>Resistencia a compresión simple <math>f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	164
<i>Curvas de resistencias</i> .....	166
<i>Ajuste de resistencias finales</i> .....	167
<b>Capítulo 5: Sistematización</b> .....	<b>168</b>
DESARROLLO DEL ALGORITMO BASE .....	168
<i>Introducción de datos</i> .....	168
<i>Resistencia a dosificar</i> .....	170
<i>Selección del asentamiento</i> .....	170
<i>Tamaño máximo del agregado según el tipo de construcción</i> .....	171
<i>Cantidad de Agua en la mezcla con aire o sin aire incluido</i> .....	172
<i>Resistencia de diseño según el grado de control</i> .....	173
<i>Selección de la relación agua-cemento</i> .....	174
<i>Dosificaciones para pesos secos y húmedos</i> .....	176
DESARROLLO DE LA INTERFAZ COMPATIBLE CON ANDROID .....	179
<i>Interfaz plataforma MIT APP INVENTOR</i> .....	179
<i>Menú de opciones</i> .....	180
<i>Introducción de datos</i> .....	182
<i>Selección de cantera</i> .....	183
<i>Selección del asentamiento</i> .....	185
<i>Tipo de construcción y tamaño de agregado recomendado</i> .....	186
<i>Cálculo de cantidad de agua</i> .....	187
<i>Coefficiente de variación</i> .....	188
<i>Pantalla resultados</i> .....	190
VALIDACIÓN DEL PROGRAMA .....	191
<b>Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>195</b>
CONCLUSIONES .....	195
RECOMENDACIONES.....	197

**Referencias Bibliograficas ..... 199**

**Anexos ..... 201**

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Módulo de finura .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2 Valores de asentamiento.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3 Valores recomendados de tamaño máximo nominal.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4 Valores recomendados para el contenido de aire .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5 Requerimientos aproximados de agua de mezclado.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6 Grado de control para diferentes clases de operaciones.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 7 Relación agua-cemento.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 8 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 9 Tamaño de la muestra de árido para humedad.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 10 Tamaño de la muestra de árido grueso para ensayo de absorción.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 11 Tamaño de la muestra de árido para ensayo de masa volumétrica .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 12 Tamaño de la muestra de árido para ensayo de granulometría .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 13 Masa máxima permisible a retenerse en cada tamiz.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 14 Límites mínimos y máximos para una granulometría apropiada – Agregado grueso .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 15 Granulometría árido grueso - Cantera Holcim .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 16 Granulometría árido grueso - Cantera Pintag.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 17 Granulometría árido grueso - Cantera Cymca.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 18 Granulometría árido grueso - Cantera Sevilla &amp; Sevilla .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 19 Masa necesaria para ensayo de degradación.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 20 Especificaciones de carga para el ensayo de degradación.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 21 Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación – Cantera Holcim .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 22 Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación - Cantera Pintag.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 23 Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación - Cantera Cymca.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 24 Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación - cantera Sevilla y Sevilla</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 25 Límites mínimos y máximos para una granulometría apropiada - Árido fino.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 26 Granulometría árido fino - Cantera Holcim.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 27 Granulometría árido fino - Cantera Pintag.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 28 Granulometría árido fino - Cantera Cymca .....</i>	<i>103</i>

<i>Tabla 29 Granulometría árido fino - Cantera Sevilla &amp; Sevilla</i> .....	105
<i>Tabla 30 Características del agregado grueso</i> .....	106
<i>Tabla 31 Características del agregado fino</i> .....	106
<i>Tabla 32 Agua para la mezcla</i> .....	107
<i>Tabla 33 Resistencias de diseño corregidas mediante el grado de control</i> .....	108
<i>Tabla 34 Relación agua/cemento para las resistencias de diseño</i> .....	108
<i>Tabla 35 Peso del cemento en kg acorde a la relación A/C, tamaño máximo nominal y resistencia.</i>	109
<i>Tabla 36 Volumen de agregado grueso para cada una de las canteras estudiadas</i> .....	109
<i>Tabla 37 Volumen de agregados y porcentaje de finos para la mezcla de todas las dosificaciones de las 4 canteras de estudio</i> .....	110
<i>Tabla 38 Proporciones de arena y ripio en condiciones secas</i> .....	112
<i>Tabla 39 Dosificaciones en estado seco de todas las dosificaciones de las 4 canteras de estudio</i> ....	113
<i>Tabla 40 Cantidad de cemento en peso</i> .....	114
<i>Tabla 41 Cantidad de agregados en estado seco</i> .....	115
<i>Tabla 42 Peso de agregados húmedos (Estado natural)</i> .....	116
<i>Tabla 43 Cantidad de agua corregida</i> .....	117
<i>Tabla 44 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim</i> .....	124
<i>Tabla 45 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim</i> .....	125
<i>Tabla 46 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim</i> .....	127
<i>Tabla 47 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim</i> .....	128
<i>Tabla 48 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim</i> .....	130
<i>Tabla 49 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim</i> .....	131
<i>Tabla 50 Resistencias obtenidas - Holcim</i> .....	134
<i>Tabla 51 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag</i> .....	135
<i>Tabla 52 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag</i> .....	136
<i>Tabla 53 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag</i> .....	138
<i>Tabla 54 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag</i> .....	139
<i>Tabla 55 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag</i> .....	141
<i>Tabla 56 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag</i> .....	142

<i>Tabla 57 Resistencias obtenidas - Pintag .....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 58 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca .....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 59 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca .....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 60 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca .....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 61 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca .....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 62 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca .....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 63 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca .....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 64 Resistencias obtenidas - Cymca.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 65 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 66 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 67 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 68 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 69 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 70 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 71 Resistencias obtenidas - Sevilla .....</i>	<i>167</i>



## Índice de Figuras

<i>Figura 1 Componentes del concreto.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2 Mezcladora de concreto.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3 Relación temperatura relativa vs resistencia del concreto.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4 Resistencia a compresión del concreto vs humedad durante un año.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5 Agregado fino.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6 Agregado grueso.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 7 Mina de Pintag.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 8 Peso de agua requerida para la dosificación.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 9 Resistencia de diseño vs Grado de control.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 10 Muestra para absorción saturada - Agregado grueso.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 11 Muestra superficialmente seca - Agregado grueso.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 12 Peso superficialmente seco - Agregado grueso.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 13 Muestra superficialmente seca en canasta de alambre –.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 14 Peso muestra sumergida en tanque de agua – Agregado grueso.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 15 Peso seco para absorción - Agregado grueso.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 16 Molde más muestra en estado suelto – Árido grueso.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 17 Procedimiento por varillado - Árido fino.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 18 Molde más muestra en estado compactado - Árido grueso.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 19 Cuarteado material grueso.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 20 Tamizadora mecánica en funcionamiento.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 21 Material retenido en cada uno de los tamices - Árido grueso.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 22 Granulometría árido grueso - Cantera Holcim.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 23 Granulometría árido grueso – Cantera Pintag.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 24 Granulometría árido grueso - Cantera Cymca.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 25 Granulometría árido grueso – Cantera Sevilla &amp; Sevilla.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 26 Máquina de los ángeles.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 27 Muestra para ensayo de desgaste separada por retenidos de tamices.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 28 Determinación de la masa necesaria para el ensayo de degradación.....</i>	<i>85</i>

<i>Figura 29 Muestra ensayada en máquina de los ángeles</i> .....	86
<i>Figura 30 Muestra remanente lavada del ensayo de degradación lavada</i> .....	86
<i>Figura 31 Masa remanente del ensayo de desgaste</i> .....	87
<i>Figura 32 Muestra seca humedad - Holcim</i> .....	90
<i>Figura 33 Muestra seca humedad - Pintag</i> .....	91
<i>Figura 34 Muestra seca humedad - Cymca</i> .....	91
<i>Figura 35 Muestra seca humedad - Sevilla</i> .....	91
<i>Figura 36 Muestra seca inicial para absorción - Árido fino</i> .....	92
<i>Figura 37 Muestra saturada para absorción - Árido fino</i> .....	93
<i>Figura 38 Muestra Saturada Superficialmente Seca (SSS) - Árido fino</i> .....	93
<i>Figura 39 Muestra de 500 gr SSS - Árido fino</i> .....	94
<i>Figura 40 Adición de muestra SSS al picnómetro - Árido fino</i> .....	95
<i>Figura 41 Bomba de vacíos en funcionamiento</i> .....	95
<i>Figura 42 Llenado del picnómetro a marca de calibración</i> .....	96
<i>Figura 43 Determinación masa picnómetro, agua y muestra</i> .....	96
<i>Figura 44 Secado al horno de muestra para absorción - Árido fino</i> .....	97
<i>Figura 45 Tamices necesarios a utilizarse para ensayo de granulometría - Árido fino</i> .....	100
<i>Figura 46 Granulometría árido fino - Cantera Holcim</i> .....	101
<i>Figura 47 Granulometría árido fino - Cantera Pintag</i> .....	103
<i>Figura 48 Granulometría árido fino - Cantera Cymca</i> .....	104
<i>Figura 49 Granulometría árido fino - Cantera Sevilla &amp; Sevilla</i> .....	105
<i>Figura 50 Materiales pesados y listos para la mezcla</i> .....	118
<i>Figura 51 Mezcla del material en la concreteira</i> .....	119
<i>Figura 52 Toma de temperatura del hormigón fresco</i> .....	119
<i>Figura 53 Ensayo del cono de Abrams para la determinación del revenimiento</i> .....	120
<i>Figura 54 Determinación del revenimiento</i> .....	120
<i>Figura 55 Doce golpes para distribuir de mejor manera el hormigón fresco</i> .....	121
<i>Figura 56 Desencofrado de los cilindros de hormigón</i> .....	122
<i>Figura 57 Curado de los cilindros de hormigón en piscina improvisada</i> .....	122

<i>Figura 58 Preparación del cilindro para máquina de compresión simple .....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 59 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim .....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 60 Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim .....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 61 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim .....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 62 Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim .....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 63 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 64 Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim .....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 65 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 66 Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim .....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 67 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 68 Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim .....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 69 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 70 Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim .....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 71 Curvas de resistencias de la cantera de Holcim.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 72 Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Holcim .....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 73 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 74 Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 75 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 76 Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 77 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 78 Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 79 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 80 Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 81 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 82 Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 83 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 84 Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 85 Curvas de resistencias de la cantera de Pintag .....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 86 Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Pintag.....</i>	<i>145</i>

<i>Figura 87 Resistencia a compresión 180 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca</i> .....	146
<i>Figura 88 Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca</i> .....	147
<i>Figura 89 Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca</i> .....	148
<i>Figura 90 Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca</i> .....	148
<i>Figura 91 Resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca</i> .....	149
<i>Figura 92 Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca</i> .....	150
<i>Figura 93 Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca</i> .....	151
<i>Figura 94 Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca</i> .....	151
<i>Figura 95 Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca</i> .....	152
<i>Figura 96 Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca</i> .....	153
<i>Figura 97 Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca</i> .....	154
<i>Figura 98 Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca</i> .....	154
<i>Figura 99 Curvas de resistencias de la cantera de Cymca</i> .....	155
<i>Figura 100 Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Cymca</i> .....	156
<i>Figura 101 Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	157
<i>Figura 102 Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	158
<i>Figura 103 Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	159
<i>Figura 104 Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	159
<i>Figura 105 Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	160
<i>Figura 106 Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	161
<i>Figura 107 Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	162
<i>Figura 108 Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	162
<i>Figura 109 Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	163
<i>Figura 110 Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	164
<i>Figura 111 Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	165
<i>Figura 112 Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla</i> .....	165
<i>Figura 113 Curvas de resistencias de la cantera de Sevilla</i> .....	166
<i>Figura 114 Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Sevilla</i> .....	167
<i>Figura 115 Ingreso de datos de los agregados</i> .....	170

<i>Figura 116 Resistencia a Dosificar.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 117 Selección del asentamiento.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 118 Tipo de Construcción y dimensión de la sección.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 119 Cantidad de Agua en la mezcla con aire o sin aire incluido.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 120 Grado de control para la resistencia de diseño.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 121 Resistencia de Diseño y Relación agua/cemento.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 122 Dosificaciones y pesos secos y húmedos.....</i>	<i>179</i>
<i>Figura 123 Interfaz de la plataforma MIT APP INVENTROR.....</i>	<i>180</i>
<i>Figura 124 Bloques de programación.....</i>	<i>180</i>
<i>Figura 125 Vista pantalla "Menú".....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 126 Desarrollo bloques para la pantalla menú.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 127 Vista pantalla "Ingreso de datos" – TextBox y Tiny DB.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 128 Asignación de bloques para almacenamiento de variables.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 129 Pantalla "Seleccionar cantera".....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 130 Asignación valores de caracterización.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 131 Pantalla "Selección del asentamiento"- Check box y Text box.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 132 Bloques de asignación pantalla "Selección de asentamiento".....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 133 Pantalla "Tipo de construcción" - CheckBox y TextBox.....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 134 Bloques de asignación para el tamaño nominal máximo.....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 135 Pantalla "Cantidad de agua" - Switch.....</i>	<i>188</i>
<i>Figura 136 Bloques de asignación para la cantidad de agua.....</i>	<i>188</i>
<i>Figura 137 Pantalla "Resistencia de diseño y coeficiente de variación" - Spinner.....</i>	<i>189</i>
<i>Figura 138 Bloques de programación para pantalla de coeficiente de variación.....</i>	<i>189</i>
<i>Figura 139 Pantalla de resultados y bloques de programación para asignación de datos - Label ...</i>	<i>190</i>
<i>Figura 140 Cálculo de volúmenes y pesos de material.....</i>	<i>191</i>
<i>Figura 141 Dosificaciones en Excel.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 142 Dosificación en algoritmo base.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 143 Dosificación en la aplicación.....</i>	<i>193</i>
<i>Figura 144 Validación de la resistencia a compresión.....</i>	<i>193</i>

## Resumen

El presente proyecto consiste en la elaboración y validación de una aplicación para S.O. Android que permita dosificar hormigón de manera eficiente mediante el método del ACI 211 – Práctica Estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo.

Para realizar el aplicativo se programa un algoritmo base en MATLAB R2020a que sirve como guía para elaborar la interfaz gráfica mediante programación por bloques en MIT APP INVENTOR compatible con el sistema operativo Android.

Para la validación del aplicativo se toma en cuenta cuatro canteras representativas de la provincia de pichincha que constan como una base de datos; las canteras escogidas son: Pintag, Holcim, Cymca y Sevilla que se encuentran ubicadas en Pintag, Pifo, Guayllabamba y Cayambe respectivamente. De cada cantera se toma muestras de agregado grueso y fino para poder determinar sus características mediante ensayos de laboratorio, los cuales son: Humedad, Absorción, Densidad aparente seca, Masa unitaria seca y compactada, Granulometría, y Desgaste.

Mediante el uso del método ACI 211 y con la caracterización del material pétreo de cada cantera se diseña hormigón para las siguientes resistencias a compresión: 180, 210, 240, 270, 315 y 350 kg/cm<sup>2</sup>. Para validar la aplicación se preparan 6 probetas para cada una de las resistencias mencionadas, las cuales son ensayadas en la máquina de compresión simple de la siguiente manera: 1 probeta a los 3 días (Curado Rápido), otra probeta a los 7, 14 y 21 días respectivamente y 2 probetas a los 28 días para determinar las curvas de resistencia de cada cantera.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **APLICACIÓN ANDROID**
- **DOSIFICACIÓN**
- **AGREGADOS PÉTREOS**
- **RESISTENCIA A COMPRESIÓN**

### **Abstract**

This project goal is about the development and validation of an App for the Android Operating System that allows concrete to be dosed efficiently and effortlessly using the Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211-91) Method.

The development of this App is done in MATLAB R2020a platform as a background for the actual Algorithm made in MIT APP INVENTOR, which is compatible with Android Operating System.

The validation of this App requires a data basis which includes four representative quarries from Pichincha, these quarries were Pintag, Holcim, Cymca and Sevilla, which are located at Pintag, Pifo, Guayllabamba, and Cayambe respectively. From each quarry a representative sample is taken to determine the main characteristics of the aggregate through laboratory procedures. These procedures are Moisture, Absorption, Relative dry density, Unitary dry mass, Granulometry, and Abrasion.

The concrete is designed through ACI 211 Method, which requires the main characteristics from the aggregates of each quarry, once the concrete is dosed for the following compression resistance: 180, 210, 240, 270, 315, 350 kg/cm<sup>2</sup>, six test cylinders are taken for each resistance of each quarry, these cylinders are broken through the simple compressive machine as following: 1 cylinder at 3 days (Fast Cure), another at 7, 14, and 21 days respectively, and 2 cylinders at 28 days from its making to define compressive resistance curves.

#### **KEYWORDS:**

- **ANDROID APP**
- **DOSAGE**
- **CONCRETE AGGREGATES**
- **COMPRESSION RESISTANCE**

## Capítulo 1: Generalidades

### Planteamiento del problema

#### *Formulación del problema*

Para el proceso de diseño y elaboración del hormigón no existe una aplicación móvil en el mercado que dosifique los materiales que lo componen, por tal motivo se propone crear una aplicación móvil que ayude a todos los constructores del país, a obtener una dosificación óptima de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua para una resistencia a la compresión menor a 350 kg/cm<sup>2</sup>.

Además, cabe recalcar que para llevar a cabo una dosificación óptima de los materiales pétreos que componen el hormigón, se requiere ensayarlos en el laboratorio para obtener los siguientes datos: Densidad aparente seca, módulo de finura, porcentaje de absorción, porcentaje de humedad, masa unitaria seca y compactada, y porcentaje de desgaste. Por este motivo se considera necesario agregar a la aplicación una base de datos de cuatro canteras representativas de Pichincha, datos que se obtienen mediante ensayos realizados tanto en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, así como en otras entidades dedicadas a la construcción. Para de esta manera brindar al usuario un servicio de calidad optimizando el tiempo de cálculo de la dosificación de los materiales pétreos para resistencias menores a 350 kg/cm<sup>2</sup>.

Se considera resistencias menores a 350 kg/cm<sup>2</sup> ya que es la resistencia máxima para la dosificación de hormigón con inductor de aire según el método “Práctica Estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo” (ACI-211, 2002).

Por otra parte, las resistencias a la compresión más utilizadas en los sectores de vivienda oscilan desde 210 kg/cm<sup>2</sup> a 280 kg/cm<sup>2</sup>, razón por la cual al tomar el rango de 180 kg/cm<sup>2</sup> a 350 kg/cm<sup>2</sup>, se cubren las necesidades del usuario (Cabrera, 2015).

#### **Antecedentes**

El hormigón es uno de los elementos que más se utiliza en la construcción esencialmente por su fácil fabricación, gran resistencia y durabilidad se lo utiliza en cualquier parte del mundo. Basta decir que puentes, edificios, túneles y canales



cuentan con una proporción significativa de este material para sustentarse (Páez, Hormigón Armado, 1986).

Otra característica por la cual el hormigón es un material idóneo para la construcción es por su excelente resistencia a la compresión que hace que soporte grandes esfuerzos, sin embargo, no sucede lo mismo a la tracción por lo que generalmente se añaden varillas de acero en su interior (Páez, Hormigón Armado, 1986).

El hormigón está compuesto de una pasta formada por agua y cemento, así como otros materiales: grava, arena, arcilla y aditivos en caso de ser necesario; esta mezcla no se hace de forma arbitraria, sino que, dependiendo del sitio de construcción, así como de la obra que se pretende realizar, se calcula la cantidad de hormigón necesaria. Por lo tanto, la dosificación del hormigón es uno de los primeros cálculos que se realiza en una construcción (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Los diferentes métodos de dosificación del hormigón tienen como finalidad encontrar la proporción necesaria, dependiendo de la obra, garantizando así que se cumplan con ciertas características como resistencia, durabilidad y consistencia (Kosmatka S. H., 2004).

No existe un solo método para calcular la dosificación del cemento, árido fino, árido grueso y agua, para la elaboración del hormigón, sino que el ingeniero calculista puede elegir entre uno de ellos siempre y cuando se tome en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades de los materiales a dosificar.

La malla de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE contempla asignaturas que permiten el estudio del hormigón, desde los materiales que lo conforman hasta el diseño de este.

Resistencia de materiales, materiales de la construcción, diseño de hormigones y hormigón armado son algunos de los ejemplos que se pueden nombrar que ratifican el estudio que se da a este material. Al tener estas bases consolidadas se pretende realizar una aplicación con la finalidad de conseguir una correcta dosificación para hormigones de diferentes resistencias menores a  $350 \text{ kg/cm}^2$  y a su vez proporcionar una base de datos al usuario con las canteras más importantes de Pichincha.

### ***Justificación***

La tecnología ha alcanzado un gran avance y desarrollo gracias a la necesidad del ser humano en optimizar procesos mecánicos que faciliten su trabajo o actividades cotidianas, y el ámbito de la construcción no es la excepción, existen aplicaciones que facilitan el cálculo estructural, así como aplicaciones que organizan y archivan evidencias del avance de una obra.

Los profesionales de la construcción, docentes y estudiantes de Ingeniería Civil están en constante uso del hormigón como material constructivo, y es fundamental dosificar de manera adecuada los elementos que lo componen como; cemento, agua y agregados pétreos. Debido a que en Ecuador no existe un software de uso gratuito para dispositivos móviles que optimice este proceso, existe la necesidad de desarrollar una aplicación amigable y de uso sencillo que facilite el trabajo a las personas que lo requieran.

### ***Importancia***

El hormigón es una mezcla de varios materiales que por efectos del cemento Portland, tienden a entrar en un proceso de fraguado en un tiempo variable entre dos y cuatro horas, no hay que confundir la resistencia del hormigón con la manejabilidad. En sí el hormigón está conformado por Cemento, Agregados finos Agregados gruesos y Agua (Cabrera, 2015).

El proceso de dosificación del hormigón consiste en determinar la combinación más eficiente y económica de los agregados disponibles, cemento y agua, es cierto que en la actualidad se utilizan ciertos aditivos con innumerables beneficios para el hormigón, pero cabe recalcar que, para este proyecto, se omite el uso de aditivos.

Tomando en cuenta que el hormigón es el material más empleado en la construcción a nivel mundial, por tal motivo requiere un alto nivel de control, como en la dosificación de los componentes, correcta caracterización de los materiales, su elaboración, y el correcto curado después de haberlo puesto en obra (Wight & MacGregor, 2012).

La gran pregunta para responder es: ¿Por qué es tan importante la dosificación del hormigón? El primer motivo y más relevante es, que la dosificación para el

hormigón está directamente relacionada con la resistencia a la compresión y de esto depende la estabilidad, seguridad y durabilidad de cualquier tipo de estructura en todas las ramas que abarca la Ingeniería Civil.

Como se mencionó anteriormente una de las características más importantes del hormigón es la resistencia a la compresión, ya que, desde un prediseño estructural, uno de los datos más importantes para empezar, es el  $f'c$  (resistencia a la compresión), y a posterior encontrar el diseño ideal para la estructura.

Para una efectiva dosificación del hormigón, es de suma importancia conocer con qué tipo de agregados se va a trabajar, para lo cual los agregados finos y gruesos se someten a ensayos de laboratorio, para así obtener las siguientes características del agregado: densidad aparente seca de agregados finos y gruesos, módulo de finura de agregados finos, porcentaje de absorción de agregados finos y gruesos, humedad natural de agregados finos y gruesos, masa unitaria compactada y desgaste de agregados gruesos. Al obtener toda esta información se procede a la dosificación del hormigón, asegurando tener un alto nivel de confianza en el proceso, ya que cuando se habla de proyectos con alto volumen de construcción una dosificación inadecuada generaría una gran pérdida económica, además de verse afectado el prestigio del diseñador y calculista de la obra en construcción.

El proyecto tiene como objetivo realizar una aplicación móvil para sistema Android que permita dosificar sin aditivos, hormigones con resistencias menores a los  $350 \text{ kg/cm}^2$ , mediante programación que sea compatible con Android para poder realizar una aplicación. Es de suma importancia tener este tipo de programas de fácil alcance ya que en obra no siempre se tiene una oficina de cálculo, electricidad y todas las condiciones adecuadas, y lo que este proyecto propone es: que en un teléfono móvil se ingresen los datos de los agregados, la resistencia a obtener y automáticamente arroje las cantidades necesarias de cada componente del hormigón, además de ofrecer una base de datos, acerca de la información de los agregados de cuatro canteras representativas de Pichincha.

***Objetivo general***

Desarrollar y publicar una aplicación móvil para optimizar el cálculo de la dosificación de cemento, arena, grava y agua para un hormigón con resistencias menores a  $350 \text{ kg/cm}^2$  a partir de las características de los agregados proporcionados por el usuario o desde la base de datos de 4 canteras representativas de Pichincha.

***Objetivos específicos***

- Implementar el algoritmo a un lenguaje de programación con una interfaz gráfica compatible con el sistema operativo Android.
- Clasificar los datos de cuatro canteras representativas de Pichincha, y generar una base de datos con las características de los agregados de cada cantera.
- Validar la aplicación mediante ensayos a compresión simple de las resistencias: 180, 210, 240, 270, 315,  $350 \text{ kg/cm}^2$ .
- Elaborar un paper del proyecto de titulación que promocióne la aplicación.

## Capítulo 2: Marco Teórico

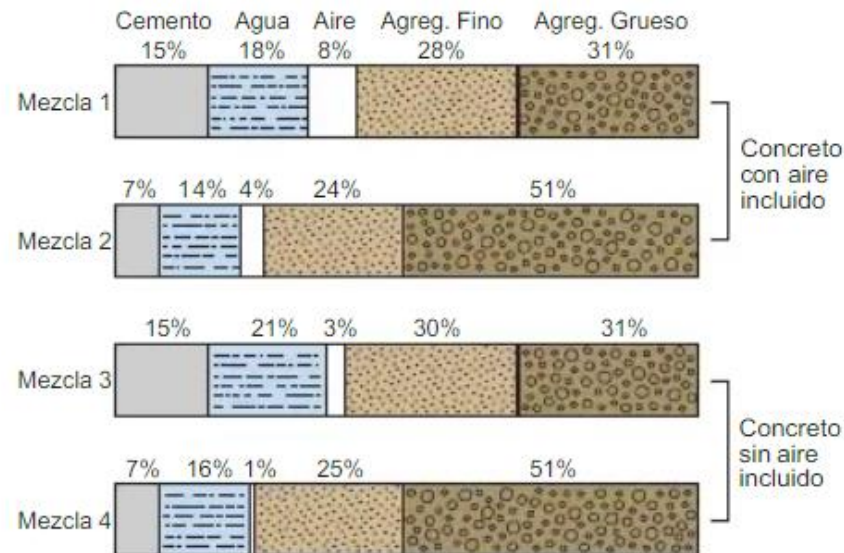
### El concreto

El concreto y concreto reforzado se usan como material constructivo en todos los países, y en todo tipo de construcciones como; estructuras subterráneas, tanques de agua, cimientos de turbinas de viento, edificaciones, puentes, e inclusive barcos (Wight & MacGregor, 2012).

El concreto es una piedra artificial capaz de soportar grandes esfuerzos a compresión y está compuesto de la mezcla homogénea de un pegante o aglutinante, con un material de relleno como los agregados, agua, y aditivos (Sánchez de Guzmán, 2001).

Las proporciones en las que se encuentren presentes el cemento, los agregados y el agua aseguran el desempeño para la resistencia a compresión de la mezcla, razón por la cual es de suma importancia estudiar sus propiedades, con el objetivo de determinar la proporción más adecuada para la resistencia solicitada (Sánchez de Guzmán, 2001).

Para tener una mejor idea en la figura 1 se muestran algunas mezclas, de las cuales la primera y tercera representa hormigones ricos con agregados finos, y la segunda y cuarta mezcla representan hormigones pobres con agregados gruesos (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

**Figura 1***Componentes del concreto*

*Nota.* Recuperado de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Para validar el diseño del hormigón se requiere comprobar la resistencia mediante probetas ensayadas a compresión dentro de un laboratorio.

Usualmente se confunde al mencionar el diseño del hormigón que implica que la selección de los materiales que lo componen está inmersa en el diseño estructural, sin embargo, esto es comúnmente errado, el diseño corresponde específicamente al desempeño del hormigón, no a la proporción de los materiales que lo componen y aseguran ese desempeño, razón por la cual el término proporción de la mezcla sería más adecuado. Sin embargo, en muchos países se entiende que al mencionar diseño del hormigón implica también la selección de los materiales para la mezcla (Neville, 2011).

Es importante recalcar que no es lo mismo fabricar una muestra de laboratorio con los materiales que se planifica usar en obra, que tomar una muestra en sitio y ensayarla en laboratorio, la segunda proporciona datos más reales. Sin embargo, para determinación de proporciones y usando adecuadamente las normas vigentes se obtiene un valor muy aproximado al que se espera en obra. No obstante, es fundamental y necesario tomar muestras de hormigón al momento de la fundición

para verificar su resistencia a compresión (Neville, 2011).

Existen muchas variables que justifican esta diferencia, entre ellas tenemos que la mezcladora usada en laboratorio no es la misma que la mezcladora usada en sitio, es decir, varían en tipo y rendimiento. El tamaño de la probeta es menor al tamaño real del elemento, es decir, la homogeneidad de la mezcla puede variar sin una vibración adecuada. La temperatura, humedad, y entre otros factores que pueden variar al momento de estudiar las propiedades de los agregados (Neville, 2011).

### ***Dosificación***

La dosificación de una mezcla de concreto corresponde a determinar la proporción en la que se implementan los materiales que lo componen (agua, cemento y agregados pétreos), y a su vez garantizar su desempeño. Sin embargo, esta proporción debe corresponder a la más práctica y económica (Rivera L., 1992).

Garantizar el desempeño del diseño de la mezcla es primordial al dosificar, sin embargo, no es el único factor importante, en ciertos casos durante la colocación del hormigón, la trabajabilidad, la fluencia, los cambios volumétricos, elasticidad, etc. Se convierten en factores importantes para garantizar que el hormigón adquiera la resistencia deseada, por ende, se promueve el uso de aditivos en casos especiales (Rivera L., 1992).

### ***Mezclado***

El mezclado inicia al momento que se vierten los componentes (Áridos, aglutinante, y agua) en la mezcladora y en las proporciones establecidas durante el proceso de dosificación (Páez, Hormigón Armado, 1986).

Para llegar a la homogeneidad deseada usando una mezcladora, es importante entender cómo funciona ese equipo. La mezcladora está compuesta por un tambor con paletas en su interior que arrastran al árido grueso de forma rotativa, lenta y constante, es decir, siempre existe una porción del agregado grueso que se encuentra sobre la mezcla, esta porción cae por acción de la gravedad e impacta con el mortero produciendo la acción mezcladora, de esta forma se obtiene la homogeneidad de la mezcla en pocos minutos (Páez, Hormigón Armado, 1986).

**Figura 2**

*Mezcladora de concreto*



*Nota.* Recuperado de (Umacon, 2014)

### ***Trabajabilidad***

Se denomina trabajabilidad del hormigón al grado de resistencia de la segregación de la mezcla durante la colocación, y consolidación del concreto fresco, es decir, que tan manipulable es el hormigón durante el proceso de fundición (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Existen varios factores que influyen en la trabajabilidad del hormigón; tamaño de los agregados, método y tiempo de transporte, cantidad de agua, aire incluido, temperatura, aditivos, etc. No obstante, la consistencia del hormigón es un buen indicador de la trabajabilidad del concreto, y se la puede medir con el cono de Abrams mediante el revenimiento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).



### ***Sangrado y asentamiento***

Al sangrado también se lo conoce como exudación, y tiene relación con la acción de la gravedad, las partículas más densas (agregados gruesos) por su peso tienden a asentarse al fondo del concreto colocado, provocando que el agua sea expulsada hacia la superficie, dando el efecto de “sangrado” en el acabado del concreto, esto se lo puede apreciar como una leve capa de agua en la superficie del elemento fundido (Silva, 2020).

Es normal que exista sangrado, e incluso ayuda a controlar las fisuras que se producen por la retracción plástica, sin embargo, el exceso de exudación puede modificar la relación de agua y cemento que existe en la superficie, alterando su resistencia y haciéndola débil, también crea bolsas de agua dentro del cuerpo colado (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

El asentamiento es la capacidad de sangrado, es decir, la sedimentación total por unidad de peso del hormigón. El escoger adecuadamente el tamaño de los agregados, y entre otros factores, mitiga esta capacidad de sangrado y la posibilidad de crear bolsas de agua que pueden ser perjudiciales para el concreto colado (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

### ***Consolidación***

La consolidación no es más que la forma en que se acomodan los componentes de la mezcla (agua, cemento y agregados) al momento del colado, usualmente se adquiere una buena consolidación del concreto usando la acción de la vibración (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

La calidad de un buen hormigón radica en la consolidación, si la consolidación es buena, obtendremos un concreto resistente y durable, caso contrario, un concreto poroso y débil (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

### ***Tiempo de fraguado***

Se le conoce como tiempo de fraguado al período en el cual el concreto pierde su plasticidad mientras empieza a endurecerse, este proceso tiene una duración promedio de dos a cuatro horas. Sin embargo, se debe comprender de mejor manera

este proceso denominado fraguado (Cabrera, 2015).

El fraguado es una reacción química producida por el agua dentro de la mezcla y óxidos metálicos que se encuentran presentes en el cemento, durante esta reacción se produce la desecación y recristalización de estos óxidos metálicos, provocando que la mezcla pierda su plasticidad y se endurezca (Cabrera, 2015).

### **Curado**

El propósito del curado es mantener una temperatura y un contenido de humedad adecuados, después de colocarse el hormigón, y durante veinte y ocho días, sin embargo, es prudente recalcar que los primeros siete días de endurecimiento del concreto son críticos para controlar estos dos factores.

La etapa de curado es muy importante, puesto que es donde se garantiza que el elemento llegue a su resistencia máxima, si el curado del concreto no se lo realiza de una manera adecuada se puede llegar a perder hasta el 30% de su resistencia (Guevara Fallas, y otros, 2012).

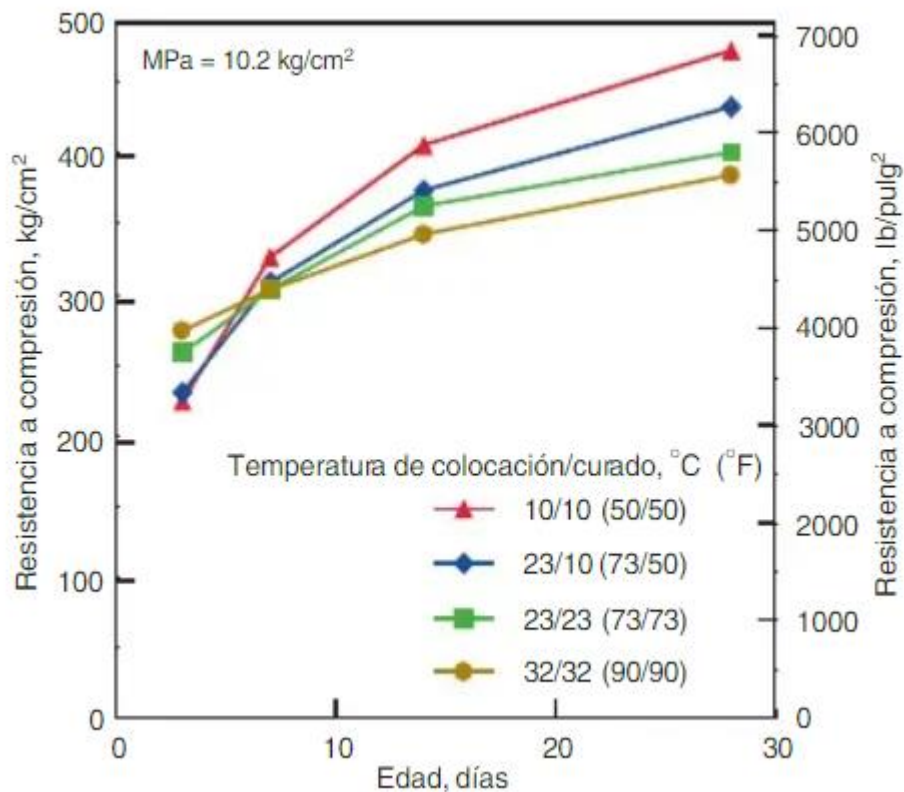
Según (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004) el curado proporciona el incremento de resistencia continuo. Sin embargo, esto depende de algunos factores como:

- La temperatura del concreto siempre debe ser favorable, es decir nunca disminuya de cero.
- La humedad relativa dentro del concreto se encuentre aproximadamente sobre el 80%.

Si ninguna de estas dos condiciones se cumple, se asume una interrupción en la ganancia de resistencia del concreto durante su etapa de endurecimiento. En la figura 3 se puede apreciar la relación que existe entre la temperatura relativa y la resistencia durante los primeros 28 días de endurecimiento del hormigón. A temperaturas más frías el concreto inicia con baja resistencia. No obstante, con el pasar del tiempo adquiere una mayor resistencia.

**Figura 3**

*Relación temperatura relativa vs resistencia del concreto*



*Nota.* Recuperado de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

### **Resistencia**

Según (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004) la resistencia que puede resistir un elemento de concreto, hace referencia a la carga axial que el concreto puede soportar antes de su fractura, es decir, la resistencia a un esfuerzo de compresión, que usualmente se la mide en kilogramos sobre centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ), mega pascales (MPa) o en libras sobre pulgadas cuadradas ( $\text{lb/pulg}^2$ ) una vez que se cumplan los 7 y 28 días desde la colocación del hormigón que es cuando el hormigón adquiere cerca del 75% y 90% de la resistencia estimada respectivamente.

## **El cemento**

El cemento es el aglutinante de la mezcla para formar una piedra artificial, sin duda alguna el cemento Portland es el más usado en el mercado, siendo el aglutinante de menor costo, así como el más versátil. Puede adquirir la duración, peso unitario, impermeabilidad, dureza, apariencia, y resistencia a esfuerzos de compresión similar a las de una roca (Sánchez de Guzmán, 2001).

## **El agua en el concreto**

El agua constituye un rol importante en la vida del hormigón, ya que se encuentra siempre presente en su ciclo de vida, desde el mezclado, durante el curado y finalmente se consolida en la etapa de servicio, sea esto de manera voluntaria; como en presas, canales, plantas de tratamiento, etc. o de manera involuntaria como al contacto con la lluvia (López, Kahn, & Kurtis, 2005).

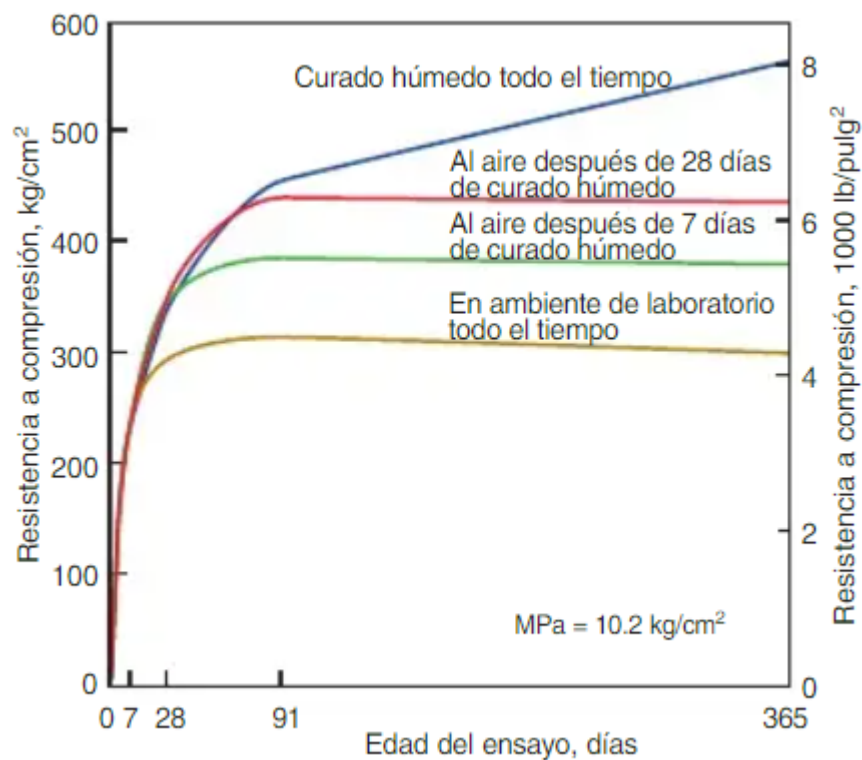
Durante el mezclado, el agua permite que la mezcla adquiera su capacidad ligante, sin embargo, debe tener una cierta calidad para que no interfiera con los procesos químicos que se producen durante el fraguado, el agua usada debe considerarse apta para el consumo humano, es decir, no debe contener materia orgánica, aceites, sustancias alcalinas o ácidos (Morales Gubio, Santamía Carrera, Caicedo Barona, & Tipán Quinatoa, 2019).

Durante el curado, el agua hidrata y consolida la mezcla para que esta adquiera la resistencia deseada una vez que se endurezca, además ayuda a controlar las fisuras que se puedan producir a causa de la reacción química que surge del fraguado, desecando y endureciendo el concreto.

Durante la etapa de servicio un hormigón bien consolidado sigue incrementando su resistencia de manera lenta y constante.

**Figura 4**

*Resistencia a compresión del concreto vs humedad durante un año.*



*Nota.* Recuperado de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

### **Agregados en el concreto**

Uno de los componentes más importantes que tiene el concreto son los agregados, que cumplen con tres funciones principales:

- Reducir los costos de la producción de concreto.
- Dar resistencia a la acción de cargas, a la abrasión, a la filtración de humedad y a la acción del clima.
- Reducir los cambios volumétricos, que resultan por cambios de temperatura.
- Hay que definir que existen dos tipos de agregados que conforman el concreto, agregados finos que generalmente son arenas naturales o piedras trituradas, con un tamaño menor a los 5 mm. Por otro lado, tenemos a los agregados gruesos que son la combinación de gravas o piedras trituradas con un tamaño de partículas mayores a los 5 mm, generalmente se encuentran en un rango de 9.5-37.5 mm.

**Figura 5**

*Agregado fino*



*Nota.* Recuperado de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

**Figura 6**

*Agregado grueso*



*Nota.* Recuperado de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Los agregados casi siempre se lavan y se gradúan en minas o en plantas trituradoras, si no se le da el tratamiento necesario, pueden efectuar cambios en la calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad y otras propiedades, y a posterior generar efectos secundarios en la consistencia y resistencia del concreto.

**Figura 7***Mina de Pintag*

Cabe recalcar que los agregados deben cumplir con ciertas reglas en la ingeniería para que su uso sea el más eficiente. Deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan perjudicar a la hidratación y la adherencia a la pasta de cemento (Kosmatka S. H., 2004).

Los agregados deben cumplir con características específicas que se mencionaran en los ítems a continuación, para poder realizar un concreto de excelente calidad.

### ***Densidad Aparente Seca de agregados finos***

Es la masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido, la normativa ecuatoriana utilizada (NTE INEN 856, 2010), para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula.

$$Gf = \frac{\gamma * A}{(B + A - C)} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

Donde:

*A = masa de la muestra seca al horno [g].*

*B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, [g].*

*C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua [g].*

$$\gamma = \text{peso específico del agua} \left[ \frac{g}{cm^3} \right].$$

### **Densidad Aparente Seca de agregados gruesos**

Es la masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido, la normativa ecuatoriana utilizada (NTE INEN 857, 2010), para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula.

$$Gg = \frac{\gamma * A}{(A - C)} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (2)$$

Donde:

$A = \text{masa en aire de la muestra seca al horno} [g].$

$C = \text{masa aparente en agua de la muestra saturada} [g].$

$$\gamma = \text{peso específico del agua} \left[ \frac{g}{cm^3} \right].$$

### **Porcentaje de absorción de agregados finos**

Determinar el porcentaje de absorción permite medir el incremento de la masa de los áridos debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un determinado tiempo, sin incluir aire a la superficie externa de las partículas.

La normativa ecuatoriana utilizada es NTE INEN 856, determinando con la siguiente fórmula.

$$\text{Absorción, finos \%} = \frac{(S - A)}{A} \quad (3)$$

Donde:

$A = \text{masa de la muestra seca al horno} [g].$

$S = \text{masa de muestra saturada superficialmente seca} [g].$

### **Porcentaje de absorción de agregados gruesos**

La normativa ecuatoriana utilizada es (NTE INEN 857, 2010), determinando con la siguiente fórmula.

$$\text{Absorción, gruesos \%} = \frac{(B - A)}{A} \quad (4)$$



Donde:

$A = \text{masa de la muestra seca al horno [g]}$ .

$B = \text{masa aparente en agua de la muestra saturada [g]}$ .

### **Módulo de Finura**

La parte más importante de la granulometría en los agregados finos es determinar el módulo de finura (MF), que se lo puede definir como el índice de finura del agregado, cuanto mayor sea el MF, mayor grosor tiene el agregado, y en esto se basa el cálculo de la proporción de agregado fino para la mezcla de concreto. La normativa ecuatoriana que se utiliza es (NTE INEN 696, 2011).

$$MF = \frac{T_{N4} + T_{N8} + T_{N16} + T_{N30} + T_{N50} + T_{N100}}{100} \quad (5)$$

Donde:

$T_i = \text{porcentaje retenido en el tamiz } i$ .

$MF = \text{Módulo de finura [Adim]}$ .

**Tabla 1**

*Módulo de finura*

TAMIZ		PORCENTAJE DE FRACCIÓN INDIVIDUAL RETENIDA, EN MASA	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA, EN MASA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN MASA
mm	No.	0	100	0
9.50		2	98	2
4.75	4	13	85	15
2.36	8	20	65	35
1.18	16	20	45	55
0.60	30	24	21	79
0.30	50	18	3	97
0.15	100	3	0	-
TOTAL		100		283

*Nota.* Recuperado de (Niño Hernández, 2010)

### **Tamaño Máximo Nominal**

El tamaño máximo nominal de los agregados es el menor tamaño de la malla por donde debe pasar la mayor cantidad del agregado, la malla del tamaño máximo

nominal debe retener al menos de un (5 – 15) % del agregado, de esto depende ensayos como determinar el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos, granulometría de agregados gruesos y finos, y en las tablas utilizadas en el proceso de dosificación del concreto (Tabla 2).

### **Humedad**

Uno de los factores más importantes para la dosificación del concreto es conocer la cantidad de humedad natural, ya que de esto depende las proporciones indicadas de los agregados ya sean finos y gruesos.

La normativa ecuatoriana utilizada es (NTE INEN 862, 2011), y la forma a utilizar es la siguiente:

$$W \% = \frac{H}{MS} * 100 \quad (6)$$

Donde:

$H =$  *Peso del agua evaporada [g].*

$H = [(Peso\ recipiente + M. Húmeda) - (Peso\ recipiente + M. seca)].$

$MS =$  *Peso de la muestra seca [g].*

$W =$  *Porcentaje de humedad [%].*

### **Masa unitaria seca y compactada – Peso volumétrico**

Para la determinación del peso volumétrico en Ecuador se utiliza la normativa (NTE INEN 858, 2010), este valor es importante para poder determinar la densidad volumétrica del agregado.

$$P_V = \frac{M_{am} - M_m}{V} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \quad (7)$$

Donde:

$P_V =$  *Peso volumétrico o masa unitaria [g/cm<sup>3</sup>].*

$M_{am} =$  *Masa del árido más el molde [g].*

$M_m =$  *Masa del molde [g].*

$V =$  *Volumen del molde [cm<sup>3</sup>].*

### **Granulometría**

La granulometría es la distribución de las partículas de los agregados, que se analizan a través de los tamices, en Ecuador se utiliza la normativa (NTE INEN 696, 2011), este análisis es de suma importancia tanto para los agregados gruesos y finos. La granulometría y los límites granulométricos se expresan en porcentaje del material que pasa por cada tamiz.

### **Abrasión**

La determinación de la abrasión o porcentaje de desgaste, se lo determina a los agregados de partículas menores a 37,5 mm. Es de suma importancia conocer el tamaño máximo nominal para determinar la cantidad de agregado para realizar el ensayo. La normativa ecuatoriana utilizada es (NTE INEN 860, 2011).

Para determinar la abrasión, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{B - C}{B} * 100 \quad (8)$$

Donde:

*D = Valor de la degradación (%).*

*B = Masa inicial de la muestra de ensayo.*

*C = Masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,7 mm 12, después del ensayo.*

### **Concreto con Aire incluido**

Utilizar concretos con aire incluido es tecnología que se ha implementado desde los años de 1930, con el único objetivo de mejorar la resistencia a factores de congelación y deshielo, entre otros beneficios para el concreto fresco y endurecido (Kosmatka S. H., 2004).

A continuación, se mencionan las propiedades en las que se ve afectado o beneficiado un concreto con aire incluido.

- Abrasión: Si se aumenta la resistencia, también aumentara la resistencia al desgaste.
- Cohesión: Se aumenta, dificultando el acabado.
- Acabados: Se reduce debido al aumento de cohesión.

- Densidad: Se disminuye con la adición de aire.
- Permeabilidad: Poco efecto, debido a la relación agua – cemento, reduce la permeabilidad.
- Resistencia a flexión: Se reduce en un rango del 2-4% por el aumento de cada punto porcentual del aire.
- Trabajabilidad: Aumenta debido a la adición de arena.

**Descripción del Método ACI 211 – Práctica Estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo para el diseño de mezclas de hormigón.**

Este método es totalmente empírico y se basa en medir en peso y volumen los materiales que ingresan en la dosificación (cemento, agua, grava y arena), cuyos resultados son producto de extensas investigaciones de Andrew Duff, Richart, Talbot, Goldbeck y Gray (American Concrete Institute, 2002).

***Elección del Asentamiento***

El revenimiento consiste en medir el hundimiento que sufre una pila de concreto fresco en forma de cono truncado de concreto fresco al retirarle el apoyo; para hacer esta prueba se usa un molde metálico, cuyas medidas son 30 cm de altura, 10 cm en su base superior y 20 cm en su base de apoyo llamado Cono de Abrams.

**Tabla 2**

*Valores de asentamiento*

<b>ASENTAMIENTO</b>	<b>CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)</b>	<b>GRADO DE TRABAJABILIDAD</b>	<b>TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN</b>
0 - 2.0	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2.0 - 3.5	SECA	PEQUEÑO	Pavimentos vibrados con máquina mecánica

3.5 - 5.0	SEMI - SECA	PEQUEÑO	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5.0 - 10.0	MEDIA	MEDIO	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactadas a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10.0 - 15.0	HUMEDA	ALTO	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento en túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

*Nota.* Recuperado de (Niño Hernández, 2010)

### ***Elección del Tamaño máximo nominal***

El Artículo 121 del RNC-07 señala que el tamaño nominal del agregado grueso no puede ser mayor a las siguientes medidas:

1. Un quinto de la separación menor entre los lados del encofrado.
2. Un tercio del peralte de la losa.
3. Tres cuartos del espaciamiento mínimo libre entre varillas individuales del refuerzo.

La siguiente tabla muestra los valores recomendados del tamaño máximo nominal para los diferentes tipos de construcciones.

**Tabla 3**

Valores recomendados de tamaño máximo nominal

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS [mm (in)]	MUROS SIN REFUERZO [mm (in)]	LOSAS MUY REFORZADAS [mm (in)]	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS [mm (in)]
6 - 15	12 (1/2") - 19 (3/4")	19 (3/4")	19 (3/4") - 25 (1")	19 (3/4") - 38 (1 1/2")
19 - 29	19 (3/4") - 38 (1 1/2")	38 (1 1/2")	38 (1 1/2") - 76 (3")	38 (1 1/2") - 76 (3")
30 - 74	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3")	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3")
75 O MÁS	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3")	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3") - 152 (6")

Nota. Recuperado de (Niño Hernández, 2010)

#### **Determinación del contenido de aire de la mezcla**

El contenido de aire aporta a la manejabilidad y la cohesión de la mezcla. La siguiente tabla muestra los valores recomendados para estimar la estimación del contenido de aire de la mezcla:

**Tabla 4**

Valores recomendados para el contenido de aire

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9.51	3.00	4.50	6.00	7.50
1/2	12.50	2.50	4.00	5.50	7.00
3/4	19.10	2.00	3.50	5.00	6.00
1	25.40	1.50	3.00	4.50	6.00
1 1/2	38.10	1.00	2.50	4.50	5.50
2	50.80	0.50	2.00	4.00	5.00
3	76.10	0.30	1.50	3.50	4.50
6	152.40	0.20	1.00	3.00	4.00

Nota. Recuperado de (Niño Hernández, 2010)

### Estimación de la cantidad de agua

La cantidad de agua en las mezclas cubre los siguientes parámetros: manejabilidad, adherencia y la hidratación.

**Tabla 5**

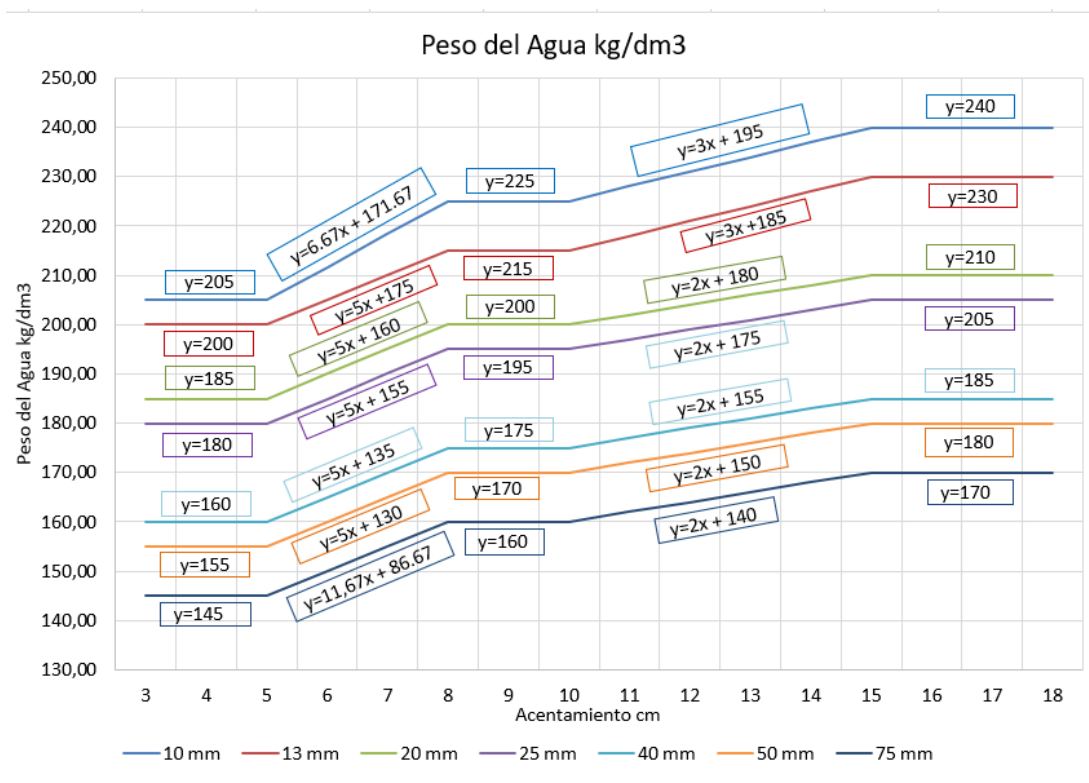
*Requerimientos aproximados de agua de mezclado*

CONDICIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE		AGUA EN kg por m <sup>3</sup> de concreto para los TMN del agregado indicados							
		Asentamiento cm	10	12.5	20	25	40	50	70
		-	-	-	-	-	**	**	**
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8.00	7.00	6.00	5.00	4.50	4.00	3.50	3.00

*Nota.* Recuperado de (Niño Hernández, 2010)

**Figura 8**

*Peso de agua requerida para la dosificación*



**Resistencia de diseño**

Para la resistencia de diseño se escoge un grado de control, el cuál determinara las condiciones de la obra, A mayor grado de control, condiciones menos favorables durante la elaboración del proyecto.

**Tabla 6**

*Grado de control para diferentes clases de operaciones*

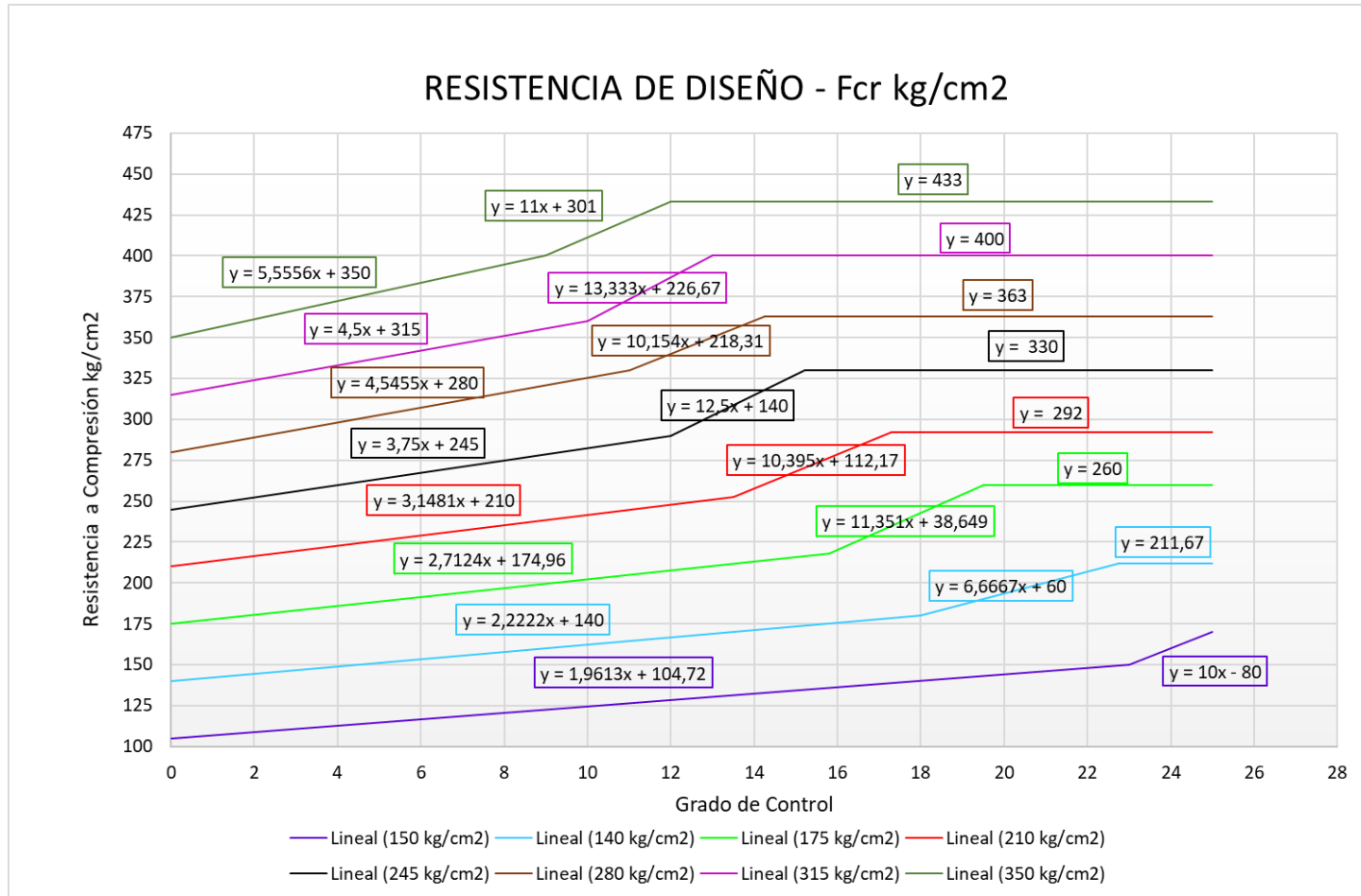
COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA DIFERENTES CONTROLES				
CLASE DE OPERACIÓN	GRADO DE CONTROL			
	EXELENTE	BUENO	REGULAR	POBRE
CONSTRUCCIÓN GENERAL	10	10 -- 15	15 -- 20	20
LABORATORIOS	5	5 -- 7	7 -- 10	10

*Nota.* Recuperado de (Niño Hernández, 2010)



Figura 9

Resistencia de diseño vs Grado de control



### **Estimación de la relación agua-cemento**

Este factor es de los más importantes para el diseño de hormigones, ya que mediante este factor se puede controlar la durabilidad, permeabilidad, acabado y la resistencia.

**Tabla 7**

*Relación agua-cemento*

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN N A LOS 28 DÍAS EN (kg/cm <sup>2</sup> )	RELACIÓN AGUA CEMENTO MÁXIMA PERMISIBLE			
	CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE		CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE	
	RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO	LITROS POR SACO DE CEMENTO DE 50 (kg)	RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO	LITROS POR SACO DE CEMENTO DE 50 (kg)
175	0.65	32.40	0.54	27.00
210	0.58	29.30	0.46	23.00
245	0.51	25.70	0.40	20.00
280	0.44	22.20	0.35	17.70
315	0.38	19.10	0.30	15.10
350	0.31	15.10	0.24	12.13

*Nota.* Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la relación agua cemento recuperado de (Niño Hernández, 2010)

### **Cálculo del contenido de cemento**

Para calcular la cantidad de cemento se relaciona la cantidad de agua sobre la relación agua-cemento.

$$c = \frac{a}{a/c} \quad [kg] \quad (9)$$

Donde

$a = \text{Agua [kg]}$ .

$c = \text{Cemento [kg]}$ .

### Contenido de agregado fino y grueso.

El método del A.C.I. se utiliza cuando los agregados cumplen con las franjas granulométricas de la norma ASTM C33, y consiste en hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto (Andrés & Johan).

Luego se determina el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de hormigón, esto se obtiene dividiendo la masa unitaria compacta (MUC) y la densidad aparente de la grava ( $d_g$ ) y multiplicando por un coeficiente ( $b'$ ) el cual se lo obtiene mediante la interpolación del módulo de finura para los valores más próximos de la tabla 8 (Andrés & Johan).

$$b_o = \frac{MUC}{G_g} [Adim] \quad (10)$$

$$B = b_o * b' [m^3] \quad (11)$$

**Tabla 8**

*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (mm)	Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de arena						
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60
10	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38
13	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47
20	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54
25	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
40	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
50	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
75	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69
150	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75

*Nota.* Recuperado de (Niño Hernández, 2010)

Posteriormente se determina el volumen de agregados totales que se requiere en la mezcla mediante la siguiente ecuación:

$$Ck = 1000 - \frac{c}{\gamma_{cem}} - a [dm^3] \quad (12)$$

Donde

$a = \text{Agua} [dm^3]$ .

$c = \text{Cemento} [kg]$ .

$Ck = \text{Volumen de agregados} [dm^3]$ .

$\gamma_{cem} = \text{Peso específico del cemento} [kg/dm^3]$ .

Una vez que se calcula el volumen de cemento, agua, ripio y aire, queda por determinar el volumen del agregado fino (arena); éste se calcula a manera de porcentaje restando el volumen total de los componentes conocidos (Andrés & Johan).

$$P = \frac{Ck - 1000 * B}{Ck} * 100 [\%] \quad (13)$$

### **Cálculo de proporciones**

Finalmente se obtiene las proporciones de cemento, arena y ripio mediante las siguientes formulas:

$$K = \frac{Ck}{C} \left[ \frac{dm^3}{kg} \right] \quad (14)$$

$$\text{Arena} = \frac{K * P}{100} * Gf [Adim] \quad (15)$$

$$\text{Ripio} = \frac{K * (100 - P)}{100} * Gg [Adim] \quad (16)$$

estado seco, posteriormente se corrige estos materiales por la humedad que tienen en estado natural.

### **Fundición y toma de muestras**

#### **Toma de temperatura**

Cuando ya se haya dosificado, pesado y mezclado es importante tomar la temperatura del hormigón fresco para verificar que no exceda de 30 °C, el ensayo debe realizarse en los primeros 5 minutos luego de verter el hormigón en un recipiente, el termómetro debe estar calibrado y debe usarse un termómetro que

pueda medir temperaturas entre 0 a 50 °C con precisión de 0.5°C, para tomar la temperatura se debe introducir el termómetro al menos 3 pulgadas en el hormigón (NTE INEN 3119, 2016).

### ***Verificación de Asentamiento***

Este ensayo se realiza con el hormigón fresco para determinar el asentamiento y comprobar que se encuentre en el rango escogido durante la dosificación, este ensayo se realiza con hormigón que contenga agregado grueso con tamaño nominal de hasta 1.5 pulgadas, para el ensayo se utiliza un cono truncado de 10 cm de base superior, 20 cm de base inferior y 30 cm de altura (ASTM C 1064, 1999).

Para el ensayo se debe llenar el cono en 3 capas semejantes varillando cada capa 25 veces con una varilla de acero recta de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo, la varilla se debe hundir 1 pulgada en la capa anterior para que exista buena unión entre capas, el cono debe estar bien enrasado para que el ensayo tenga éxito y el asentamiento medido sea el correcto (ASTM C 1064, 1999).

### ***Preparación y Curado de las muestras***

Este ensayo trata sobre los procedimientos para preparar y curar las muestras de hormigón, en lo que respecta a la preparación se debe escoger un cilindro que tenga relación diámetro – altura de 1 a 2 donde el diámetro mínimo debe superar en 3 veces el tamaño nominal máximo (ASTM C 31/C 31M - 8a, 2008).

En cada capa se debe varillar 25 veces con una varilla recta de acero de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo además se debe golpear con un martillo de goma 12 veces al cilindro de forma equitativa (3 por cara) para luego enrasarlos y dejarlos reposar 24 horas para desencofrarlos (ASTM C 1064, 1999).

En lo que respecta al curado de cilindros se escoge una muestra para el curado rápido y el resto a la piscina de curado en donde se dejaran los cilindros para ensayarlos a los 7,14,21 y 28 días según corresponda (ASTM C 31/C 31M - 8a, 2008).

Para el ensayo a compresión de los cilindros se necesita tomar las medidas de base, altura y peso para este último el cilindro se lo debe dejar secar superficialmente

(ASTM C 31/C 31M - 8a, 2008).

### **Normas**

- NTE INEN 0862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.
- NTE INEN 0856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.
- NTE INEN 0857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.
- NTE INEN 0858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.
- NTE INEN 0696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.
- NTE INEN 0860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.
- NTE INEN 0861: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.
- NTE INEN 3119: Hormigón fresco de cemento hidráulico. Método para determinar la temperatura.
- ASTM C 1064: Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico.
- ASTM C 31/C 31M: Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.

### **Capítulo 3: Clasificación, Dosificación y Fundición**

#### **Caracterización Agregados Gruesos**

##### ***Humedad***

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 862, 2011) el objetivo es determinar el porcentaje existente de humedad que se evapora por medio del secado al horno, dicha humedad corresponde a la ubicada en la superficie y dentro de los poros de tanto áridos gruesos, como los áridos finos.

Para llevar a cabo el ensayo se requiere que la muestra se encuentre en estado natural, una balanza con una precisión de 0.1% de la carga a ensayar, un horno capaz de mantener la temperatura a 110°C con una precisión de 5°C, y recipientes para situar las muestras (NTE INEN 862, 2011).

El procedimiento a seguir consta en separar la muestra, dicha muestra debe encontrarse en estado natural y cumplir con los requerimientos mínimos de masa acorde al tamaño máximo nominal del agregado como se muestra en la tabla 9, posteriormente se la debe secar a temperatura controlada, y por último pesar dicha muestra cuando se encuentre completamente seca y aplicar la ecuación (5) para la determinación porcentual de humedad tanto del agregado fino como grueso (NTE INEN 862, 2011).

**Tabla 9***Tamaño de la muestra de árido para humedad*

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Masa de la muestra de áridos (kg)
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19	3
25	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 862, 2011)

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 862, 2011), el muestreo para árido grueso se basa en la tabla 8, la cual menciona la cantidad mínima a tomar del agregado acorde al tamaño máximo nominal. Por lo tanto, para las canteras de Holcim – Pifo y Pintag se tiene un tamaño de muestra de 3 kg a razón de su tamaño nominal de  $\frac{3}{4}$  "(aproximadamente 19 mm), y para las canteras de Cymca – Guayllabamba y Sevilla & Sevilla se tienen un tamaño de muestra de 4kg a razón de su tamaño nominal 1" (aproximadamente 25mm).

#### **Cantera Holcim – Pifo**

$$W_1 \% = \frac{53.68}{3278.78} * 100 = 1.64\%$$

$$W_2 \% = \frac{55.25}{3311.45} * 100 = 1.67\%$$

$$W \% = \frac{1.64 + 1.67}{2} = 1.65\%$$



**Cantera Pintag**

$$W_1 \% = \frac{2.23}{3310.56} * 100 = 0.07\%$$

$$W_2 \% = \frac{9.42}{3280.85} * 100 = 0.29\%$$

$$W \% = \frac{0.07 + 0.297}{2} = 0.18\%$$

**Cantera Cymca - Guayllabamba**

$$W_1 \% = \frac{47.16}{3441.71} * 100 = 1.37\%$$

$$W_2 \% = \frac{40.73}{3059.27} * 100 = 1.33\%$$

$$W \% = \frac{1.37 + 1.33}{2} = 1.35\%$$

**Cantera Sevilla & Sevilla - Cayambe**

$$W_1 \% = \frac{6.33}{3310.73} * 100 = 0.19\%$$

$$W_2 \% = \frac{7.57}{3318.22} * 100 = 0.23\%$$

$$W \% = \frac{0.19 + 0.23}{2} = 0.21\%$$

***Densidad relativa y absorción***

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 857, 2010), el objetivo es determinar el porcentaje de absorción del agregado grueso, siempre y cuando este no sea liviano, ya que la norma no aplica para este tipo de agregado grueso, y a su vez determinar la densidad relativa o también conocida como gravedad específica.

Para llevar a cabo este ensayo se requiere de una balanza con una precisión de 0.05% de la muestra a ensayar o de 0.5 gr, un recipiente tipo canasta hecho de alambre con aberturas de 3.35 mm y de capacidad de 4 a 6 litros, un tanque hermético para llenarlo de agua, tamices, un paño absorbente y un horno capaz de mantener la temperatura a 110 °C con una precisión de 5°C, la masa mínima necesaria para realizar el ensayo se muestra en la tabla 10, y depende del tamaño nominal de la muestra. Para las canteras de Holcim y Pintag con un tamaño nominal de 3/4 “se requiere 3 kg y para las canteras de Cymca y Sevilla & Sevilla con un

tamaño nominal de 1" se requieren 4 kg (NTE INEN 857, 2010).

**Tabla 10**

*Tamaño de la muestra de árido grueso para ensayo de absorción*

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Masa de la muestra de áridos (kg)
12,5 o menor	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 857, 2010)

El procedimiento a seguir consiste en secar completamente la muestra, para posteriormente sumergirla en agua, la cual debe encontrarse a temperatura ambiente durante 24 horas con una precisión de 4 horas (figura 10). (NTE INEN 857, 2010).

**Figura 10**

*Muestra para absorción saturada - Agregado grueso*



Una vez que se cumple el período mencionado, se procede a secar superficialmente la muestra con la ayuda de una franela o paño absorbente (figura 11), una vez que la muestra se encuentra en estado superficialmente seco se determina la masa con la ayuda de una balanza (figura 12), inmediatamente colocamos la muestra en la canasta de alambre (figura 13) para determinar su masa al estar sumergida en el tanque con agua, el cual debe encontrarse a 23 °C con una precisión de 2°C (figura 14), finalmente secar la muestra y determinar su masa (figura 15). (NTE INEN 857, 2010).

**Figura 11**

*Muestra superficialmente seca - Agregado grueso*



**Figura 12**

*Peso superficialmente seco - Agregado grueso*



**Figura 13**

*Muestra superficialmente seca en canasta de alambre – Agregado grueso*

**Figura 14**

*Peso muestra sumergida en tanque de agua – Agregado grueso*



**Figura 15**

*Peso seco para absorción - Agregado grueso*



Una vez que se conocen las masas correspondientes a los estados saturado, saturado superficialmente seco y seco, se puede realizar los cálculos correspondientes a la densidad aparente o gravedad específica mediante la ecuación (2) y la absorción mediante la ecuación (4).

**Cantera Holcim – Pifo**

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9982 * 3833.1}{(3833.1 - 2421.3)} = 2.710 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, gruesos \%} = \frac{(3905.8 - 3833.1)}{3833.1} * 100 = 1.9 \%$$

**Cantera Pintag**

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9982 * 4168.0}{(4168.0 - 2500.4)} = 2.495 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, gruesos \%} = \frac{(4310.0 - 4168.0)}{4168.0} * 100 = 3.4 \%$$

### Cantera Cymca – Guayllabamba

$$T = 20^{\circ}C$$

$$\gamma = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9982 * 4961.3}{(4961.3 - 3097.2)} = 2.657 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, gruesos \%} = \frac{(5065.3 - 4961.3)}{4961.3} * 100 = 2.1 \%$$

### Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe

$$T = 20^{\circ}C$$

$$\gamma = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9982 * 4992.8}{(4992.8 - 2957.6)} = 2.449 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, gruesos \%} = \frac{(5193.2 - 4992.8)}{4992.8} * 100 = 4.0 \%$$

### **Masa unitaria seca y compactada**

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 858, 2010) el objetivo es determinar el porcentaje de vacíos y la masa del árido tanto grueso como fino en condiciones suelta y compactada dentro de un mismo volumen y así poder calcular el peso volumétrico o masa unitaria. Es importante mencionar que existe el procedimiento por varillado, que se usa para árido  $\leq 37.5$  mm, y el procedimiento por sacudidas para árido mayor a 37.5 mm, pero no debe exceder un tamaño de 125 mm.

Para llevar a cabo el ensayo se requiere de una balanza con una precisión de 50 gr o de 0.1% de la masa de la muestra, una varilla lisa de acero con un diámetro de 16 mm y una longitud de 60 cm aproximadamente, y un molde el cual no debe exceder el volumen nominal según la tabla 11 acorde al tamaño máximo nominal del agregado (NTE INEN 858, 2010).

**Tabla 11**

*Tamaño de la muestra de árido para ensayo de masa volumétrica*

<b>Tamaño máximo nominal del árido (mm)</b>	<b>Capacidad mínima del molde m<sup>3</sup></b>	<b>Capacidad mínima del molde (litros)</b>
12,50	0,0028	2,8
25,00	0,0093	9,3
37,50	0,0140	14,0
75,00	0,0280	28,0
100,00	0,0700	70,0
125,00	0,1000	100,0

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 858, 2010)

El procedimiento por varillado consta en determinar la masa del molde vacío y con el agregado en estado suelto (figura 16). Posteriormente se debe llenar el molde por capas, deben ser tres para ser específico. Al llenar cada una de las capas se debe realizar 25 golpes fuertes en la superficie para compactar el agregado (figura 17), es importante tomar en cuenta que estos golpes sean distribuidos uniformemente y no penetren la capa anterior. Una vez que se encuentre el agregado compactado, se procede a determinar su masa mediante una balanza (figura 18). Finalmente, con las masas correspondientes determinadas se aplica la ecuación (7) para poder determinar la masa unitaria o peso volumétrico seco y compactado, cabe recalcar que al determinar en estado suelto se puede calcular la densidad volumétrica.

**Figura 16**

*Molde más muestra en estado suelto – Árido grueso*



**Figura 17**

*Procedimiento por varillado - Árido fino*





**Figura 18**

*Molde más muestra en estado compactado - Árido grueso*



Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 858, 2010), el volumen máximo del molde para árido grueso se basa en la tabla 11, la cual está acorde al tamaño máximo nominal. Por lo tanto, para todas las canteras al tener un tamaño mayor a 12.5 mm (1/2") pero menor o igual a 25 mm (1"), se puede usar un molde de mínimo 9.3 litros para realizar el ensayo.

El molde tiene un peso de 8720 gr, y sus dimensiones son las siguientes; 25.3 cm de diámetro y 28.1 cm de altura lo que nos da un volumen de 14 127 cm<sup>3</sup> o 14.127 litros.

#### **Cantera Holcim – Pifo**

$$P_V = \frac{30760 - 8720}{14127} = 1.560 \text{ g/cm}^3$$

#### **Cantera Pintag**

$$P_V = \frac{26980 - 8720}{14127} = 1.293 \text{ g/cm}^3$$

### Cantera Cymca – Guayllabamba

$$P_V = \frac{28840 - 8720}{14127} = 1.424 \text{ g/cm}^3$$

### Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe

$$P_V = \frac{27940 - 8720}{14127} = 1.361 \text{ g/cm}^3$$

### Granulometría

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 696, 2011) el objetivo es determinar la distribución de las partículas de los agregados tanto finos como gruesos por medio de tamizado. Es importante mencionar que no aplica para agregado muy fino, es decir, todo aquel que pasa por el tamiz No. 200 con una abertura de 75  $\mu$ .

Para llevar a cabo el ensayo se requiere de muestra seca y bien cuarteada para garantizar de manera aleatoria la granulometría del agregado (figura 19), los equipos necesarios son; una balanza con una precisión de 50 gr para los agregados gruesos, y de 10 gr para los agregados finos o del 0.1% de la masa de ensayo en cualquiera de los dos casos, Tamices, un agitador mecánico de tamices o también conocida como tamizadora mecánica y un horno capaz mantener la muestra a una temperatura de 110 °C con una precisión de 5 °C (NTE INEN 696, 2011).

### Figura 19

*Cuarteado material grueso*



El procedimiento a seguir consta en determinar la masa mínima que se necesita para el ensayo acorde a la tabla 12, tomando en cuenta que el agregado se encuentra con humedad se recomienda siempre tomar más cantidad de la antes mencionada, posteriormente se procede a secar la muestra con la ayuda del horno hasta alcanzar una masa constante (NTE INEN 696, 2011).

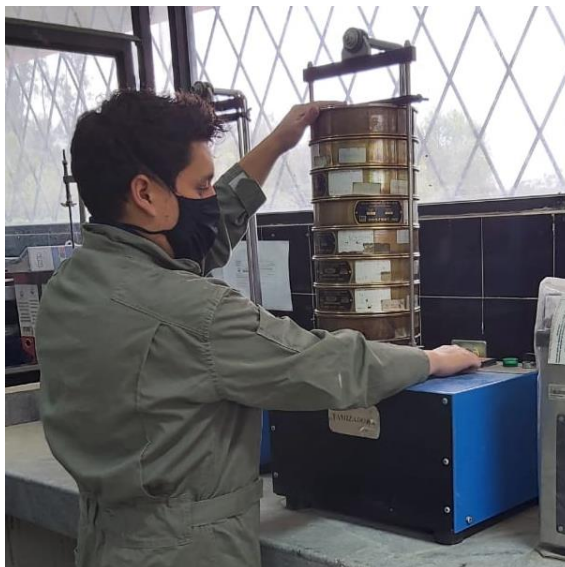
**Tabla 12**

*Tamaño de la muestra de árido para ensayo de granulometría*

<b>Tamaño máximo nominal del árido (mm)</b>	<b>Tamaño de la muestra del ensayo mínimo (Kg)</b>
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 696, 2011)

Una vez que se seleccionan los tamices a utilizar, se procede a tamizar la muestra con la ayuda de la tamizadora mecánica (figura 20), tomando en cuenta que no debe exceder cierto peso retenido en cada uno de los tamices como lo indica la tabla 12, así como, evitar que la muestra se disgregue (tiempo excesivo de la muestra en la tamizadora mecánica).

**Figura 20***Tamizadora mecánica en funcionamiento***Tabla 13***Masa máxima permisible a retenerse en cada tamiz*

Tamaño de abertura del tamiz (mm)	Tamiz de dimensiones nominales				
	d= 203,2 mm	d= 254 mm	d= 304 mm	350 x 350 mm	372 x 580 mm
Masa máximo retenido Kg					
125	-	-	-	-	67,4
100	-	-	-	30,6	53,9
90	-	-	15,1	27,6	48,5
75	-	8,6	12,6	23	10,5
63	-	7,2	10,6	19,3	34
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19	1,4	2,2	3,2	5,8	10,5
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,8	1,5	2,6

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 696, 2011)

Finalmente se debe determinar la masa retenida en cada uno de los tamices (figura 21) para poder determinar el porcentaje de material que pasa y se retiene acorde a la masa inicial, es posible que se pierda material en el proceso, sin embargo, la norma nos permite perder hasta un 3% del material inicial según la ecuación (11), caso contrario se debe descartar el ensayo realizado (NTE INEN 696, 2011).

$$M_{100\%} \geq M_i * 0.97 \quad (17)$$

Donde:

$M_{100\%}$  = Masa del 100% acumulado

$M_i$  = Masa inicial de ensayo

### Figura 21

*Material retenido en cada uno de los tamices - Árido grueso*



En el caso del agregado fino es importante determinar el módulo de finura (MF), para lo cual se debe aplicar la ecuación (5) una vez que se determina la masa retenida en cada uno de los tamices.

Según la norma (American Society for Testing Materials, 1999) existen fajas granulométricas donde se determinan los límites mínimos y máximos para agregado grueso según la tabla 14. El material pétreo debería encontrarse dentro de estos límites para considerarse apropiado.

Tabla 14

Límites mínimos y máximos para una granulometría apropiada – Agregado grueso

Número de Tamaño	Tamaño Nominal (mm)	Porcentaje Masa												
		Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio												
		100 mm 4 in	90 mm 7/2 in	75 mm 3 in	63 mm 5/2 in	50 mm 2 in	37,5 mm 3/2 in	25 mm 1 in	19 mm 3/4 in	12,5 mm 1/2 in	9,5 mm 3/8 in	4,75 mm No. 4	2,36 mm No. 8	1,18 mm No. 16
1	90 a 37,5	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2	63 a 37,5	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
3	50 a 25	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
357	50 a 4,75	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
4	37,5 a 19	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
467	37,5 a 4,75	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
5	25 a 12,5	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
56	25 a 9,5	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
57	25 a 4,75	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
6	19 a 9,5	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-

		Porcentaje Masa												
Número de Tamaño	Tamaño Nominal (mm)	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio												
		100 mm 4 in	90 mm 7/2 in	75 mm 3 in	63 mm 5/2 in	50 mm 2 in	37,5 mm 3/2 in	25 mm 1 in	19 mm 3/4 in	12,5 mm 1/2 in	9,5 mm 3/8 in	4,75 mm No. 4	2,36 mm No. 8	1,18 mm No. 16
67	19 a 4,75	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
7	12,5 a 4,75	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
8	9,5 a 2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

*Nota.* Recuperado de (American Society for Testing Materials, 1999)

El tamaño de la muestra está acorde a la tabla 12 nos indica que para las canteras de Pintag y Holcim – Pifo, a razón que se tiene un agregado de tamaño 3/4" (19 mm aproximadamente) se necesita mínimo 5 Kg, y para las canteras de Cymca – Guayllabamba y Sevilla & Sevilla – Cayambe, a razón que se tiene un agregado de tamaño 1" (25 mm aproximadamente) se requiere mínimo 10 Kg.

**Cantera Holcim – Pifo**

$$6188.20 \text{ gr} \geq 6210 \text{ gr} * 0.97$$

$$6188.20 \text{ gr} \geq 6023.70 \text{ gr}$$

Ensayo válido

**Tabla 15**

*Granulometría árido grueso - Cantera Holcim*

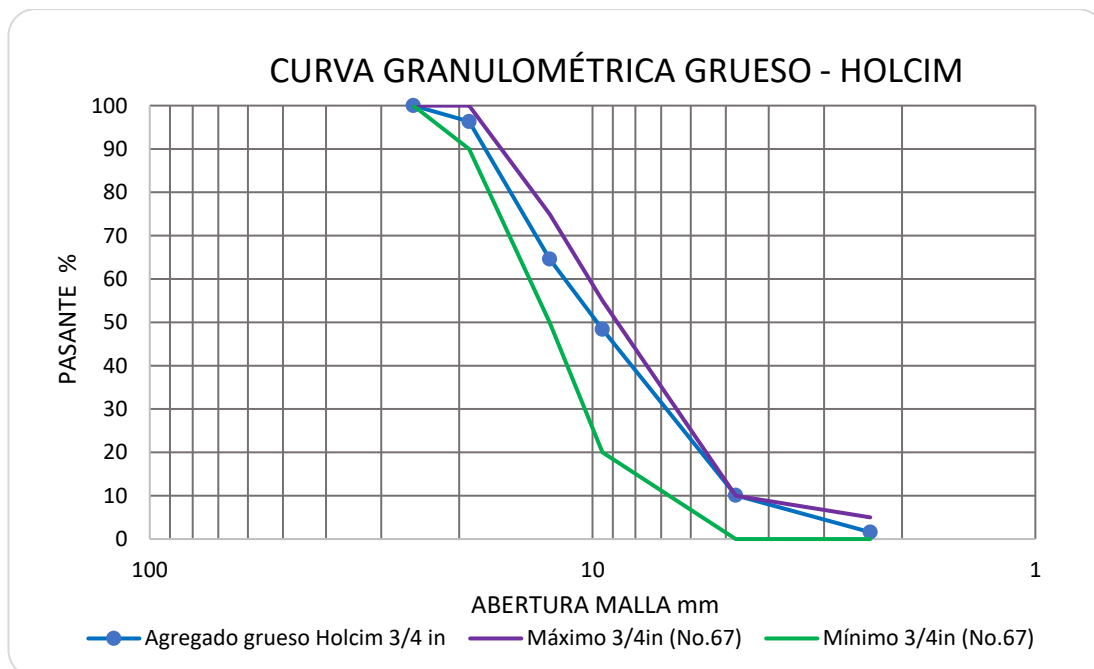
Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado (gr)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3"	0,00	0,00	0	100
2"	0,00	0,00	0	100
1 1/2 "	0,00	0,00	0	100
1"	0,00	0,00	0	100
3/4 "	227,50	227,50	4	96
1/2"	1962,40	2189,90	35	65
3/8 "	1003,80	3193,70	52	48
No. 4	2371,00	5564,70	90	10
No. 8	525,20	6089,90	98	2
Pas No. 8	98,30	6188,20	100	0

Esta granulometría es muy apropiada porque entra en los límites permisibles del número de tamaño 67 de la norma (ASTM C33-C33M-11a), para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 22.



Figura 22

Granulometría árido grueso - Cantera Holcim

**Cantera Pintag**

$$6164.50 \text{ gr} \geq 6200 \text{ gr} * 0.97$$

$$6164.50 \text{ gr} \geq 6014 \text{ gr}$$

Ensayo válido

Tabla 16

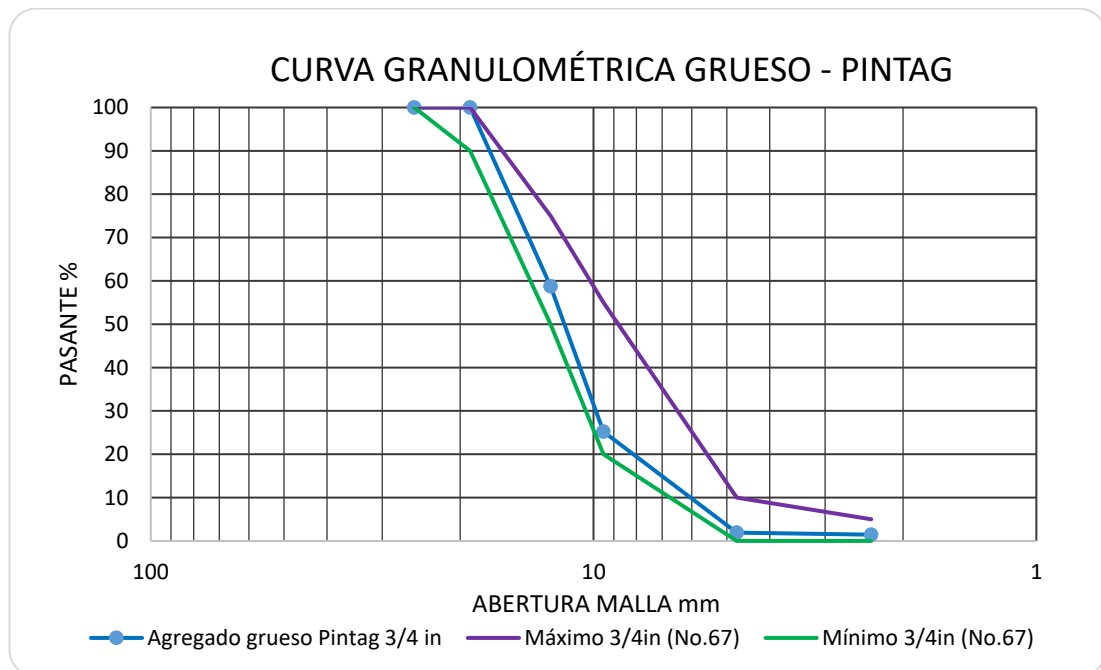
Granulometría árido grueso - Cantera Pintag

Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3"	0,00	0,00	0	100
2"	0,00	0,00	0	100
1 1/2 "	0,00	0,00	0	100
1"	0,00	0,00	0	100
3/4 "	0,00	0,00	0	100
1/2"	2542,80	2542,80	41	59
3/8 "	2067,50	4610,30	75	25
No. 4	1435,50	6045,80	98	2
No. 8	29,30	6075,10	99	1
Pas No. 8	89,40	6164,50	100	0

Esta granulometría es muy apropiada porque entra en los límites permisibles del número de tamaño 67 de la norma (ASTM C33-C33M-11a), para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 23.

**Figura 23**

*Granulometría árido grueso – Cantera Pintag*



### Cantera Cymca – Guayllabamba

$$1153.50 \text{ gr} \geq 1160 \text{ gr} * 0.97$$

$$1153.50 \text{ gr} \geq 10728.20 \text{ gr}$$

Ensayo válido

Tabla 17

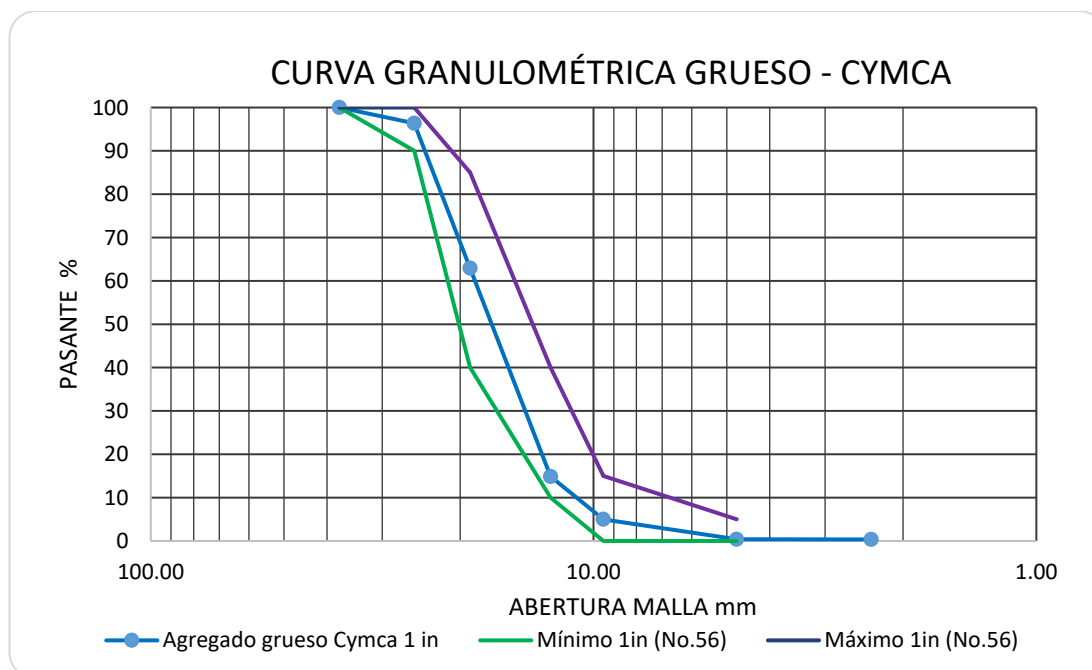
Granulometría árido grueso - Cantera Cymca

Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3"	0,00	0,00	0	100
2"	0,00	0,00	0	100
1 1/2 "	0,00	0,00	0	100
1"	403,10	403,10	4	96
3/4 "	3695,90	4099,00	37	63
1/2"	5312,40	9411,40	85	15
3/8 "	1092,00	10503,40	95	5
No. 4	508,30	11011,70	100	0
No. 8	3,70	11015,40	100	0
Pas No. 8	38,40	11053,80	100	0

Esta granulometría es muy apropiada porque entra en los límites permisibles del número de tamaño 56 de la norma (ASTM C33-C33M-11a), para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 24.

Figura 24

Granulometría árido grueso - Cantera Cymca



### Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe

$$10332.50 \text{ gr} \geq 10340 \text{ gr} * 0.97$$

$$10332.50 \text{ gr} \geq 1029.80 \text{ gr}$$

Ensayo válido

**Tabla 18**

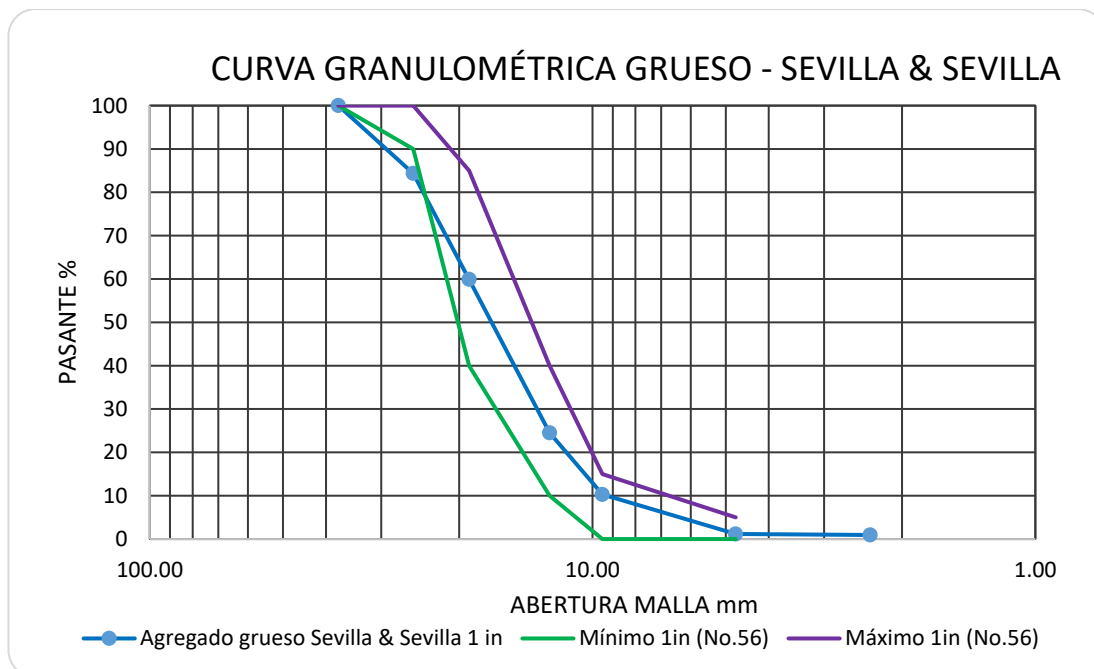
*Granulometría árido grueso - Cantera Sevilla & Sevilla*

Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3"	0,00	0,00	0	100
2"	0,00	0,00	0	100
1 1/2 "	0,00	0,00	0	100
1"	1617,80	1617,80	16	84
3/4 "	2525,20	4143,00	40	60
1/2"	3657,70	7800,70	75	25
3/8 "	1469,60	9270,30	90	10
No. 4	941,50	10211,80	99	1
No. 8	23,80	10235,60	99	1
Pas No. 8	96,90	10332,50	100	0

Esta granulometría no es muy apropiada porque no entra completamente en los límites permisibles del número de tamaño 56 de la norma (ASTM C33-C33M-11a), existe mucho material retenido en 1 pulgada, para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 25.

**Figura 25**

*Granulometría árido grueso – Cantera Sevilla & Sevilla*



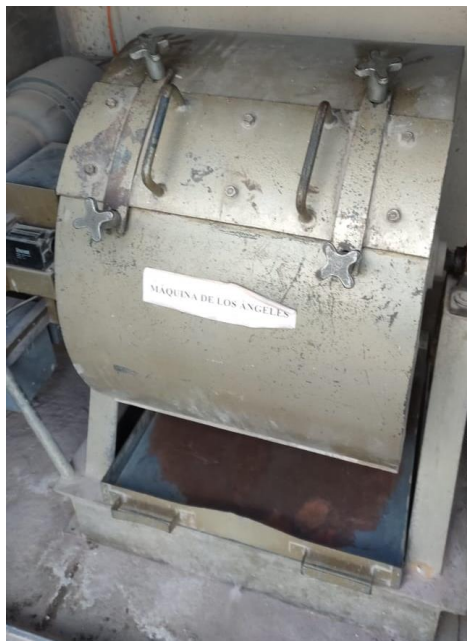
### ***Abrasión y desgaste***

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 860, 2011) el objetivo es determinar la calidad del agregado grueso mediante un indicador conocido como degradación o porcentaje de desgaste, esto se obtiene al someter el agregado a fuerzas de impacto mediante el uso de la máquina de los ángeles, es importante mencionar que esta norma únicamente aplica para áridos con tamaño nominal menor a 37.5 mm.

Para llevar a cabo el ensayo se requiere de muestra lavada y seca, de una balanza con una precisión del 0.1% de la masa de ensayo, esferas de acero, tamices, y una máquina de los ángeles (figura 26) bien calibrada, capaz de mantener una velocidad constante (NTE INEN 860, 2011).

**Figura 26**

*Máquina de los ángeles*



El procedimiento a seguir consta en primero determinar la gradación del árido grueso A, B, C o D acorde a su tamaño nominal, se procede a tamizar la muestra (figura 27) hasta obtener la masa necesaria retenida en cada uno de los tamices (figura 28) acorde a la tabla 19, una vez que se obtiene la masa necesaria para el ensayo se procede a lavarla y secarla completamente (NTE INEN 860, 2011).

**Figura 27**

*Muestra para ensayo de desgaste separada por retenidos de tamices*



**Figura 28**

*Determinación de la masa necesaria para el ensayo de degradación*

**Tabla 19**

*Masa necesaria para ensayo de degradación*

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm)		Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37,50	25,00	1250 ± 25	-	-	-
25,00	19,00	1250 ± 25	-	-	-
19,00	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12,50	9,50	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9,50	6,30	-	-	2500 ± 10	-
6,30	4,75	-	-	2500 ± 10	-
4,75	2,36	-	-	-	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 860, 2011)

Acorde a la gradación del árido grueso se selecciona la carga, es decir el número de esferas de aceros que impactan con la muestra al realizar el ensayo acorde a la tabla 20. La máquina debe completar 500 revoluciones a velocidad constante para finalizar el ensayo (figura 29). Se procede a desalojar el material de la máquina y tamizarlo por la abertura 1.70 mm. Lavamos la muestra (figura 30) y la secamos al horno para poder determinar su masa (figura 31) y calcular mediante la ecuación (8) el porcentaje de desgaste o degradación del árido grueso (NTE INEN 860, 2011).

**Tabla 20**

*Especificaciones de carga para el ensayo de degradación*

<b>Gradación</b>	<b>Número de esferas</b>	<b>Masa de la carga (gr)</b>
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN 860, 2011)

**Figura 29**

*Muestra ensayada en máquina de los ángeles*

**Figura 30**

*Muestra remanente lavada del ensayo de degradación lavada*





**Figura 31**

*Masa remanente del ensayo de desgaste*



El tamaño de la muestra está acorde a la tabla 19 nos indica que para las canteras de Pintag y Holcim – Pifo, a razón que se tiene un agregado de tamaño 3/4” (19 mm aproximadamente) se encuentran en la gradación B, y para las canteras de Cymca – Guayllabamba y Sevilla & Sevilla – Cayambe, a razón que se tiene un agregado de tamaño 1” (25 mm aproximadamente), se encuentran en la gradación A.

#### **Cantera Holcim – Pifo**

**Tabla 21**

*Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación – Cantera Holcim*

<b>PASANTE DE</b>	<b>RETENIDO EN</b>	<b>GRADACIÓN B</b>	
37,5 mm	25 mm	(g)	0,00
25 mm	19 mm	(g)	0,00
19 mm	12,5 mm	(g)	2502,90
12,5 mm	9,5 mm	(g)	2506,00
9,5 mm	6,3 mm	(g)	0,00
6,3 mm	4,75 mm	(g)	0,00
4,75 mm	2,36 mm	(g)	0,00
B	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (TOTAL)	(g)	5008,90
C	MASA RETENIDA EN TAMIZ No. 12 (1.70mm)	(g)	4026,40

$$D = \frac{5008.90 - 4026.40}{5008.90} * 100 = 19.62\%$$

### Cantera Pintag

**Tabla 22**

*Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación - Cantera Pintag*

PASANTE DE	RETENIDO EN	GRADACIÓN B
37,5 mm	25 mm	(g) 0,00
25 mm	19 mm	(g) 0,00
19 mm	12,5 mm	(g) 2503,30
12,5 mm	9,5 mm	(g) 2504,30
9,5 mm	6,3 mm	(g) 0,00
6,3 mm	4,75 mm	(g) 0,00
4,75 mm	2,36 mm	(g) 0,00
B	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (TOTAL)	(g) 5007,60
C	MASA RETENIDA EN TAMIZ N.º 12 (1.70mm)	(g) 3813,20

$$D = \frac{5007.60 - 3813.20}{5007.60} * 100 = 23.85\%$$

### Cantera Cymca – Guayllabamba

**Tabla 23**

*Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación - Cantera Cymca*

PASANTE DE	RETENIDO EN	GRADACIÓN A
37,5 mm	25 mm	(g) 1252,48
25 mm	19 mm	(g) 1250,94
19 mm	12,5 mm	(g) 1251,18
12,5 mm	9,5 mm	(g) 1253,19
9,5 mm	6,3 mm	(g) 0,00
6,3 mm	4,75 mm	(g) 0,00
4,75 mm	2,36 mm	(g) 0,00
B	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (TOTAL)	(g) 5007,79
C	MASA RETENIDA EN TAMIZ N.º 12 (1.70mm)	(g) 4024,90

$$D = \frac{5007.79 - 4024.90}{5007.79} * 100 = 19.63\%$$

### Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe

**Tabla 24**

*Masas retenidas, inicial y remanente del ensayo de degradación - cantera Sevilla y Sevilla*

PASANTE DE	RETENIDO EN	GRADACIÓN A
37,5 mm	25 mm	(g) 1253,08
25 mm	19 mm	(g) 1252,07
19 mm	12,5 mm	(g) 1251,26
12,5 mm	9,5 mm	(g) 1253,25
9,5 mm	6,3 mm	(g) 0,00
6,3 mm	4,75 mm	(g) 0,00
4,75 mm	2,36 mm	(g) 0,00
B	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (TOTAL)	(g) 5009,66
C	MASA RETENIDA EN TAMIZ N.º 12 (1.70mm)	(g) 2579,90

$$D = \frac{5009.66 - 2579.90}{5009.66} * 100 = 48.50\%$$

### Caracterización Agregados Finos

#### **Humedad**

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 862, 2011) , en la tabla 9 el menor valor para el tamaño máximo nominal del árido es de 4.75 mm, y la masa mínima a tomar para este valor es de 500gr, sin embargo, como el agregado fino de todas las canteras de estudio es menor a este diámetro de agregado se tomó un valor aproximado.

#### **Cantera Holcim – Pifo**

$$W_1 \% = \frac{25.13}{668.04} * 100 = 3.76\%$$

$$W_2 \% = \frac{23.79}{668.45} * 100 = 3.71\%$$

$$W \% = \frac{3.76 + 3.71}{2} = 3.74\%$$

#### **Cantera Pintag**

$$W_1 \% = \frac{6.26}{421.64} * 100 = 1.48\%$$

$$W_2 \% = \frac{2.71}{295.01} * 100 = 0.92\%$$

$$W \% = \frac{1.48 + 0.92}{2} = 1.20\%$$

### Cantera Cymca - Guayllabamba

$$W_1 \% = \frac{25.83}{374.45} * 100 = 6.90\%$$

$$W_2 \% = \frac{26.70}{379.31} * 100 = 7.04\%$$

$$W \% = \frac{6.90 + 7.04}{2} = 6.97\%$$

### Cantera Sevilla & Sevilla - Cayambe

$$W_1 \% = \frac{22.80}{385.63} * 100 = 5.91\%$$

$$W_2 \% = \frac{24.46}{460.54} * 100 = 5.31\%$$

$$W \% = \frac{5.91 + 5.31}{2} = 5.61\%$$

### Figura 32

*Muestra seca humedad – Holcim*



**Figura 33**

*Muestra seca humedad – Pintag*

**Figura 34**

*Muestra seca humedad – Cymca*

**Figura 35**

*Muestra seca humedad – Sevilla*



### **Densidad relativa y absorción**

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 856, 2010), el objetivo es determinar el porcentaje de absorción del agregado fino, y la densidad relativa o también conocida como gravedad específica, de una cantidad grande de partículas, y al igual que los áridos gruesos, esta norma no aplica para el uso de áridos livianos.

Es necesario conocer que existen dos procedimientos válidos que contempla la norma, el primero es gravimétrico, y el segundo es volumétrico. Se siguió el procedimiento gravimétrico para la determinación de la absorción y la densidad relativa. Para llevar a cabo este ensayo, se requiere del uso de una balanza con una precisión de 0.1 gr o del 0.1% de la masa a ensayar, un picnómetro de 1000 cm<sup>3</sup> de capacidad, un embudo para poder verter el árido fino sin desperdicio alguno, 500 gr de árido fino, agua destilada, una bomba de vacíos, y un horno capaz de mantener la temperatura a 110°C con una precisión de 5°C (NTE INEN 856, 2010).

El procedimiento a seguir consiste en secar completamente la muestra (figura 36), posteriormente dicha muestra debe alcanzar una humedad del 6% o mayor mediante la adición o inmersión en agua, la cual debe encontrarse a temperatura ambiente durante 24 horas con una precisión de 4 horas (figura 37). (NTE INEN 856, 2010).

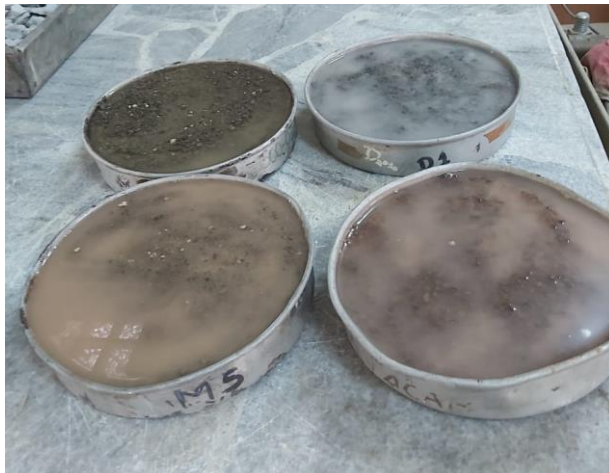
#### **Figura 36**

*Muestra seca inicial para absorción - Árido fino*



**Figura 37**

*Muestra saturada para absorción - Árido fino*



Una vez que se cumple dicho período, se procede a secar superficialmente la muestra sobre una superficie lisa y no absorbente, con la ayuda de una brisa caliente o simplemente expuesta al sol y removiendo las partículas para garantizar un secado homogéneo (figura 38), una vez que la muestra se encuentra en estado superficialmente seco se pesa 500 gr con la ayuda de una balanza (figura 39). (NTE INEN 856, 2010).

**Figura 38**

*Muestra Saturada Superficialmente Seca (SSS) - Árido fino*



**Figura 39**

*Muestra de 500 gr SSS - Árido fino*



Para poder empezar el procedimiento gravimétrico se debe conocer la masa del picnómetro tanto vacío como lleno hasta la marca de calibración, una vez que se cuente con estos valores, se llena el picnómetro de forma parcial para poder ingresar la muestra en estado superficialmente seco dentro del picnómetro con la ayuda de un embudo para evitar la pérdida del material (figura 40). Con la ayuda de la bomba de vacíos procedemos a quitar todas las burbujas de aire que se encuentren dentro de la muestra (figura 41). Se añade agua destilada hasta la marca de calibración para regular la temperatura del picnómetro a aproximadamente 23°C con una precisión de 3°C (figura 42) y se registra su masa (figura 43). Se desaloja completamente la muestra evitando perder partículas en el proceso para secar con la ayuda de un horno y poder registrar su masa en estado seco (figura 44). (NTE INEN 856, 2010).



**Figura 40**

*Adición de muestra SSS al picnómetro - Árido fino*

**Figura 41**

*Bomba de vacíos en funcionamiento*



**Figura 42**

*Llenado del picnómetro a marca de calibración*

**Figura 43**

*Determinación masa picnómetro, agua y muestra*



**Figura 44**

*Secado al horno de muestra para absorción - Árido fino*



Una vez que se determinan las masas correspondientes a los estados saturado, saturado superficialmente seco y seco, se procede a realizar los cálculos correspondientes a la densidad aparente o gravedad específica mediante la ecuación (1) y la absorción mediante la ecuación (3).

#### **Cantera Holcim – Pifo**

$$T = 19.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9982 * 477.88}{(1251.7 + 477.88 - 1559.44)} = 2.803 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, finos \%} = \frac{(500 - 477.88)}{477.88} * 100 = 4.6 \%$$

#### **Cantera Pintag**

$$T = 19.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma = 0.9983 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9983 * 474.70}{(1251.7 + 474.70 - 1546.46)} = 2.633 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, finos \%} = \frac{(500 - 474.70)}{474.70} * 100 = 5.3 \%$$

### Cantera Cymca – Guayllabamba

$$T = 20.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{0.9982 * 474.69}{(1251.7 + 474.69 - 1547.15)} = 2.643 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, finos \%} = \frac{(500 - 474.69)}{474.69} * 100 = 5.3 \%$$

### Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe

$$T = 20.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 0.9981 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{ensidad Aparente} = \frac{0.9981 * 467.43}{(1251.7 + 467.43 - 1542.11)} = 2.635 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Absorción, finos \%} = \frac{(500 - 467.43)}{467.43} * 100 = 5.3 \%$$

### **Masa unitaria seca y compactada**

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 858, 2010), el volumen máximo del molde para árido fino se basa en la tabla 11, la cual está acorde al tamaño máximo nominal. Por lo tanto, para todas las canteras al tener un tamaño menor a 12.5 mm (1/2”), se puede usar un molde de mínimo 2.8 litros para realizar el ensayo.

El molde tiene un peso de 2634.80 gr, y sus dimensiones son las siguientes; 15.2 cm de diámetro y 16 cm de altura lo que nos da un volumen de 2 903.33 cm<sup>3</sup> o 2.903 litros.

### Cantera Holcim – Pifo

$$P_V = \frac{7644.80 - 2634.80}{2903.33} = 1.73 \text{ g/cm}^3$$

**Cantera Pintag**

$$P_V = \frac{7400.6 - 2634.80}{2903.33} = 1.641 \text{ g/cm}^3$$

**Cantera Cymca – Guayllabamba**

$$P_V = \frac{7211.5 - 2634.80}{2903.33} = 1.576 \text{ g/cm}^3$$

**Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe**

$$P_V = \frac{7380.90 - 2634.80}{2903.33} = 1.635 \text{ g/cm}^3$$

**Granulometría**

Primero se debe determinar la masa mínima que se necesita para el ensayo, para el caso de los áridos finos no debe ser menor a 300 gr, tomando en cuenta que el agregado se encuentra con humedad se recomienda siempre tomar más cantidad de la antes mencionada, posteriormente se procede a secar la muestra con la ayuda del horno hasta alcanzar una masa constante (NTE INEN 696, 2011).

Se deben separar los tamices a utilizar los cuales son: 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, y No. 100 para agregados finos (figura 31) y 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, y No. 8 para agregados gruesos (figura 45). (NTE INEN 696, 2011).

**Figura 45**

*Tamices necesarios a utilizarse para ensayo de granulometría - Árido fino*



Según la norma (American Society for Testing Materials, 1999) existe una faja granulométrica donde se determinan los límites mínimos y máximos para agregado fino según la tabla 25. El material pétreo debería encontrarse dentro de estos límites para considerarse apropiado.

**Tabla 25**

*Límites mínimos y máximos para una granulometría apropiada - Árido fino*

Tamaño Nominal		Porcentaje Masa (%)
9,5 mm	3/8 in	100
4,75 mm	No. 4	95 a 100
2,36 mm	No. 8	80 a 100
1,18 mm	No. 16	50 a 85
600 μm	No. 30	25 a 60
300 μm	No. 50	5 a 30
150 μm	No. 100	0 a 10

*Nota.* Recuperado de (ASTM C33-C33M-11a, 1999)

### **Cantera Holcim – Pifo**

$$761.15 \text{ gr} \geq 763.21 \text{ gr} * 0.97$$

$$761.15 \text{ gr} \geq 740.31 \text{ gr}$$

## Ensayo válido

Tabla 26

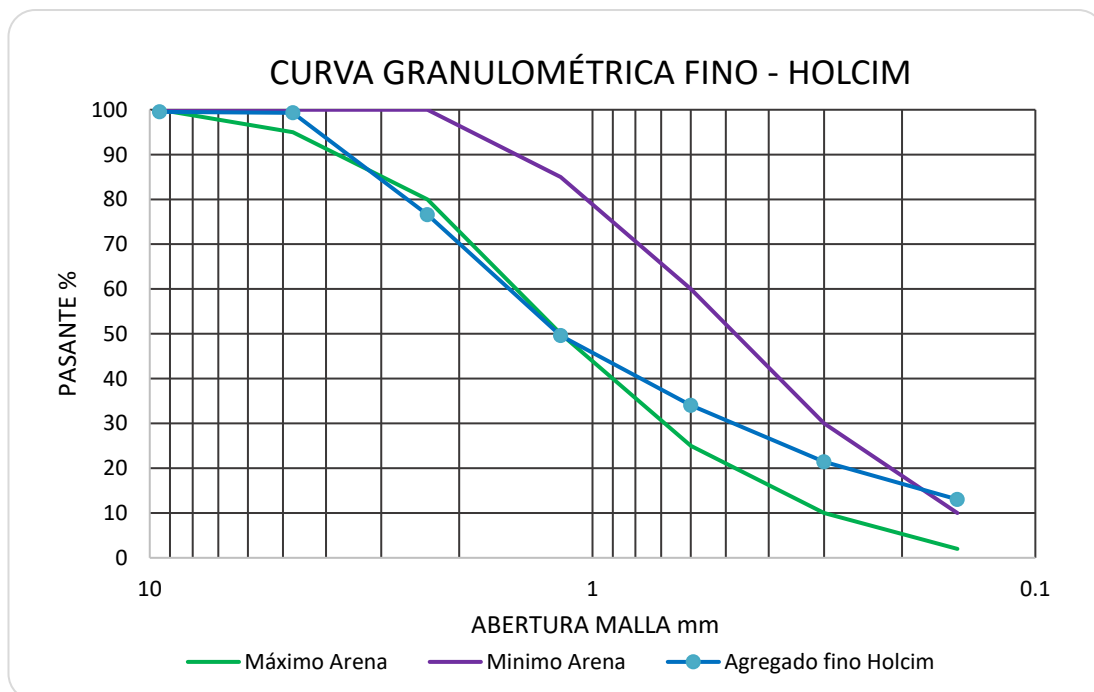
Granulometría árido fino - Cantera Holcim

Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3/8"	0,00	3,58	0,47	99,53
No. 4	1,57	5,15	0,68	99,32
No. 8	173,12	178,27	23,42	76,58
No. 16	205,37	383,64	50,40	49,60
No. 30	118,39	502,03	65,96	34,04
No. 50	95,98	598,01	78,57	21,43
No. 100	63,93	661,94	86,97	13,03
Pas No 100	99,21	761,15	100,00	0,00

Según la norma (ASTM C33-C33M-11a) esta granulometría no es muy apropiada porque no entra completamente en los límites permisibles para agregado fino, para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 46.

Figura 46

Granulometría árido fino - Cantera Holcim



$$MF = \frac{0.68 + 23.42 + 50.40 + 65.96 + 79.57 + 86.97}{100}$$

$$MF = 3.06$$

**Cantera Pintag**

$$644.06 \text{ gr} \geq 644.72 \text{ gr} * 0.97$$

$$644.06 \text{ gr} \geq 625.38 \text{ gr}$$

Ensayo válido

**Tabla 27**

*Granulometría árido fino - Cantera Pintag*

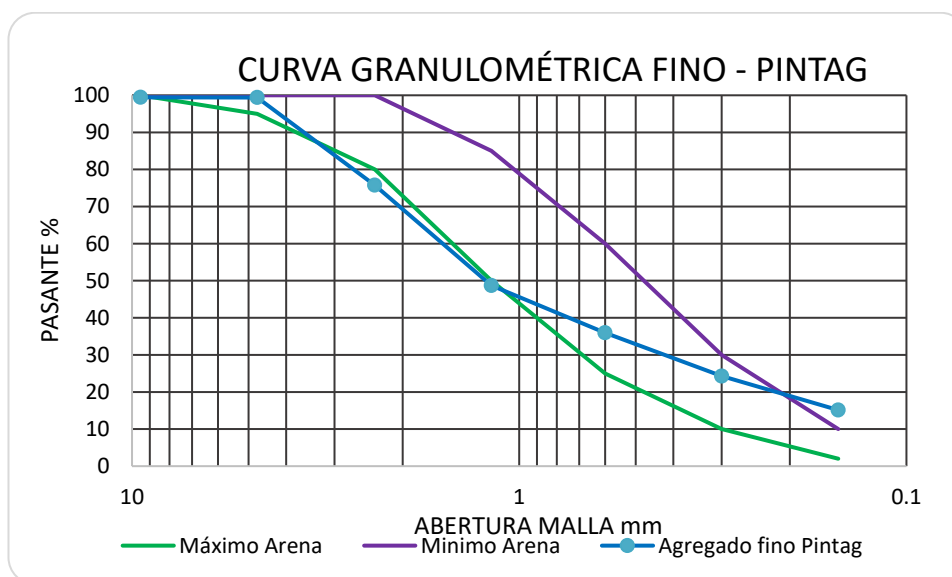
<b>Tamices</b>	<b>Peso retenido (gr)</b>	<b>Retenido acumulado</b>	<b>Retenido acumulado (%)</b>	<b>Pasante (%)</b>
3/8"	0,00	3,58	0,56	99,44
No. 4	0,21	3,79	0,59	99,41
No. 8	152,40	156,19	24,25	75,75
No. 16	174,10	330,29	51,28	48,72
No. 30	82,17	412,46	64,04	35,96
No. 50	75,13	487,59	75,71	24,29
No. 100	59,13	546,72	84,89	15,11
Pas No 100	97,34	644,06	100,00	0,00

Según la norma (ASTM C33-C33M-11a) esta granulometría no es muy apropiada porque no entra completamente en los límites permisibles para agregado fino, para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 47.



Figura 47

Granulometría árido fino - Cantera Pintag



$$MF = \frac{0.59 + 24.25 + 51.28 + 64.04 + 75.71 + 84.89}{100}$$

$$MF = 3.01$$

**Cantera Cymca – Guayllabamba**

$$806.76 \text{ gr} \geq 806.51 \text{ gr} * 0.97$$

$$806.76 \text{ gr} \geq 782.31 \text{ gr}$$

Ensayo válido

Tabla 28

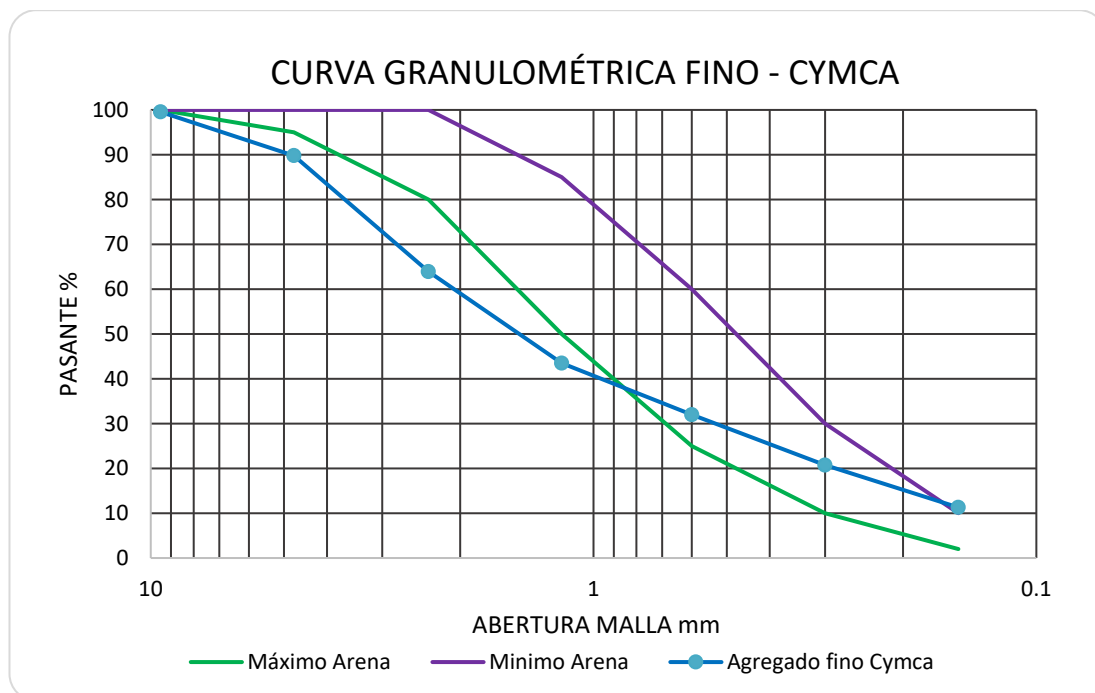
Granulometría árido fino - Cantera Cymca

Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3/8"	0,00	3,58	0,44	99,56
No. 4	78,70	82,28	10,20	89,80
No. 8	208,80	291,08	36,08	63,92
No. 16	164,83	455,91	56,51	43,49
No. 30	92,78	548,69	68,01	31,99
No. 50	90,78	639,47	79,26	20,74
No. 100	76,23	715,70	88,71	11,29
Pas No 100	91,06	806,76	100,00	0,00

Según la norma (ASTM C33-C33M-11a) esta granulometría no es muy apropiada porque no entra completamente en los límites permisibles para agregado fino, para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 48.

**Figura 48**

*Granulometría árido fino - Cantera Cymca*



$$MF = \frac{10.20 + 36.08 + 56.51 + 68.01 + 79.26 + 88.71}{100}$$

$$MF = 3.39$$

### Cantera Sevilla & Sevilla – Cayambe

$$526.41 \text{ gr} \geq 529.63 \text{ gr} * 0.97$$

$$526.41 \text{ gr} \geq 513.74 \text{ gr}$$

Ensayo válido

Tabla 29

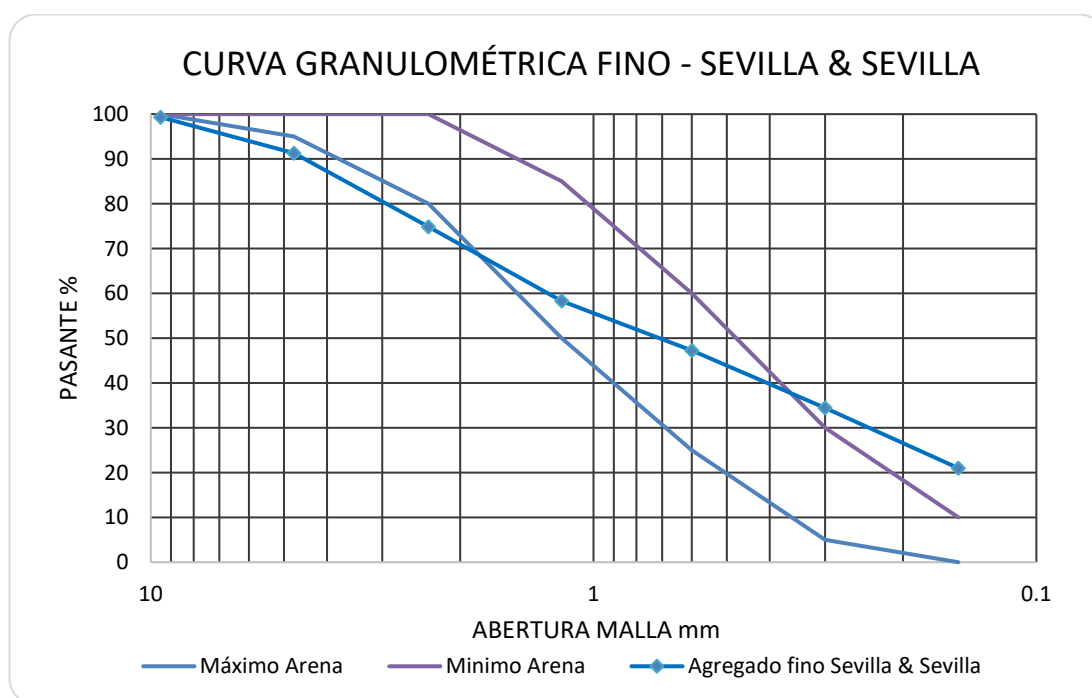
Granulometría árido fino - Cantera Sevilla & Sevilla

Tamices	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3/8"	3,58	3,58	0,68	99,32
No. 4	42,24	45,82	8,70	91,30
No. 8	86,55	132,37	25,15	74,85
No. 16	87,09	219,46	41,69	58,31
No. 30	58,23	277,69	52,75	47,25
No. 50	67,44	345,13	65,56	34,44
No. 100	70,76	415,89	79,00	21,00
Pas No. 100	110,52	526,41	100,00	0,00

Según la norma (ASTM C33-C33M-11a) esta granulometría no es muy apropiada porque no entra completamente en los límites permisibles para agregado fino, para una mejor visualización se la puede apreciar en la figura 49.

Figura 49

Granulometría árido fino - Cantera Sevilla & Sevilla



$$MF = \frac{8.70 + 25.15 + 41.69 + 52.75 + 65.56 + 79.00}{100}$$

$$MF = 2.73$$

## Resumen de caracterización

### *Agregado Grueso*

**Tabla 30**

Características del agregado grueso

Característica	Unidad	Cantera			
		Holcim	Pintag	Cymca	Sevilla
Humedad	%	1,65	0,18	1,35	0,21
Densidad aparente seca	kg/dm <sup>3</sup>	2,71	2,49	2,66	2,45
Absorción	%	1,90	3,41	2,10	4,01
Tamaño Nominal	in	3/4	3/4	1	1
Degradación	%	19,62	23,85	19,63	48,50
Masa unitaria seca y compactada	kg	1,56	1,29	1,42	1,36
Vacíos	%	13,44	15,99	15,42	18,82

### *Agregado fino*

**Tabla 31**

Características del agregado fino

Característica	Unidad	Cantera			
		Holcim	Pintag	Cymca	Sevilla
Humedad	%	3,74	1,20	6,97	5,61
Densidad aparente seca	kg/dm <sup>3</sup>	2,80	2,63	2,64	2,64
Módulo de finura	Adim	3,06	3,01	3,39	2,73
Absorción	%	4,63	5,33	5,33	6,97
Masa unitaria seca y compactada	kg/dm <sup>3</sup>	1,73	1,64	1,58	1,63
Vacíos	%	26,47	20,96	20,92	27,23

## Dosificación

- i. Asentamiento: Se escoge un valor de 10 cm para las 24 dosificaciones con la finalidad de obtener una buena manejabilidad del hormigón (Asentamiento = 10 cm).
- ii. Tamaño máximo nominal del agregado grueso: Los tamaños máximos de las canteras de Pintag y Holcim son de 3/4 in, y para las canteras de Cymca y Sevilla son de 1 in.
- iii. Agua para la mezcla: Para obtener un valor más aproximado, se debe interpolar los valores obtenidos con las ecuaciones mostradas en la figura 8.

**Tabla 32**

*Agua para la mezcla*

Tamaño Máximo Nominal		Agua para la mezcla
in	mm	dm <sup>3</sup>
3/4	19.05	202.04
1	25.40	194.47

- iv. Resistencia de diseño: Se decide tomar un valor de 8, tomando en cuenta que es un valor regular para laboratorio como se muestra en la tabla 6 y así poder simular condiciones reales en una obra convencional, en las cuales no se tiene un control muy riguroso del curado, así como de las cantidades de material que se mezcla, y la cantidad de humedad que tiene la mezcla durante la fundición. (Grado de Control = 8 Adim).

Acorde a la tabla 6 e interpolando los valores más próximos de las curvas mostradas en la figura 9 se obtiene las siguientes resistencias de diseño.

**Tabla 33**

*Resistencias de diseño corregidas mediante el grado de control*

Resistencia requerida kg/cm <sup>2</sup>	Grado de control Adim	Resistencia de diseño kg/cm <sup>2</sup>
180	8	202,16
210	8	235,18
240	8	269,31
270	8	304,55
315	8	351,00
350	8	394,44

- v. Relación agua/cemento (A/C): Para la relación agua cemento se debe interpolar los valores más próximos acorde a la tabla 7, para las cuales se obtiene las siguientes relaciones:

**Tabla 34**

*Relación agua/cemento para las resistencias de diseño*

Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Relación Agua/Cemento por peso
180	0,60
210	0,53
240	0,46
270	0,40
315	0,31
350	0,22

- vi. Contenido de Cemento: Para obtener el contenido de cemento en peso, se debe utilizar la ecuación (9), para lo cual se muestra un ejemplo utilizando material de Holcim (3/4 in) y para una resistencia de 180 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto:

$$c = \frac{202.04}{0.60} = 339.17 \text{ kg}$$

Realizando el mismo proceso para las diferentes dosificaciones de las canteras en estudio se tiene:

**Tabla 35**

*Peso del cemento en kg acorde a la relación A/C, tamaño máximo nominal y resistencia*

Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Tamaño Máximo agregado (in)	
	3/4	1
180	339,17	326,46
210	381,47	367,17
240	437,90	421,49
270	507,73	488,71
315	655,84	631,27
350	903,36	869,51

- vii. Contenido de Agregados: Para determinar la cantidad de agregado grueso se requiere usar la ecuación (10), la densidad seca aparente y la masa unitaria seca y compactada son necesarios. Así como la ecuación (11), de la cual es primordial interpolar los valores más próximos según la tabla 8 para tamaño nominal junto al módulo de finura de cada material. Para lo cual se muestra un ejemplo utilizando material de Holcim y para cualquier resistencia de esta, ya que no es dependiente de la resistencia sino de las características del material. Por lo tanto:

$$MF (\text{Holcim}) = 3.06 \text{ Adim} \rightarrow b' = 0.59 \text{ m}^3$$

$$B = \frac{1.56 \text{ kg/dm}^3}{2.71 \text{ kg/dm}^3} * 0.59 = 0.34 \text{ m}^3$$

Al realizar este procedimiento para todas las dosificaciones de las 4 canteras se obtiene lo siguiente:

**Tabla 36**

*Volumen de agregado grueso para cada una de las canteras estudiadas*

CARACTERÍSTICAS	UNID.	HOLCIM	PINTAG	CYMCA	SEVILLA
Módulo de Finura	Adim	3,06	3,01	3,39	2,73
Coefficiente de volumen	m <sup>3</sup>	0,59	0,59	0,61	0,68
Densidad Aparente	kg/dm <sup>3</sup>	2,71	2,49	2,66	2,45

Masa Unitaria seca y compactada	kg/dm <sup>3</sup>	1,56	1,29	1,42	1,36
Volumen de agregado grueso	m <sup>3</sup>	0,34	0,31	0,33	0,38

No obstante, se requiere conocer el volumen total de agregados a utilizar en la mezcla, así como, el porcentaje de agregado fino que se debe mezclar, por lo tanto, se utiliza las ecuaciones (12) y (13) respectivamente. Para ejemplo se toma la misma dosificación que se ha tratado anteriormente (Holcim 180 kg/cm<sup>2</sup>).

$$Ck = 1000 - \frac{339.17}{3.14} - 202.4 = 689.95 \text{ dm}^3$$

$$P = \frac{689.95 - 1000 * 0.34}{689.95} * 100 = 51.15 \%$$

Al realizar este procedimiento para todas las dosificaciones de las 4 canteras se obtiene lo siguiente:

**Tabla 37**

*Volumen de agregados y porcentaje de finos para la mezcla de todas las dosificaciones de las 4 canteras de estudio*

CANTERA	Resistencia	Contenido de Cemento	Agua de mezcla	Ck	B	P
	kg/cm <sup>2</sup>	kg	dm <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%
HOLCIM	180	339,17	202,04	689,95	0,34	51,15
	210	381,47	202,04	676,48	0,34	50,17
	240	437,90	202,04	658,51	0,34	48,81
	270	507,73	202,04	636,27	0,34	47,03
	315	655,84	202,04	589,10	0,34	42,78
	350	903,36	202,04	510,27	0,34	33,95
PINTAG	180	339,17	202,04	689,95	0,31	55,66
	210	381,47	202,04	676,48	0,31	54,78
	240	437,90	202,04	658,51	0,31	53,54
	270	507,73	202,04	636,27	0,31	51,92
	315	655,84	202,04	589,10	0,31	48,07
	350	903,36	202,04	510,27	0,31	40,04



CANTERA	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de Cemento kg	Agua de mezcla dm <sup>3</sup>	Ck dm <sup>3</sup>	B m <sup>3</sup>	P %
CYMCA	180	326,46	194,47	701,56	0,33	53,23
	210	367,17	194,47	688,60	0,33	52,35
	240	421,49	194,47	671,30	0,33	51,13
	270	488,71	194,47	649,89	0,33	49,52
	315	631,27	194,47	604,49	0,33	45,72
	350	869,51	194,47	528,62	0,33	37,93
SEVILLA	180	326,46	194,47	701,56	0,38	46,31
	210	367,17	194,47	688,60	0,38	45,30
	240	421,49	194,47	671,30	0,38	43,89
	270	488,71	194,47	649,89	0,38	42,04
	315	631,27	194,47	604,49	0,38	37,68
	350	869,51	194,47	528,62	0,38	28,74

- viii. Proporciones iniciales: Para determinar las proporciones de los materiales primero se debe calcular el valor de K mediante la ecuación (14) y así calcular la proporción que existe de arena y ripio se requiere el uso de las ecuaciones (15) y (16) respectivamente. Para ejemplo se continúa dosificando para la resistencia de 180 kg/cm<sup>2</sup> y para la cantera de Holcim.

$$K = \frac{689.95}{339.17} = 2.03 \frac{kg}{dm^3}$$

$$Arena = \frac{2.03 * 51.15}{100} * 2.80 = 2.92 [Adim]$$

$$Ripio = \frac{2.03 * (100 - 51.15)}{100} * 2.71 = 2.69 [Adim]$$

Al realizar este procedimiento para todas las resistencias de las 4 canteras se obtiene la dosificación con material en estado seco.

Tabla 38

*Proporciones de arena y ripio en condiciones secas*

CANTERA	Resistencia	K	Agregado fino	Densidad aparente seca finos	Densidad aparente seca grueso	Arena	Ripio
	kg/cm <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /kg	%	kg/dm <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	Adim	Adim
HOLCIM	180	2,03	51,15	2,80	2,71	2,92	2,69
	210	1,77	50,17	2,80	2,71	2,49	2,39
	240	1,50	48,81	2,80	2,71	2,06	2,09
	270	1,25	47,03	2,80	2,71	1,65	1,80
	315	0,90	42,78	2,80	2,71	1,08	1,39
	350	0,56	33,95	2,80	2,71	0,54	1,01
PINTAG	180	2,03	55,66	2,63	2,49	2,98	2,25
	210	1,77	54,78	2,63	2,49	2,56	2,00
	240	1,50	53,54	2,63	2,49	2,12	1,74
	270	1,25	51,92	2,63	2,49	1,71	1,50
	315	0,90	48,07	2,63	2,49	1,14	1,16
	350	0,56	40,04	2,63	2,49	0,60	0,84
CYMCA	180	2,15	53,23	2,64	2,66	3,02	2,67
	210	1,88	52,35	2,64	2,66	2,60	2,37
	240	1,59	51,13	2,64	2,66	2,15	2,07
	270	1,33	49,52	2,64	2,66	1,74	1,78
	315	0,96	45,72	2,64	2,66	1,16	1,38
	350	0,61	37,93	2,64	2,66	0,61	1,00
SEVILLA	180	2,15	46,31	2,64	2,45	2,62	2,83
	210	1,88	45,30	2,64	2,45	2,24	2,51
	240	1,59	43,89	2,64	2,45	1,84	2,19
	270	1,33	42,04	2,64	2,45	1,47	1,89
	315	0,96	37,68	2,64	2,45	0,95	1,46
	350	0,61	28,74	2,64	2,45	0,46	1,06

ix. Dosificación:

**Tabla 39**

*Dosificaciones en estado seco de todas las dosificaciones de las 4 canteras de estudio*

CANTERA	Resistencia	Relación	Cemento	Arena	Ripio
	kg/cm <sup>2</sup>	Agua/Cemento Adim	Adim	Adim	Adim
HOLCIM	180	0,60	1,00	2,92	2,69
	210	0,53	1,00	2,49	2,39
	240	0,46	1,00	2,06	2,09
	270	0,40	1,00	1,65	1,80
	315	0,31	1,00	1,08	1,39
	350	0,22	1,00	0,54	1,01
PINTAG	180	0,60	1,00	2,98	2,25
	210	0,53	1,00	2,56	2,00
	240	0,46	1,00	2,12	1,74
	270	0,40	1,00	1,71	1,50
	315	0,31	1,00	1,14	1,16
	350	0,22	1,00	0,60	0,84
CYMCA	180	0,60	1,00	3,02	2,67
	210	0,53	1,00	2,60	2,37
	240	0,46	1,00	2,15	2,07
	270	0,40	1,00	1,74	1,78
	315	0,31	1,00	1,16	1,38
	350	0,22	1,00	0,61	1,00
SEVILLA	180	0,60	1,00	2,62	2,83
	210	0,53	1,00	2,24	2,51
	240	0,46	1,00	1,84	2,19
	270	0,40	1,00	1,47	1,89
	315	0,31	1,00	0,95	1,46
	350	0,22	1,00	0,46	1,06

**Corrección por humedad**

i. Cantidad de cemento en peso:

$$\frac{1}{1 + 2.92 + 2.69} * 0.0328 * 3140 = 15.60 \text{ kg}$$

Tabla 40

Cantidad de cemento en peso

CANTERA	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Relación A/C por peso	Cemento Adim	Arena Adim	Ripio Adim	Cilindros Unid	Vol. Cilindros m <sup>3</sup>	Cemento kg
HOLCIM	180	0,60	1,00	2,92	2,69	6,00	0,0328	15,60
	210	0,53	1,00	2,49	2,39	6,00	0,0328	17,51
	240	0,46	1,00	2,06	2,09	6,00	0,0328	20,04
	270	0,40	1,00	1,65	1,80	6,00	0,0328	23,16
	315	0,31	1,00	1,08	1,39	6,00	0,0328	29,71
	350	0,22	1,00	0,54	1,01	6,00	0,0328	40,45
PINTAG	180	0,60	1,00	2,98	2,25	6,00	0,0328	16,54
	210	0,53	1,00	2,56	2,00	6,00	0,0328	18,55
	240	0,46	1,00	2,12	1,74	6,00	0,0328	21,20
	270	0,40	1,00	1,71	1,50	6,00	0,0328	24,45
	315	0,31	1,00	1,14	1,16	6,00	0,0328	31,24
	350	0,22	1,00	0,60	0,84	6,00	0,0328	42,24
CYMCA	180	0,60	1,00	3,02	2,67	6,00	0,0328	15,40
	210	0,53	1,00	2,60	2,37	6,00	0,0328	17,27
	240	0,46	1,00	2,15	2,07	6,00	0,0328	19,75
	270	0,40	1,00	1,74	1,78	6,00	0,0328	22,79
	315	0,31	1,00	1,16	1,38	6,00	0,0328	29,14
	350	0,22	1,00	0,61	1,00	6,00	0,0328	39,47
SEVILLA	180	0,60	1,00	2,62	2,83	6,00	0,0328	15,99
	210	0,53	1,00	2,24	2,51	6,00	0,0328	17,93
	240	0,46	1,00	1,84	2,19	6,00	0,0328	20,50
	270	0,40	1,00	1,47	1,89	6,00	0,0328	23,64
	315	0,31	1,00	0,95	1,46	6,00	0,0328	30,22
	350	0,22	1,00	0,46	1,06	6,00	0,0328	40,89

## ii. Cantidad de áridos en estado seco:

$$\text{Áridos finos: } 15.60 * 2.92 = 45.49 \text{ kg}$$

$$\text{Áridos gruesos: } 15.60 * 2.69 = 42.01 \text{ kg}$$

**Tabla 41 Cantidad de agregados en estado seco**

CANTERA	Resistencia	Arena	Ripio	Cemento	Arena Seca	Ripio Seco
	kg/cm <sup>2</sup>	Adim	Adim	kg	kg	kg
HOLCIM	180	2,92	2,69	15,60	45,49	42,01
	210	2,49	2,39	17,51	43,67	41,92
	240	2,06	2,09	20,04	41,25	41,81
	270	1,65	1,80	23,16	38,26	41,67
	315	1,08	1,39	29,71	32,01	41,38
	350	0,54	1,01	40,45	21,74	40,91
PINTAG	180	2,98	2,25	16,54	49,33	37,23
	210	2,56	2,00	18,55	47,44	37,11
	240	2,12	1,74	21,20	44,95	36,95
	270	1,71	1,50	24,45	41,89	36,76
	315	1,14	1,16	31,24	35,51	36,35
	350	0,60	0,84	42,24	25,16	35,69
CYMCA	180	3,02	2,67	15,40	46,57	41,13
	210	2,60	2,37	17,27	44,82	41,00
	240	2,15	2,07	19,75	42,51	40,84
	270	1,74	1,78	22,79	39,66	40,65
	315	1,16	1,38	29,14	33,72	40,24
	350	0,61	1,00	39,47	24,06	39,57
SEVILLA	180	2,62	2,83	15,99	41,93	45,18
	210	2,24	2,51	17,93	40,13	45,04
	240	1,84	2,19	20,50	37,75	44,86
	270	1,47	1,89	23,64	34,83	44,63
	315	0,95	1,46	30,22	28,73	44,15
	350	0,46	1,06	40,89	18,83	43,38

iii. Cantidad de áridos con humedades naturales:

$$\text{Aridos finos: } 45.49 * 1.0374 = 47.19 \text{ kg}$$

$$\text{Aridos gruesos: } 42.01 * 1.0165 = 42.70 \text{ kg}$$

**Tabla 42**

*Peso de agregados húmedos (Estado natural)*

CANTERA	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Arena kg	Ripio kg	Humedad	Humedad	Peso humedad	
				natural finos %	natural gruesos %	Arena kg	Ripio kg
HOLCIM	180	45,49	42,01	3,74	1,65	47,19	42,70
	210	43,67	41,92	3,74	1,65	45,30	42,62
	240	41,25	41,81	3,74	1,65	42,79	42,50
	270	38,26	41,67	3,74	1,65	39,69	42,36
	315	32,01	41,38	3,74	1,65	33,20	42,07
	350	21,74	40,91	3,74	1,65	22,56	41,58
PINTAG	180	49,33	37,23	1,20	0,18	49,92	37,30
	210	47,44	37,11	1,20	0,18	48,01	37,18
	240	44,95	36,95	1,20	0,18	45,49	37,02
	270	41,89	36,76	1,20	0,18	42,39	36,82
	315	35,51	36,35	1,20	0,18	35,94	36,42
	350	25,16	35,69	1,20	0,18	25,46	35,76
CYMCA	180	46,57	41,13	6,97	1,35	49,82	41,68
	210	44,82	41,00	6,97	1,35	47,95	41,56
	240	42,51	40,84	6,97	1,35	45,47	41,40
	270	39,66	40,65	6,97	1,35	42,43	41,20
	315	33,72	40,24	6,97	1,35	36,07	40,78
	350	24,06	39,57	6,97	1,35	25,74	40,10
SEVILLA	180	41,93	45,18	5,61	0,21	44,28	45,28
	210	40,13	45,04	5,61	0,21	42,38	45,14
	240	37,75	44,86	5,61	0,21	39,87	44,95
	270	34,83	44,63	5,61	0,21	36,78	44,72
	315	28,73	44,15	5,61	0,21	30,34	44,25
	350	18,83	43,38	5,61	0,21	19,88	43,47

iv. Peso de agua efectiva:

$$\text{Aridos finos: } 45.49 * \left( \frac{3.74 - 4.63}{100} \right) = -0.41 \text{ kg}$$

$$\text{Aridos gruesos: } 42.01 * \left( \frac{1.75 - 1.90}{100} \right) = -0.10 \text{ kg}$$

v. Cantidad de agua corregida:

$$\text{Agua: } 15.60 * 0.60 = 9.29 \text{ kg}$$

$$\text{Peso agua aridos: } -0.41 - 0.10 = -0.51 \text{ kg}$$

$$\text{Agua corregida: } 9.29 + 0.51 = 9.80 \text{ kg}$$

Tabla 43

Cantidad de agua corregida

CANTERA	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Absorción finos %	Absorción gruesos %	Peso Agua		Áridos kg	Peso Agua kg	Agua Corregida kg
				Arena kg	Ripio kg			
HOLCIM	180	4,63	1,90	-0,41	-0,10	-0,51	9,29	9,80
	210	4,63	1,90	-0,39	-0,10	-0,49	9,27	9,76
	240	4,63	1,90	-0,37	-0,10	-0,47	9,25	9,72
	270	4,63	1,90	-0,34	-0,10	-0,44	9,22	9,66
	315	4,63	1,90	-0,29	-0,10	-0,39	9,15	9,54
	350	4,63	1,90	-0,19	-0,10	-0,29	9,05	9,34
PINTAG	180	5,33	3,41	-2,04	-1,20	-3,24	9,85	13,09
	210	5,33	3,41	-1,96	-1,20	-3,16	9,82	12,98
	240	5,33	3,41	-1,86	-1,19	-3,05	9,78	12,83
	270	5,33	3,41	-1,73	-1,19	-2,92	9,73	12,65
	315	5,33	3,41	-1,47	-1,17	-2,64	9,62	12,26
	350	5,33	3,41	-1,04	-1,15	-2,19	9,45	11,64
CYMCA	180	5,33	2,10	0,76	-0,31	0,46	9,18	8,72
	210	5,33	2,10	0,73	-0,31	0,43	9,15	8,72
	240	5,33	2,10	0,70	-0,30	0,39	9,11	8,72
	270	5,33	2,10	0,65	-0,30	0,35	9,07	8,72
	315	5,33	2,10	0,55	-0,30	0,25	8,98	8,72
	350	5,33	2,10	0,39	-0,29	0,10	8,83	8,73
SEVILLA	180	6,97	4,01	-0,57	-1,72	-2,29	9,52	11,81
	210	6,97	4,01	-0,54	-1,71	-2,26	9,50	11,75
	240	6,97	4,01	-0,51	-1,71	-2,22	9,46	11,67
	270	6,97	4,01	-0,47	-1,70	-2,17	9,41	11,58
	315	6,97	4,01	-0,39	-1,68	-2,07	9,31	11,38
	350	6,97	4,01	-0,26	-1,65	-1,91	9,15	11,05

### Fundición y toma de muestras

Para la fundición del hormigón se debe pesar el agua, cemento, arena y ripio (figura 50) para introducirlos a una mezcladora hasta que todos los materiales formen una mezcla homogénea (figura 51). Con un termómetro calibrado de precisión de 0.5 °C y dentro de un rango de 0 a 50 °C, introducir mínimo 3 pulgadas dentro de la mezcla en los primeros 5 minutos de haberse vertido el hormigón dentro del recipiente, y esperar hasta que la temperatura se estabilice (figura 52). (NTE INEN 3119, 2016).

#### Figura 50

*Materiales pesados y listos para la mezcla*





**Figura 51**

*Mezcla del material en la concretera*

**Figura 52**

*Toma de temperatura del hormigón fresco*



Otro de los ensayos que se realizan una vez que se mezcla el hormigón, es el control de asentamiento según la norma (ASTM C 1064, 1999) la cual indica que, utilizando un cono truncado de 10 cm de abertura en su parte superior, 20 cm en su parte inferior y una altura de 30 cm llamado cono de Abrams, se lo debe llenar en 3

capas iguales, se debe varillar cada capa 25 veces, considerando que cada capa superior la varilla debe penetrar 25 mm (1 pulgada) en la anterior (figura 53).

### Figura 53

*Ensayo del cono de Abrams para la determinación del revenimiento*



Al llenar la última capa se debe colocar exceso de material con el fin de que al varillar y enrasar el cono quede completamente lleno, una vez lleno se procede a retirar lentamente el cono y colocarlo a lado de la mezcla para que de esta manera se pueda medir el asentamiento (figura 54).

### Figura 54

*Determinación del revenimiento*



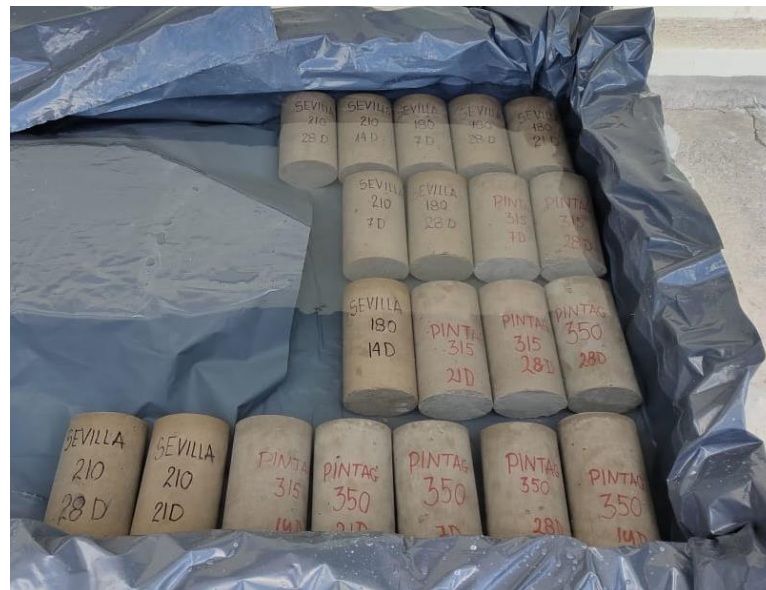
Luego de la verificación del asentamiento se procede a la preparación de las muestras según la norma (ASTM C 31/C 31M - 8a, 2008). se escoge el tamaño del cilindro de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura siempre cumpliendo la relación 2 a 1, el cilindro se lo llena en 3 capas equitativas, varillando cada capa 25 veces con una varilla lisa y dando un total de 12 golpes con un martillo de goma (3 en cada lado) con la finalidad de que el material se distribuya homogéneamente en todo el cilindro (figura 55).

### **Figura 55**

*Doce golpes para distribuir de mejor manera el hormigón fresco*



Una vez lleno el cilindro se lo debe enrasar para dejarlo reposar durante 24 horas en un lugar plano, cumplidas las 24 horas, se desencofra (figura 56) el cilindro para ponerlo a curar en una cámara de curado o una piscina con agua, la cual debe encontrarse entre 16°C y 27°C (figura 57), una muestra debe introducirse en la máquina de curado rápido y el resto en curado normal para su futura ruptura a los 7,14, 21 y 28 días respectivamente.

**Figura 56***Desencofrado de los cilindros de hormigón***Figura 57***Curado de los cilindros de hormigón en piscina improvisada*

Para la ruptura de las muestras de hormigón se debe dejar secar superficialmente el cilindro a ensayarse, luego se procede a tomar las medidas de base, altura y peso, datos necesarios para la máquina de compresión simple (figura 58).

**Figura 58**

*Preparación del cilindro para máquina de compresión simple*



## Capítulo 4: Análisis y Resultados

### Cantera Holcim - Pifo

#### Resistencia a compresión simple $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

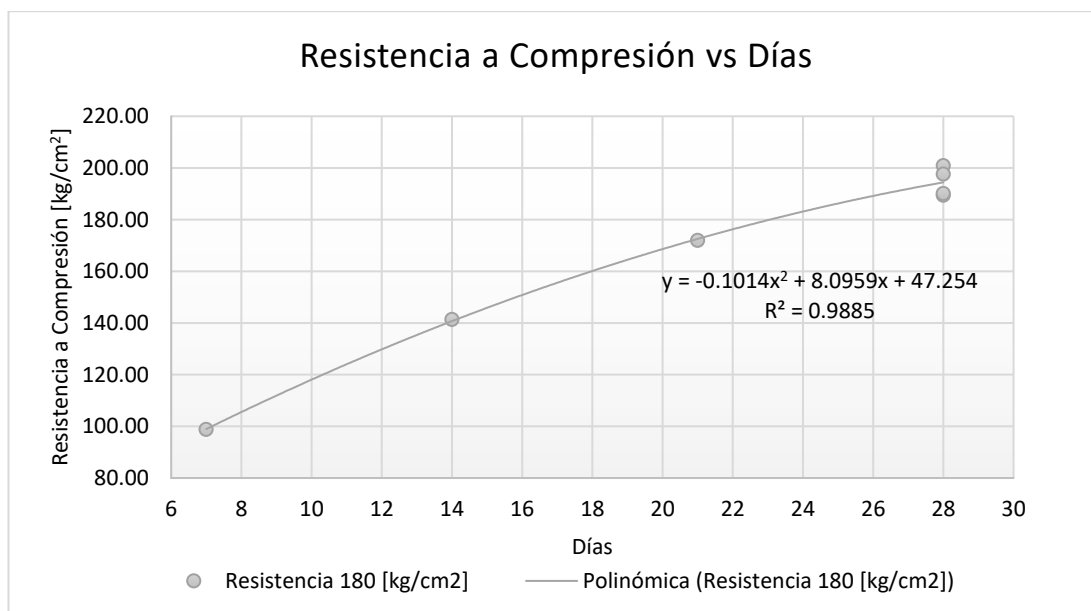
Tabla 44

Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  - Holcim

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	202,16	-	-	-	-	-
7	202,16	15,16	29,90	12530,20	17,82	98,75
14	202,16	15,20	30,30	12610,30	25,65	141,33
21	202,16	15,20	30,50	13102,70	31,20	171,92
28	202,16	15,15	30,30	12654,20	34,14	189,38
28	202,16	15,15	30,20	12634,20	36,20	200,84
28	202,16	15,15	30,10	12592,00	35,62	197,58
28	202,16	15,10	30,20	12628,90	34,04	190,06

Figura 59

Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  – Holcim



**Figura 60**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim*



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 45**

*Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	235,18	15,15	30,80	12892,30	43,63	242,03
7	235,18	15,24	30,75	13142,80	19,66	107,81
14	235,18	15,16	30,20	12607,70	30,37	168,24
21	235,18	15,15	30,10	12491,90	36,76	203,91
28	235,18	15,10	30,00	12550,30	38,74	216,34
28	235,18	15,10	30,30	12625,00	37,30	208,28
28	235,18	15,10	30,30	12699,10	41,23	230,23





### Resistencia a compresión simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 46**

Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  - Holcim

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	269,31	15,15	30,00	12324,20	43,98	243,95
7	269,31	15,15	30,00	12481,80	29,47	163,48
14	269,31	15,15	30,20	12659,90	34,96	193,95
21	269,31	15,17	29,90	12485,60	43,43	240,31
28	269,31	15,18	30,00	12524,90	48,20	266,33
28	269,31	15,25	30,00	12423,70	49,74	272,33

**Figura 63**

Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  – Holcim

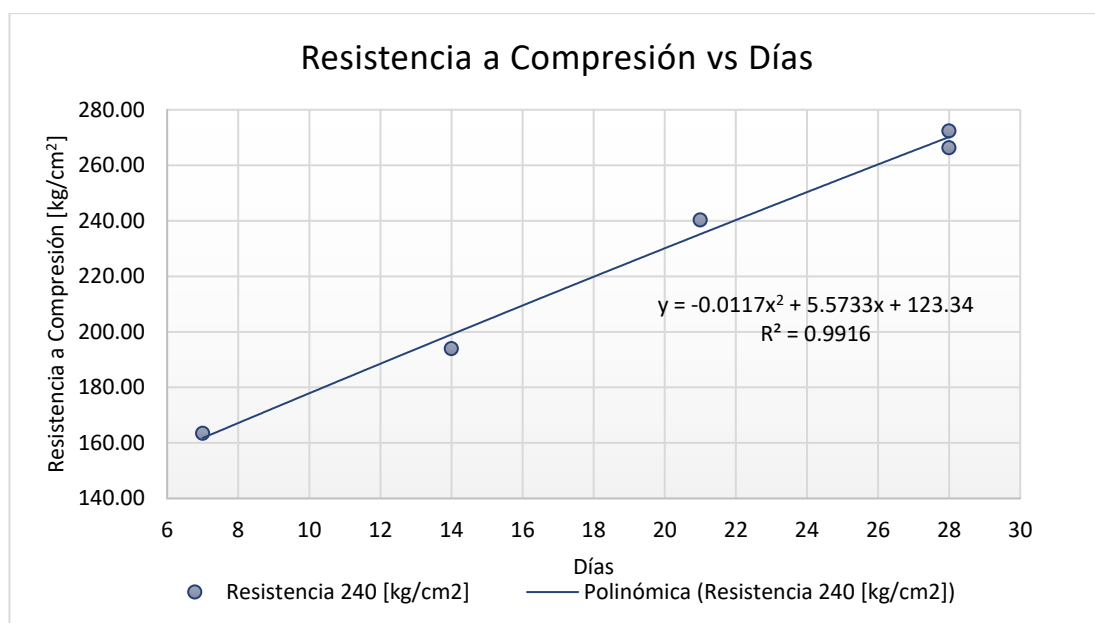


Figura 64

Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 270 \text{ kg/cm}^2$**

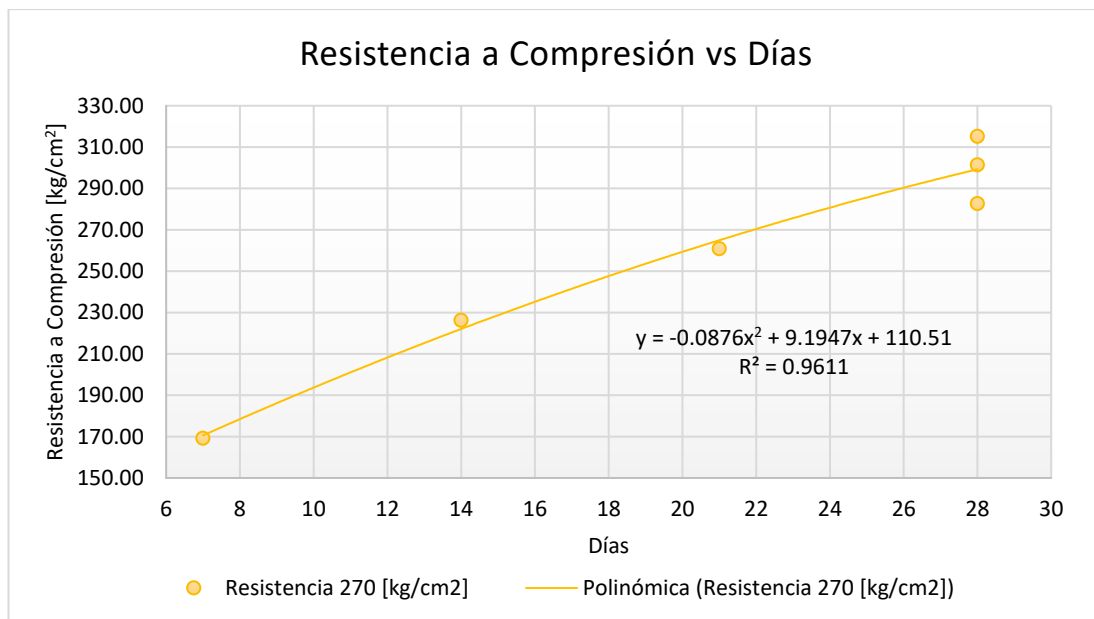
Tabla 47

Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	304,55	-	-	-	-	-
7	304,55	15,18	30,40	12940,70	30,70	169,19
14	304,55	15,26	30,60	12809,90	41,38	226,25
21	304,55	15,20	30,80	12784,90	47,32	260,78
28	304,55	15,17	30,30	12,817,9	51,09	282,65
28	304,55	15,30	30,30	12990,80	55,41	301,40
28	304,55	15,20	30,60	12845,50	57,19	315,16

**Figura 65**

*Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim*

**Figura 66**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim*



### Resistencia a compresión simple $f'c = 315 \text{ kg/cm}^2$

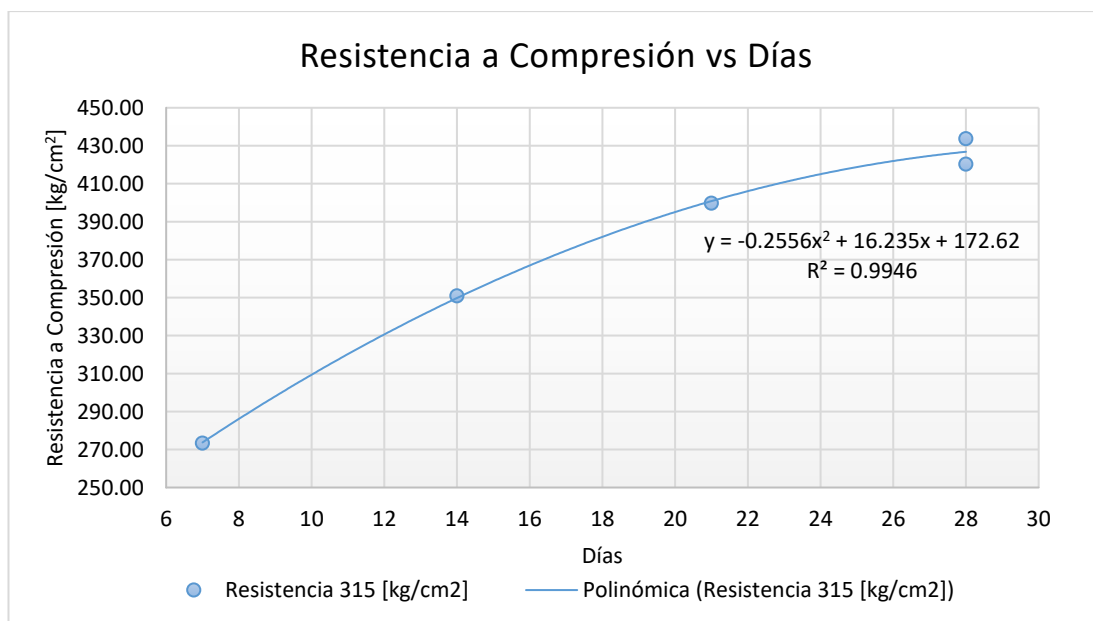
**Tabla 48**

Resistencia a compresión  $315 \text{ kg/cm}^2$  - Holcim

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	351,00	15,14	30,80	12489,50	66,19	367,66
7	351,00	15,24	30,70	12816,70	49,87	273,37
14	351,00	15,20	30,50	12641,40	63,68	350,91
21	351,00	15,29	30,70	12836,50	73,39	399,74
28	351,00	15,15	30,50	12669,10	78,18	433,70
28	351,00	15,15	30,70	12689,50	75,77	420,31

**Figura 67**

Resistencia a compresión  $315 \text{ kg/cm}^2$  – Holcim



**Figura 68**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim*



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$**

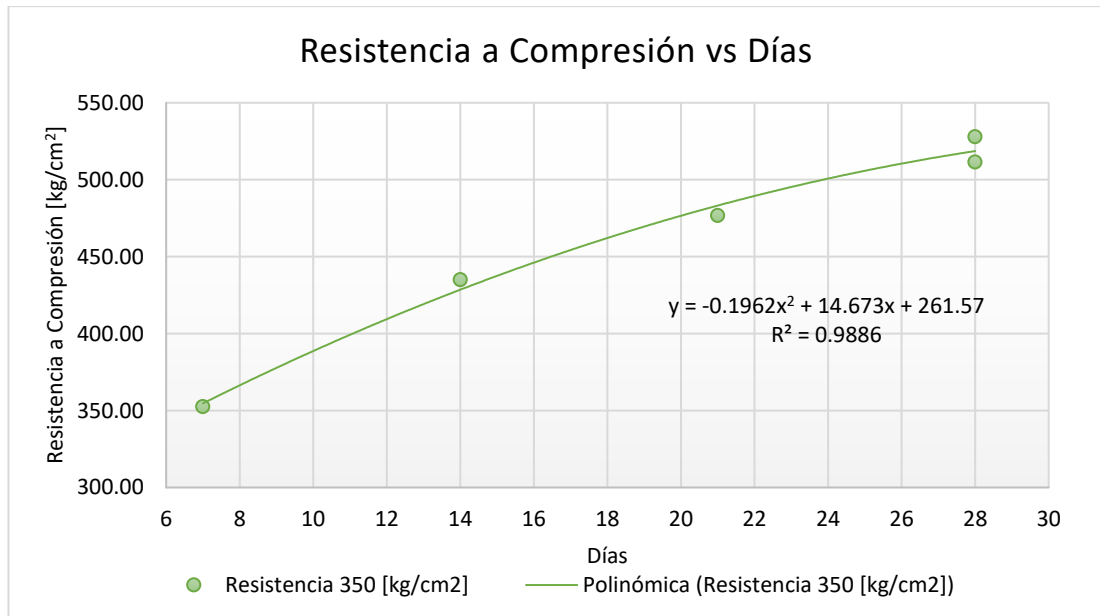
**Tabla 49**

*Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Holcim*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	394,44	15,00	30,50	12114,90	76,58	433,35
7	394,44	15,15	30,50	12316,40	63,55	352,52
14	394,44	15,14	30,40	12250,60	78,31	435,00
21	394,44	15,15	30,30	12260,50	85,94	476,73
28	394,44	15,17	30,20	12252,40	92,45	511,48
28	394,44	15,16	30,10	12273,10	95,29	527,88

**Figura 69**

*Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim*

**Figura 70**

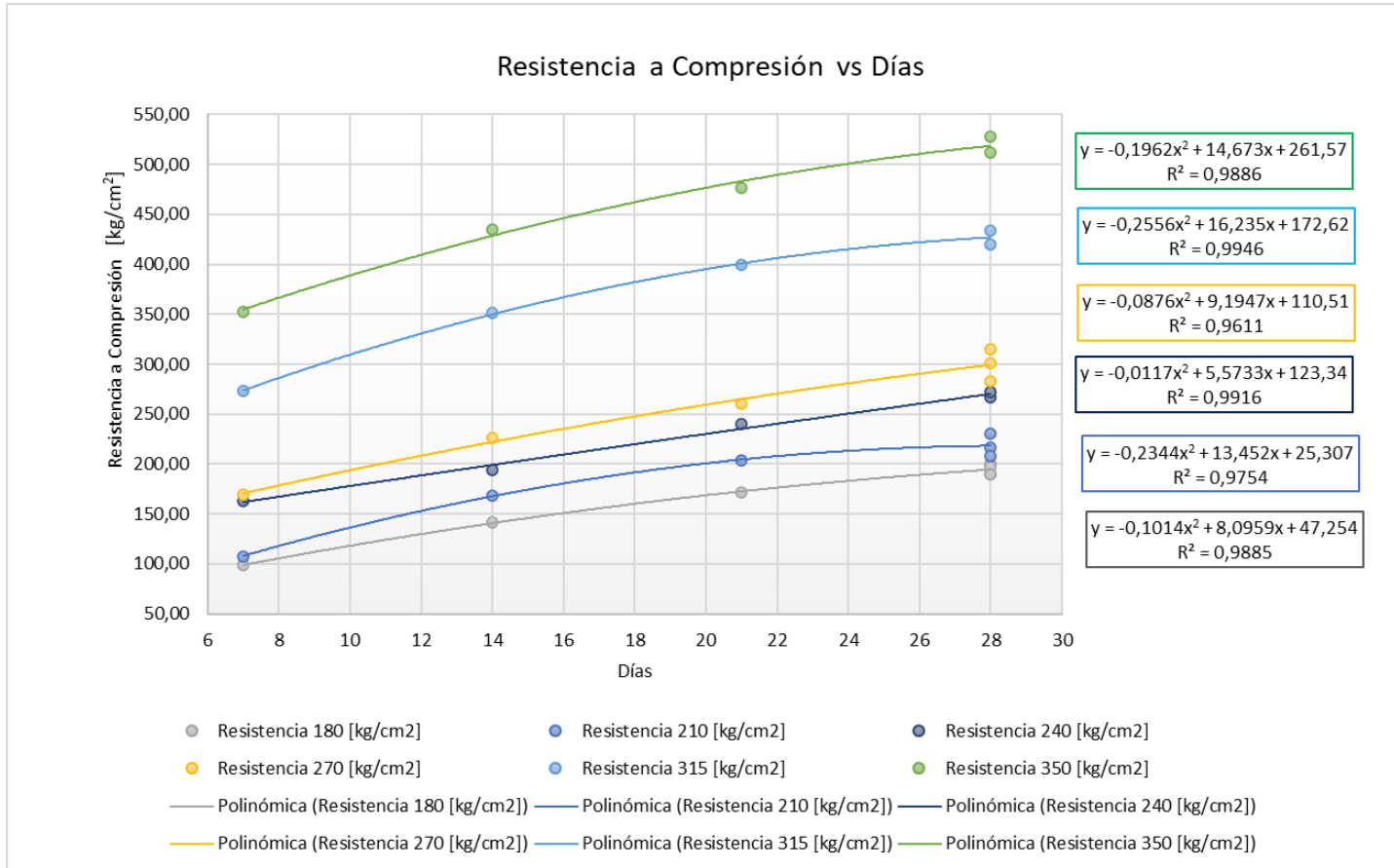
*Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> – Holcim*



**Curvas de resistencias**

**Figura 71**

*Curvas de resistencias de la cantera de Holcim*



### Ajuste de resistencias finales

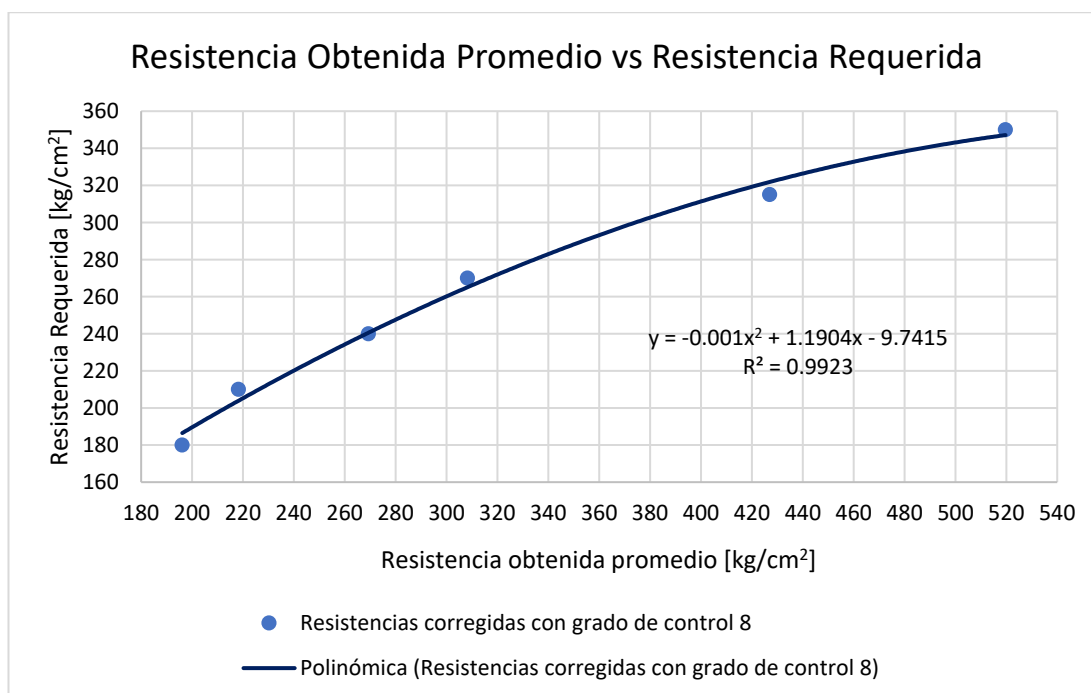
Tabla 50

Resistencias obtenidas - Holcim

Resist. Requerida [kg/cm <sup>2</sup> ]	Resist. Obtenida promedio [kg/cm <sup>2</sup> ]	Porcentaje %
180	196,16	108,98%
210	218,28	103,94%
240	269,33	112,22%
270	308,28	114,18%
315	427,01	135,56%
350	519,68	148,48%

Figura 72

Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Holcim



En la tabla 50 se muestra que la resistencia a compresión que se obtiene es mayor a la que se requiere, y el valor porcentual máximo que excede la resistencia requerida es de 48.48%, este excedente se debe a que la granulometría del agregado grueso cumple con la granulometría óptima para usarla en la construcción y su valor porcentual de desgaste es de 19.62%, con la ecuación mostrada en la figura 72 se puede ajustar la resistencia para optimizar el consumo de cemento en la obra.



## Cantera Pintag

### Resistencia a compresión simple $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 51

Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  - Pintag

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	202,16	15,06	30,00	11757,90	36,19	203,18
7	202,16	15,10	30,00	11877,70	17,45	97,45
14	202,16	15,15	30,00	11951,10	23,77	131,88
21	202,16	15,11	30,20	11973,60	32,61	181,85
28	202,16	15,10	29,90	12992,30	35,68	199,25
28	202,16	15,15	30,30	12021,30	32,32	179,29

Figura 73

Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  – Pintag

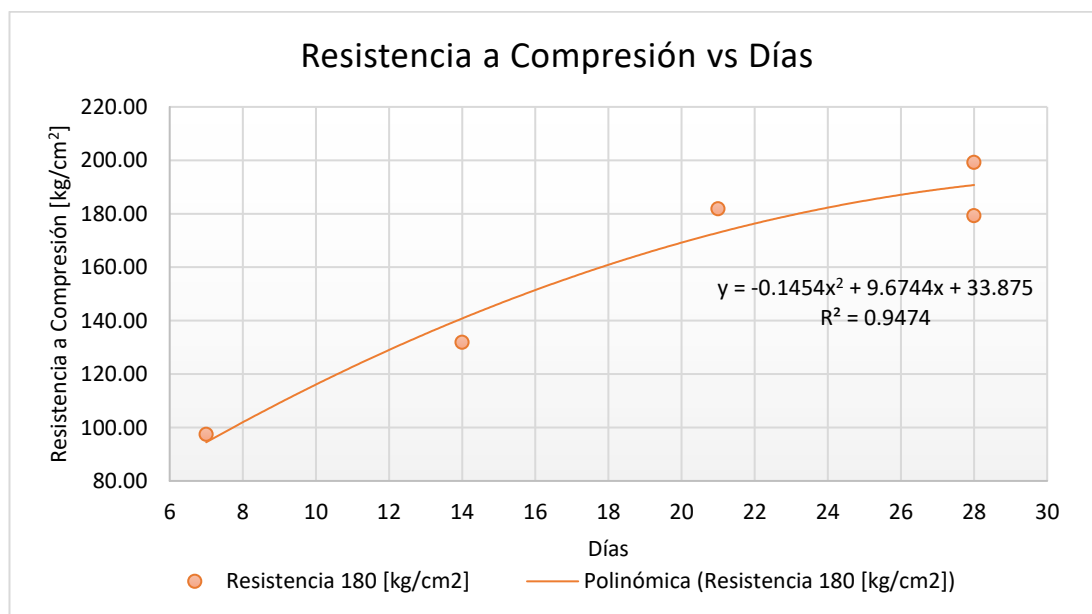


Figura 74

Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

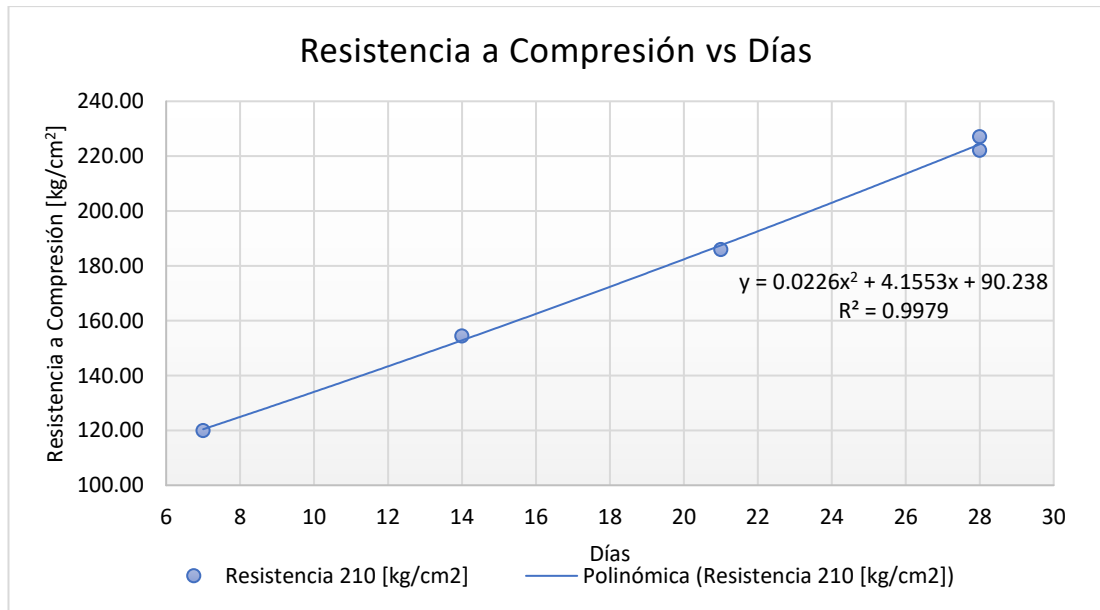
Tabla 52

Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	202,16	15,48	30,60	12295,60	40,82	216,89
7	202,16	15,20	30,30	12064,50	21,76	119,91
14	202,16	15,24	30,50	12324,30	28,17	154,42
21	202,16	15,18	30,60	12171,70	33,65	185,91
28	202,16	15,20	30,50	12277,70	41,19	227,07
28	202,16	15,15	30,50	12225,60	40,05	222,12

**Figura 75**

Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag

**Figura 76**

Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag



### Resistencia a compresión simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 53**

Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  - Pintag

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	269,31	15,30	30,60	12280,10	43,86	238,58
7	269,31	15,27	30,50	12286,30	24,60	134,34
14	269,31	15,20	30,20	12161,80	32,86	181,08
21	269,31	15,22	30,40	12073,10	42,79	235,20
28	269,31	15,20	30,60	12092,80	43,63	240,43
28	269,31	14,95	30,30	11664,80	41,97	239,08

**Figura 77**

Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  – Pintag

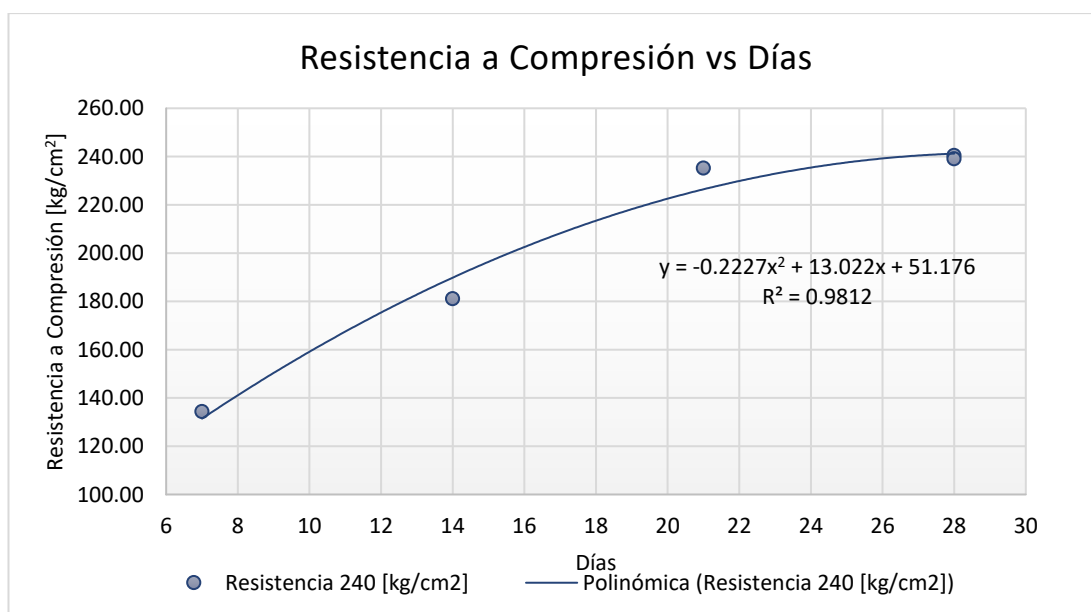


Figura 78

Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 270 \text{ kg/cm}^2$**

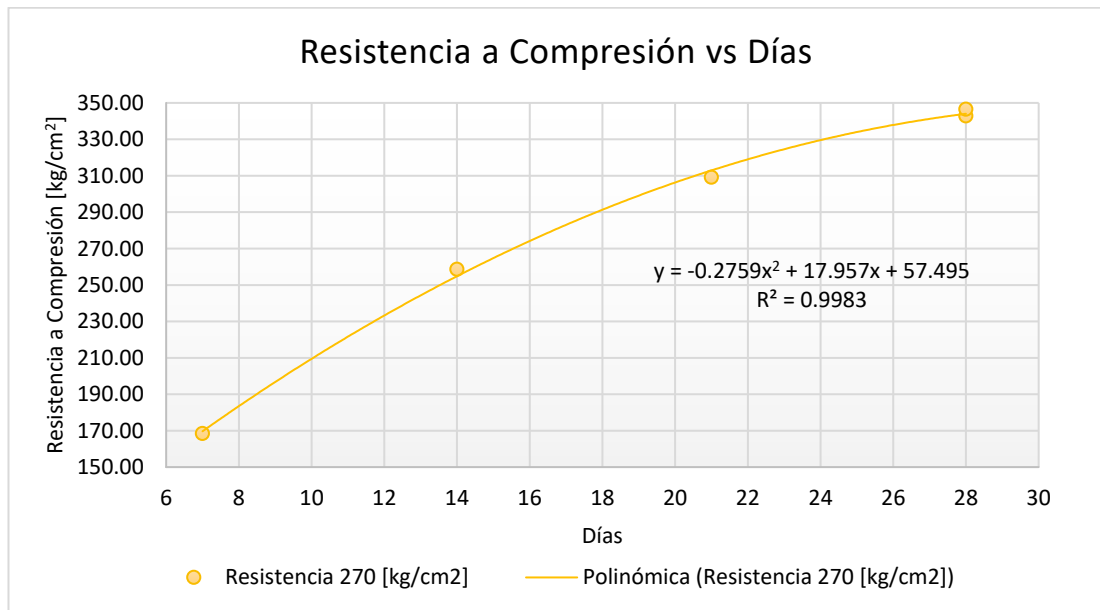
Tabla 54

Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	304,55	15,10	29,90	11750,50	60,08	335,00
7	304,55	15,20	30,20	12000,90	30,56	168,42
14	304,55	15,20	29,90	11899,40	46,92	258,59
21	304,55	15,10	30,10	11963,70	55,37	309,17
28	304,55	15,17	30,10	11983,50	61,96	342,80
28	304,55	15,15	30,00	11932,00	62,46	346,49

**Figura 79**

*Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag*

**Figura 80**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag*



### Resistencia a compresión simple $f'c = 315 \text{ kg/cm}^2$

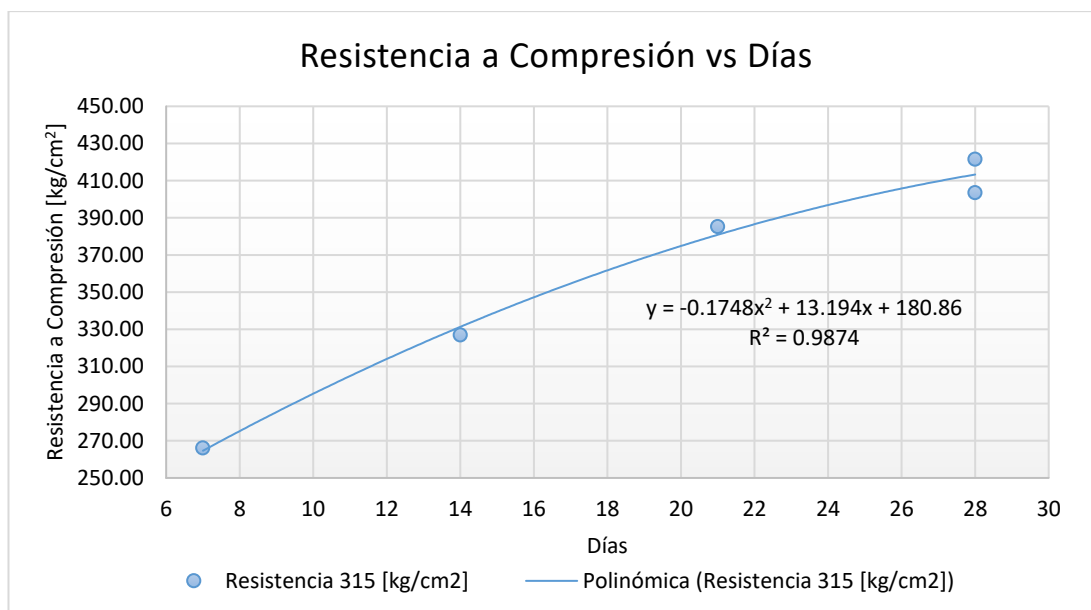
**Tabla 55**

Resistencia a compresión  $315 \text{ kg/cm}^2$  - Pintag

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	351,00	15,00	30,10	11528,40	66,09	374,00
7	351,00	15,20	29,90	11688,00	48,29	266,12
14	351,00	15,28	30,20	11770,40	59,95	326,94
21	351,00	15,10	30,10	11783,80	68,99	385,26
28	351,00	15,15	30,20	11780,30	75,99	421,56
28	351,00	15,10	30,40	11865,10	72,27	403,56

**Figura 81**

Resistencia a compresión  $315 \text{ kg/cm}^2$  – Pintag



**Figura 82**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag*



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 56**

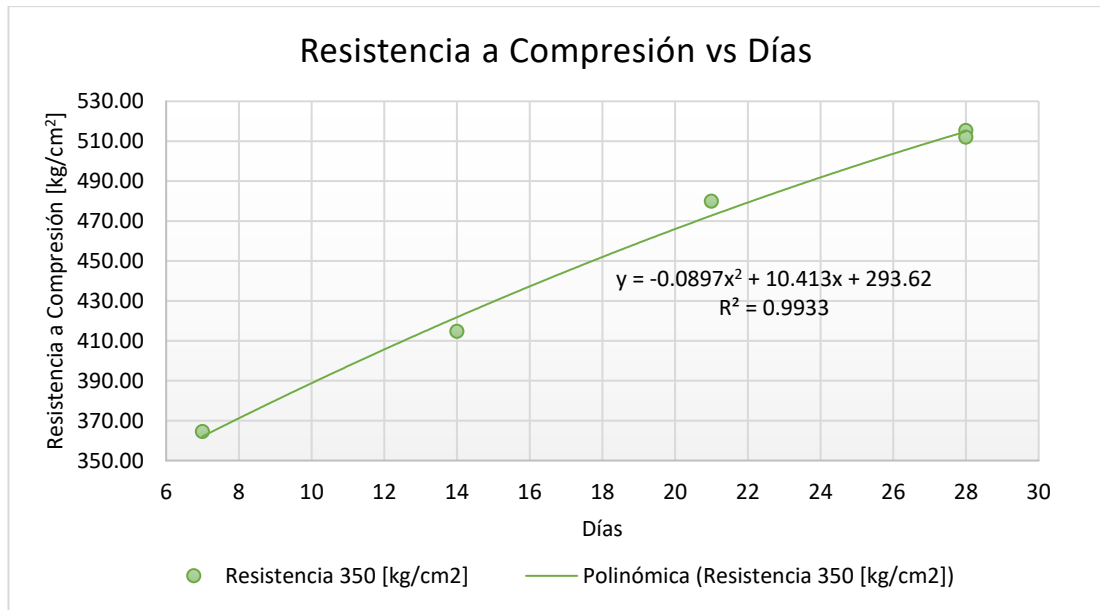
*Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Pintag*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	394,44	15,24	30,60	11980,00	91,50	501,58
7	394,44	15,10	30,60	11871,30	65,28	364,50
14	394,44	15,50	30,60	12078,80	78,25	414,68
21	394,44	15,25	30,50	11896,90	87,65	479,88
28	394,44	15,20	30,60	11908,60	93,52	515,37
28	394,44	14,95	30,40	11514,30	89,87	511,96



**Figura 83**

Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag

**Figura 84**

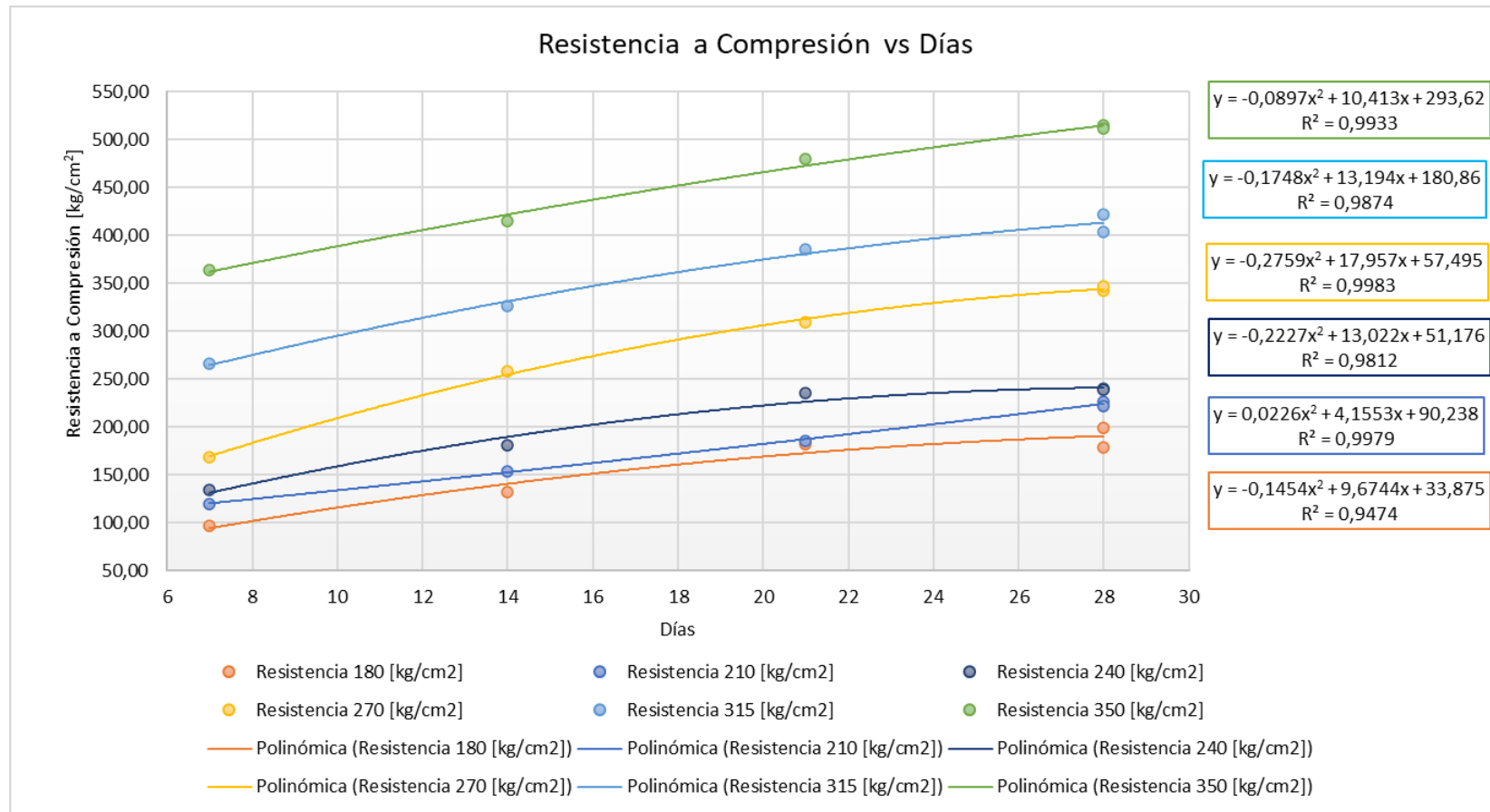
Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> – Pintag



**Curvas de resistencias**

**Figura 85**

*Curvas de resistencias de la cantera de Pintag*



## Ajuste de resistencias finales

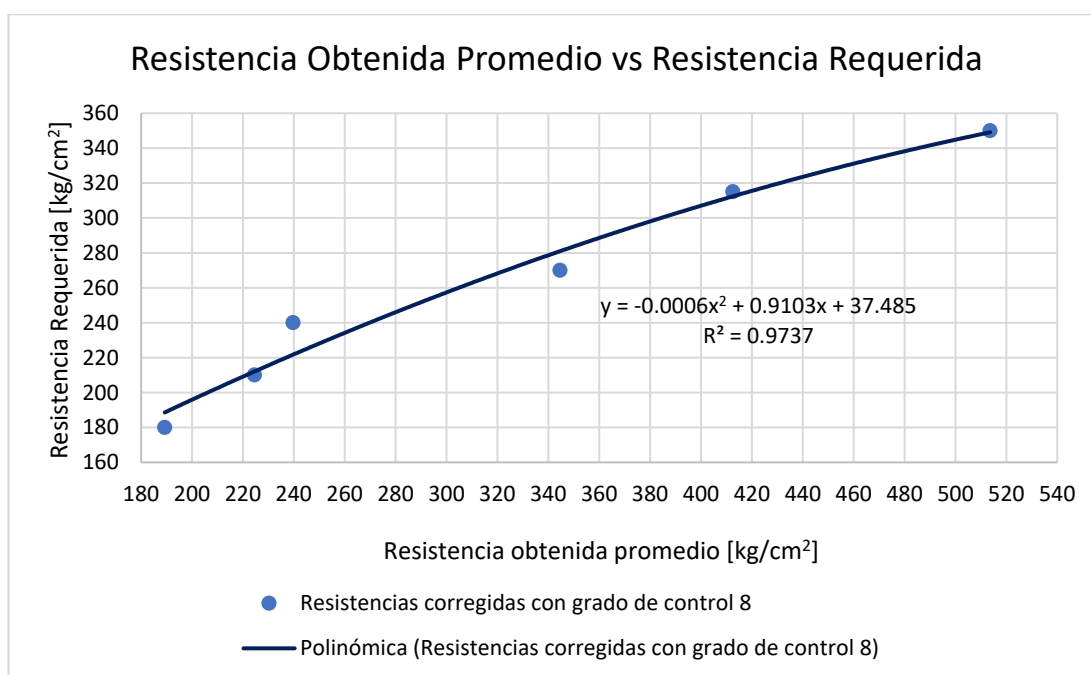
**Tabla 57**

*Resistencias obtenidas - Pintag*

Resist. Requerida [kg/cm <sup>2</sup> ]	Resist. Obtenida promedio [kg/cm <sup>2</sup> ]	Porcentaje %
180	189,27	105,15%
210	224,60	106,95%
240	239,76	99,90%
270	344,65	127,65%
315	412,56	130,97%
350	513,67	146,76%

**Figura 86**

*Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Pintag*



En la tabla 57 se muestra que la resistencia a compresión que se obtiene es mayor a la que se requiere, y el valor porcentual máximo que excede la resistencia requerida es de 46.76%, este excedente se debe a que la granulometría del agregado grueso cumple con la granulometría óptima para usarla en la construcción y su valor porcentual de desgaste es de 23.85%, con la ecuación mostrada en la figura 86 se puede ajustar la resistencia para optimizar el consumo de cemento en la obra.

### Cantera Cymca - Guayllabamba

**Resistencia a compresión simple  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$**

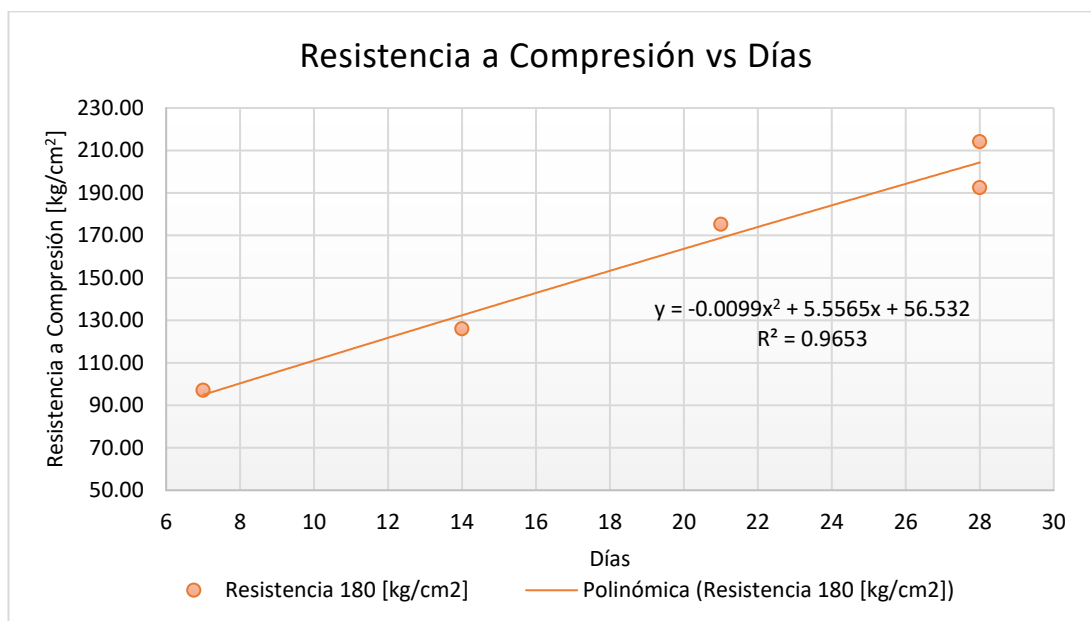
**Tabla 58**

*Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  - Cymca*

Días	Resist. de diseño. [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	202,16	15,10	29,92	12262,80	29,42	164,27
7	202,16	15,13	30,00	12370,60	17,45	97,07
14	202,16	15,17	30,00	12357,70	22,77	125,99
21	202,16	15,04	30,10	12403,00	31,13	175,23
28	202,16	15,12	30,20	12439,00	38,44	214,11
28	202,16	15,16	30,10	12338,30	34,74	192,43

**Figura 87**

*Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  – Cymca*



**Figura 88**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca*



**Resistencia a compresión simple  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

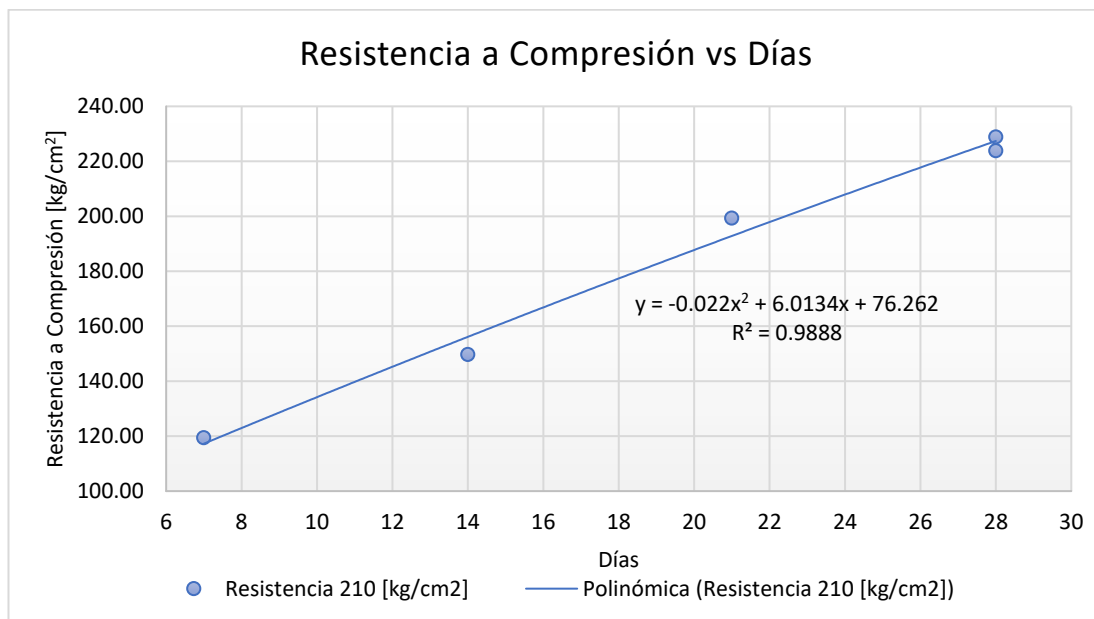
**Tabla 59**

*Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	235,18	15,16	30,50	11820,50	41,67	230,87
7	235,18	15,20	30,40	11969,30	21,67	119,43
14	235,18	15,20	30,60	12929,90	27,16	149,68
21	235,18	15,27	30,50	12822,80	36,50	199,30
28	235,18	15,18	30,20	12074,60	41,41	228,82
28	235,18	15,25	30,60	12131,10	40,88	223,81

**Figura 89**

Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca

**Figura 90**

Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 60**

*Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  - Cymca*

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	269,31	15,15	30,50	12470,10	32,39	179,65
7	269,31	15,20	30,50	12783,30	27,46	151,35
14	269,31	15,20	30,60	12702,10	34,28	188,91
21	269,31	15,22	30,40	12165,70	39,91	219,37
28	269,31	15,20	30,50	12649,40	44,54	245,43
28	269,31	14,90	30,20	12203,50	42,92	246,13

**Figura 91**

*Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  – Cymca*

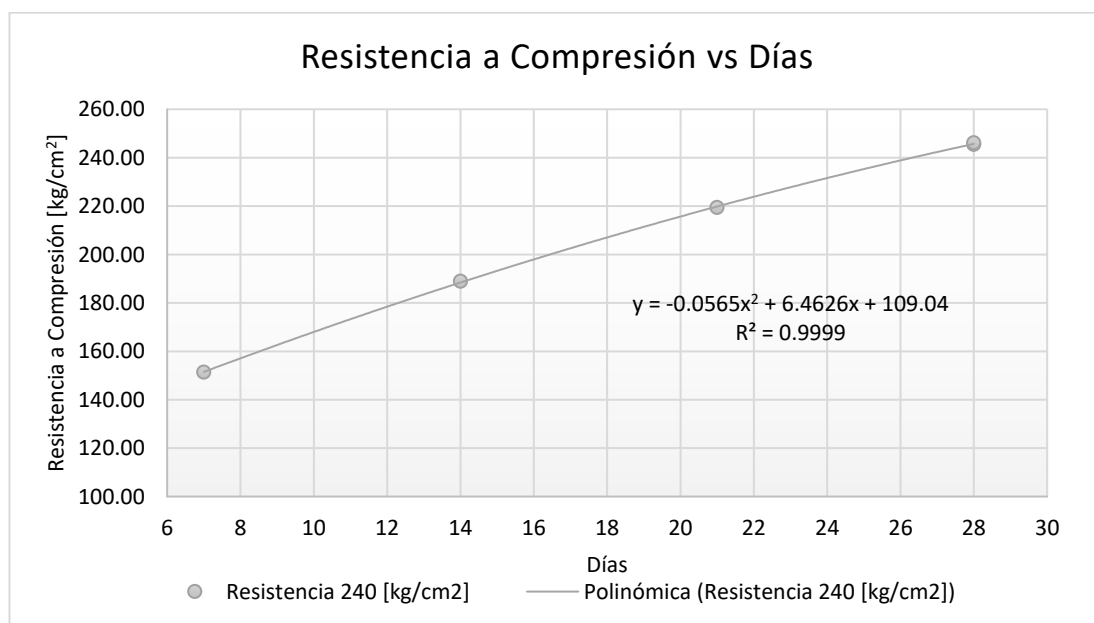


Figura 92

Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca



**Resistencia a compresión simple  $f'_c = 270 \text{ kg/cm}^2$**

Tabla 61

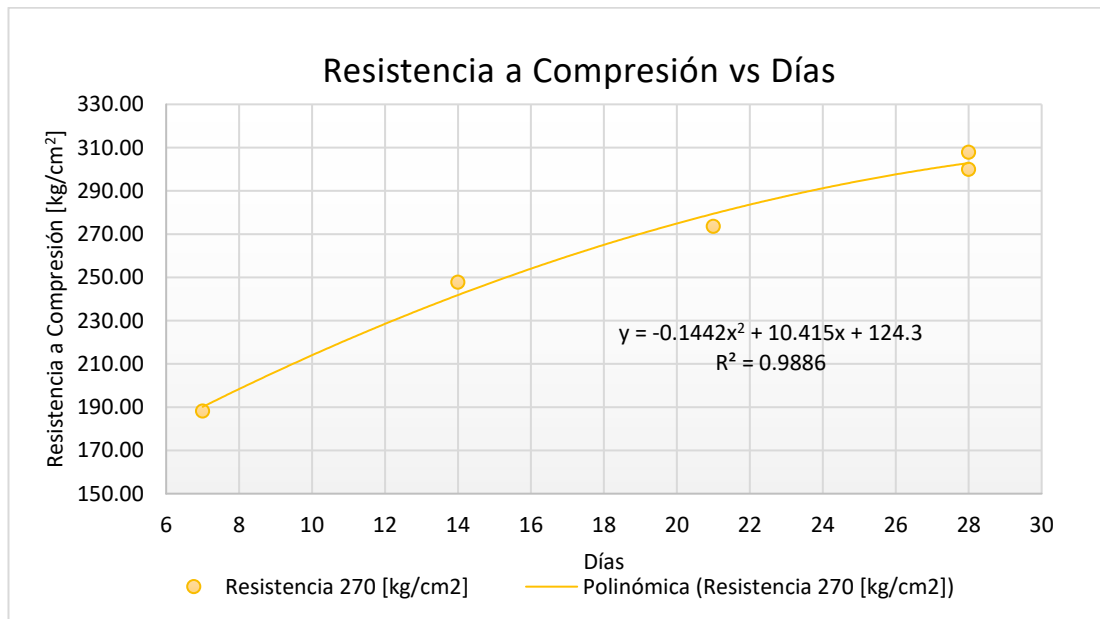
Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	304,55	15,15	30,10	12320,80	43,91	243,60
7	304,55	15,10	30,20	12327,90	33,70	188,18
14	304,55	15,20	30,20	12379,00	44,95	247,70
21	304,55	15,20	30,30	12494,70	49,64	273,56
28	304,55	15,15	30,10	12396,00	55,49	307,81
28	304,55	15,12	30,00	12330,60	53,77	299,88



**Figura 93**

*Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca*

**Figura 94**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca*



### Resistencia a compresión simple $f'c = 315 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 62**

Resistencia a compresión  $315 \text{ kg/cm}^2$  - Cymca

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	351,00	15,35	30,50	12688,40	49,89	269,57
7	351,00	14,92	30,30	12203,00	41,28	236,09
14	351,00	15,17	30,60	12563,60	51,73	286,20
21	351,00	15,25	30,50	12767,60	59,02	323,14
28	351,00	15,20	30,60	12614,20	65,23	358,99
28	351,00	15,20	30,50	12538,10	70,55	387,26

**Figura 95**

Resistencia a compresión  $315 \text{ kg/cm}^2$  – Cymca

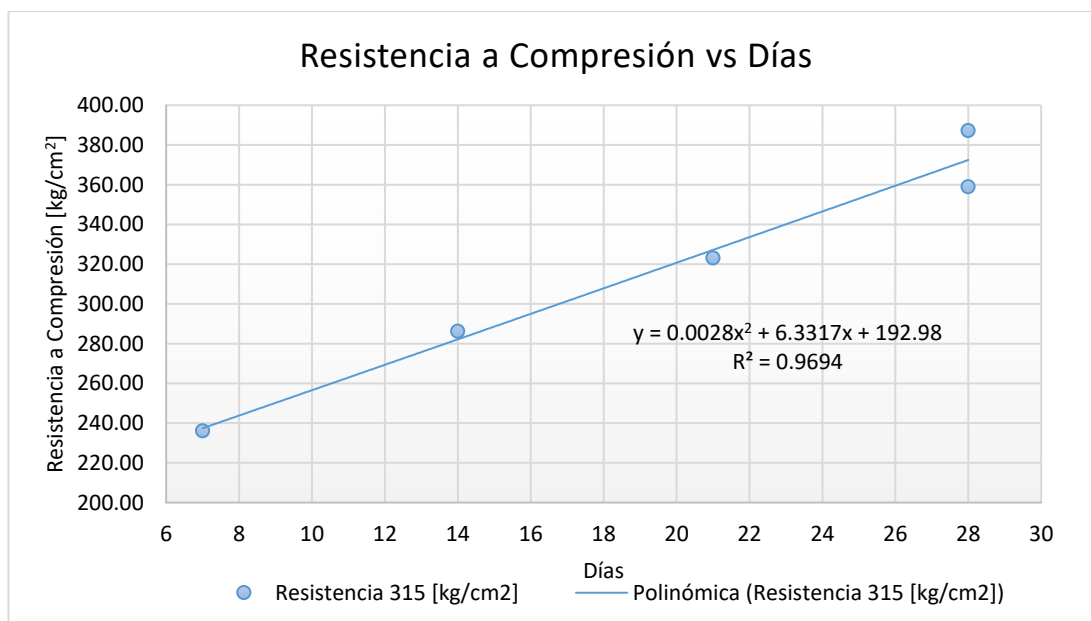


Figura 96

Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$**

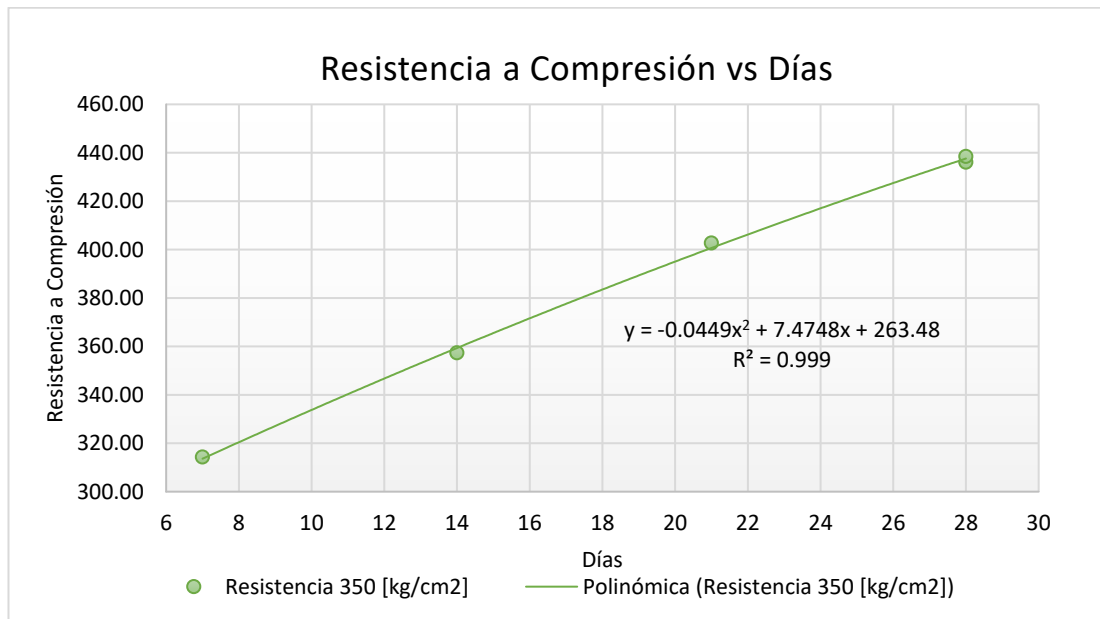
Tabla 63

Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Cymca

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	394,44	15,15	30,10	12007,20	59,37	329,32
7	394,44	15,15	30,10	12036,30	56,65	314,28
14	394,44	15,15	30,10	12105,20	64,41	357,32
21	394,44	15,15	30,20	12078,70	72,59	402,69
28	394,44	15,20	30,30	12125,00	80,27	436,07
28	394,44	15,25	30,30	12101,50	80,62	438,48

**Figura 97**

*Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca*

**Figura 98**

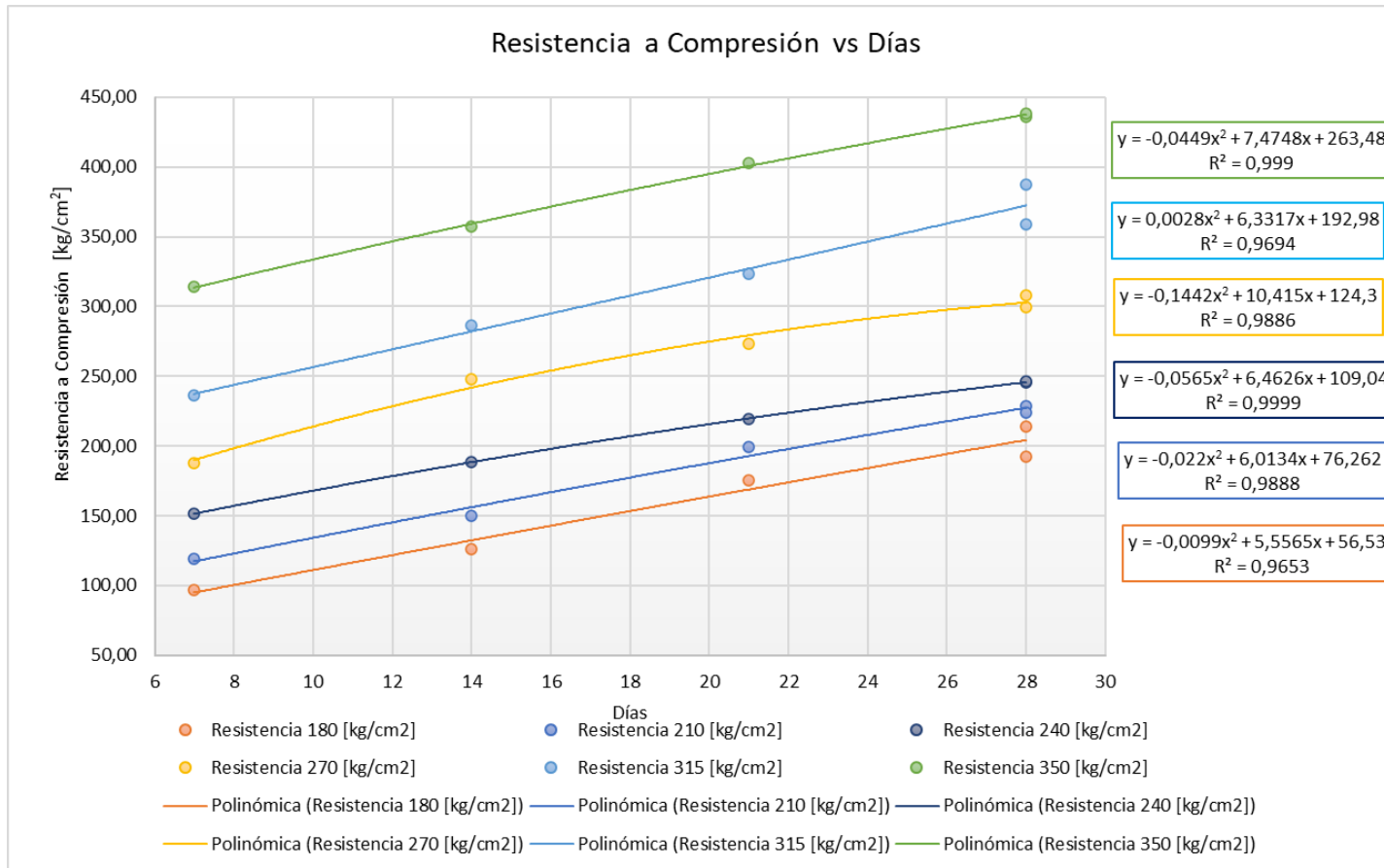
*Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> – Cymca*



**Curvas de resistencias**

**Figura 99**

Curvas de resistencias de la cantera de Cymca



### Ajuste de resistencias finales

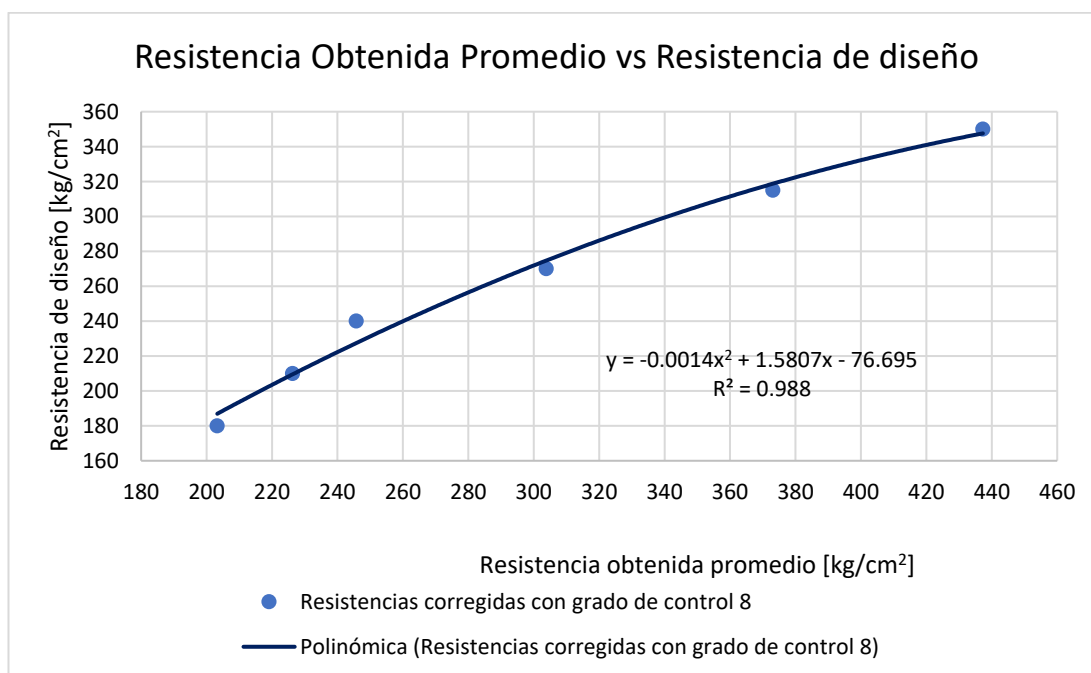
**Tabla 64**

*Resistencias obtenidas - Cymca*

Resist. Requerida [kg/cm <sup>2</sup> ]	Resist. Obtenida promedio [kg/cm <sup>2</sup> ]	Porcentaje %
180	203,27	112,93%
210	226,32	107,77%
240	245,78	102,41%
270	303,85	112,54%
315	373,13	118,45%
350	437,28	124,94%

**Figura 100**

*Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Cymca*



En la tabla 64 se muestra que la resistencia a compresión que se obtiene es mayor a la que se requiere, y el valor porcentual máximo que excede la resistencia requerida es de 24.94%, este excedente se debe a que la granulometría del agregado grueso cumple con la granulometría óptima para usarla en la construcción y su valor porcentual de desgaste es de 19.63%, con la ecuación mostrada en la figura 100 se puede ajustar la resistencia para optimizar el consumo de cemento en la obra.

### Cantera Sevilla & Sevilla

**Resistencia a compresión simple  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$**

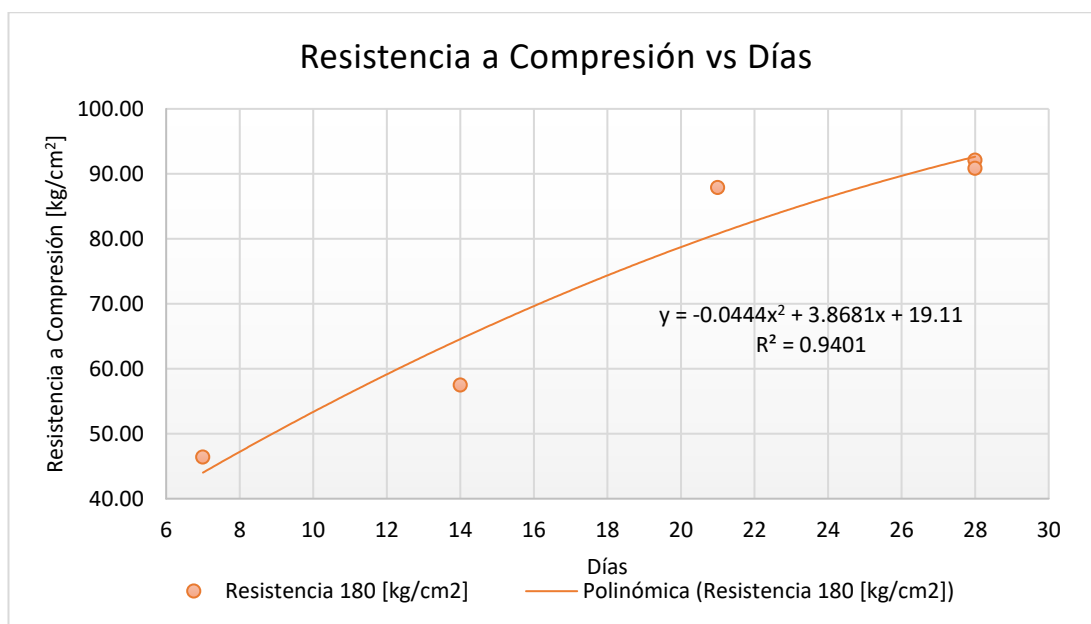
**Tabla 65**

*Resistencia a compresión  $180 \text{ kg/cm}^2$  - Sevilla*

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	202,16	15,12	30,20	12245,60	24,68	137,46
7	202,16	14,96	30,00	12234,00	8,15	46,38
14	202,16	15,18	30,00	12262,20	10,40	57,47
21	202,16	15,10	30,00	12236,00	15,74	87,88
28	202,16	15,00	30,10	12187,50	16,27	92,08
28	202,16	15,10	30,10	12235,60	16,27	90,84

**Figura 101**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia  $180 \text{ kg/cm}^2$  – Sevilla*



**Figura 102**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla*



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 66**

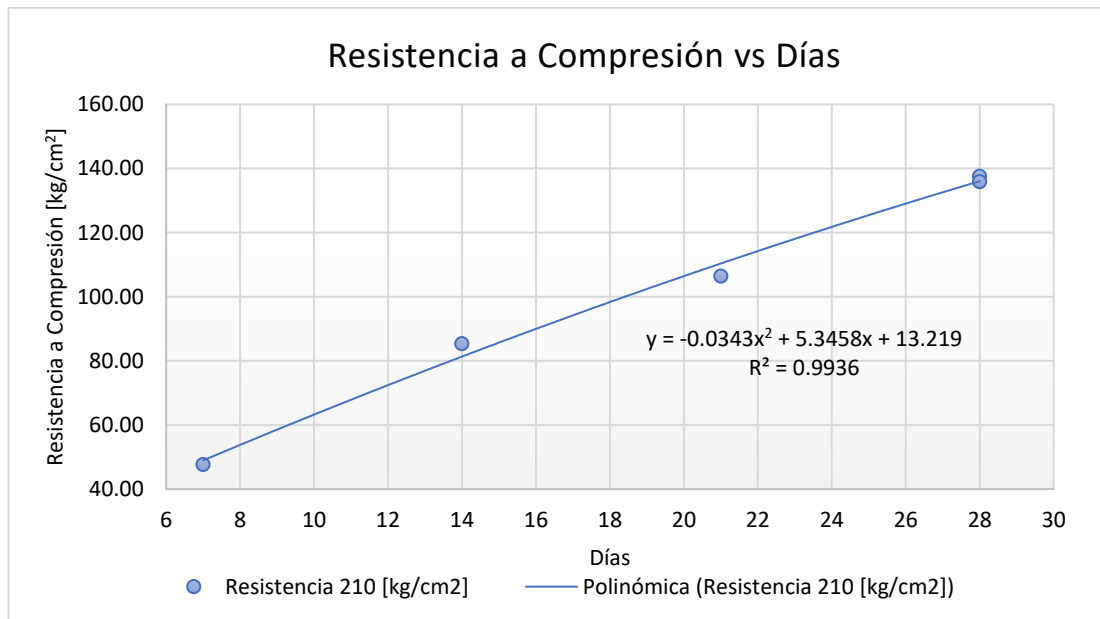
*Resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	235,18	15,14	30,60	11710,00	26,20	145,53
7	235,18	15,26	30,20	11622,80	8,71	47,63
14	235,18	15,10	30,10	11662,30	15,28	85,34
21	235,18	15,10	30,10	11723,00	19,05	106,38
28	235,18	15,04	30,10	11740,40	24,44	137,55
28	235,18	14,99	30,00	11706,20	23,98	135,87



**Figura 103**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla*

**Figura 104**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla*



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 67**

*Resistencia a compresión  $240 \text{ kg/cm}^2$  - Sevilla*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	269,31	15,20	30,60	11814,00	30,36	167,33
7	269,31	15,24	30,50	11915,30	15,53	85,13
14	269,31	15,20	30,50	12063,80	24,75	136,40
21	269,31	14,90	30,20	11517,20	26,49	151,91
28	269,31	15,25	30,10	12189,60	32,68	179,87
28	269,31	15,18	30,50	12000,00	30,28	167,29

**Figura 105**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia  $240 \text{ kg/cm}^2$  – Sevilla*

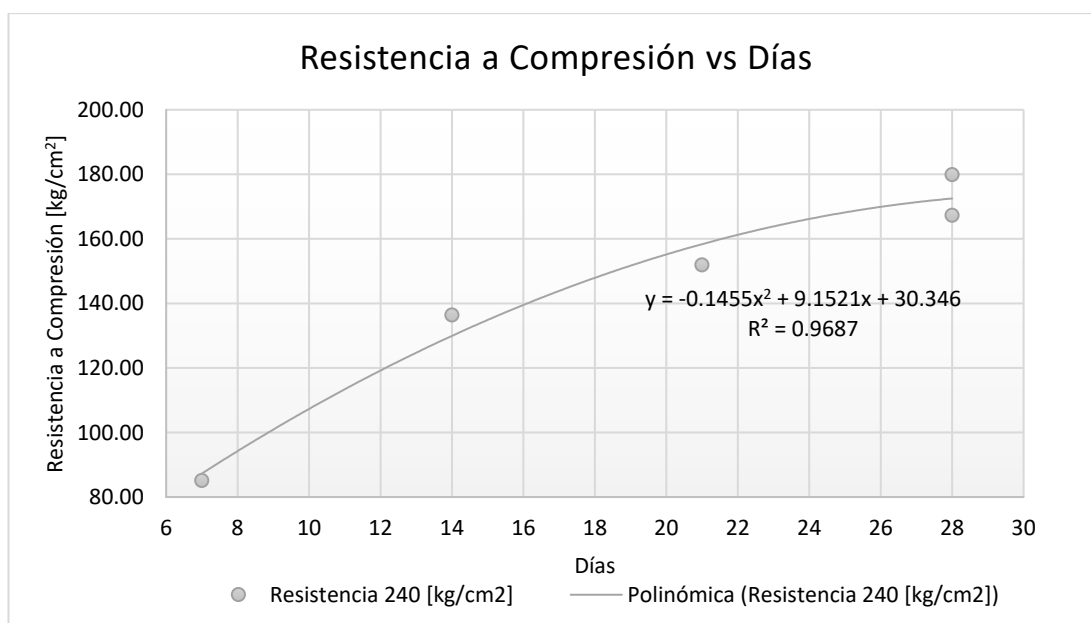


Figura 106

Ruptura cilindro 28 días resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 270 \text{ kg/cm}^2$**

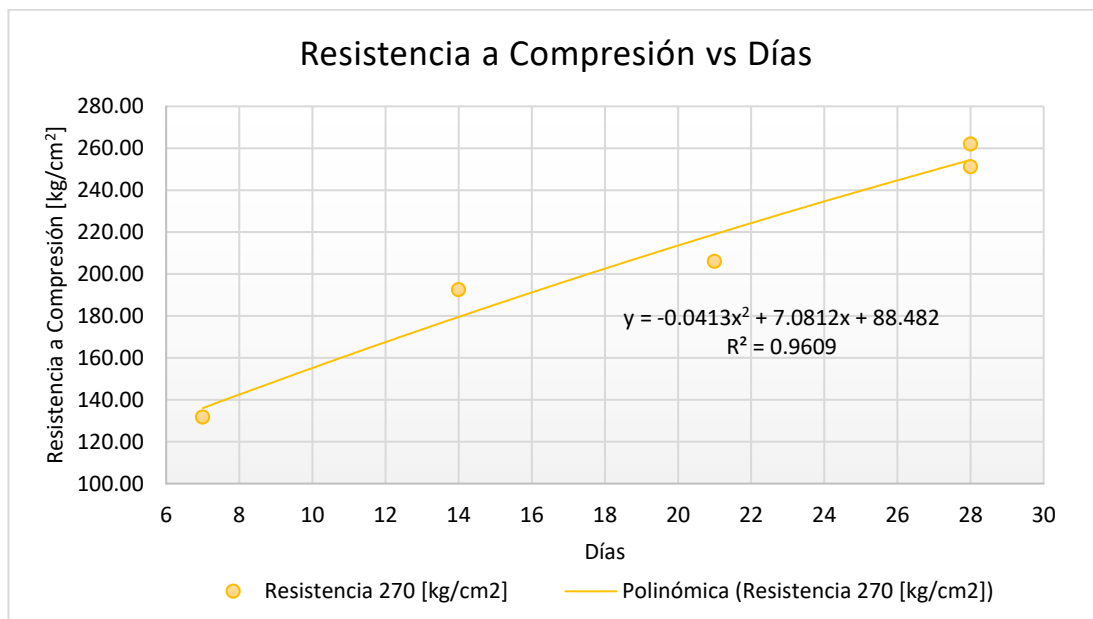
Tabla 68

Resistencia a compresión 270 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	304,55	14,90	30,40	11369,40	41,17	236,11
7	304,55	15,17	30,60	12017,70	23,80	131,70
14	304,55	15,20	30,40	11116,50	34,93	192,51
21	304,55	15,30	30,50	12134,70	37,87	206,00
28	304,55	15,20	30,50	12031,60	45,57	251,13
28	304,55	15,15	30,50	11925,50	47,23	261,98

**Figura 107**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla*

**Figura 108**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla*



**Resistencia a compresión simple  $f'c = 315 \text{ kg/cm}^2$**

**Tabla 69**

*Resistencia a compresión 315 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla*

<b>Días</b>	<b>Resist. de diseño [kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Diámetro [cm]</b>	<b>Altura [cm]</b>	<b>Peso [gr]</b>	<b>Fuerza [Tn]</b>	<b>Resistencia [kg/cm<sup>2</sup>]</b>
CR	351,00	15,00	30,20	11593,50	45,73	258,78
7	351,00	15,10	30,20	11637,50	35,76	199,71
14	351,00	15,10	30,10	11628,00	47,48	265,11
21	351,00	15,12	30,10	11594,40	49,20	273,99
28	351,00	15,17	30,00	11503,10	58,78	325,22

**Figura 109**

*Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla*

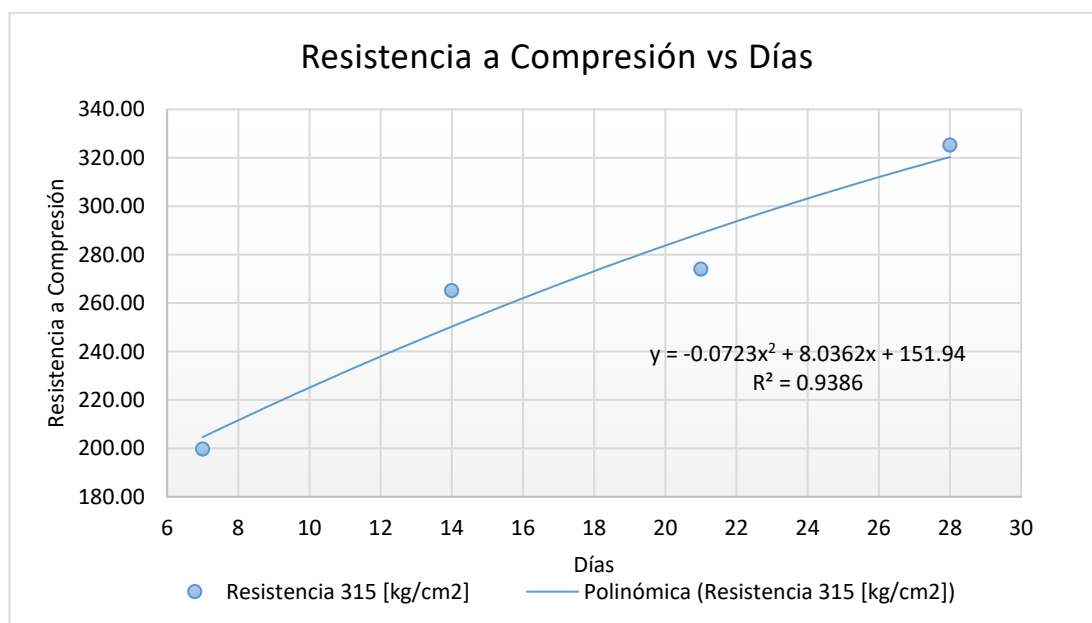


Figura 110

Ruptura cilindro 28 días resistencia 315 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla



**Resistencia a compresión simple  $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$**

Tabla 70

Resistencia a compresión 350 kg/cm<sup>2</sup> - Sevilla

Días	Resist. de diseño [kg/cm <sup>2</sup> ]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [gr]	Fuerza [Tn]	Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]
CR	394,44	14,90	30,30	12271,80	73,32	420,47
7	394,44	15,18	30,50	11738,20	57,68	318,72
14	394,44	15,40	30,60	12009,80	68,81	369,42
21	394,44	15,15	30,60	11837,70	76,58	424,84
28	394,44	15,19	30,50	11868,60	77,71	428,81
28	394,44	15,27	30,50	11955,50	80,38	438,91

Figura 111

Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla

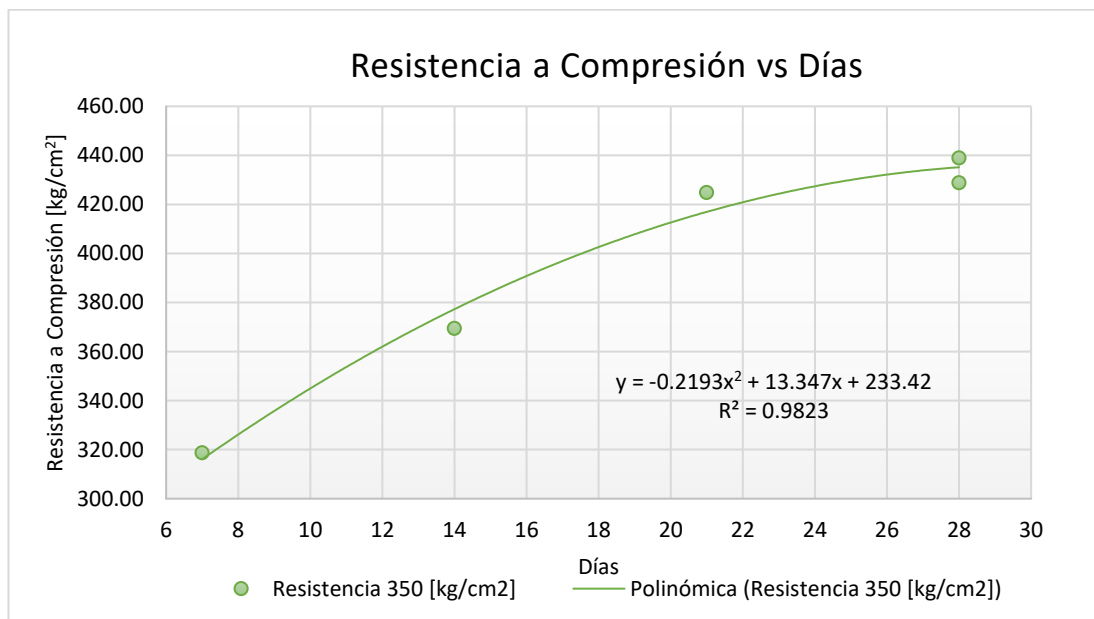


Figura 112

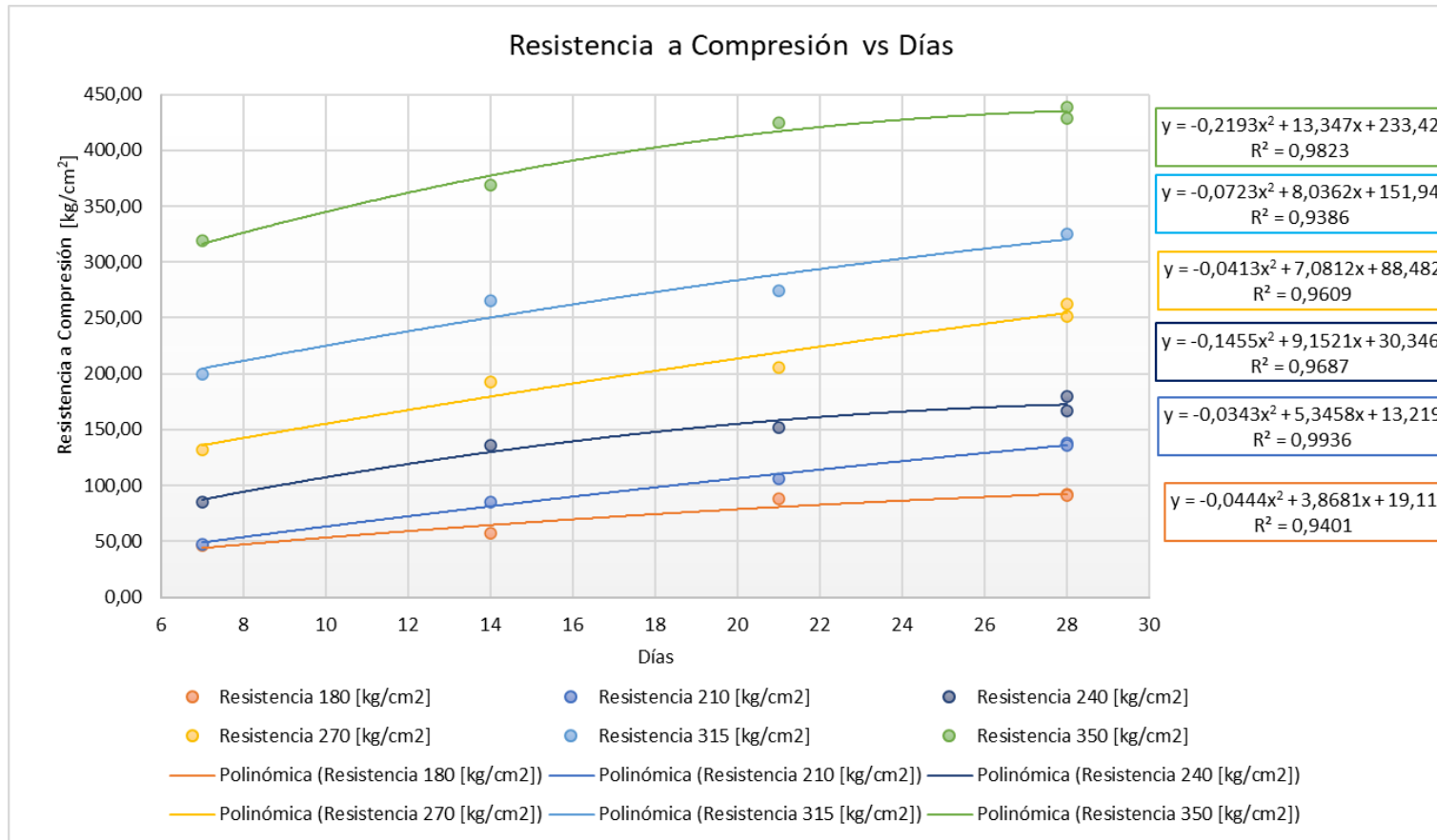
Ruptura cilindro 28 días resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup> – Sevilla



**Curvas de resistencias**

**Figura 113**

*Curvas de resistencias de la cantera de Sevilla*





## Ajuste de resistencias finales

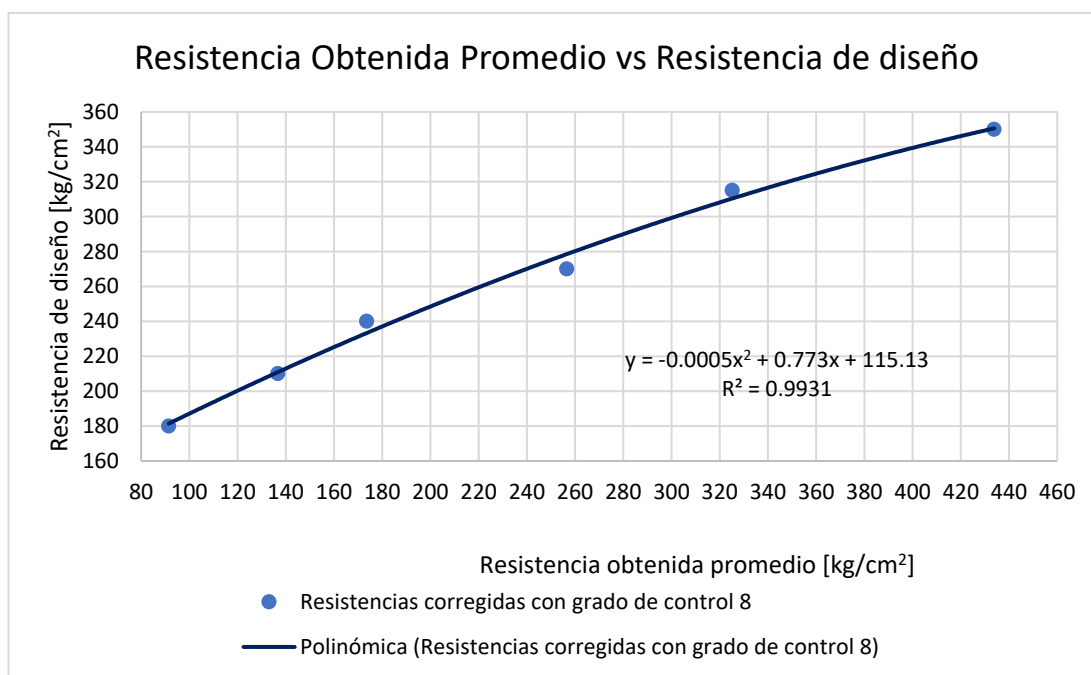
**Tabla 71**

*Resistencias obtenidas - Sevilla*

Resist. Requerida [kg/cm <sup>2</sup> ]	Resist. Obtenida promedio [kg/cm <sup>2</sup> ]	Porcentaje %
180	91,46	50,81%
210	136,71	65,10%
240	173,58	72,33%
270	256,56	95,02%
315	325,22	103,24%
350	433,86	123,96%

**Figura 114**

*Ajuste de resistencia a compresión obtenida con grado de control 8 – Sevilla*



En esta cantera se puede apreciar como a partir de la resistencia 270 kg/cm<sup>2</sup> se ajusta al valor de diseño con una resistencia obtenida del 95% como se indica en la tabla 71. No obstante, se puede ajustar la resistencia a compresión usando la ecuación mostrada en la figura 114, los valores bajos en las 3 primeras dosificaciones se deben a las características del material, es importante recordar que el agregado grueso no cumple con la granulometría óptima, además posee un porcentaje de desgaste del 48.50% muy cercano al límite permisible de 50% establecido por (ASTM

C131C).

## Capítulo 5: Sistematización

### Desarrollo del algoritmo base

#### Introducción de datos

Se escoge entre 2 opciones introducir datos si se conoce los datos de ensayos de laboratorio o escoger una cantera de la base de datos.

```

format long g
disp('SISTEMATIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE MATERIALES');
disp('SELECCIONE 1 SI TIENE LOS DATOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO');
disp('SELECCIONE 2 SI DESEA ESCOGER UNA MINA DE LA BASE
DE DATOS');
sistema=input('Seleccione el sistema: ');
switch sistema
    case 1
        %%%%%%%%% INGRESO DE DATOS %%%%%%%%%
disp('DATOS DEL AGREGADO FINO');
denfin=input('Ingrese la densidad aparente seca en
(kg/dm^3) = ');
modffin=input('Ingrese el módulo de finura = ');
absorfin=input('Ingrese el el porcentaje de absorción (%)
= ');
humfin=input('Ingrese la humedad natural (%) = ');
muscfin=input('Ingrese la masa unitaria seca y compactada
en (kg/dm^3) ');

disp(' DATOS DEL AGREGADO GRUESO');
dengrso=input('Ingrese la densidad aparente seca en
(kg/dm^3) = ');
absorgrso=input('Ingrese el el porcentaje de absorción
(%) = ');
humgrso=input('Ingrese la humedad natural (%) = ');
muscgrueso=input('Ingrese la masa unitaria seca y
compactada en (kg/dm^3) ');
tmaxgrso=input('Ingrese el tamaño máximo en (pulg) = ');

    case 2
disp('CANTERAS DE LA BASE DE DATOS');
disp('(1) CANTERA HOLCIM');
disp('(2) CANTERA PINTAG');
disp('(3) CANTERA CYMCA');
disp('(4) CANTERA SEVILLA');
cantera=input('Seleccione la cantera: ');
switch cantera
    case 1
        %disp('DATOS DEL AGREGADO FINO');
denfin=2.80; %densidad aparente seca en (kg/dm^3)

```

```

modffin=3.06; % módulo de finura
absorfin=4.63; %porcentaje de absorción (%)
humfin=3.74; %humedad natural (%)
muscfm=1.73; %masa unitaria seca y compactada en
(kg/dm^3)
%disp(' DATOS DEL AGREGADO GRUESO');
dengrso=2.71; %densidad aparente seca en (kg/dm^3)
absorgrso=1.9; %porcentaje de absorción (%)
humgrso=1.65; % humedad natural (%)
muscgrueso=1.56; %masa unitaria seca y compactada en
(kg/dm^3)
tmaxgrso=0.75; %tamaño máximo en (pulg)
disp('DATOS DEL AGREGADO FINO');
fprintf('Densidad aparente seca: %.2f (kg/dm^3)
\n',denfin)
fprintf('Módulo de finura: %.2f \n',modffin)
fprintf('Porcentaje de Absorción: %.2f \n',absorfin)
fprintf('Porcentaje de Humedad: %.2f \n',humfin)
fprintf('Masa unitaria seca y compactada: %.2f (kg/dm^3)
\n\n',muscfm)
disp(' DATOS DEL AGREGADO GRUESO');
fprintf('Densidad aparente seca: %.2f (kg/dm^3)
\n',dengrso)
fprintf('Porcentaje de Absorción: %.2f \n',absorgrso)
fprintf('Porcentaje de Humedad: %.2f \n',humgrso)
fprintf('Masa unitaria seca y compactada: %.2f (kg/dm^3)
\n',muscgrueso)
fprintf('Tamaño máximo: %.2f pulgadas\n\n',tmaxgrso)

```

**Figura 115***Ingreso de datos de los agregados*

```

Command Window
>> TESIS_MODIFICACIONES
SISTEMATIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE MATERIALES
SELECCIONE 1 SI TIENE LOS DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
SELECCIONE 2 SI DESEA ESCOGER UNA MINA DE LA BASE DE DATOS
Seleccione el sistema: 2
CANTERAS DE LA BASE DE DATOS
(1) CANTERA HOLCIM
(2) CANTERA PINTAG
(3) CANTERA CYMCA
(4) CANTERA SEVILLA
Seleccione la cantera: 1
DATOS DEL AGREGADO FINO
Densidad aparente seca: 2.80 (kg/dm^3)
Módulo de finura: 3.06
Porcentaje de Absorción: 4.63
Porcentaje de Humedad: 3.74
Masa unitaria seca y compactada: 1.73 (kg/dm^3)

DATOS DEL AGREGADO GRUESO
Densidad aparente seca: 2.71 (kg/dm^3)
Porcentaje de Absorción: 1.90
Porcentaje de Humedad: 1.65
Masa unitaria seca y compactada: 1.56 (kg/dm^3)
Tamaño máximo: 0.75 pulgadas

```

**Resistencia a dosificar**

Se introduce la resistencia que se desea dosificar

```

%%%RESISTENCIA A DOSIFICARSE
fc=input('INGRESE LA RESISTENCIA QUE DESEA OBTENER
(kg/cm^2) = ');

```

**Figura 116***Resistencia a Dosificar*

```

Command Window
INGRESE LA RESISTENCIA QUE DESEA OBTENER (kg/cm^2) = 210

```

**Selección del asentamiento**

```

%%%PASO 1 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO %%%%%%%%%%
disp('Seleccione la consistencia del hormigón');

```

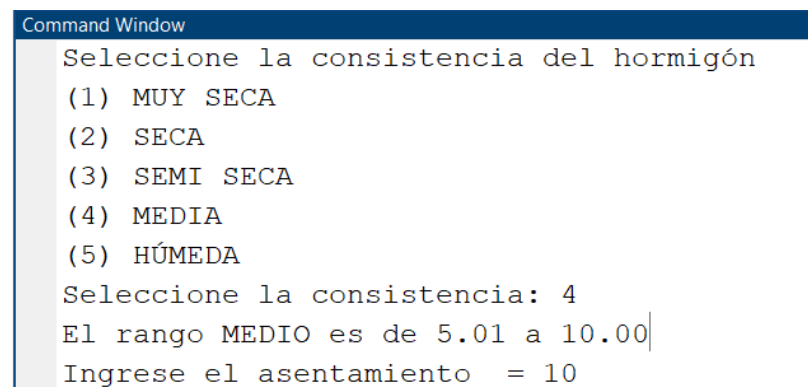
```

disp(' (1) MUY SECA');%%PILOTES O VIGAS PREFABRICADAS DE
ALTA RESISTENCIA, CON VIBRADORES DE FORMALETA
disp(' (2) SECA');%%PAVIMENTOS CON MÁQUINA TERMINADORA
VIBRATORIA
disp(' (3) SEMI SECA');%%PAVIMENTOS CON VIBRADORES
NORMALES. FUNDACIONES DE CONCRETO SIMPLE. CONSTRUCCIONES
EN MASAS VOLUMINOSAS. LOSAS MEDIANAMENTE REFORZADAS CON
VIBRACIÓN
disp(' (4) MEDIA');%%PAVIMENTOS COMPACTADOS A MANO. LOSAS
MEDIANAMENTE REFORZADAS, CON MEDIANA
COMPACTACIÓN,COLUMNAS,VIGAS, FUNDACIONES Y MUROS
REFORZADOS CON VIBRACIÓN
disp(' (5) HÚMEDA');%%REVESTIMIENTO DE TÚNELES. SECCIONES
CON DEMASIADO REFUERZO. TRABAJOS DONDE LA COLOCACIÓN SEA
DIFICIL. NORMALMENTE NO ES APROPIADO PARA COMPACTARLO CON
DEMASIADA VIBRACIÓN
consistencial=input('Seleccione la consistencia: ');

```

**Figura 117**

*Selección del asentamiento*



```

Command Window
Seleccione la consistencia del hormigón
(1) MUY SECA
(2) SECA
(3) SEMI SECA
(4) MEDIA
(5) HÚMEDA
Seleccione la consistencia: 4
El rango MEDIO es de 5.01 a 10.00
Ingrese el asentamiento = 10

```

***Tamaño máximo del agregado según el tipo de construcción***

```

%%PASO 2 TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO%%
disp('TIPOS DE CONSTRUCCIÓN');
disp('(1) MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS');
disp('(2) MUROS SIN REFUERZO');
disp('(3) LOSAS MUY REFORZADAS');
disp('(4) LOSAS SI REFUERZO O POCO REFORZADAS');
tipoc=input('Seleccione el tipo de construcción ');
switch tipoc
    case 1
        if tmaxgrso>=0.5&tmaxgrso<=0.75
            disp('El rango de la dimensión mínima es de 6 a
15');
            dimmin=input('Ingrese la dimensión de la
sección = ');

```

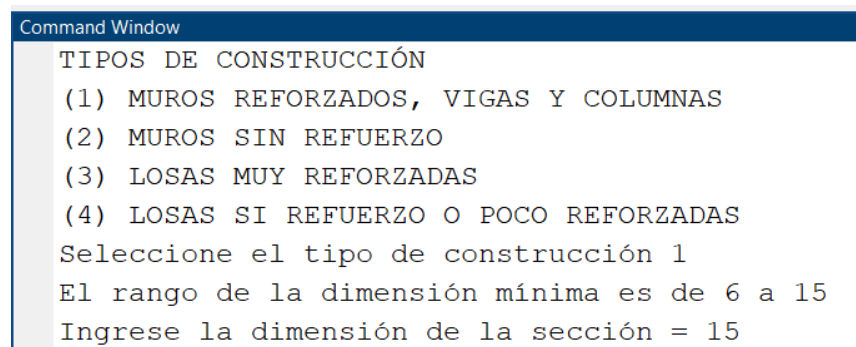
```

end
if tmaxgrso>=0.751&tmaxgrso<=1.5
    disp('El rango de la dimensión mínima es de 19
a 29');
    dimmin=input('Ingrese la dimensión de la
sección =');
end
if tmaxgrso>=1.501&tmaxgrso<=3
    disp('El rango de la dimensión mínima es de 30
a 75 o mas');
    dimmin=input('Ingrese la dimensión de la
sección =');
end

```

**Figura 118**

*Tipo de Construcción y dimensión de la sección*



```

Command Window
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN
(1) MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS
(2) MUROS SIN REFUERZO
(3) LOSAS MUY REFORZADAS
(4) LOSAS SI REFUERZO O POCO REFORZADAS
Seleccione el tipo de construcción 1
El rango de la dimensión mínima es de 6 a 15
Ingrese la dimensión de la sección = 15

```

**Cantidad de Agua en la mezcla con aire o sin aire incluido**

```

%%%%PASO 3 AGUA DE LA MEZCLA%%%%%%%%%
tmax=tmaxgrso*25.4;
disp('OPCIÓN 1 CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO');
disp('OPCIÓN 2 CONCRETO CON AIRE INCLUIDO');
aire=input('Seleccione una opción ');
switch aire
case 1
x=asentamiento;%X TOMA EL VALOR DEL ASENTAMIENTO
    if asentamiento>=3&asentamiento<=5
        if tmax>=10&tmax<13
            xo=10; x1=13; yo=205; y1=200;
        end
        if tmax>=13&tmax<20
            xo=13; x1=20; yo=200; y1=185;
        end
        if tmax>=20&tmax<25
            xo=20; x1=25; yo=185; y1=180;
        end
        if tmax>=25&tmax<40
            xo=25; x1=40; yo=180; y1=160;
        end
    end
end

```

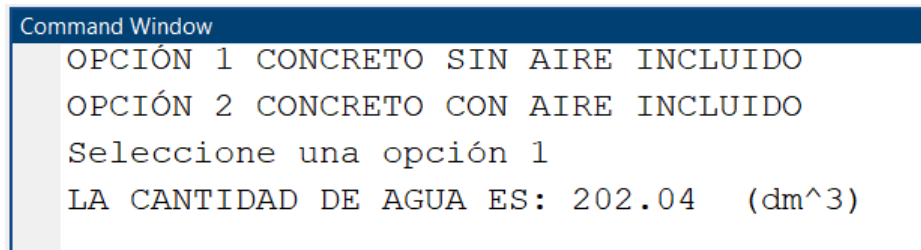
```

        end
        if tmax>=40&tmax<50
        xo=40; x1=50; yo=160; y1=155;
        end
        if tmax>=50&tmax<75
        xo=50; x1=75; yo=155; y1=145;
        end
    end
    A=yo+((y1-yo)/(x1-xo))*(tmax-xo);
    fprintf('LA CANTIDAD DE AGUA ES: %.2f (dm^3)\n\n',A)

```

**Figura 119**

*Cantidad de Agua en la mezcla con aire o sin aire incluido*



```

Command Window
OPCIÓN 1 CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO
OPCIÓN 2 CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
Seleccione una opción 1
LA CANTIDAD DE AGUA ES: 202.04 (dm^3)

```

### **Resistencia de diseño según el grado de control**

```

%PASO 4 DETERMINAR LA RESISTENCIA DE DISEÑO
disp('CLASE DE OPERACIÓN');
disp('(1) CONSTRUCCIÓN EN GENERAL');
disp('(2) LABORATORIO');
claseop=input('Seleccione la clase de operación ');
switch claseop
    case 1
        disp('GRADO DE CONTROL');
        disp('(1) EXELENTE');
        disp('(2) BUENO');
        disp('(3) REGULAR');
        disp('(4) POBRE');
        gradocontrol=input('Seleccione el tipo de control ');
        switch gradocontrol
            case 1
                gradc=10;
            case 2
                disp('El rango de BUENO es de 10.01 a 14.99');
                gradc=input('Ingrese el grado de control = ');
            case 3
                disp('El rango de REGULAR es de 15 a 19.99');
                gradc=input('Ingrese el grado de control = ');
            case 4

```

```

        gradc=20;
end
    case 2
disp('GRADO DE CONTROL');
disp('(1) EXELENTE');
disp('(2) BUENO');
disp('(3) REGULAR');
disp('(4) POBRE');
gradocontrol=input('Seleccione el grado de control ');
switch gradocontrol
    case 1
        gradc=5;
    case 2
        disp('El rango de BUENO es de 5.01 a 6.99');
        gradc=input('Ingrese el grado de control = ');
    case 3
        disp('El rango de REGULAR es de 7 a 9.99');
        gradc=input('Ingrese el grado de control = ');
    case 4
        gradc=10;
end
end
end

```

**Figura 120**

*Grado de control para la resistencia de diseño*

```

Command Window
CLASE DE OPERACIÓN
(1) CONSTRUCCIÓN EN GENERAL
(2) LABORATORIO
(3) SELECCIONAR LA CLASE DE OPERACIÓN
Seleccione la clase de operación 2
GRADO DE CONTROL
(1) EXELENTE
(2) BUENO
(3) REGULAR
(4) POBRE
Seleccione el tipo de control 3
El rango de REGULAR es de 7 a 9.99
Ingrese el grado de control = 8

```

***Selección de la relación agua-cemento***

```

%PASO 5 SELECCIONAR LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO
if fc>210&fc<=245
    if gradc>0&gradc<=12
        xo=210;
        x1=245;
    end
end

```



```

        yo=3.1481*gradc+210;
        y1=3.75*gradc+245;
    end
    if gradc>12&gradc<=13.5
        xo=210;
        x1=245;
        yo=3.1481*gradc+210;
        y1=12.5*gradc+140;
    end
    if gradc>13.5&gradc<=15
        xo=210;
        x1=245;
        yo=10.395*gradc+112.17;
        y1=12.5*gradc+140;
    end
    if gradc>15&gradc<=17.2
        xo=210;
        x1=245;
        yo=10.395*gradc+112.17;
        y1=330;
    end
    if gradc>17.2
        xo=210;
        x1=245;
        yo=292;
        y1=330;
    end
end

fcr=yo+((y1-yo)/(x1-xo))*(fc-xo);
if aire==1
    if fcr>=175&fcr<210
        xo=175; x1=210; yo=0.65; y1=0.58;
    end
    if fcr>=210&fcr<245
        xo=210; x1=245; yo=0.58; y1=0.51;
    end
    if fcr>=245&fcr<280
        xo=245; x1=280; yo=0.51; y1=0.44;
    end
    if fcr>=280&fcr<315
        xo=280; x1=315; yo=0.44; y1=0.38;
    end
    if fcr>=315&fcr<350
        xo=315; x1=350; yo=0.38; y1=0.31;
    end
    if fcr>=350&fcr<385
        xo=350; x1=415; yo=0.31; y1=0.24;
    end
    if fcr>=385&fcr<415
        xo=385; x1=415; yo=0.24; y1=0.18;
    end
end

```

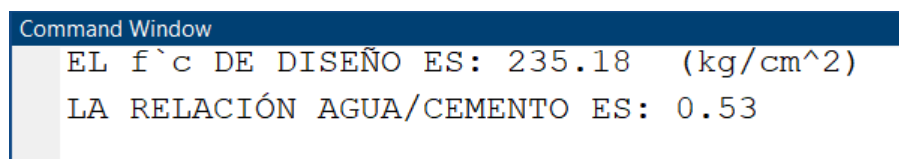
```

        end
        if fcr>=415&fcr<450
            xo=415; x1=450; yo=0.18; y1=0.12;
        end
    end
    fprintf('EL f`c DE DISEÑO ES: %.2f (kg/cm^2)\n',fcr)
    Acemento=yo+((y1-yo)/(x1-xo))*(fcr-xo);
    fprintf('LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO ES: %.2f
\n\n',Acemento)

```

**Figura 121**

*Resistencia de Diseño y Relación agua/cemento*



```

Command Window
EL f`c DE DISEÑO ES: 235.18 (kg/cm^2)
LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO ES: 0.53

```

### **Dosificaciones para pesos secos y húmedos**

```

%PASO 6 CONTENIDO DE CEMENTO
%%VALOR EN KG
C=A/Acemento;
fprintf('LA CANTIDAD DE CEMENTO PARA 1m3 ES: %.2f
kg\n',C)
sc=C/50;%%VALOR EN SACOS
fprintf('LA CANTIDAD DE SACOS DE CEMENTO PARA 1m3 ES:
%.2f sacos\n',sc)
%%NOS ARROJA EL VALOR PARA ELABORAR 1 M3 DE CEMENTO
%PASO 7 AGREGADO GRUESO
tmax=tmaxgrso*25.4;
%%MÓDULO DE FINURA DE 2.4 A 3.6
if modffin>=2.4&modffin<3.6
    if tmax>=10&tmax<13
        xo=10;
        x1=13;
        yo=-0.1*(modffin)+0.74;
        y1=-0.1*(modffin)+0.83;
    end
    if tmax>=13&tmax<20
        xo=13;
        x1=20;
        yo=-0.1*(modffin)+0.83;
        y1=-0.1*(modffin)+0.9;
    end
    if tmax>=20&tmax<25
        xo=20;
        x1=25;
    end
end

```

```

yo=-0.1*(modffin)+0.9;
y1=-0.1*(modffin)+0.95;
end
if tmax>=25&tmax<40
xo=25;
x1=40;
yo=-0.1*(modffin)+0.95;
y1=-0.1*(modffin)+0.99;
end
if tmax>=40&tmax<50
xo=40;
x1=50;
yo=-0.1*(modffin)+0.99;
y1=-0.1*(modffin)+1.02;
end
if tmax>=50&tmax<75
xo=50;
x1=75;
yo=-0.1*(modffin)+1.02;
y1=-0.1*(modffin)+1.05;
end
if tmax>=75&tmax<150
xo=75;
x1=150;
yo=-0.1*(modffin)+1.05;
y1=-0.1*(modffin)+1.11;
end
end
bbo=yo+((y1-yo)/(x1-xo))*(tmax-xo);
bo=(muscgrueso)/(dengrso);
b=bbo*bo;
    %PASO 8 AGREGADO FINO Y GRUESO
    ck=1000-(C/3.14)-A;
fprintf('CANTIDAD DE AGREGADO FINO Y GRUESO PARA 1m3:
%.2f kg\n',ck)
    %PORCENTAJE DE ARENA

    p=abs(((ck-1000*b)/(ck))*100);
    %PASO 9 PORCENTAJES INICIALES
    k=((ck)/(C));
    %PORCENTAJE DE FINOS
    f=((k*p*denfin)/(100));
    %PORCENTAJE DE GRUESOS
    g=((k*(100-p)*dengrso)/(100));
    %RESULTADOS
disp('DOSIFICACIÓN');
cementol=1;
    fprintf('CEMENTO: %.2f \n',cementol)
    f=((k*p*denfin)/(100));
    fprintf('ARENA: %.2f \n',f)
    g=((k*(100-p)*dengrso)/(100));

```

```

    fprintf('RIPIO: %.2f \n',g)
    fprintf('RELACIÓN AGUA/CEMENTO: %.2f \n',Acemento)
    %%%DOSIFICACIÓN PARA CUALQUIER PESO%%
    volumen=input('INGRESE EL VOLUMEN A DOSIFICAR (m^3) =
');
    peso=(1/(1+f+g))*volumen*3140;
    fprintf('CEMENTO: %.2f kg\n',peso)
    disp('PESOS SECOS');
    Afinseco=peso*f;
    fprintf('ARENA: %.2f kg\n',Afinseco)
    Agrsoseco=peso*g;
    fprintf('RIPIO: %.2f kg\n',Agrsoseco)
    Aguahum=peso*Acemento;
    fprintf('AGUA: %.2f kg\n',Aguahum)
    disp('PESOS HUMEDOS');
    Afinhum=Afinseco*(1+(humfin/100));
    fprintf('ARENA: %.2f kg\n',Afinhum)
    Agrsohum=Agrsoseco*(1+(humgrso/100));
    fprintf('RIPIO: %.2f kg\n',Agrsohum)
    %disp('APORTE FINO');
    Aporfin=humfin-absorfin;
    %disp('APORTE GRUESO');
    Aporgrso=humgrso-absorgrso;
    Aguafin=Afinseco*((Aporfin/100));
    %fprintf('El agua en finos es: %.2f \n',Aguafin)
    Aguagrso=Agrsoseco*((Aporgrso/100));
    %fprintf('El agua en gruesos es: %.2f \n',Aguagrso)
    Aguatot=Aguahum-((Aguafin+Aguagrso));
    fprintf('El agua corregida es: %.2f \n',Aguatot)

```

## Figura 122

### *Dosificaciones y pesos secos y húmedos*

```
Command Window
LA CANTIDAD DE CEMENTO PARA 1m3 ES: 381.47 kg
LA CANTIDAD DE SACOS DE CEMENTO PARA 1m3 ES: 7.63 sacos
CANTIDAD DE AGREGADO FINO Y GRUESO PARA 1m3: 676.48 kg
DOSIFICACIÓN
CEMENTO: 1.00
ARENA: 2.50
RIPIO: 2.39
RELACIÓN AGUA/CEMENTO: 0.53
INGRESE EL VOLUMEN A DOSIFICAR (m^3) = 0.0328
CEMENTO: 17.50 kg
PESOS SECOS
ARENA: 43.67 kg
RIPIO: 41.82 kg
AGUA: 9.27 kg
PESOS HUMEDOS
ARENA: 45.30 kg
RIPIO: 42.51 kg
El agua corregida es: 9.76
```

## Desarrollo de la interfaz compatible con Android

### ***Interfaz plataforma MIT APP INVENTOR***

Para el desarrollo de la interfaz se emplea la plataforma MIT App Inventor, creado por Google Labs para la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. El usuario puede, de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación.

La pestaña de diseño (figura 123) cuenta con: elementos visuales, vista previa, componentes incorporados y propiedades; mientras que la pestaña de bloques (figura 124) tiene los elementos de programación y el desarrollo del algoritmo.

Figura 123

Interfaz de la plataforma MIT APP INVENTOR

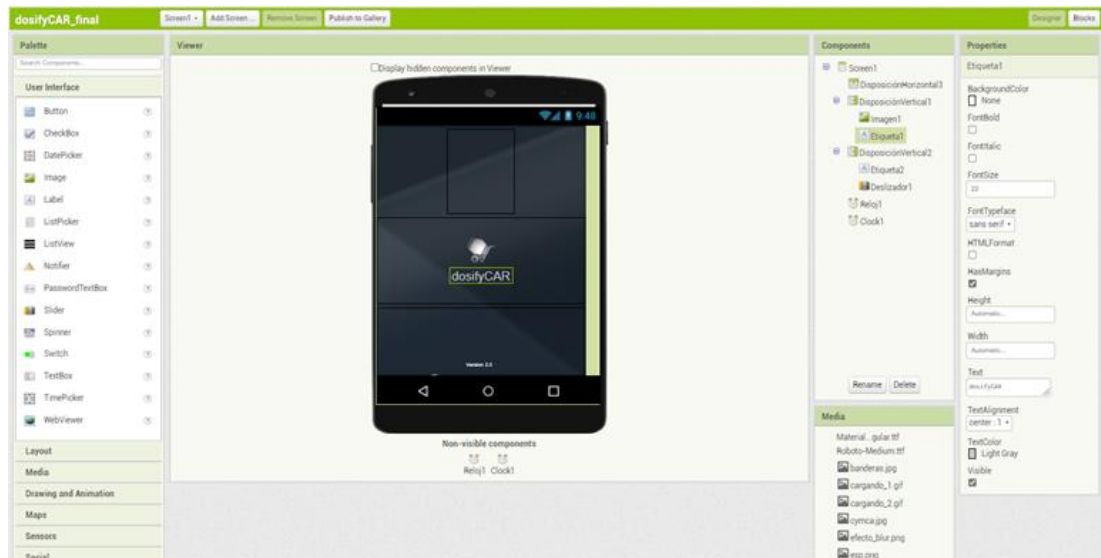


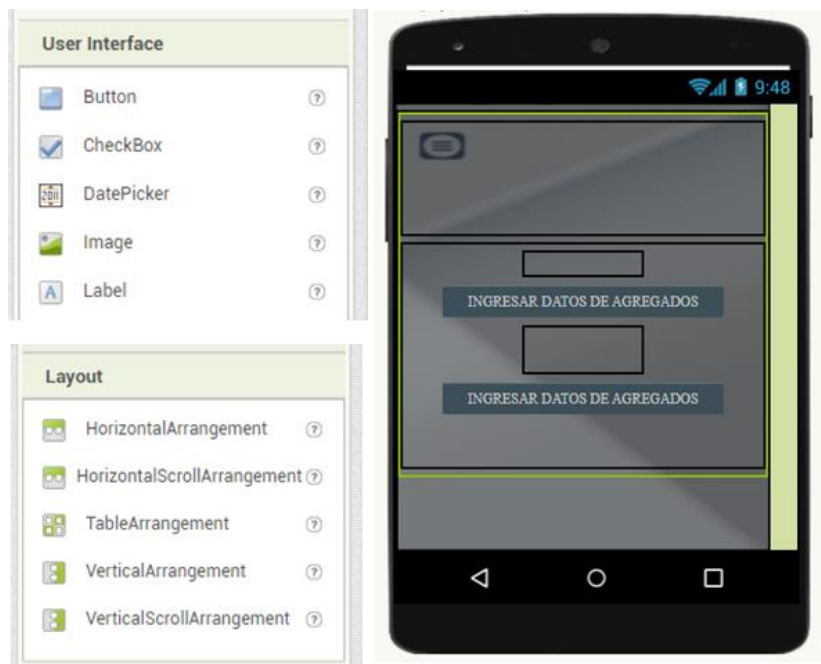
Figura 124

Bloques de programación



### Menú de opciones

Para el desarrollo de la pantalla Menú (figura 125), se utilizan elementos Layout que permiten la separación y ubicación de elementos en la pantalla y junto con botones (figura 126) que requieren la incorporación de comandos para la ejecución de diferentes acciones.

**Figura 125***Vista pantalla "Menú"*

**Figura 126**

*Desarrollo bloques para la pantalla menú*



### ***Introducción de datos***

Para la lectura de datos (figura 127) se utiliza elementos TextBox, adicional para el almacenamiento y su posterior uso se requiere de la herramienta TinyDB junto a bloques para la asignación de nombres de la variable en el almacenamiento global (figura 128).



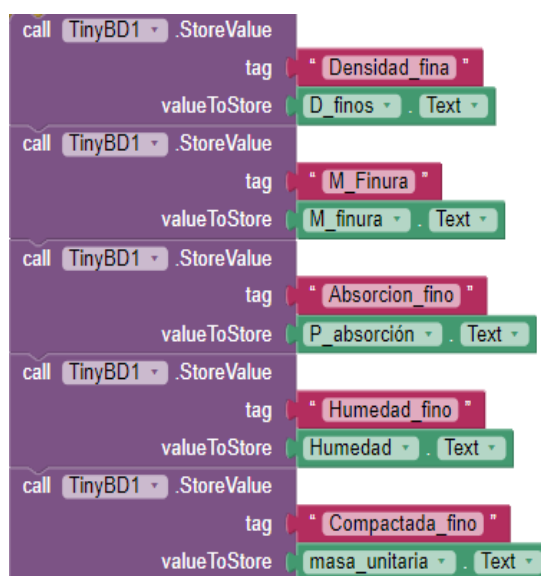
Figura 127

Vista pantalla "Ingreso de datos" – TextBox y Tiny DB



Figura 128

Asignación de bloques para almacenamiento de variables



### Selección de cantera

Para la selección de cantera se incorpora imágenes (figura 129), adicional a los botones y se preestablece los datos (figura 130) de cada cantera que se asignan luego de apretar el botón correspondiente a la cantera deseada.

Figura 129

*Pantalla "Seleccionar cantera"*

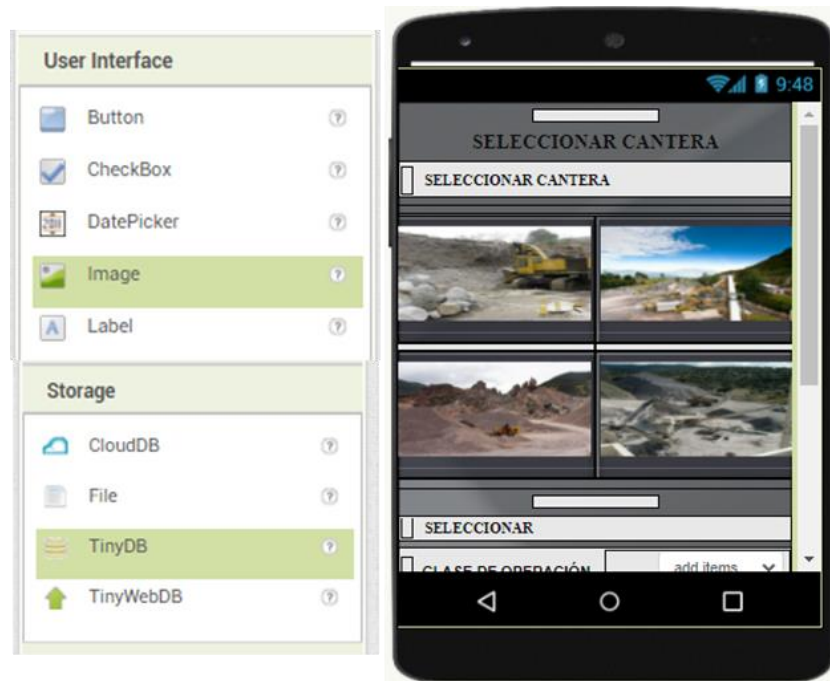


Figura 130

*Asignación valores de caracterización*

```

to C_HOLCIM_F
do
  call TinyDB1 .StoreValue
    tag "Densidad_fina"
    valueToStore 2.80
  call TinyDB1 .StoreValue
    tag "M_Finura"
    valueToStore 3.06
  call TinyDB1 .StoreValue
    tag "Absorcion_fino"
    valueToStore 4.63
  call TinyDB1 .StoreValue
    tag "Humedad_fino"
    valueToStore 3.74
  call TinyDB1 .StoreValue
    tag "Compactada_fino"
    valueToStore 1.73
  call TinyDB1 .StoreValue
    tag "Vacios_fino"
    valueToStore 26.47

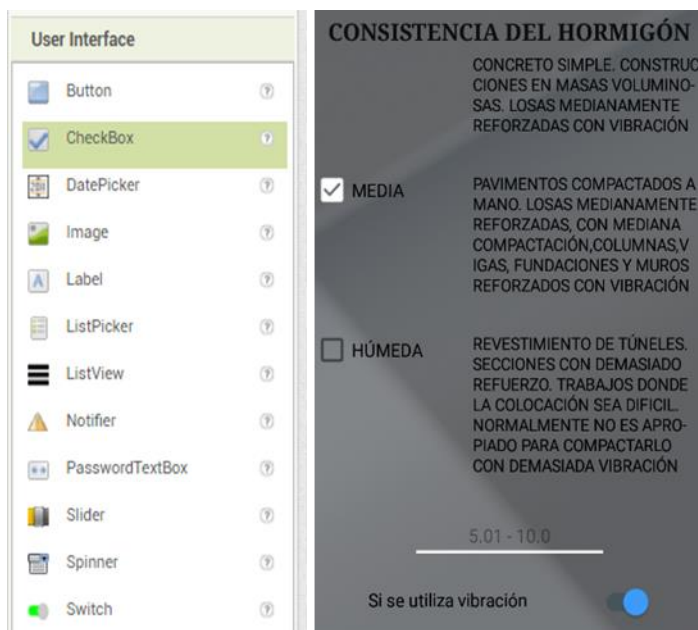
```

### Selección del asentamiento

En este apartado se utiliza elementos CheckBox que al ser seleccionados muestran el asentamiento recomendado (figura 131) en un TextBox que almacena el valor mediante los bloques asignados (figura 132).

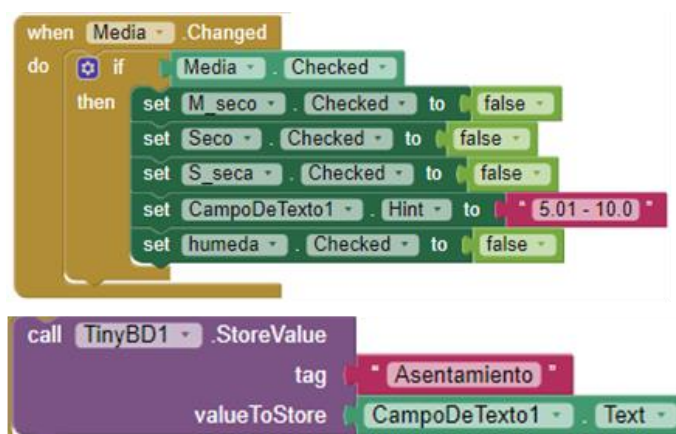
**Figura 131**

*Pantalla "Selección del asentamiento"- Check box y Text box*



**Figura 132**

*Bloques de asignación pantalla "Selección de asentamiento"*



***Tipo de construcción y tamaño de agregado recomendado***

Como en los apartados anteriores se emplea elementos Layout, CheckBox y TextBox (figura 133), para la ubicación de elementos, selección de opciones y lectura de datos respectivamente. Al seleccionar una opción dependiendo del tipo de construcción y tamaño nominal del agregado, el algoritmo (figura 134) recomienda la dimensión mínima del elemento a elaborar.

Figura 133

Pantalla "Tipo de construcción" - CheckBox y TextBox

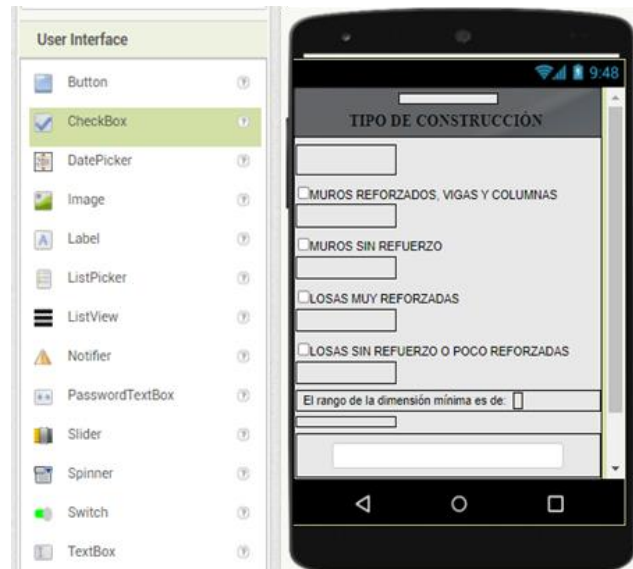
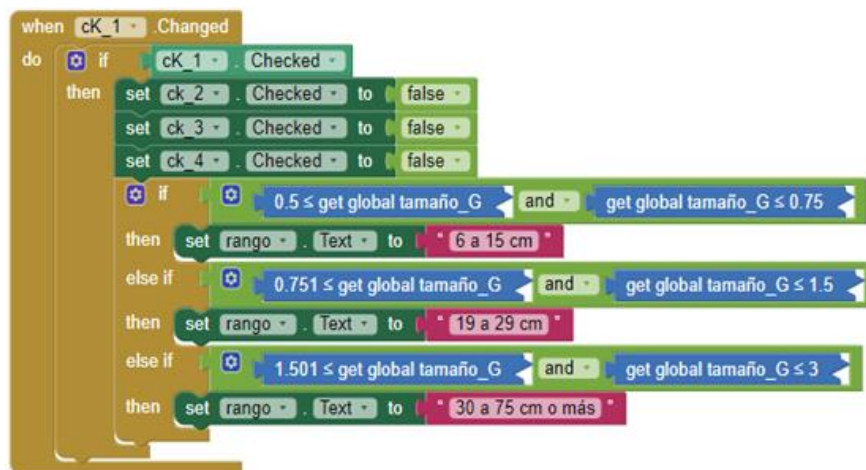


Figura 134

Bloques de asignación para el tamaño nominal máximo



### Cálculo de cantidad de agua

Adicional a los elementos presentados, se utiliza un Switch (figura 135) para la ecuación del cálculo del agua con o sin la inclusión de aire dependiendo del asentamiento seleccionado previamente y utilizando bloques de programación (figura 136).

Figura 135

Pantalla "Cantidad de agua" – Switch

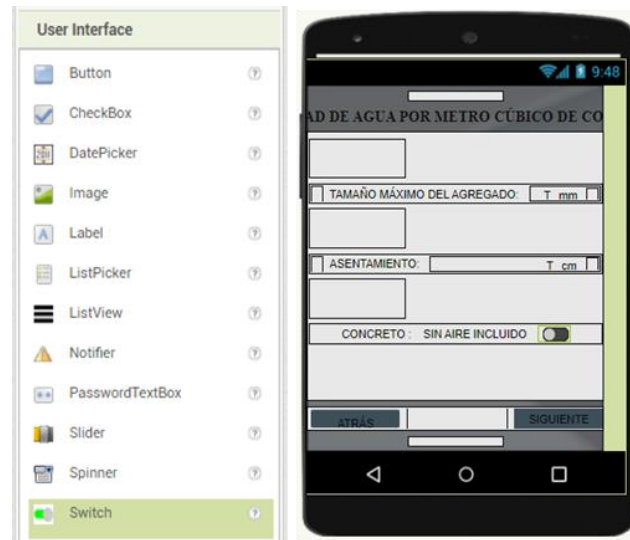


Figura 136

Bloques de asignación para la cantidad de agua



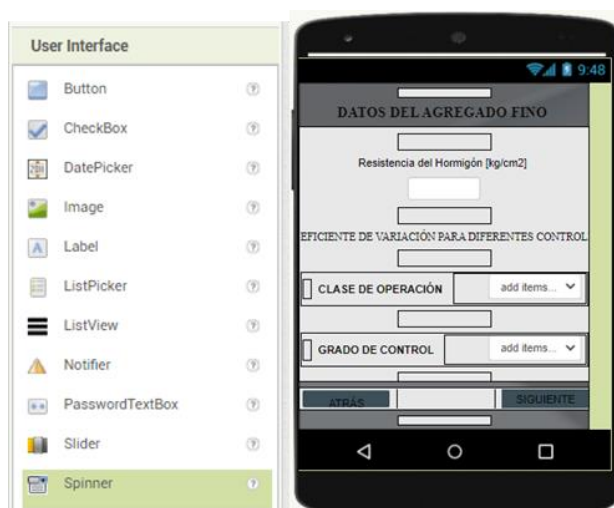
### Coeficiente de variación

Para la selección del coeficiente se utiliza elementos Spinner (figura 137 ), los

cuales generan una lista apartir de elementos incorporados en los bloques, que al ser seleccionados mediante bloques de programación (figura 138) muestran el coeficiente recomendado para la clase de operación y grado de control.

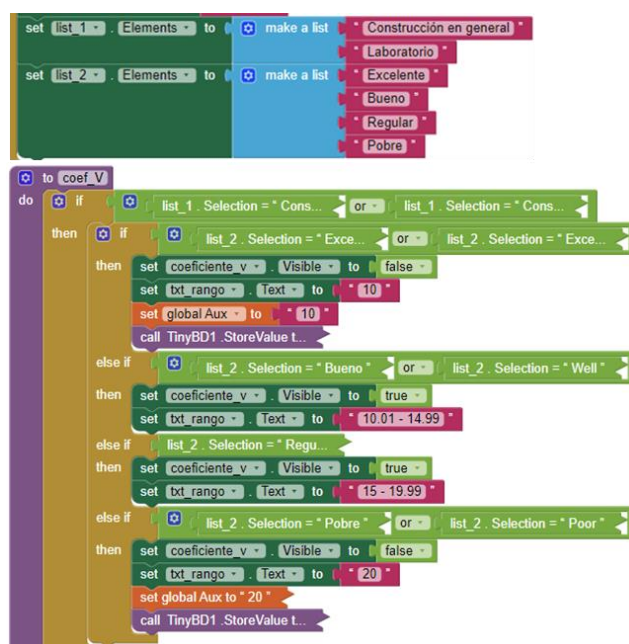
**Figura 137**

*Pantalla "Resistencia de diseño y coeficiente de variación" – Spinner*



**Figura 138**

*Bloques de programación para pantalla de coeficiente de variación*

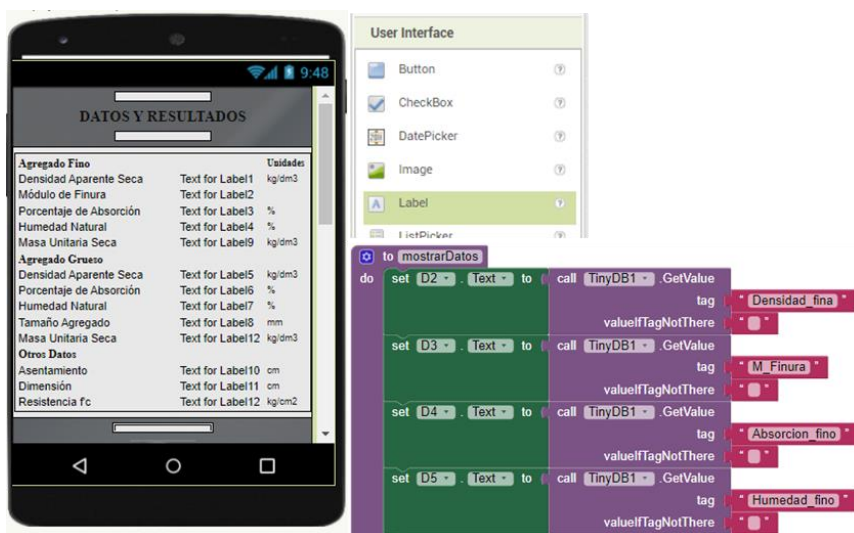


## Pantalla resultados

La primera parte de la pantalla resultados se encuentra conformado por elementos Label (figura 139), para la escritura de texto, además se incorporo bloques para cambiar el texto y muestre los resultados obtenidos de las anteriores pantallas.

**Figura 139**

*Pantalla de resultados y bloques de programación para asignación de datos – Label*



La segunda parte de la pantalla (figura 140) muestra resultados del cálculo de la dosificación semejante al que se presenta en MATLAB, y el cálculo de volumen de materiales con un Spinner para seleccionar el tipo de dosificación, por metro cubico o kilogramo.



Figura 140

*Cálculo de volúmenes y pesos de material*



### Validación del programa

Para la validación del programa se muestra como ejemplo la dosificación para  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  de la cantera de Pintag, la cual se realiza mediante Excel (figura 141), el algoritmo base (figura 142), y la aplicación móvil (figura 143). El Excel difiere en el tercer decimal con respecto a la aplicación, esto se debe a que algunos comandos del Excel redondean las cifras a dos decimales, mientras que la aplicación considera todos los decimales. Sin embargo, la diferencia es despreciable para fines constructivos. Este proceso solo valida que la aplicación calcule bien las dosificaciones, para validar su resistencia se comprueba mediante el ensayo de compresión simple realizado en laboratorio (figura 144).

Figura 141

*Dosificaciones en Excel*

	Resistencia	Cemento	Arena	Ripio	Considerando desperdicio			
	kg/cm2	kg	kg	kg	Cemento	Arena	Ripio	Agua
PINTAG	210	18,55	47,44	37,11	18,55	48,01	37,18	12,98
	240	21,20	44,95	36,95	21,20	45,49	37,02	12,83
	270	24,45	41,89	36,76	24,45	42,39	36,82	12,65
	315	31,24	35,51	36,35	31,24	35,94	36,42	12,26
	350	42,24	25,16	35,69	42,24	25,46	35,76	11,64
					154,22	247,22	220,49	75,45

Figura 142

*Dosificación en algoritmo base*

```

Command Window
DOSIFICACIÓN
CEMENTO: 1.00
ARENA: 2.12
RIPIO: 1.74
RELACIÓN AGUA/CEMENTO: 0.46
INGRESE EL VOLUMEN A DOSIFICAR (m^3) = 0.0328
CEMENTO: 21.20 kg
PESOS SECOS
ARENA: 44.97 kg
RIPIO: 36.82 kg
AGUA: 9.78 kg
PESOS HUMEDOS
ARENA: 45.51 kg
RIPIO: 36.89 kg
El agua corregida es: 12.83

```

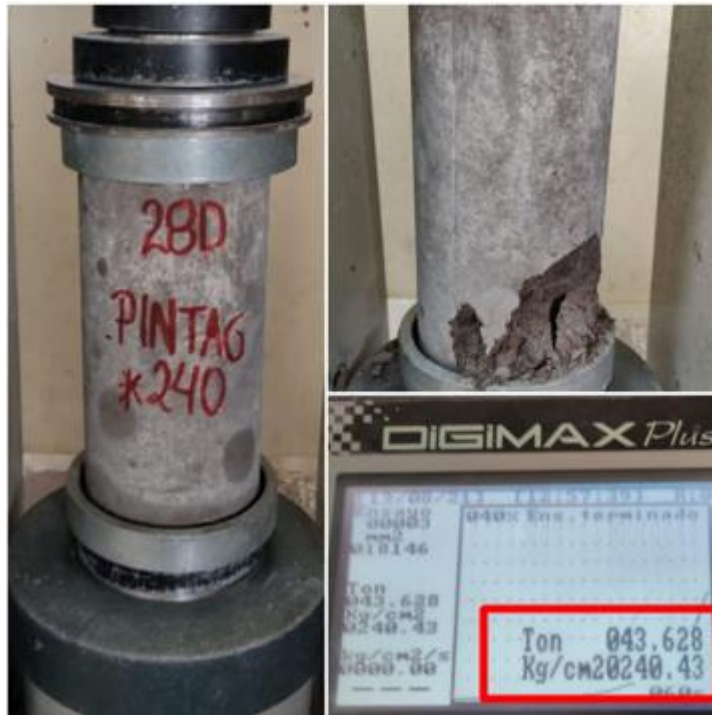
Figura 143

*Dosificación en la aplicación*

DATOS Y RESULTADOS		Dimensión	15 cm
<b>Agregado Fino</b>	<b>Unidades</b>	Resistencia f'c	240 kg/cm <sup>2</sup>
Densidad Aparente Seca	2.63 kg/dm <sup>3</sup>	Agua[dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	202.036
Módulo de Finura	3.01	A/C	0.461
Porcentaje de Absorción	5.33 %	Cemento[kg/m <sup>3</sup> ]	437.898
Humedad Natural	1.2 %	<b>DOSIFICACIÓN</b>	
Masa Unitaria Seca	1.64 kg/dm <sup>3</sup>	A/C : C : A : R	
<b>Agregado Grueso</b>		0.46 : 1 : 2.12 : 1.74	
Densidad Aparente Seca	2.49 kg/dm <sup>3</sup>	<b>INGRESE LA CANTIDAD</b>	
Porcentaje de Absorción	3.41 %	Hormigón [m <sup>3</sup> ]	▼
Humedad Natural	0.18 %	0.0328	Calcula
Tamaño Agregado	19.05 mm	Cemento	21.20 kg 0.01 m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Seca	1.29 kg/dm <sup>3</sup>	<b>Pesos Secos</b>	
<b>Otros Datos</b>		Agregado Fino	44.97 kg 0.02 m <sup>3</sup>
Asentamiento	10 cm	Agregado Grueso	36.82 kg 0.01 m <sup>3</sup>
Dimensión	15 cm	Agua	9.78 kg 0.01 m <sup>3</sup>
Resistencia f'c	240 kg/cm <sup>2</sup>	<b>Pesos Húmedos</b>	
		Agregado Fino	45.51 kg 0.02 m <sup>3</sup>
		Agregado Grueso	36.89 kg 0.01 m <sup>3</sup>
		Agua	12.83 kg 0.01 m <sup>3</sup>

Figura 144

*Validación de la resistencia a compresión*



## Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

- La aplicación “DosifyCAR” es de fácil manejo e instalación, no requiere de internet para su funcionamiento, y ofrece al usuario obtener la dosificación requerida de forma inmediata ingresando las características necesarias de los agregados pétreos, además la aplicación incluye una base de datos de 4 canteras ubicadas en la provincia de Pichincha, que permite optimizar aún más el tiempo que toma diseñar la mezcla.
- La plataforma “MIT APP INVENTOR” mediante una programación por bloques permite desarrollar aplicaciones para Android muy amigables con el usuario, sin necesidad de ser un programador experto.
- La aplicación fue validada con éxito basándonos en las tablas: 50, 57, 64 y 71 donde se puede verificar que 21 dosificaciones de 24 sobrepasan el 95% de la resistencia requerida, esto representa el 88% de las dosificaciones realizadas, y es importante recalcar que las 3 dosificaciones que no cumplen con la resistencia requerida se deben a que el material grueso no se ajusta en las fajas granulométricas del ASTM y posee un desgaste de 48.5%.
- Dos factores influyentes de la caracterización para la dosificación del hormigón son la granulometría del agregado grueso y el porcentaje de desgaste, esto se puede evidenciar en la cantera de Sevilla que al no cumplir de manera óptima con estos factores su resistencia se ve afectada notablemente.
- Al utilizar arena lavada para una dosificación se reducen las correcciones por humedad, debido a que el porcentaje de absorción del material es menor al porcentaje de humedad natural del material, esto se puede apreciar en la cantera de Cymca.
- La mayoría de las resistencias obtenidas superan a las resistencias requeridas, ya que pese a haber tomado un grado de control regular con un valor de 8 para el diseño de hormigón en laboratorio, se realizó un control adecuado durante todo el proceso de fundición y curado.

- Mediante las curvas de resistencia obtenida promedio vs resistencia requerida, se puede evidenciar un aumento significativo a partir de las resistencias mayores a  $240 \text{ kg/cm}^2$ , debido a que el cemento tiende a ser más predominante en la dosificación.
- Se puede corregir la resistencia requerida mediante la curva de ajuste, como se puede evidenciar para la cantera de Sevilla mostrada en la tabla 71, la cual indica que para una resistencia requerida de  $180 \text{ kg/cm}^2$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$  se obtiene resistencias de  $91.46 \text{ kg/cm}^2$  y  $433.86 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. sin embargo, las resistencias que no satisfacen, así como las que se sobrepasan, se las puede ajustar con la ecuación mostrada en la figura 114, siempre y cuando el grado control usado se de 8.

## Recomendaciones

- Para realizar una dosificación y que esta llegue a la resistencia de manera óptima se recomienda que tanto los agregados gruesos como finos cumplan con las especificaciones para agregados en el concreto de la ASTM, es decir, que se encuentren dentro de las fajas granulométricas recomendadas, y que el desgaste del agregado grueso no supere el 50%.
- Se recomienda que las condiciones de preparar y curar el hormigón sean acordes al grado de control escogido, es decir, si se escoge un valor en el rango de bueno o excelente, el control de calidad para mezclado, colado, vibrado, curado, etc. debe ser extremadamente riguroso.
- Se recomienda ensayar probetas a compresión simple con diferentes grados de control con el objetivo de obtener las curvas de ajuste necesarias para poder interpolar entre ellas con la finalidad de optimizar el material y ofrecer al usuario una mejor aproximación a la resistencia requerida.
- Se recomienda aumentar la variedad de tamaños máximos nominales del agregado grueso, tipos de agregado fino, y el número de canteras, para esto se requiere validar la caracterización bajo las normas NTE y ASTM, con el objetivo de satisfacer las necesidades del usuario.
- Es recomendable realizar el ensayo de humedad previo a cada fundición con el fin de la corrección de agua real y poder corroborarlo con el agua de exceso añadido a la mezcla, ya que el material a la intemperie pierde humedad.
- Para mitigar las variaciones entre el agua dosificada y el agua incorporada a la mezcla durante la fundición, se recomienda secar al horno los agregados pétreos para poder utilizar la dosificación con pesos secos, cabe recalcar que esto se realizaría únicamente en ensayos de laboratorio con fines investigativos.
- En caso de que la granulometría del agregado grueso no se encuentre dentro del rango óptimo según la norma ASTM C33-C33M-11a, se

recomienda realizar un ajuste granulométrico con la finalidad de garantizar un correcto comportamiento a esfuerzos de compresión.

- Debido a que la relación agua/cemento (A/C) disminuye de forma considerable para hormigones con resistencias mayores a  $270 \text{ kg/cm}^2$ , se recomienda el uso de un aditivo plastificante que permita mejorar la manejabilidad del hormigón en obra.



## Referencias Bibliograficas

- (10 de 14 de 2014). Obtenido de Umacon:  
<http://www.umacon.com/noticia.php/es/Mezcladoras-de-cemento-que-son-y-que-tiposhay/374>
- American Society for Testing Materials. (1999). ASTM C 1064: Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico. En *Standard Specification for Concrete Aggregates*. West Conshohocken: ASTM.
- American Society for Testing Materials. (1999). ASTM C33-C33M-11a: Standard Specification for Concrete Aggregates. En *ASTM Standards*. West Conshohocken: ASTM.
- American Society for Testing Materials. (2008). ASTM C 31/C 31M: Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra. En *Standard Specification for Concrete*. West Conshohocken: ASTM.
- American Society for Testing Materials. (s.f.). ASTM C131C. Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. West Conshohocken: ASTM.
- Andrés, R., & Johan, H. (s.f.). Diseño de mezclas de hormigón por el método a.c.i y efectos de la adición de cenizas volantes de termostasajero en la resistencia a la compresión. *Diseño de mezclas de hormigón por el método a.c.i y efectos de la adición de cenizas volantes de termostasajero en la resistencia a la compresión*. Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.
- Cabrera, M. I. (2015). Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana clasificada por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación. *Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana clasificada por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Obtenido de Hormigones Elaborados.
- Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro Garcia, M., Rodriguez Valnciano, I., Rojas Vega, L., & Segura Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha*, 25, 80-86.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido grueso. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 858. Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de

- vacíos. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 860. Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 862. Determinación del contenido de humedad. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). NTE INEN 3119: Hormigón fresco de cemento hidráulico. Método para determinar la temperatura. En *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Quito: INEN.
- Kosmatka, S. H. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EEUU: Portland Cement Association.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois: Portland Cement Association.
- López, M., Kahn, L. F., & Kurtis, K. E. (2005). Curado interno en hormigones de alto desempeño - un nuevo paradigma. *Revista Ingeniería de Construcción*, 20, 117-126. Obtenido de [www.ing.puc.cl/ric](http://www.ing.puc.cl/ric)
- Morales Gubio, L. W., Santamía Carrera, J. L., Caicedo Barona, W., & Tipán Quinatoa, F. (2019). Hormigón estructural de baja densidad para edificaciones. *INGENIO*, 58-70.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Harlow, England: Pearson.
- Nieto, A. F. (2015). *Diseño de mezcla de concreto metodo ACI 211.1 - rnc 07*. Obtenido de issuu: <https://issuu.com/royrosasrozas/docs/diseo-dosificacindeconcreto-1606190>
- Niño Hernández, J. R. (2010). *Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas*. Bogotá, Colombia: ASOCRETO.
- Páez, A. (1986). *Hormigón Armado*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Páez, A. (1986). *Hormigón Armado*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Rivera L., G. A. (1992). *Concreto Simple*. Popayán: Universidad del Cauca. Obtenido de [civilgeeks](http://civilgeeks.com).
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá : Bhandar Editores.
- Silva, O. J. (2020). *Argos*. Recuperado el 2021, de 360 en concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/evitar-secado-prematuro-contraccion-y-fisuracion-del-concreto>
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design* (6th ed.). Estados Unidos: Pearson Education, Inc.

**Anexos**

1. ANEXO A
2. ANEXO B
3. ANEXO C
4. ANEXO D
5. MANUAL DE "DosifyCAR"