



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA LA  
OBTENCIÓN DE UNA ADECUADA RESISTENCIA DEL  
CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS, MEDIANTE EL  
MÉTODO DE CURADO ACELERADO, PUNO – 2021**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WUINCLINTON MIRANDA CABANA**

**JEANMARCO MIRANDA SABANAYA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA  
PARA LA OBTENCIÓN DE UNA ADECUA  
DA RESISTENCIA DEL CONCRETO CON A  
GR**

AUTOR

**JEANMARCO MIRANDA SABANAYA, WU  
INCLINTON MIRANDA CABANA**

RECuento DE PALABRAS

**55995 Words**

RECuento DE CARACTERES

**286005 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**282 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jan 11, 2024 2:55 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jan 11, 2024 3:00 PM GMT-5**

### ● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
MARIANO R. GARCIA LOAYZA  
CIP 26223  
INGENIERO CIVIL

  
Ing. Emilio Castillo Aroni  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNAP N° 920514

Resumen



## DEDICATORIA

A Dios por darme salud y fortaleza, en momentos, donde a punto de caer he estado, con toda humildad que desde lo más profundo de mi corazón puedo expresar, dedico esta tesis en primer lugar a él.

A mis padres Rafael y Ceferina por brindarme todo el apoyo y tiempo que me permitieron alcanzar mis metas personales. A mis hermanos Ronald, Denilshon, Elidad y Alexander por todos los consejos y todo el apoyo.

A todos mis amigos por su apoyo incondicional, esto también es posible gracias a ellos.

Jeanmarco Miranda Sabanaya.



## DEDICATORIA

A Dios por darme salud y fortaleza, en momentos, donde a punto de caer he estado, con toda humildad que desde lo más profundo de mi corazón puedo expresar, dedico esta tesis en primer lugar a él.

A mis padres Victoria y Saturnino por brindarme todo el apoyo y tiempo que me permitieron alcanzar mis metas personales. A mis hermanos Rosa, Reyna, Judith y Giovanni por todos los consejos y el apoyo.

A todos mis amigos por su apoyo incondicional, esto también es posible gracias a ellos.

Wuinclinton Miranda Cabana.



## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos fortaleza, salud, capacidad y permitirnos culminar el presente trabajo.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por la oportunidad de adquirir conocimientos acerca del maravilloso mundo de la ingeniería y brindarnos una formación óptima. Asimismo, a los docentes, por todos los conocimientos, orientaciones y experiencias impartidas en la formación profesional.

Al honorable jurado compuesto por el Ing. Jose Luis Cutipa Arapa, Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa e Ing. Gleny Zoila de la Riva Tapia por el veredicto sapiente y justiciero.

A nuestro director de tesis Dr. Mariano Roberto García Loayza por las recomendaciones, confianza y el apoyo desinteresado en la realización de esta investigación.

A nuestra querida familia, por el apoyo incondicional, por quienes ahora estamos cumpliendo un paso más en lograr nuestro propósito de vida.

A nuestros compañeros de aula amigos que cultivamos en nuestra vida universitaria, en especial a nuestros amigos Erik, Leyter y Denis, por el apoyo durante el proceso de la realización de la tesis.



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>28</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>32</b>
1.1.1. Descripción del problema.....	32
1.1.2. Formulación del problema .....	34
1.1.3. Problemas específicos .....	34
<b>1.2. HIPÓTESIS.....</b>	<b>34</b>
1.2.1. Hipótesis general .....	34
1.2.2. Hipótesis específicas .....	35
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>36</b>
1.4.1. Objetivo general .....	36
1.4.2. Objetivo específico.....	36

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA



<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN O MARCO</b>	
<b>REFERENCIAL.....</b>	<b>37</b>
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	37
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional .....	40
2.1.3. Antecedentes a nivel regional .....	42
<b>2.2. BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>44</b>
2.2.1. Concreto .....	44
2.2.2. Componentes del concreto .....	44
2.2.2.1. Cemento.....	44
2.2.2.2. Agregados.....	46
2.2.2.3. Agua.....	50
2.2.3. Tipos de concreto .....	51
2.2.3.1. Concreto normal o convencional.....	51
2.2.3.2. Concreto armado.....	52
2.2.3.3. Concreto pos-tensado .....	52
2.2.3.4. Concreto pretensado .....	52
2.2.3.5. Concreto ciclópeo .....	52
2.2.3.6. Concreto reciclado.....	53
2.2.4. Propiedades del concreto.....	53
2.2.4.1. En estado fresco.....	53
2.2.4.2. En estado endurecido.....	56
2.2.5. Diseño de mezclas del concreto .....	58
2.2.5.1. Método de diseño módulo de fineza.....	59
2.2.5.2. Optimización del diseño de mezclas .....	59
2.2.5.3. Variables de diseño que influyen en la optimización .....	60



2.2.6.	Curado del concreto .....	61
2.2.6.1.	Duración del curado de concreto .....	62
2.2.6.2.	Influencia de la temperatura en el concreto .....	63
2.2.6.3.	Métodos de curado acelerados según NTP 339.213 .....	65
2.2.7.	Agregado reciclado .....	70
2.2.7.1.	Agregado de concreto reciclado .....	70
2.2.7.2.	Propiedades de los agregados reciclado procedentes del concreto .....	70
2.2.7.3.	Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado fresco .....	79
2.2.7.4.	Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado endurecido .....	81
2.2.8.	Aplicaciones prácticas de uso de concreto reciclado .....	84
<b>2.3.</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>88</b>
2.3.1.	Optimización .....	88
2.3.2.	Diseño de mezcla .....	88
2.3.3.	Concreto .....	88
2.3.4.	Resistencia a la compresión .....	88
2.3.5.	Concreto Reciclado .....	89
2.3.6.	Curado del concreto .....	89
2.3.7.	Curado Acelerado.....	89

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>90</b>
3.1.1.	Finalidad de la investigación: Básica .....	90





3.1.2.	Enfoque de investigación: Cuantitativa.....	90
3.1.3.	Alcance o niveles de investigación: Correlacional .....	90
3.1.4.	Diseño metodológico de la investigación: Experimental .....	91
<b>3.2.</b>	<b>ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>91</b>
3.2.1.	Geográfica .....	91
3.2.2.	Tiempo de extensión del proyecto de estudio .....	91
<b>3.3.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>92</b>
3.3.1.	Población.....	92
3.3.1.1.	Definición de la población.....	92
3.3.2.	Muestra.....	93
3.3.2.1.	Procedimiento de muestreo .....	93
3.3.2.2.	Descripción de la muestra.....	93
<b>3.4.</b>	<b>MATERIALES .....</b>	<b>99</b>
3.4.1.	Cemento Portland tipo IP .....	100
3.4.2.	Agregado fino.....	100
3.4.2.1.	Agregado fino normal.....	100
3.4.2.2.	Agregado fino reciclado .....	100
3.4.3.	Agregado grueso .....	100
3.4.3.1.	Agregado grueso normal .....	100
3.4.3.2.	Agregado grueso reciclado .....	101
3.4.4.	Agua .....	101
<b>3.5.</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>101</b>
3.5.1.	Etapa preliminar .....	101
3.5.2.	Etapa de campo .....	102
3.5.3.	Etapa de laboratorio .....	102



3.5.3.1.	Obtención de los agregados.....	104
3.5.3.2.	Ensayos para la caracterización de los materiales .....	114
3.5.3.3.	Diseño de mezclas método módulo de fineza .....	122
3.5.3.4.	Vaciado del concreto en moldes cilíndricos .....	124
3.5.3.5.	Trabajabilidad del concreto fresco .....	125
3.5.3.6.	Curado del concreto.....	126
3.5.3.7.	Resistencia a la compresión.....	128
<b>3.6.</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLA .....</b>	<b>129</b>
3.6.1.	Cálculo de la resistencia promedio.....	130
3.6.2.	Tamaño máximo nominal.....	131
3.6.3.	Asentamiento requerido .....	131
3.6.4.	Volumen unitario de agua .....	131
3.6.5.	Contenido de aire atrapado.....	132
3.6.6.	Relación agua cemento a/c.....	132
3.6.7.	Factor cemento .....	133
3.6.8.	Cálculo de volúmenes absolutos de pasta .....	134
3.6.9.	Volumen absoluto de agregados .....	134
3.6.10.	Módulo de fineza de la combinación de agregados .....	134
3.6.11.	Porcentaje de agregado fino (Rf) .....	135
3.6.12.	Volúmenes absolutos de los agregados .....	136
3.6.13.	Pesos secos de los agregados .....	136
3.6.14.	Peso húmedo de los agregados – corrección por humedad.....	137
3.6.15.	Agua efectiva.....	138
3.6.16.	Proporciones en volumen de diseño por $p^3$ .....	138
<b>3.7.</b>	<b>MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>138</b>



3.7.1. Técnicas para el procesamiento y análisis de información .....	138
3.7.1.1. Análisis estadístico .....	138
3.7.1.2. Análisis de determinación $R^2$ .....	139
3.7.1.3. Análisis de correlación lineal R de Pearson .....	139
3.7.1.4. Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.....	140
3.7.1.5. Prueba de T Student de una muestra .....	140

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....</b>	<b>141</b>
4.1.1. Contenido de humedad.....	141
4.1.2. Análisis granulométrico .....	142
4.1.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino.....	142
4.1.2.2. Análisis granulométrico del agregado grueso .....	148
4.1.3. Densidad relativa y absorción de los agregados.....	154
4.1.3.1. Densidad relativa y absorción de los agregados finos .....	154
4.1.3.2. Densidad relativa y absorción de los agregados gruesos.....	155
4.1.4. Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados .....	156
4.1.4.1. Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados finos..	
.....	156
4.1.4.2. Peso unitario suelto seco y compactado seco de los agregados	
gruesos.....	157
4.1.5. Resistencia al desgaste, prueba de abrasión en la máquina Los Ángeles ...	
.....	157
<b>4.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....</b>	<b>158</b>



4.2.1.	Asentamiento del concreto en diversos porcentajes de la combinación de agregados normales y reciclados.....	158
4.2.2.	Asentamiento del concreto en la obtención de la ecuación de estimación de resistencias.....	160
4.2.2.1.	Asentamiento del concreto normal .....	160
4.2.2.2.	Asentamiento del concreto con agregados reciclados. ....	161
4.2.3.	Asentamiento del concreto en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias.....	163
4.2.3.1.	Asentamiento del concreto normal .....	163
4.2.3.2.	Asentamiento del concreto con agregados reciclados. ....	164
4.2.4.	Asentamiento del concreto en la optimización del diseño de mezclas .	166
4.2.4.1.	Asentamiento del concreto normal .....	166
4.2.4.2.	Asentamiento del concreto con agregados reciclados .....	169
<b>4.3.</b>	<b>ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....</b>	<b>172</b>
4.3.1.	Resistencia a la compresión en diversos porcentajes de la combinación de agregados normales y reciclados.....	172
4.3.1.1.	Análisis estadístico objetivo N° 1.....	183
4.3.1.2.	Análisis de correlación de Pearson.....	189
4.3.1.3.	Combinación de agregados mediante método gráfico.....	191
4.3.2.	Resistencia a la compresión en la obtención de la ecuación de estimación de resistencias.....	196
4.3.2.1.	Resistencias del concreto normal .....	197
4.3.2.2.	Resistencias del concreto con agregados reciclados.....	200
4.3.3.	Estimación de resistencia a edades mayores .....	204
4.3.3.1.	Estimación de resistencias del concreto normal .....	204



4.3.3.2.	Estimación de resistencias del concreto con agregados reciclados	209
4.3.4.	Resistencia a la compresión en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias.....	212
4.3.4.1.	Resistencias del concreto normal .....	212
4.3.4.2.	Resistencias del concreto con agregados reciclados.....	218
4.3.4.3.	Análisis estadístico objetivo N° 2.....	223
4.3.5.	Resistencia del concreto en la optimización del diseño de mezclas .....	229
4.3.5.1.	Resistencias en la optimización inicial .....	231
4.3.5.2.	Resistencias en la prueba final.....	237
4.3.5.3.	Resultados de optimización .....	243
4.3.5.4.	Análisis estadístico objetivo N° 3.....	247
<b>4.4.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>253</b>
<b>4.5.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>259</b>
4.5.1.	Influencia de la combinación de agregados normales y reciclados en la resistencia a la compresión del concreto .....	259
4.5.2.	Ecuación de estimación de resistencias a la compresión del concreto normal y con agregados reciclados .....	261
4.5.3.	Optimización de los diseños de mezclas del concreto normal y con agregados reciclados .....	262
4.5.4.	Costos de producción del concreto normal y con agregados reciclados	264
<b>4.6.</b>	<b>PROPUESTA DE USO DEL CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS .....</b>	<b>265</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>266</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>268</b>



**VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 269**

**ANEXOS..... 277**

**Área:** Construcciones

**Tema:** Aplicación de curado acelerado en el concreto con agregados reciclados.

**Línea de investigación:** Construcción y gerencia.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 25 de enero del 2024.



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Requisitos granulométricos del agregado grueso..... 49
Tabla 2	Granulometría agregado fino. .... 50
Tabla 3	Requisitos de los límites permisibles del agua para concreto..... 51
Tabla 4	Caracterización de los procesos de curado acelerado..... 66
Tabla 5	Comparaciones de propiedades típicas de agregado normal y RCA ..... 72
Tabla 6	Propiedades de un agregado grueso reciclado. .... 74
Tabla 7	Clasificación de agregados reciclados según estándares coreanos..... 82
Tabla 8	Número de probetas realizadas para la determinación de la mejor combinación de agregados..... 94
Tabla 9	Número de probetas utilizadas para la obtención de la curva de predicción y ecuación de regresión..... 95
Tabla 10	Número de probetas para la verificación de la curva de predicción..... 97
Tabla 11	Número de probetas utilizadas en la optimización inicial. .... 98
Tabla 12	Número de probetas utilizadas en la optimización final..... 99
Tabla 13	Ubicación cantera Maravillas..... 105
Tabla 14	Ubicación cantera Maravillas agregado grueso. .... 107
Tabla 15	Ubicación botadero Cabanillas. .... 108
Tabla 16	Abertura de las mallas utilizadas en el ensayo..... 116
Tabla 17	Datos para el diseño. .... 130
Tabla 18	Resistencia promedio. .... 130
Tabla 19	Consistencia del concreto fresco..... 131
Tabla 20	Volumen unitario de agua..... 131
Tabla 21	Contenido de aire atrapado. .... 132



Tabla 22	Relación agua - cemento de diseño.....	133
Tabla 23	Módulo de fineza de la combinación de agregados. ....	135
Tabla 24	Contenido de humedad en la combinación de agregados normales y reciclados. ....	141
Tabla 25	Contenido de humedad en la obtención de la curva de estimación y verificación.....	141
Tabla 26	Contenido de humedad para la optimización. ....	141
Tabla 27	Análisis granulométrico agregado fino reciclado. ....	142
Tabla 28	Granulometría agregado fino normal.....	143
Tabla 29	Granulometría 25% agregado fino reciclado + 75% agregado fino normal. ....	144
Tabla 30	Granulometría 50% agregado fino reciclado + 50% agregado fino normal. ....	145
Tabla 31	Granulometría 75% agregado fino reciclado + 25% agregado fino normal. ....	146
Tabla 32	Módulo de fineza de la combinación de los agregados finos. ....	147
Tabla 33	Granulometría agregado grueso normal.....	148
Tabla 34	Granulometría agregado grueso reciclado. ....	149
Tabla 35	Granulometría 25% agregado grueso reciclado + 75% agregado grueso normal. ....	150
Tabla 36	Granulometría 50% agregado grueso reciclado + 50% agregado grueso normal. ....	151
Tabla 37	Granulometría 75% agregado grueso reciclado + 25% agregado grueso normal. ....	152
Tabla 38	Módulos de fineza de los agregados gruesos. ....	154





Tabla 39	Resultados de la densidad relativa y absorción de los agregados finos. ....	154
Tabla 40	Resultados de la densidad relativa y absorción de los agregados gruesos.	155
Tabla 41	Resultados de los pesos unitarios sueltos y compactados secos agregados finos.....	156
Tabla 42	Resultados de los pesos unitarios sueltos y compactados secos agregados gruesos. ....	157
Tabla 43	Resultados de abrasión de los agregados gruesos.....	158
Tabla 44	Trabajabilidad del concreto diferentes combinaciones de agregados.....	159
Tabla 45	Asentamiento de la mezcla de concreto normal, para la obtención de la curva de estimación. ....	160
Tabla 46	Asentamiento de concreto reciclado, para la obtención de la curva de estimación. ....	161
Tabla 47	Asentamiento para la verificación de la ecuación de regresión del concreto normal. ....	163
Tabla 48	Asentamiento durante la preparación del concreto para la verificación de la curva de estimación del concreto reciclado. ....	164
Tabla 49	Asentamiento del concreto en la optimización inicial (concreto normal).	166
Tabla 50	Asentamiento en la optimización final (concreto normal).....	168
Tabla 51	Asentamiento en la optimización inicial (concreto reciclado).....	169
Tabla 52	Asentamiento en la optimización final (concreto reciclado). ....	170
Tabla 53	Resistencia a la compresión 0% AFR+100% AFN - 0% AGR+100% AGN	174
Tabla 54	Resistencia a la compresión 0% AFR+100% AFN - 100% AGR+0% AGN.	175
Tabla 55	Resistencia a la compresión 25% AFR+75% AFN - 25% AGR+75% AGN.	175
Tabla 56	Resistencia a la compresión 25% AFR+75% AFN - 50% AGR+50% AGN.	176
Tabla 57	Resistencia a la compresión 25% AFR+75% AFN - 75% AGR+25% AGN.	176



Tabla 58	Resistencia a la compresión 50% AFR+50% AFN - 25% AGR+75% AGN.	177
Tabla 59	Resistencia a la compresión 50% AFR+50% AFN - 50% AGR+50% AGN.	177
Tabla 60	Resistencia a la compresión 50% AFR+50% AFN - 75% AGR+25% AGN.	178
Tabla 61	Resistencia a la compresión 75% AFR+25% AFN - 75% AGR+25% AGN.	178
Tabla 62	Resistencia a la compresión 100% AFR+0% AFN - 0% AGR+100% AGN.	179
Tabla 63	Resistencia a la compresión 100% AFR+0% AFN - 100% AGR+0% AGN.	179
Tabla 64	Resumen de resistencias obtenidas en la etapa de selección de la mejor combinación de agregados. ....	180
Tabla 65	Cuadro de resistencias a diferentes combinaciones de agregados. ....	184
Tabla 66	Cálculo estadístico de Shapiro – Wilk, para el agregado grueso reciclado. ....	185
Tabla 67	Cálculo estadístico de Shapiro – Wilk, para el agregado fino reciclado....	185
Tabla 68	Cálculo estadístico de Kruskal - Wallis, para el agregado grueso reciclado. ....	187
Tabla 69	Calculo estadístico de Kruskal - Wallis, para el agregado fino reciclado..	188
Tabla 70	Datos para hacer un análisis de correlación de Pearson para el agregado fino reciclado. ....	189
Tabla 71	Datos para hacer un análisis de correlación de Pearson para el agregado grueso reciclado. ....	190
Tabla 72	Datos de porcentaje pasante de material fino para combinación de agregados. ....	192
Tabla 73	Datos de porcentaje pasante de material grueso para combinación de agregados. ....	194
Tabla 74	Resistencia a la compresión concreto normal-curado acelerado. ....	197
Tabla 75	Resistencia a la compresión concreto normal-curado estándar. ....	198



Tabla 76	Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado acelerado. ....	200
Tabla 77	Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado estándar. ....	201
Tabla 78	Datos para la proyección de la curva de estimación del concreto normal.	206
Tabla 79	Datos para el análisis de correlación de Pearson. ....	208
Tabla 80	Datos para la proyección de la curva de predicción (concreto reciclado).	210
Tabla 81	Datos para el análisis de correlación de Pearson para el concreto reciclado. ....	211
Tabla 82	Resistencia a la compresión concreto normal-curado acelerado-verificación. ....	212
Tabla 83	Resistencia a la compresión concreto normal-curado estándar-verificación. ....	213
Tabla 84	Resistencia a la compresión mediante estimación a edades mayores. ....	214
Tabla 85	Incertidumbre y proyecciones en la curva de estimación. ....	216
Tabla 86	Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado acelerado-verificación. ....	218
Tabla 87	Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado estándar-verificación. ....	219
Tabla 88	Resistencias a la compresión estimadas a los 28 días. ....	220
Tabla 89	Incertidumbre y valores del rango de aceptación. ....	221
Tabla 90	Datos para realizar la prueba de normalidad. ....	223
Tabla 91	Datos para realizar la prueba de normalidad. ....	224
Tabla 92	Datos para realizar la prueba de normalidad. ....	225
Tabla 93	Datos para realizar la prueba de T Student. ....	226



Tabla 94	Datos calculados del estadístico de prueba de cada grupo. ....	227
Tabla 95	Datos calculados del P – Valor mediante tabla del Anexo 11. ....	228
Tabla 96	Relación a/c, resistencia a la compresión y slump de la verificación de la ecuación de regresión.....	230
Tabla 97	Resistencia a la compresión concreto normal - optimización inicial.....	231
Tabla 98	Resistencia a la compresión concreto normal-estimación-optimización inicial.....	232
Tabla 99	Resistencia a la compresión concreto normal - optimización inicial.....	232
Tabla 100	Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización inicial. ....	234
Tabla 101	Resistencia a la compresión concreto reciclado-estimación-optimización inicial.....	235
Tabla 102	Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización inicial. ....	235
Tabla 103	Resistencia a la compresión concreto normal - optimización final. ....	237
Tabla 104	Resistencia a la compresión concreto normal-estimación-optimización final. ....	237
Tabla 105	Resistencia a la compresión concreto normal - optimización final. ....	238
Tabla 106	Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización final. ....	240
Tabla 107	Resistencia a la compresión concreto reciclado-estimación-optimización final. ....	241
Tabla 108	Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización final. ....	241
Tabla 109	Comparativa del diseño patrón y diseño optimizado del concreto normal.	243
Tabla 110	Comparativa del diseño patrón y diseño optimizado del concreto reciclado. ....	245
Tabla 111	Datos necesarios para realizar un análisis estadístico.....	247
Tabla 112	Análisis estadístico mediante la prueba de Shapiro - Wilk.....	248



Tabla 113	Cálculo del estadístico de prueba “t”.....	250
Tabla 114	Cálculo del P – Valor mediante tabla de distribución T Student.....	251
Tabla 115	Habilitación de la materia prima necesaria.....	253
Tabla 116	Carguío y transporte de la materia prima habilitada.....	254
Tabla 117	Cotización de materia prima en la ciudad de Puno.....	255
Tabla 118	Costo de materiales $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ - concreto normal.....	256
Tabla 119	Costo de materiales $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ - concreto normal.....	256
Tabla 120	Costo de materiales $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ - concreto normal.....	256
Tabla 121	Costo de materiales $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ - concreto con agregados reciclados. .....	256
Tabla 122	Costo de materiales $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ - concreto con agregados reciclados. .....	257
Tabla 123	Costo de materiales $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ - concreto con agregados reciclados. .....	257
Tabla 124	Resumen de costo de producción de concreto normal y reciclado. ....	258



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1	Influencia de la temperatura en el concreto a diferentes edades..... 64
Figura 2	La figura muestra la evolución de un concreto a diferentes temperaturas a 1 día y 28 días de rotura..... 65
Figura 3	Ruta de la cantera Maravillas al laboratorio LAIA..... 105
Figura 4	Lugar de acopio Maravillas agregado fino. .... 106
Figura 5	Ruta cantera Maravillas al laboratorio Laia Consul E.I.R.L..... 107
Figura 6	Cantera Maravillas - Cabanillas..... 108
Figura 7	Ruta y ubicación botadero Cabanilla a laboratorio LAIA Consul. .... 109
Figura 8	Recolección del material reciclado de concreto..... 109
Figura 9	Proceso de lavado de los bloques de concreto. .... 110
Figura 10	Equipo utilizado para triturado de bloques de concreto..... 111
Figura 11	Triturado de bloques de mayor tamaño con rotomartillo..... 111
Figura 12	Triturado de bloques de menor tamaño con comba. .... 112
Figura 13	Separación de agregado grueso reciclado y fino reciclado. .... 112
Figura 14	Agregado fino reciclado..... 113
Figura 15	Agregado grueso reciclado..... 113
Figura 16	Procedimiento de tamizado..... 117
Figura 17	Resultado del tamizado de los agregados. .... 118
Figura 18	Realización del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.119
Figura 19	Realización del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso. ..... 120
Figura 20	Realización del ensayo de PUSS y PUCS. .... 121
Figura 21	Realización del ensayo de abrasión en la máquina Los Ángeles..... 122



Figura 22	Vaciado de mezcla en trompo.....	123
Figura 23	Vaciado manual de mezcla. ....	123
Figura 24	Moldeo en recipientes cilíndricos de acuerdo a la norma ASTM C 31. ....	124
Figura 25	Control de asentamiento de la mezcla de concreto.....	125
Figura 26	Poza de curado normal.....	126
Figura 27	Tanque de curado acelerado.....	127
Figura 28	Rotura de probetas en equipo de compresión. ....	129
Figura 29	Curva granulométrica agregado fino reciclado.....	143
Figura 30	Curva granulométrica agregado fino normal. ....	144
Figura 31	Curva granulométrica 25% ag. fino reciclado + 75% ag. fino normal. ....	145
Figura 32	Curva granulométrica 50% ag. fino reciclado + 50% ag. fino normal .....	146
Figura 33	Curva granulométrica 75% agregado fino reciclado + 25% agregado fino normal.....	147
Figura 34	Curva granulométrica agregado grueso normal.....	149
Figura 35	Curva granulométrica agregado grueso reciclado.....	150
Figura 36	Curva granulométrica 25% agregado grueso reciclado + 75% agregado grueso normal.....	151
Figura 37	Curva granulométrica 50% agregado grueso reciclado + 50% agregado grueso normal.....	152
Figura 38	Curva granulométrica 75% agregado grueso reciclado + 25% agregado grueso normal.....	153
Figura 39	Slump a diferentes relaciones agua cemento, para un concreto normal. ...	161
Figura 40	Valores de slump a diferentes relaciones agua cemento, de una mezcla de concreto reciclado. ....	162
Figura 41	Comparativa de asentamientos relación a/c vs slump.....	163



Figura 42	Medida del asentamiento en la verificación de la curva de estimación del concreto normal.....	164
Figura 43	Valores slump durante la verificación de la curva de estimación del concreto reciclado.....	165
Figura 44	Comparación de asentamientos entre concreto normal y con agregados reciclados. ....	166
Figura 45	Valores del asentamiento de la optimización inicial (concreto normal)...	167
Figura 46	Valores del asentamiento en la optimización final (concreto normal).....	168
Figura 47	Evolución de asentamientos en el concreto normal.....	169
Figura 48	Valores del asentamiento en la optimización inicial (concreto reciclado).	170
Figura 49	Valores de asentamiento en la optimización final (concreto reciclado). ...	171
Figura 50	Evolución de asentamientos en el concreto con agregados reciclados .....	172
Figura 51	Representación gráfica de las resistencias obtenidas a diferentes edades y diferentes combinaciones de agregados.....	181
Figura 52	Curvas de desarrollo de resistencias del concreto.....	182
Figura 53	Diseño gráfico de combinación de agregados.....	192
Figura 54	Curva granulométrica de la combinación de agregados a 50% AFR – 50% AFN.....	193
Figura 55	Método gráfico de diseño de combinación de agregados. ....	194
Figura 56	Curva granulométrica combinación de agregados de 75% AGR y 25% AGN. ....	195
Figura 57	Relación de resistencias a las 28.5 horas y 28 días del concreto normal ...	199
Figura 58	Relación de resistencias a las 28.5 horas y 28 días del concreto con agregados reciclados. ....	202
Figura 59	Curvas de a/c vs resistencias del concreto a las 28.5 horas .....	203





Figura 60	Curvas de a/c vs resistencias del concreto a los 28 días .....	204
Figura 61	Curva de estimación de resistencias del concreto normal.....	207
Figura 62	Curva de predicción concreto reciclado.....	210
Figura 63	Resistencias del concreto normal; acelerado, estimado y obtenido – Verificación.....	215
Figura 64	Rango para aceptar la precisión a un 90% de confiabilidad $f'_c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> concreto normal.....	217
Figura 65	Rango para aceptar la precisión a un 90% de confiabilidad $f'_c$ 210kg/cm <sup>2</sup> concreto reciclado. ....	222
Figura 66	Zonas de aceptación y rechazo de una distribución T Student. ....	229
Figura 67	Proyección de Resistencia obtenidas a curado estándar 28 días.....	233
Figura 68	Valores de las resistencias obtenidas a 28 días en curado estándar. ....	236
Figura 69	Resistencias del concreto normal; acelerado, estimado y obtenido - optimización 2.....	239
Figura 70	Proyección de resistencias a la compresión en la curva de estimación, concreto normal.....	240
Figura 71	Resistencias del concreto reciclado; acelerado, estimado y obtenido - optimización 2.....	242
Figura 72	Proyección de las resistencias a 28 días de curado estándar, en la curva de estimación concreto reciclado.....	243
Figura 73	Evolución de resistencias en el concreto normal .....	244
Figura 74	Evolución de resistencias en el concreto con agregados reciclados. ....	246
Figura 75	Zonas de aceptación y rechazo de una distribución T Student. ....	252
Figura 76	Costo de producción de concreto normal y reciclado.....	258



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>°C</b>	: Grados centígrados.
<b>a/c</b>	: Relación agua/cemento.
<b>AASHTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials.
<b>ACI</b>	: Instituto Americano del Concreto.
<b>AF</b>	: Agregado Fino.
<b>AFN</b>	: Agregado Fino Normal.
<b>AFR</b>	: Agregado Fino Reciclado.
<b>AG</b>	: Agregado Grueso.
<b>AGN</b>	: Agregado Grueso Normal.
<b>AGR</b>	: Agregado Grueso Reciclado.
<b>ASTM</b>	: American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
<b>CBR</b>	: California Bearing Ratio.
<b>CEMEX</b>	: Cementos Mexicanos.
<b>CN</b>	: Concreto Normal.
<b>CR</b>	: Concreto Reciclado.
<b>F'c</b>	: Resistencia a la compresión del concreto, kg/cm <sup>2</sup>
<b>H0</b>	: Hipótesis nula.
<b>H1</b>	: Hipótesis alternativa.
<b>IRAM</b>	: Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
<b>MF</b>	: Módulo de Fineza del agregado.
<b>MTC</b>	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



<b>NTP</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b><math>R^2</math></b>	: Coeficiente de determinación.
<b>RCA o ACR</b>	: Recycling Concrete Aggregate, que significa, Agregados de Concreto Reciclado.
<b>RCD</b>	: Residuos de Construcción y Demolición.
<b>RM</b>	: Residuos de Mampostería.
<b>S</b>	: Desviación estándar.
<b>SSS</b>	: Estado Saturado Superficialmente Seco.
<b>TM</b>	: Tamaño Máximo del agregado.
<b>TMN</b>	: Tamaño Máximo Nominal del agregado.
<b>UTM</b>	: Universal Transversal de Mercator.
<b>W%</b>	: Contenido de humedad.
<b>Ws</b>	: Peso seco de la muestra.
<b><math>\bar{x}</math> ó <math>\bar{y}</math></b>	: Media aritmética.
<b><math>\alpha</math></b>	: Nivel de significancia.



## RESUMEN

La materia prima necesaria para la industria de la construcción está siendo consumida en gran cantidad, conllevando a la depredación de canteras de agregados naturales y la alteración del paisaje a sus alrededores; es posible la utilización de áridos triturados provenientes de demolición de concreto antiguo en la fabricación de concreto nuevo, sin embargo, su elaboración se enfrenta a la búsqueda de diseños óptimos para lograr un adecuado desempeño mecánico; en esta investigación se buscó evaluar la influencia de los agregados reciclados finos y gruesos en el concreto en Puno, construcción de un tanque y evaluación de la precisión del método de curado acelerado con base en la NTP 339.213, esto para obtener datos a las 28.5 horas que nos permitieron estimar la resistencia a la compresión de 28 días, por consiguiente su empleo en la optimización de diseños de mezclas del concreto normal y con agregados reciclados. El alcance de esta investigación es correlacional con un enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se encontró que el reemplazo de agregados por el 50% de fino reciclado y 75% de grueso reciclado es adecuado ya que presenta una resistencia del 112.93% con respecto al diseñado. Asimismo, las ecuaciones de estimación de resistencias para el concreto normal y con agregados reciclados presentaron coeficientes de determinación  $R^2 = 99.8\%$  y  $R^2 = 99.4\%$  respectivamente, y que considerando consistencia y variación de la relación a/c se alcanzaron resistencias del 101.46%, 101.52% y 102.06% para el concreto normal y 100.88%, 101.09% y 102.61% para el concreto con agregados reciclados, para resistencias de diseño de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

**Palabras clave:** Acelerado, Agregados, Concreto, Curado, Reciclado.



## ABSTRACT

The raw material necessary for the construction industry is being consumed in large quantities, leading to the depredation of natural aggregate quarries and the alteration of the surrounding landscape; it is possible to use crushed aggregates from demolition of old concrete in the manufacture of new concrete, however, its production faces the search for optimal designs to achieve adequate mechanical performance; in this research we sought to evaluate the influence of fine and coarse recycled aggregates in concrete in Puno, construction of a tank and evaluation of the accuracy of the accelerated curing method based on NTP 339. 213, in order to obtain data at 28.5 hours that allowed us to estimate the 28-day compressive strength and, consequently, its use in the optimization of mix designs of normal concrete and recycled aggregates. The scope of this research is correlational with a quantitative and experimental design. It was found that the replacement of aggregates with 50% recycled fine aggregates and 75% recycled coarse aggregates is adequate since it presents a strength of 112.93% with respect to the designed one. Likewise, the strength estimation equations for normal concrete and concrete with recycled aggregates presented coefficients of determination  $R^2= 99.8\%$  and  $R^2= 99.4\%$  respectively, and considering consistency and variation of the w/c ratio, strengths of 101.46%, 101.52% and 102.06% for normal concrete and 100.88%, 101.09% and 102.61% for concrete with recycled aggregates were achieved, for design strengths of 175, 210 and 280 kg/cm<sup>2</sup> respectively.

**Keywords:** Accelerated, Aggregates, Concrete, Curing, Recycling.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La explotación de canteras y ríos para la extracción de agregados necesarios para la producción de concreto trae efectos desfavorables en los cauces de los ríos, como la pérdida de varias hectáreas de terreno cultivable y alteración de la forma del cauce del mismo (Coronación, 2017) trayendo como consecuencia posibles desborde de ríos, pérdidas económicas e incluso pérdidas fatales.

En la ciudad de Puno se registran 252 punto de RCD ascendiendo a un total de 33639 m<sup>3</sup> de RCD acumulado (Ojeda *et al.*, 2017), sin embargo, estos no son aprovechados para su uso posterior, como lo hacen en países como Australia Estados Unidos, China, Alemania, quienes lo utilizan para producir concreto reciclado (Martínez *et al.*, 2015)

La elaboración de concreto con agregado reciclados tiene como reto obtener un diseño que proporcione adecuadas características mecánicas (Martínez *et al.*, 2015), es por ello que en la presente investigación titulada “Optimización del diseño de mezcla para la obtención de una adecuada resistencia del concreto con agregados reciclados, mediante el método de curado acelerado, Puno - 2021”, se obtuvo diseños que satisfacen las solicitudes requeridas de la resistencia a la compresión, empleando métodos de curado acelerado en concretos normales y con agregados reciclados, los cuales previamente fueron estudiados de tal forma que los agregados satisfagan los requerimientos de la norma ASTM C 33. Acorde a la investigación lógica y científica, el trabajo se estructura en 4 capítulos:



Capítulo I: Introducción: Planteamiento del problema, hipótesis, justificación y objetivos de la investigación.

Capitulo II: Revisión de la literatura: Antecedente, marco teórico y marco conceptual.

Capitulo III: Materiales y métodos: Tipo y diseño de investigación, ámbito de estudio, población y muestra, materiales, metodología experimental, diseño de mezclas y métodos e instrumento de recolección de datos.

Capitulo IV: Resultados y discusión:

- Resultados de la caracterización de materiales; en donde se muestra los resultados de los agregados reciclados y normales, finos y gruesos.
- Ensayos del concreto en estado fresco; donde se presentan los resultados de los ensayos de asentamiento en los diferentes objetivos de la tesis.
- Ensayos en concreto endurecido; el cual está dividido de acuerdo a los objetivos de la investigación.
- Análisis de costos; donde se estudia el costo de producción del concreto normal y con agregados reciclados con diseños optimizados a diferentes resistencias.
- Discusión de resultados; donde se discuten los resultados obtenidos con otras investigaciones de acuerdo a cada objetivo planteado.



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1.1. Descripción del problema

En los últimos años, la industria de la construcción de estructuras de concreto ha aumentado considerablemente, requiriendo el uso de mayor cantidad de insumos para su elaboración, algunos de ellos son los agregados finos y gruesos. Según, POGOTECH (2017, como se citó en Suárez *et al.*, 2019), en el mundo, cada año la producción de RCD supera las 6.5 mil millones de toneladas, de las cuales entre 2.6 y 3 mil millones son residuos inertes provenientes de la construcción y demolición.

En Perú, existe abastecimiento de agregados naturales, sin embargo, la explotación de las canteras y ríos para la producción de concreto ha ido creciendo sustancialmente; Coronación (2017) concluye que los efectos desfavorables por consecuencia de la extracción de agregados en el cauce del río son la pérdida de varias hectáreas de terreno cultivable y alteración de la forma del cauce del mismo.

En la ciudad de Puno y a nivel regional, los desperdicios de demoliciones de estructuras de concreto son desechados en botadores no adecuados lo que ocasiona contaminación ambiental, tales como la visual y del aire o usados como rellenos no controlados. Ojeda *et al.* (2017) muestra que en la ciudad de Puno se registran 252 puntos de RCD, de los cuales 35 de ellos tienen un almacenamiento menor a 3 m<sup>3</sup>, siendo considerables 217 depósitos de RCD variando desde 3 m<sup>3</sup> a 10000 m<sup>3</sup>, acumulando entre todos, un total de 33639 m<sup>3</sup> de RCD, así también, Laura (2022) concluye que dentro y alrededor de la ciudad de Juliaca se encontraron 27 puntos de depósitos de RCD acumulando un volumen estimado de 18388.10 m<sup>3</sup>, además de 10 puntos de depósitos en la jurisdicción del distrito de





San Miguel, con un total de 7721.96 m<sup>3</sup>, existiendo un 98.59% de RCD aprovechable.

En el país de estudio, no existen adelantos tan significativos acerca del uso de agregados reciclados para la construcción de elementos estructurales, caso distinto de países como Australia, Estados Unidos, China, Alemania, etc., quienes son los principales productores de concreto reciclado a nivel global (Martínez *et al.*, 2015).

Por consiguiente, es necesario buscar alternativas para preservar las canteras de agregados naturales y mantener la biodiversidad alrededor de ellas, y así, conservar la arquitectura de los paisajes naturales, debido a ello, surge la investigación del concreto empleando agregados reciclados finos y gruesos, sin embargo, el uso de las mismas debido a sus características y propiedades físicas particulares, tales como la porosidad, absorción y pesos unitarios, nos presenta el desafío de desarrollar diseños de mezclas que satisfagan las solicitudes de resistencia. El presente trabajo tiene como objetivos analizar la influencia de la incorporación en porcentajes de agregados reciclados gruesos y finos en el concreto, construir un tanque en base a la NTP 339.213 y evaluar la precisión del método de curado acelerado (método B), la cual permite obtener datos en 28.5 horas y estimar su resistencia a la compresión a edades mayores (28 días), con el fin de efectuar el empleo de la misma en la optimización de diseños de mezclas de concretos con agregados normales y reciclados de resistencias 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.



### 1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo optimizar el diseño de mezclas para la obtención de adecuadas resistencias a la compresión del concreto normal y con agregados reciclados mediante el método de curado acelerado?

### 1.1.3. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye la incorporación en porcentajes de agregados reciclados finos y gruesos en la resistencia del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ?
- ¿Cuál es la precisión del método de curado acelerado (NTP 339.213-método de agua hirviendo), en la estimación de resistencias a la compresión a edades mayores del concreto normal y con agregados reciclados?
- ¿Cómo emplear el método de curado acelerado en la optimización de diseños de mezclas para obtener concretos de resistencias de 175, 210 y 280  $\text{kg/cm}^2$  con agregados normales y reciclados.
- ¿Cuál es la diferencia de los costos de los materiales en la producción de concreto normal y con agregados reciclados?

## 1.2. HIPÓTESIS.

### 1.2.1. Hipótesis general

La optimización del diseño de mezclas mediante el método de curado acelerado permite la obtención de adecuadas resistencias a la compresión del concreto normal y con agregados reciclados.



### 1.2.2. Hipótesis específicas

- La incorporación de agregados reciclados finos y gruesos influyen significativamente en la resistencia del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .
- La utilización de los métodos de curado acelerado, presentan una precisión alta en la estimación de resistencias a la compresión a edades mayores del concreto normal y con agregados reciclados.
- El empleo del método de curado acelerado es eficaz en la optimización de diseños de mezclas para la obtención de concretos de resistencias de 175, 210 y  $280 \text{ kg/cm}^2$  con agregados normales y reciclados.
- El costo de materiales en la producción de concreto normal es similar al costo de concreto con agregados reciclados.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con esta investigación se busca conducir el uso del concreto natural hacia el concreto con agregados reciclados finos y gruesos en Puno. a través del aporte teórico acerca de la optimización del diseño de mezclas del concreto para diferentes resistencias a la compresión, ya que se da a conocer de forma cuantitativa las cantidades de los materiales necesarios o insumos que componen el concreto para obtener resistencias en específico.

En lo ambiental y social, contribuye a la disminución de la contaminación, preservar paisajes, ecosistemas y canteras de materiales no renovables a nivel local, regional y nacional y así aumentar la responsabilidad social de la población y autoridades con el medio ambiente.

En lo tecnológico, se busca implementar el uso de métodos de curado acelerado especificados en la NTP 339.213, en la optimización del diseño de mezclas y el control



de calidad del concreto, ya que permite obtener resultados de la resistencia a la compresión del concreto a 28 horas aproximadamente, lo que demoraría con un método tradicional 7, 14 y 28 días, los cuales debido al amplio tiempo de espera de resultados podría conllevar pérdidas económicas, al obtener resultados desfavorables de los elementos construidos con concreto.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la optimización de diseños de mezclas para la obtención de adecuadas resistencias a la compresión del concreto normal y con agregados reciclados mediante el método de curado acelerado.

### **1.4.2. Objetivo específico**

- Analizar la influencia de la incorporación en porcentajes de agregados reciclados finos y gruesos en la resistencia del concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Evaluar la precisión del método de curado acelerado (NTP 339.213-Método de agua hirviendo), en la estimación de resistencias a la compresión a edades mayores del concreto normal y con agregados reciclados.
- Efectuar el empleo del método de curado acelerado en la optimización de diseños de mezclas para obtener concretos de resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> con agregados normales y reciclados.
- Comparar los costos de los materiales en la producción de concreto normal y con agregados reciclados.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN O MARCO REFERENCIAL

##### 2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Schierloh *et al.* (2021) partiendo de la necesidad de estimar la resistencia característica del concreto a los 28 días, a partir de edades tempranas, buscaron la obtención de un método propio utilizando agua hirviendo para acelerar el curado del concreto tomando como base la norma IRAM 1552, en donde enmarca un procedimiento de 28.5 horas. Se logró comprobar que es posible obtener proyecciones de resistencias cuyas dispersiones son iguales o inferiores al 15% utilizando un procedimiento que totaliza 24 horas, esto para el desmolde a las 20 horas, 3 horas de sometimiento en el agua hirviendo, media hora de enfriamiento y rotura a las 24 horas. Por otro lado, Rodríguez y Torres (2018), tuvieron como objetivo elaborar una cámara de curado acelerado a nivel de laboratorio, para someter a los especímenes de concreto y obtener ecuaciones de predicción de resistencias a la compresión a 28 días, estimadas en un tiempo menor de 24 horas; se obtuvo que el método de agua tibia (35°C) a las 22 horas tiene una efectividad del 98% y que el método de agua caliente (70°C) a las 24 horas, una efectividad del 92% para estimar resistencias a los 28 días.

Silva *et al.* (2019), debido a las preocupaciones que deriva de la producción de cemento Portland, buscaron optimizar la resistencia a la compresión utilizando un diseño de mezcla de vértices extremos en concretos



ternarios a base de residuos de mampostería (RM- procedentes de residuos de construcción y demolición), cal hidratada (CAL) y cemento Portland de uso General (OPC), por lo que hicieron un diseño de mezcla de para investigar el efecto de la sustitución parcial del cemento Portland hasta en un 20 % en peso, por CAL y RM. Los resultados mostraron que para una mayor proporción de sustitución de RM y menor CAL se tiene mejor resistencia a la compresión que una mayor proporción de cal hidratada, además, en comparación con el concreto patrón, la resistencia a la compresión aumentó un 25.1% y un 16.1% a los 28 y 60 días de curado, respectivamente.

Martínez *et al.* (2015), realizaron una revisión de los avances internacionales acerca del uso de agregados triturados provenientes de demoliciones de concreto antiguo para la producción de nuevos, en la medida que sea un material que puede abatir costos, abaratar la edificación y disminuir la contaminación. El estudio muestra tablas que presentan cantidades en millones de toneladas de producción de concretos reciclados en el 2007, siendo Australia, Estados Unidos y China con 550.00, 335.00 y 200.00 millones de toneladas respectivamente, los mayores productores de concreto reciclado. Se encontró que el desempeño de la fabricación de concreto, empleando pétreos producto del reciclado del concreto ha sido en lo general suficiente para producir un nuevo material cuyo desempeño mecánico y durabilidad cumpla con los estándares internacionales y que probablemente su desventaja principal pudiera considerarse la porosidad de los agregados gruesos y finos producidos por la trituración. Asimismo, se menciona que reciclar concreto resuelve la falta de agregados pétreos y la protección de sus canteras y que el uso de agregados provenientes de concreto reciclado permite también que éstos se coloquen saturados en la mezcla



y así se inicie el curado interno de las mezclas nuevas de concreto reciclado. No obstante, la producción de concreto reciclado se encuentra con el desafío de encontrar diseños ideales con el fin de obtener un rendimiento mecánico óptimo ante cargas estáticas y dinámicas.

Además, Bedoya y Dzul (2015) en su investigación trataron los aspectos relacionados con el uso de agregados reciclados procedentes de la trituración de escombros de concreto y mampostería en la elaboración de un concreto nuevo, para ello, se evaluaron la resistencia a la compresión en intervalos de 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días, el costo, la porosidad, la carbonatación y otras propiedades. Se alcanzaron resistencias a la compresión del 98% en comparación con la mezcla patrón, asimismo, para una edad simulada de 27 años, la profundidad de carbonatación para la mezcla hecha con 100% de agregado reciclado en comparación con la mezcla de referencia, solamente presentó 0.7 mm de diferencia. En relación al costo, se consideró una producción a escala industrial estandarizada de agregados reciclados realizada por una planta de reciclaje ubicada en la ciudad de Medellín, lo que permitió tener un punto de comparación a escala similar con la producción de agregados naturales en la misma zona, obteniendo que el agregado reciclado representa el 65% del costo del agregado natural.

Tafsirojjaman *et al.* (2015), estudió la influencia del uso de agregado reciclado y agregado reciclado tratado en las propiedades del concreto, para ambos casos se obtuvo que las resistencias a la compresión del concreto son inferiores a las de concreto convencional, no obstante, la resistencia del concreto elaborado con 10% de reemplazo parcial del agregado grueso reciclado tratado es cercana a la resistencia del concreto convencional, ya que es solo 2.86% menor. Además, se



concluyó que el concreto de agregado reciclado tratado es más efectivo que el concreto de agregado grueso reciclado.

Orbe y Zúñiga (2013) en su investigación realizada en Quito, Ecuador, buscan optimizar las relaciones  $a/c$ , para realizar concretos de  $f'c=180, 210, 240$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$ , para lo cual se elaboraron probetas cilíndricas de concreto que fueron sometidos a compresión. Los resultados obtenidos fueron que las relaciones agua/cemento aumentan con respecto al patrón establecido del ACI, de 0.623 a 0.672 para  $180 \text{ kg/cm}^2$ , de 0.530 a 0.625 para  $210 \text{ kg/cm}^2$ , de 0.494 a 0.565 para  $240 \text{ kg/cm}^2$  y de 0.445 a 0.531 para  $280 \text{ kg/cm}^2$ , cuyas resistencias a los 56 días varían de 224 a 196, de 295 a 223, de 334 a 260 y de 378 a 303  $\text{kg/cm}^2$  respectivamente. Se concluye que las relaciones  $a/c$  se consiguieron de manera experimental, y que se logró bajar la cantidad de cemento requerida para un metro cúbico.

### **2.1.2. Antecedentes a nivel nacional**

Acerca de la influencia de los agregados reciclados en el concreto, Meza (2019) y Bazalar y Cadenillas (2019) evaluaron y compararon las propiedades del concreto con sustitución parcial o total de los agregados naturales por agregados gruesos reciclados, el material utilizado provino de la trituración de concreto antiguo, las probetas realizadas para ser sometidas al ensayo de compresión axial fueron de 4"x8"; para relaciones  $a/c$  de 0.60, 0.65 y 0.70 el concreto pierde entre 1% y 5% de resistencia cuando se sustituye el 20% del agregado, entre 1% y 15% cuando se sustituye el 50% y entre 1% y 25% cuando se sustituye el 100% (Meza, 2019), sin embargo, para una relación de  $a/c$  de 0.47 se obtuvo que el concreto con sustitución del 40% de agregados de concreto reciclado presenta mejores





resistencias con respecto a la del concreto estándar, superándola en un 2.91% (Bazalar y Cadenillas, 2019). Cipriano (2019), buscó comparar las propiedades de dos tipos de concreto, el patrón y el combinado que incluye agregado reciclado global, es decir fino y grueso con agregado fino natural cuyas proporciones fueron obtenidas por el ensayo de máxima compacidad, para ello se elaboraron probetas de 4"x8" que fueron sometidas a compresión simple; se concluyó que el porcentaje óptimo contiene 38% de agregado global reciclado y 62% de agregado fino patrón y que para relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5 (cemento: agregado) las resistencias disminuyen un 14%, 27% y 9% respecto al concreto patrón a la edad de 28 días respectivamente.

El curado acelerado permite que los especímenes de concreto desarrollen una porción significativa de su última resistencia dentro de un tiempo que fluctúa entre 5 a 49 horas dependiendo del procedimiento empleado (NTP 339.213, 2018). Apaza y Condori (2020) tuvieron como objetivo someter probetas de concreto a dos sistemas de curado acelerado, método de agua tibia y agua hirviendo, por lo que fabricaron un equipo de curado acelerado y realizaron diseños de mezclas para concreto con aditivos y relaciones de a/c de 0.42, 0.46, 0.50, 0.54, 0.58 y 0.62. Se obtuvieron ecuaciones que relacionan las resistencias de curado acelerado y curado estándar y su verificación. Se concluye que para el caso de los aditivos acelerante, retardante e impermeabilizante el método "B" (agua hirviendo) presenta un mejor ajuste, con  $R^2 = 0.963, 0.925$  y  $0.997$ , en comparación con el método "A" (calor de hidratación) con  $R^2 = 0.920, 0.919, 0.987$  respectivamente, sin embargo, se concluye que no existe diferencia significativa en cualquiera de los dos métodos de curado acelerado, pero es necesario recalcar que el proceso "A" en comparación del "B" es un poco más preciso para el caso de concreto con



aditivo de aire incorporado (Cardenas y Huillcañahui, 2021). Para el procedimiento “B” se puede predecir la resistencia del concreto a los 28 días, con una certeza del 99% cuando se conoce la resistencia obtenida del curado acelerado (Valdivia, 2018).

Por otro lado, Huamán y Santiago (2019), en su investigación realizada en Jaén, Perú, buscaron establecer la relación resistencia – tiempo con el método de curado normal y acelerado “B”, para ello, fabricaron un tanque de curado acelerado y sometieron los especímenes de concreto al proceso durante 3.5, 6, 9, 12, 15 y 18 horas, para analizar el comportamiento de éstos, en vista que la norma solamente establece someterlo durante 3.5 horas. Se obtuvo que la resistencia adquirida aumenta hasta las 9 horas, tiempo en el que se encontró una resistencia de 101.19% de la resistencia de diseño y un 56.57% en relación a la resistencia adquirida con un curado normal a los 28 días; para tiempos superiores a las 9 horas, las resistencias disminuyeron. Por otro lado, se concluye que las resistencias del concreto sometidos durante 12 horas a curado acelerado más 7 horas de secado alcanzaron el 111.14% de la resistencia de diseño, y que éstos son muy aproximados a las resistencias obtenidas a los 28 días de especímenes sometidos a curado estándar, en donde se obtuvo un 112.38% de la resistencia de diseño (Zorrilla, 2018)

### **2.1.3. Antecedentes a nivel regional**

Soncco (2022), buscó determinar las características de los agregados finos reciclados (AFR) y la resistencia del concreto elaborado con su uso parcial o total para lo cual elaboró 12 diseños de mezclas con relación de a/c de 0.48, 0.55 y 0.62 para combinaciones de 0%, 33%, 67% y 100% de AFR. Los resultados obtenidos



para las relaciones a/c de 0.62 y 0.55 muestran que las resistencias a la compresión del concreto para todos los porcentajes de incorporación de AFR son superiores a la mezcla patrón, siendo el máximo el 33%, contrariamente a la relación a/c de 0.48, en donde la incorporación de cualquier porcentaje de AFR presenta resistencias menores a las de la mezcla patrón. El investigador concluye que el AFR influye negativamente en la resistencia a la compresión del concreto, siendo ésta de manera global, para todas las relaciones a/c.

Camargo (2018) en su investigación realizada en la ciudad de Juliaca, busca analizar la influencia de la combinación de agregados reciclados provenientes de la demolición de pavimentos rígidos en las propiedades mecánicas y físicas del concreto endurecido. Para ello se elaboraron probetas de concreto con 100%, 80%, 60%, 50%, 40% y 20% de agregado reciclado, los cuales fueron ensayados a edades de 4, 5, 7, 14 y 28 días; obteniendo que para la mezcla que consiste en 50% de agregado reciclado grueso, se obtuvo una resistencia de 255 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, la cual es superior a la resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> pero menor a la resistencia del concreto patrón y/o estándar, la cual alcanzó una resistencia de 274.63 kg/cm<sup>2</sup>. De la misma forma, para Ruelas (2015), el uso de agregados reciclados provenientes de la demolición y trituración de pavimentos rígidos en proporciones que superen el 20% es riesgoso, ya que la resistencia del concreto disminuyó, obteniendo que para una resistencia de diseño  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, los resultados fueron del 101.50%, 101.17%, 95.99% y 90.70%, para la sustitución del 0%, 20%, 40% y 60% de agregado grueso reciclado respectivamente. Por el contrario, Aroste (2021) obtuvo que para la relación a/c de 0.55, la resistencia del concreto con agregados gruesos reciclados alcanzó en promedio a 230.66 kg/cm<sup>2</sup>, el cual supera al concreto con agregados gruesos



normales, cuya resistencia promedio alcanzada fue de  $172.86 \text{ kg/cm}^2$ , hecho similar para las relaciones de a/c de 0.62 y 0.70; cabe resaltar que el origen de los agregados reciclados de este último fue de la trituración de probetas de concreto.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Concreto**

El concreto es un material compuesto hecho por el hombre, que consiste, en un aglutinante llamado pasta, adicionado con partículas conocidas como agregados. La pasta es el resultado de una combinación química de material pasto cementoso y agua.

En adición, podemos detallar que según Abanto (2009) la unión (reacción química) de cemento y agua, permite que los agregados se unan, creando así un material heterogéneo, además ciertas sustancias (aditivos) a veces son considerados para este material heterogéneo, dependiendo de las características buscadas.

### **2.2.2. Componentes del concreto**

Es importante mencionar que como componentes principales del concreto podemos mencionar: cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y aire como elementos pasivos.

#### **2.2.2.1. Cemento**

##### **Cemento Portland**

Normativa: (NTP 334.001, 2011)



El cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker Portland que consiste principalmente en silicato de calcio hidráulico.

Como menciona Neville (1999), el cemento portland común, es característicamente adecuado para la construcción general de concreto, esto cuando no hay exposición a sulfatos en suelos o aguas freáticas, siendo con mucho, el cemento con uso más común.

#### **2.2.2.1.1. Clasificación y uso de los cementos**

Según la NTP 334.009 (2005) los tipos de cemento Portland están clasificados de acuerdo a sus propiedades características:

**Tipo I:** Para un uso general respectivo que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo.

**Tipo II:** Este uso es en específico y cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación, además también de un uso general.

**Tipo III:** La utilización se realizará cuando se requiera altas resistencias iniciales.

**Tipo IV:** Empleado cuando se desea bajo calor de hidratación.

**Tipo V:** Este tipo se usará cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Además, se precisa en la norma ASTM C595 (2008) las características de cementos adicionados, que por lo ya mencionado con



anterioridad, también se nota la presencia de escorias modificadoras en cuanto al comportamiento y puzolanas. Recalcando que en el Perú se elabora Tipo I, Tipo II, tipo V, tipo IP y tipo IPM. El tipo de cemento que usaremos para esta investigación es el tipo portland IP de marca RUMI siendo comercial y de uso más común en el país y la región de Puno.

## **2.2.2.2. Agregados**

### **2.2.2.2.1. Definiciones**

#### **AGREGADOS PARA CONCRETO**

Normativa: (NTP 400.011, 2008)

Conjunto de granos, pueden ser de piedra natural o artificial, que dentro de los límites mencionados en la NTP 400.037 en tamaño, permiten ser procesados o tratados. Se les denomina también áridos.

#### **AGREGADOS FINO**

Normativa: (NTP 400.011, 2008)

Es un agregado de roca o piedra, que cumpliendo con los límites establecidos en la pasa a través de la malla estándar 9.5mm (3/8”), pudiendo ser descompuesto de manera natural o artificial.

#### **AGREGADOS GRUESO**

Normativa: (NTP 400.011, 2008)

Es un agregado proveniente de la desintegración artificial o natural de la roca, los límites especificados pertenecen a la normativa NTP



400.037, siendo este agregado retenido en un tamiz estándar de 4,75mm (No. 4).

#### **2.2.2.2.2. Requisitos**

##### **2.2.2.2.2.1. Granulometría**

**Normativa:** (NTP 400.012, 2001)

Esta normativa dispone un procedimiento para la división por el tamizado, logrando obtener la masa de la fracción de agregados retenida en cada tamiz, cuyo fin es calculando la masa retenida y/o pasante, así como los porcentajes acumulados y parciales. Representando la distribución de los distintos tamaños de los agregados.

##### **2.2.2.2.2.2. Granulometría agregado grueso**

Acorde a la normativa NTP 400.037 (2014) es importante mencionar que la granulometría cumplirá con las condiciones de la tabla 1.

Precisa además que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor a los puntos mencionados, esto según el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS, 2016)

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa, de ser el caso.
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.



### **2.2.2.2.3. Granulometría agregado fino**

De igual forma para los límites en cuanto a la distribución del agregado fino se refiere estos serán ya establecidos en la NTP 400.037 (2014) como se muestra en la Tabla 2.

El módulo de fineza comprenderá valores de 2,3 y 3,1.

El concreto con agregados finos que presente deficiencias en los respectivos porcentajes de las mallas N° 50 (300  $\mu\text{m}$ ) y N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ) puede presentar deficiencias con la exudación excesiva, la trabajabilidad, el bombeo, lo que expertos sugieren que se puede compensar con adición de filler u otros finos, como también la incorporación aditivos para regular el aire.

Según el MVCS (2016), el árido fino puede ser arena natural, arena industrial o una combinación de ambas. Su grano será limpio, con el mejor perfil angular, duro, denso y duradero. No contiene partículas excéntricas, materiales orgánicos u otras sustancias nocivas.



**Tabla 1**

*Requisitos granulométricos del agregado grueso*

Husos (mallas con aberturas cuadradas)	Tamaño nominal	CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
		4"	3.54"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16
1	3.5" a 1.5"	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2	2.5" a 1.5"	-	100	-	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
3	2" a 1"	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
357	2" a N° 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
4	1.5" a 3/4"	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	-	-	-	-
467	1.5" a N° 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
5	1" a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
56	1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
57	1" a N° 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
6	3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
67	3/4" a N° 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-
7	1/2" a N° 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
8	3/8" a N° 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Nota: Adaptado de la NTP 400.037 (2014)



**Tabla 2**

*Granulometría agregado fino.*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que Pasa (%)</b>
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 um (N° 30)	25 a 60
300 um (N° 50)	05 a 30
150 um (N° 100)	0 a 10

Nota: Adaptado de la NTP 400.037 (2014).

### **2.2.2.3. Agua**

#### **2.2.2.3.1. Definición**

El agua potable es aquella, que viene a ser idóneo para el consumo humano, además debe cumplir con las disposiciones de la norma NTP 339.088.

#### **2.2.2.3.2. Requisitos**

Como se describe, en el ítem anterior, el agua que será utilizada en la elaboración del concreto, se sostendrá en los requisitos de la NTP 339.088, las cuales se verán a continuación:

Requisitos de los límites permisibles, del agua a utilizar para la realización del concreto:

**Tabla 3**

*Requisitos de los límites permisibles del agua para concreto.*

<b>Descripción</b>	<b>Límite permisible</b>
Sólidos en suspensión	5 000 ppm. máximo
Materia Orgánica	3 ppm. máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1 000 ppm. máximo
Sulfato (Ion SO <sub>4</sub> )	600 ppm. máximo
Cloruros (Ion Cl)	1 000 ppm. máximo
pH	5 a 8

Nota: adaptado de la NTP 339.088 (2006).

### **2.2.3. Tipos de concreto**

Para el presente proyecto de investigación, se nombrarán algunos tipos de concreto, los cuales son los más usados:

#### **2.2.3.1. Concreto normal o convencional**

El concreto convencional o conocido comúnmente como concreto; viene a ser una mezcla de agua, diversos tamaños de agregados mayores a 5 mm (arenas, como también gravas) y cemento Portland.

El concreto normal o convencional, es utilizado de manera común para estructuras de concreto, para una variedad de resistencias (175 kg/cm<sup>2</sup> a 350 kg/cm<sup>2</sup>). Es importante mencionar que para la especificación del tipo de agregado que será requerido, además, de su proporción, para posteriormente determinar su respectiva dosificación es que se tomará criterios necesarios e importantes como son el tamaño y los elementos a vaciar (Pasquel, 1998).



### **2.2.3.2. Concreto armado**

Es el concreto con armado de acero en su interior, este puede resistir la fuerza de tracción y flexión en la estructura, siempre que el acero sea debidamente calculado y colocado.

El concreto armado o comúnmente llamado reforzado, es un tipo de concreto reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero, pre-esforzado o no (MVCS, 2016).

### **2.2.3.3. Concreto pos-tensado**

Es el concreto que es sometido a presión por medio de armaduras activas (cables de acero) esto se realiza posteriormente de haber sido fraguado y vertido. Se puede detallar además que el concreto pos-tensado es una forma de hormigón pretensado, que dicha armadura es tensada, posterior a alcanzar su típica resistencia característica (Orts, 2011).

### **2.2.3.4. Concreto pretensado**

Concreto que en su interior tiene acero que esta tensionada sometida a fuerzas de tracción, esto antes de la respectiva colocación del concreto.

### **2.2.3.5. Concreto ciclópeo**

El concreto ciclópeo, es el concreto que presenta piedra agregada. Pudiendo estos presentarse en variedad de tamaños, pero comúnmente se exponen como piedras de gran tamaño. En cuanto al proceso de



fabricación, la piedra va enterrada, más no se agrega a la mezcladora esto por razones ya conocidas (Gutiérrez, 2003).

#### **2.2.3.6. Concreto reciclado**

Según la NTP 400.053 (1999) definirá el concreto reciclado, como aquel tipo de concreto, en cuya composición, los agregados provengan de manera incompleta o entera de gránulos de concreto, gravas y arenas de material reciclado.

### **2.2.4. Propiedades del concreto**

#### **2.2.4.1. En estado fresco**

Como menciona Torre (2004), el concreto en este estado, es desde que se mezcla hasta que fragua el cemento. Además, precisa destacar que el comportamiento reológico del concreto fresco dependerá de:

- Relación agua/cemento.
- Mezclado.
- Grado de hidratación.
- Tamaño de partículas.
- Temperatura.

##### **2.2.4.1.1. La trabajabilidad**

Pasquel (1998) define a la trabajabilidad como el mayor o menor impedimento para el mezclado, traslado, colocado y compactado del



concreto. Además, Gutiérrez (2003), precisa que existen factores que influyen en la manejabilidad los cuales son:

- La cantidad (contenido) de agua de mezclado, considerado como el factor más relevante influyente en la manejabilidad del concreto, expresado en kg o l/m<sup>3</sup> de concreto.
- Otro factor es la fluidez de la pasta, esto se debe a que, para cierta cantidad de pasta y agregado, la plasticidad de dicha mezcla dependerá de proporciones de agua y cemento en la pasta.
- El contenido de aire, que bien ya sea adicionado o atrapado de manera natural, aumentarán la manejabilidad de la mezcla, porque las burbujas de aire actúan como rodamiento (balineras) de los áridos permitiendo su movilidad.
- Una óptima graduación de agregados.
- Agregados gruesos alargados y planos, así como agregados cubos con superficie rugosa, disminuirán la manejabilidad de la mezcla.
- Contenido de arena bajo, esto en proporción con el contenido de material grueso, determinara un material poco manejable.
- Condiciones de clima y temperatura, puede influir en la manejabilidad de la mezcla, así como restricciones de colocación y de producción.



#### **2.2.4.1.2. Consistencia**

Esta propiedad se define como, el grado de humedecimiento de la mezcla, es decir, que tiene dependencia principal por la cantidad de agua empleada (Abanto, 2009).

No debe crear equivocación, la manejabilidad con la consistencia o fluidez, ya que ésta última es relacionada directamente con la situación (estado) de la mezcla fluida (blanda) o seca (dura), refiriéndose al grado de humedad de la mezcla (Gutiérrez, 2003).

#### **2.2.4.1.3. Homogeneidad**

Propiedad que tiene un concreto, para que sus componentes puedan distribuirse regularmente en la masa (Torre, 2004). Además, esta propiedad se pierde cuando existen las siguientes causas:

- Irregularidad en el mezclado.
- Cantidad y tamaño máximo de los agregados grueso.
- Exceso de agua.

#### **2.2.4.1.4. Segregación**

Se define como la separación de los respectivos materiales, que componen una mezcla de concreto (Gutiérrez, 2003). Entre las principales causas que producen segregación son la existencia de una diferencia de tamaños de las partículas, así como también una mala distribución granulométrica de los agregados. Otro factor importante a mencionar es el inadecuado proceso en el concreto: mezclado, transporte, colocación y la



compactación (Gutiérrez, 2003). En cuanto a cómo se produce, se validan dos formas: por acción de la gravedad, las partículas suelen separarse de otras; ocurriendo de manera común en mezclas secas y poco plásticas. La otra es cuando se separan cemento y agua (pasta) en mezclas muy fluidas.

#### **2.2.4.1.5. Exudación**

Consiste en que una parte del agua de mezclado tiende a subir a la superficie del concreto, recién colocado o también en el proceso del fraguado. Comúnmente conocido como sangrado (Gutiérrez, 2003). Esta exudación puede ser el resultado de un exceso de agua en la mezcla (mal diseño), puede ser debido a los aditivos, además también de la temperatura ya que a mayor temperatura, la velocidad de exudación será mayor (Abanto, 2009).

#### **2.2.4.2. En estado endurecido**

##### **2.2.4.2.1. Impermeabilidad**

Como detalla Torre (2004), el concreto es un material poroso y jamás va a ser en su totalidad impermeable. La permeabilidad se puede conceptualizar como aquella capacidad que presenta una materia de permitir atravesar mediante sus poros un fluido.

Es de conocimiento, que, para lograr una correcta impermeabilidad, se pueden utilizar los llamados aditivos impermeabilizantes, como también mantener una relación agua cemento baja; la permeabilidad dependerá de:

- Finura del cemento.





- Cantidad de agua.
- Compacidad.

#### **2.2.4.2.2. Durabilidad**

Es importante detallar, que toda estructura de concreto debe llevar a cabo sus funciones que fueron destinadas, esto significa que debe mantener sus utilidad y resistencia, esto para el tiempo en servicio estimado o que se espera en uso. El concreto tiene que soportar el proceso de detrimento, al cual se debe esperar que vaya a ser expuesto, esta es la propiedad de la durabilidad a tal concreto se le llama durable (Neville, 1999).

Esta propiedad dependerá de factores externos agresivos, pudiendo ser mecánicos, químicos o físicos (Torre, 2004). Los que más influyen de manera negativa son:

- Calor.
- Sales.
- Humedad.
- Agente contaminante.

#### **2.2.4.2.3. Resistencia térmica**

- Bajas temperaturas – Hielo / deshielo (deterioro mecánico).
- Altas temperaturas  $> 300^{\circ}\text{C}$ .



#### **2.2.4.2.4. Resistencia a compresión**

El concreto como materia estructural, es diseñada para una determinada resistencia. La resistencia a la compresión simple, es la propiedad del concreto más relevante y es utilizada normalmente para estimar su calidad (Gutiérrez,2003). La resistencia a la compresión es el mayor esfuerzo que puede soportar el concreto sin romperse. Además, por su propia naturaleza la resistencia a compresión no es mayor a la resistencia de sus respectivos agregados, es decir la resistencia promedio de los concretos convencionales discrepa mucho de la resistencia de las rocas (1000 kg/cm<sup>2</sup>) usadas como agregado (Rivva, 2000). La resistencia del concreto es determinada en muestras cilíndricas estandarizadas, que son llevadas a la rotura, mediante cargas, que van a velocidades incrementales relativamente rápidas (Torre, 2004).

#### **2.2.4.2.5. Resistencia a flexión**

Su valor de la resistencia a la flexión corresponderá a 10% de la resistencia a compresión del concreto; para una determinada  $f'_c$ , se utilizará esta propiedad para estructuras que estarán cargadas y en la que es necesaria e importante dicha propiedad (Torre, 2004).

### **2.2.5. Diseño de mezclas del concreto**

Es el proceso sistemático mediante el cual se seleccionan las proporciones de los materiales que constituyen el concreto, estos referidos al cemento, agregados, agua y en algunos casos aditivos, para alcanzar ciertas especificaciones y/o requerimientos.



El ACI 211.1-91 (2002) afirma que la selección de proporciones concretas implica un equilibrio entre economía y requisitos de capacidad de colocación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia. Las proporciones calculadas por cualquier método siempre deben ser considerado sujeto a revisión en base a la experiencia con lotes de prueba en campo o laboratorio.

#### **2.2.5.1. Método de diseño módulo de fineza**

Stanton Walker y la universidad de Maryland, desarrollaron un procedimiento de selección de proporciones de mezclas en el cual la influencia del módulo de fineza en los porcentajes de agregados fino y grueso es directa, a partir de la mejor combinación de los agregados, esto debido a las deficiencias encontradas por varios investigadores (Rivva, 1992).

Para satisfacer las proporciones de mezclas este método toma como base el módulo de fineza de los agregados, sustentando la proporcionalidad con el promedio logarítmico de una distribución granulométrica específica, a nivel experimental se ha demostrado que los concretos elaborados con agregados de igual módulo de fineza tienen características similares en resistencia y trabajabilidad (Pasquel, 1998).

#### **2.2.5.2. Optimización del diseño de mezclas**

El enfoque de optimización o ajuste de diseño de mezclas está orientado a disminuir el costo de producción y mejorar la trabajabilidad, así como se menciona.



Para la producción de mezclas de concreto más trabajables y resistentes, pueden realizarse mezclas de prueba, variando la cantidad de agregado, relación agua – cemento y la trabajabilidad, manteniendo algunas características como el contenido de aire, la optimización de mezclas brinda una mayor economía y este se ajuste a las especificaciones requeridas (Kosmatka *et al.*, 2004).

Todos los métodos de diseño resultan en una aproximación a la solución definitiva, dentro de este contexto es muy poco probable llegar a los requerimientos necesarios con un solo diseño, por ello es necesario optimizar los diseños. Se recomienda evaluar varios diseños de mezclas desde el punto de vista del asentamiento, segregación, etc. y elegir la muestra con los agregados más adecuados para la elaboración del concreto y con las características requeridas. La recomendación que principalmente resalta, manteniendo la propiedad de los agregados, es la variación de la relación agua – cemento, así asegurar la resistencia requerida (Pasquel, 1998).

### **2.2.5.3. Variables de diseño que influyen en la optimización**

En el proceso de optimización y ajuste de una mezcla de concreto existe parámetros y variables que tienen una influencia directa, como las que se mencionan a continuación.

#### **2.2.5.3.1. Consistencia**

Es la movilidad relativa de la mezcla de concreto. Se mide en términos de asentamiento, cuanto mayor sea el asentamiento, más móvil será la mezcla y afecta la facilidad con la que el concreto fluye en la



colocación. El requerimiento de agua aumenta a medida que los áridos se vuelven más angulosos y de textura rugosa (ACI 211.1-91, 2002).

En caso de que sea necesario optimizar la mezcla con respecto a la trabajabilidad es factible aplicar la recomendación de Rivva (1992, p. 237), el cual menciona que, si el asentamiento obtenido en la tanda no es el requerido, se puede incrementar o disminuir el contenido de agua en 2 litros por metro cubico de concreto para incrementar o disminuir el asentamiento en 10 mm.

#### **2.2.5.3.2. Relación agua-cemento**

Para un conjunto dado de materiales y condiciones, la resistencia del concreto está determinado por la cantidad neta de agua utilizada por unidad de cantidad de cemento. El contenido neto de agua excluye el agua absorbida por los agregados (ACI 211.1-91, 2002).

Dado que la resistencia a la compresión por lo general es un requisito fundamental del proyecto estructural, o se requiere consideraciones especiales por parte del proyectista, se tiene entonces que la relación agua/cemento es un parámetro muy importante en el diseño de mezclas, pues este parámetro regula la resistencia a la compresión (Pasquel, 1998). por ello es esencial para la optimización de diseños de mezclas.

#### **2.2.6. Curado del concreto**

Es el procedimiento, en el que se debe supeditar las probetas de concreto (muestras, especímenes), permitiendo la hidratación del concreto como tal, es



preciso mencionar que este conjunto de procesos es obligatorio para la resolución de la resistencia del concreto (Abanto, 2009).

Además, es necesario recordar que el curado del concreto hace que la temperatura sea mantenida, así como también la humedad, para un determinado tiempo, iniciando este desde la colocación como tal del concreto, teniendo como razón principal la hidratación del cemento, y a su vez desarrollar la mejora de las propiedades del concreto.

#### **2.2.6.1. Duración del curado de concreto**

En cuanto, a la duración, las distintas informaciones recomiendan total de 28 días, esto para que el hormigón llegué al 100% de su resistencia, determinado a través del ensayo de la resistencia a la compresión, la norma a su vez hace realce que pasado los 7 días la resistencia estimada será del 70% esto como valor mínimo a determinar con respecto al diseño establecido.

La metodología de curado más común, es la de sumergir las briquetas de concreto en agua y de esta manera dejarlas hundidas completamente hasta los 28 días.

Se pretende, mencionar además los distintos métodos de curado acelerado existentes, en donde la presenta investigación desarrollara el método de curado acelerado por agua hirviendo, imponiendo las probetas al agua en estado de ebullición, para poder estimar así, la resistencia a edad temprana del concreto, siendo entonces muy relevante la realización de estas briquetas, ya que estas dan severidad al trabajo realizado.



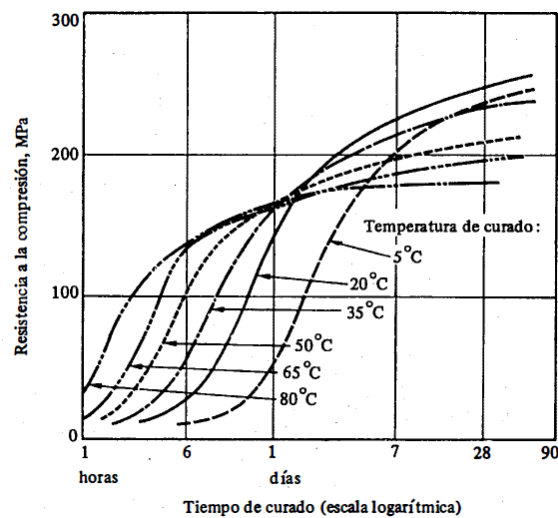
Por otro lado, con el presente proyecto de investigación permitirá estimar valores de dosificación más óptimos en concretos con agregado reciclado, usando este tipo de curado acelerado para poder alcanzar resistencias de concreto más tempranas, ya que es posible obtener los resultados de manera rápida, pudiendo corregir y no tener futuros errores.

#### **2.2.6.2. Influencia de la temperatura en el concreto**

La temperatura elevada en el curado de estructuras de concreto tiene un favorable aumento de la resistencia a la compresión a edades iniciales, sin embargo, al continuar el curado con la temperatura elevada la resistencia a la compresión no cumple con las expectativas de incremento de resistencia, esto debido que al incrementar la temperatura de curado la reacción del cemento y el agua acelera su proceso y esto evita que la pasta logre llegar a todos los poros presentes en los agregados, generando así también poros en el concreto, lo cual debilita la estructura a largo plazo (Neville, 1999).

**Figura 1**

*Influencia de la temperatura en el concreto a diferentes edades.*



Nota: la figura muestra la variación de la resistencia a la compresión en MPa, a diferentes edades y a diferentes temperaturas corroborando lo antes mencionado, tomado de (Neville, 1999).

#### **2.2.6.2.1. Mecanismos de acelerado de la hidratación**

Existen diversos métodos de aceleración de la hidratación según Neville (1999) menciona los siguientes métodos:

- Llevar el concreto a una temperatura de 32° aproximadamente, ya sea calentando los agregados o el agua de la mezcla e incluso inyecciones de vapor en la mezcla, este método acelera el fraguado y alcanzar alta resistencia temprana permitiendo retirar en encofrado en unas cuantas horas, pero la resistencia final que se alcanzara reduce en un 10 a 20 porciento.
- Calentar el concreto mediante corriente alterna inducida, con una corriente alta a bajo voltaje lo que calentara el concreto, estos métodos

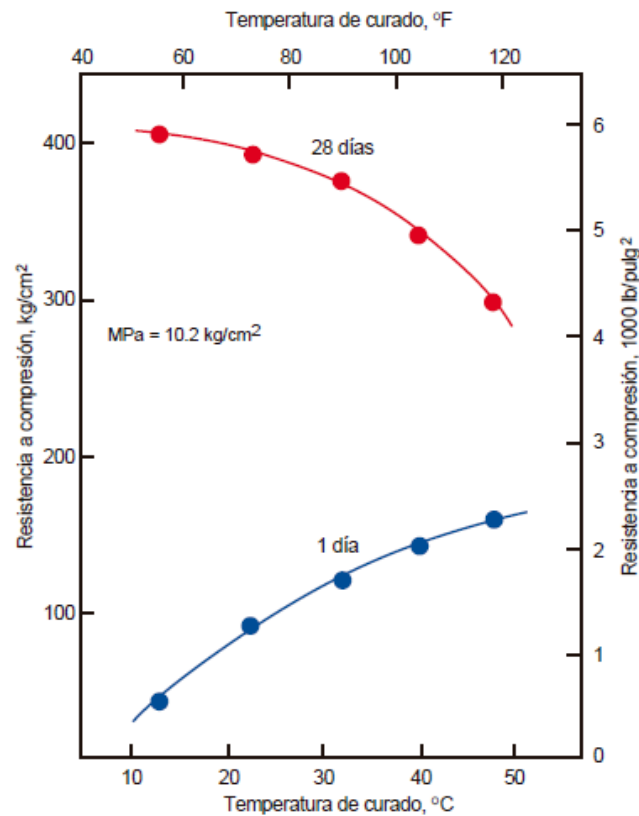


utilizan electrodos y alambres de cobre algunos incluso se dejan en el concreto.

- El curado por infrarrojo es utilizado también, calentando el encofrado mediante tubos de aceite.

## Figura 2

La figura muestra la evolución de un concreto a diferentes temperaturas a 1 día y 28 días de rotura.



Nota. La figura muestra el comportamiento de un concreto cuando se somete a diferentes temperaturas, así también se observa la respuesta de este variable a dos edades diferentes que son a 1 día y 28 días, tomado de (Kosmatka *et al.*, 2004).

### 2.2.6.3. Métodos de curado acelerados según NTP 339.213

La validez de existencia de distintos métodos de curado en el concreto, uno de los más presentes es el curado normal o comúnmente

llamado (curado normal o tradicional), el cual, como se mencionó con anterioridad, se tiende a someter los testigos al agua, dentro de una poza o cilindros usados tradicionalmente, para posteriormente pasados los 7, 14, 28 días ser ensayados en laboratorio a través del ensayo de resistencia.

Es importante mencionar además que según la NTP 339.213 (2018) existen otros tipos de curados, que pueden ser eficaces en la determinación de valores (resultados) en menor tiempo y de manera segura, estos están denominados “métodos de curado acelerado”, que permiten ahorrar tiempo, además de poseer una confiabilidad alta y con óptima calidad, clasificados de la siguiente manera:

- Método de agua caliente. (A)
- Método de agua hirviendo (B)
- Método autógeno (C)
- Método de calor y presión (D)

A continuación, se presenta una tabla de resumen:

**Tabla 4**

*Caracterización de los procesos de curado acelerado.*

Proceso	Moldes	Fuentes de aceleración de resistencia	temperatura de curado acelerado °C	Edad de inicio de curado acelerado	Duración de curado	Edad de ensayo
A	Reusable o de un solo uso	Calor de hidratación	35	Inmediatamente después de vaciado	23.5 h ± 30 min	24 h ± 15 min
B	Reusable o de un solo uso	Agua hirviendo	Hirviendo	23 h ± 30 min después de vaciado	3.5 h ± 5 min	28.5 h ± 15 min



Proceso	Moldes	Fuentes de aceleración de resistencia	temperatura de curado acelerado °C	Edad de inicio de curado acelerado	Duración de curado	Edad de ensayo
C	De un solo uso	Calor de hidratación	T inicial + Calor de hidratación	Inmediatamente después de vaciado	48 h ± 15 min	49 h ± 15 min
D	Reusable	Calor y presión externos	150	Inmediatamente después de vaciado	5 h ± 5 min	5.25 h ± 5 min*

\*Agregar 30 minutos si se utiliza refrentado con compuesto de azufre

Nota: adaptado de la (NTP 339.213, 2018)

A continuación, se detalla brevemente los 4 procesos de curado acelerado:

**a) Método de agua caliente "A":** Inmediatamente comenzaremos a colocar las muestras de concreto dentro del tanque de curado a una temperatura de 35 °C con los tubos de ensayo sumergidos una vez que tengamos nuestras muestras, que obviamente deben cumplir con el estándar ASTM C31. Para un mejor control, necesitaremos un pirómetro para monitorear la temperatura y asegurarnos de que se mantenga a 35°C cada hora. Los moldes se sacarán del depósito una vez transcurrido el tiempo de curado requerido de 23,5 horas, momento en el que comenzaremos a desmoldar y sacar las probetas.

**b) Agua hirviendo método "B":** Según la norma, para realizar un buen curado es necesario contar con una ubicación idónea para la preparación de las probetas, dependiendo si se realizará in situ o en el mismo laboratorio. Una vez conocidas las dosificaciones de los agregados, se procede a elaborar la probeta, en tres capas, teniendo esto, se procede a compactar 25 veces con una varilla estandarizada para cada capa con el fin de obtener una buena distribución.



Se debe dejar que los testigos desarrollen su curado inicial durante 23 horas  $\pm$  30 min, para luego ser sometidos a curado acelerado sumergiéndolos en el tanque durante 3,5 h  $\pm$  5 min, seguidamente, se extraen los testigos y se dejan enfriar a temperatura ambiente durante dos horas para después ser sometidos al ensayo de compresión para determinar sus resistencias.

**c) Método autógeno "C":** Una vez obtenido el moldeo para este método de curado acelerado, se cubrirá el molde con una placa de metal o también se puede cubrir con una capa de sellado hermético. Adicionalmente se debe cubrir todo el molde con una bolsa, puede ser una bolsa de cemento o una bolsa que tenga peso, pero asegurándonos de sacar todo el aire atrapado, para posteriormente colocarlos en el recipiente, cabe señalar que en este recipiente solo se pueden colocar un máximo de 2 testigos de ensayo. La medición de la temperatura en el termómetro de máxima y mínima debe reiniciarse unos 15 minutos antes de colocar las muestras de hormigón en el recipiente. Para retirar el molde y obtener las probetas, se debe abrir la tapa o precinto pasadas 48 horas. Después de eso, los testigos de ensayo deben colocarse en un lugar seguro antes de sacarlos del recipiente. Luego, los testigos de ensayo se llevarán al laboratorio para su análisis.

**d) Método "D" de calentamiento y compresión:** Esta técnica de curado es única porque es muy fina. Por ejemplo, los moldes necesarios para moldear la muestra deben tener un tamaño de 75 mm x 150 mm, y las tapas deben sellarse antes de agregar el concreto. Otra característica que me parece un inconveniente como investigador es que solo se puede



utilizar con agregados que tengan una dimensión máxima de 25 mm. Personalmente, creo que se debe utilizar todo el concreto para lograr resultados rápidos, pero en este caso no fue así, que es lo que lo hace único. Los testigos de ensayo se colocarán dentro del recipiente una vez que se complete el moldeado, y la temperatura y la presión comenzarán a establecerse. Todo el proceso de curado dura 5 horas, pero las primeras 3 horas deben dedicarse a mantener la temperatura a 150 °C. Después de esas 3 horas, se debe apagar el calentador y se debe mantener la presión a 10 punto 3 MPa durante las 2 horas restantes. Una vez finalizado el período de curado, se decaparán las muestras, se liberará la presión, se sacarán los moldes del recipiente y se realizará una prueba rápida de resistencia a la compresión.

**e) Método de curado estándar:** Este método es el más común en el lugar de trabajo o laboratorio, y consiste en hacer una buena dosificación y curado, es decir, el ingeniero debe realizar un buen procedimiento de moldeado para determinar la consistencia del concreto a través del asentamiento. antes de obtener los testigos de ensayo. A continuación, los moldes deben ser desmoldados después de 24 horas de colado para retirar las probetas. Se recomienda que, si está en el lugar, construya cajas de madera para colocar las probetas de acuerdo con sus dimensiones. La distancia del lugar de trabajo al laboratorio y el tráfico deben tenerse en cuenta al transportar los tubos de ensayo. porque las probetas de hormigón necesitan tener Tecnopor moldeado en las paredes de la caja para que no choquen y provoquen alguna rotura menor, lo que podría afectar la validez de los resultados. Si los especímenes chocan entre sí, algo rígido o caen,



pierden su resistencia, por lo que cuando se aplica una carga, debilitará rápidamente un espécimen.

### **2.2.7. Agregado reciclado**

#### **2.2.7.1. Agregado de concreto reciclado**

El agregado de concreto reciclado, es resultante de la reutilización de material proveniente de demoliciones, escombros, de construcciones, esto se refiere a concreto que ya ha sido empleado, pero con los respectivos análisis, evaluación del material reciclado y cumplimiento de algunos estándares, para su posterior viabilidad en su uso, cumpliendo las respectivas exigencias, en el caso lo amerite, siendo estos agregados reciclados.

#### **2.2.7.2. Propiedades de los agregados reciclado procedentes del concreto**

Para este tipo de materiales reciclados, no existe un estándar de calidad, ya que estas dependen del material del que está hecho y de su procesamiento, y suelen ser diferentes en cada caso.

Las propiedades del material original, como su resistencia a la compresión, el tipo de árido y cemento, la antigüedad, la naturaleza o las condiciones ambientales de la antigua edificación, afectan a las propiedades del material reciclado. Asimismo, la presencia de impurezas (residuos de madera, papel, plástico, asfalto o cerámica) será determinante para determinadas propiedades del nuevo material, como su comportamiento a la deformación o la susceptibilidad a las heladas.



Precisa necesario mencionar que en igual consideración que para agregados naturales, el proceso para el machaqueo es de fundamental importancia, ya que como es de saber, en cuanto a la granulometría del material a obtener, la influencia de éste sobre las propiedades del material final es considerable (Centro de estudios y experimentación de obras públicas [CEDEX], 2012).

#### **2.2.7.2.1. Propiedades físicas**

El tamaño de partícula del material procesado debe adaptarse a las especificaciones requeridas para las diferentes aplicaciones. En general, el contenido de finos ( $< 0,08$  mm) es muy bajo.

El árido reciclado procedente de la trituración tiene una forma muy angular. Además, debido al contenido de mortero adherente del agregado natural del que se fabrica el concreto, este tiene una textura superficial más rugosa, menor densidad, mayor porosidad y capacidad de absorción de agua que el agregado de partida. A medida que disminuye el tamaño del agregado reciclado, disminuye la densidad y aumenta la absorción de agua (CEDEX, 2012).

La literatura internacional muestra que los áridos reciclados mayores de 4,75 mm tienen buena resistencia al desgaste (coeficiente de desgaste de Los Ángeles entre 20 y 45) y acción sulfatada, así como una alta capacidad portante (índice CBR entre 95 y 150).

Las propiedades físicas para este tipo de materiales, en general muestran gran variabilidad con el tiempo.

### a) Composición de partículas, forma y textura

Las partículas de agregados para concreto reciclado, son compuestas de agregado natural recuperado, mortero recuperado o ambos. Las proporciones relativas de estos componentes, llegan a variar con los respectivos diseños de mezclas del concreto original, así como del agregado grueso virgen usada (características como la textura de la superficie, la resistencia, angularidad y elasticidad), así como la respectiva unión entre las partículas de agregado virgen y mortero, y el tipo y grado de trituración en la producción (American Concrete Pavement Association [ACPA], 2009).

**Tabla 5**

*Comparaciones de propiedades típicas de agregado normal y RCA*

<b>Propiedades</b>	<b>Agregado Normal</b>	<b>Agregado de concreto reciclado RCA</b>
Forma y textura	Bien redondeado, liso (grava) a angular y áspero (roca triturada)	Angular con superficie rugosa
Capacidad de absorción	0.8 – 3.7 por ciento	3.7 - 8.7 por ciento
Gravedad Específica	2.4 - 2.9	2.1 - 2.4
Prueba de abrasión de L.A. Pérdida de masa	15 - 30 por ciento	20 - 45 por ciento
Pérdida de masa de prueba de solidez de sulfato de sodio	7 - 21 por ciento	18 - 59 por ciento
Pérdida de masa de solidez de sulfato de magnesio	4 - 7 por ciento	1 - 9 por ciento
Contenido de cloruro	(0 - 1.2 kg/m <sup>3</sup> )	(0.6 – 7.1 kg/m <sup>3</sup> )

Nota: Adaptado de (ACPA, 2009).

En adición, es necesario mencionar que las partículas de RCA (recycling concrete aggregate) en general, optan por ser de forma angular





y superficie rugosa (similar a roca triturada), variando esto, según las características del agregado virgen, además del tipo de triturado utilizado en la producción (ACPA, 2009).

### **b) Gradación**

Con ajustes apropiados, las plantas de trituración de concreto se pueden adaptar y/o configurar, con el fin de producir casi cualquier gradación que es buscada, no obstante, se produce un exceso de RCA fino. Seleccionar adecuados tamices permitirá, que plantas de trituración cumplan con límites de gradación para agregados de concretos establecidos en ASTM C33 (o AASHTO M43 gradaciones 57 y 67) (ACPA, 2009).

### **c) Capacidad de absorción**

Es importante detallar, en cuanto a la capacidad de absorción, estos son de manera general, mucho más altos, en comparación a los agregados naturales (tabla 4). Esta variación que altera la absorción de RCA, tiene como influyente principal, la cantidad de mortero recuperado, que encontraremos en este tipo de agregado, la razón, porque el mortero recuperado suele ser más poroso y de mayor absorción, presentando una mayor área superficial, mayor que la mayoría de agregados naturales vírgenes (ACPA, 2009). Es importante mencionar que a medida que el tamaño de las partículas de RCA va bajando, el contenido de mortero, y la absorción tienden a subir.

#### d) Gravedad Específica

El mortero de concreto (que comprende arena, cemento, agua y aire) generalmente tiene una gravedad específica mucho más baja (2.1 a 2.4) que la mayoría de los tipos de agregados primarios (2.4 a 2.9). Por lo tanto, la gravedad específica de RCA depende principalmente de la proporción relativa de mortero reciclado y agregado crudo reciclado, y disminuye con el aumento del tamaño de partícula (generalmente aumentando el contenido de mortero), como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 6**

*Propiedades de un agregado grueso reciclado.*

Tamaño del tamiz	Porcentaje retenido	Gravedad específica de masa	Porcentaje de absorción
1.0 in. (25 mm)	2	2.52	2.54
3/4 in. (19 mm)	22	2.36	3.98
1/2 in. (12.5 mm)	33	2.34	4.50
3/8 in. (9.5 mm)	18	2.29	5.34
No. 4 (4.75 mm)	25	2.23	6.50
Peso promedio	100	2.31	5.00

Nota: Adaptado de (ACPA, 2009).

#### 2.2.7.2.2. Propiedades físicas

##### a) Pérdida de masa por abrasión de los Ángeles

Se sabe que la prueba de abrasión Los Ángeles (L.A) ASTM C131, (2003), cuantificará la cantidad de partículas en degradación (para términos de porcentaje mermado de masa). Cuyo manejo tendrá lugar a condiciones estándar de carácter agresivo.



Es importante mencionar, para el proyecto a desarrollar, que para los valores típicos de pérdida de masa por abrasión de L.A., estos serán más altos para agregados de concreto reciclado (RCA), que para los agregados vírgenes contenidos en el concreto reciclado. Esto suele atribuirse a la presencia de mortero con cemento suave, así como la presencia de partículas que solo se fracturaron parcialmente durante la trituración (ACPA, 2009).

Según la norma ASTM C33 (2018), el requerimiento del valor de resistencia al desgaste en la maquina L.A, es de 50% como máximo, al igual las especificaciones generales requieren un máximo de 40% de desgaste para concreto hidráulico en pavimentos rígidos, así también investigaciones como la de Bazalar y Cadenillas (2019) quienes determinaron un porcentaje de desgaste de 35.90% donde menciona que cumple las normas locales e internacionales.

### **b) Durabilidad de congelación y descongelación**

Según ACPA (2009), los pavimentos de concreto que desarrollaron grietas por durabilidad de congelación y descongelación (“llamada fisuración D”) ocasionado por material grueso susceptible a heladas en el concreto, se han usado de manera común, reciclados en capas de subbase no estabilizadas y rellenadas sin problemas, esto con relación a la durabilidad del agregado.

Este reciclaje se realizó en dichos pavimentos, para nuevas capas de concreto, desde los años 80, de manera exitosa. Además, que cuando es usado con agregado grueso en concreto nuevo, el agregado de concreto



reciclado RCA, la trituración es a  $\frac{3}{4}$  de pulgada, generalmente (19 mm) de tamaño superior.

De acuerdo al código ACI - 318 (2014), la calidad del concreto se caracteriza por su durabilidad es cual está compuesto por la resistencia al intemperismo, ataques químicos, abrasión y otros procesos que deterioren el concreto.

Dentro de estos otros factores que afectan el concreto está el congelamiento y descongelamiento, ya que, como el agua varía el volumen al congelarse y descongelarse dentro de los poros del concreto genera micro agrietamientos que afectan en la durabilidad del concreto. En los concreto elaborados con agregados reciclados se presenta una cantidad mayor de poros, es por ello que la durabilidad en estos concreto tiende a disminuir, sin embargo, este efecto se puede disminuir trabajando con agregados en estado SSS para realizar la mezcla y el uso de cementos puzolánicos (Bazalar y Cadenillas, 2019).

De acuerdo a la investigación de Ajdukiewicz & Kliszczewicz (2002) indican que las pruebas de durabilidad realizadas al High Performance Concrete (HPC) el cual fue elaborado con agregados reciclados, sometiendo a congelamiento y descongelamiento, obtuvo una durabilidad similar e incluso mayor en comparación con el concreto con agregados naturales, la cual fue respaldada con 50 ciclos de congelamiento y descongelamiento, cada ciclo de 24 horas.



### **2.2.7.2.3. Propiedades químicas**

La composición química del agregado reciclado refleja en gran medida la de los agregados que componen el concreto inicial. Precisa detallar además que la composición química del cemento es la responsable de la alta alcalinidad de estos materiales cuando entran en contacto con el agua ( $\text{pH} > 11$ ).

Precisa que, el concreto hecho con agregados reciclados puede expandirse y agrietarse innecesariamente si la alcalinidad es lo suficientemente alta. En cualquier caso, no se recomienda el reciclaje de pavimentos, por ejemplo, en rápido deterioro asociados a reacciones silico-álcali y/o mala calidad del hormigón. Si los pavimentos entran en contacto con suelos ricos en cloruros, los materiales reciclados pueden contaminarse con cloruros o sulfatos de la sal utilizada como fundente en las carreteras en invierno (CEDEX, 2012).

#### **a) Pérdida de masa de solidez de sulfato**

Esta prueba se realiza para proporcionar un indicativo de la resistencia de agregados a la intemperie. Las pruebas usadas son la de sulfato de magnesio y prueba de solidez de sulfato de sodio AASHTO T104 y ASTM C88, mostrando que el RCA comúnmente no pasa la prueba de solidez del sulfato de sodio, no obstante, pasa la prueba de solidez de sulfato de magnesio con resultados mejores que los del agregado original (ACPA, 2009).



### **b) Contenido de cloruro**

Producido a partir de fuentes con exhibición de manera prolongada a productos químicos descongelantes, Cantidades considerables de cloruro son generadoras de problemas con la durabilidad del concreto, el cloruro de sodio por ejemplo actúa como acelerante de fragua, así como la corrosión de acero empotrado.

ACPA (2009) recomienda verificar contenido de cloruro de cualquier material reciclado (pudiendo contener excedente de sal) luego evaluar el contenido de cloruro en la mezcla resultante.

### **c) Potencial de precipitado**

El concreto triturado expone superficies no comprometidas previamente, que de manera común contienen hidróxido de calcio, como granos de cemento levemente hidratados o no hidratados. Este hidróxido, se lixivia de manera fácil y es muy soluble, siendo que disuelto puede combinarse con CO<sub>2</sub> formando carbonato de calcio que se precipita fuera de la solución y forma una sustancia espesa y cremosa, pudiendo por ejemplo ocupar tuberías de drenaje de pavimento y obstruir telas de filtro.

ACPA (2009) recomienda usar solo agregado de concreto reciclado grueso y lavado en capas de sub-base drenables.

### **d) Otras consideraciones como polvo y los contaminantes de la superficie**

Puede incrementar el consumo de agua y de reducir la calidad de la adherencia entre el agregado y el mortero para nuevas consideraciones



de mezclas de concreto, el lavado de agregado como se realiza en agregados vírgenes sucios, puede ser útil o deseable en algunos casos.

### **2.2.7.3. Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado fresco**

Es importante destacar algunos factores tanto críticos y relevantes para los concretos que sean fabricados con agregados reciclados como la trabajabilidad, la exudación y peso unitario.

#### **a) Trabajabilidad**

Asencio (2014) menciona que este factor es de los considerados más críticos en los concretos fabricados con este tipo de agregados. Si se sabe, que, en cuanto al asentamiento inicial del concreto en estado reciente (fresco) decrece levemente con el porcentaje de reemplazo de agregados reciclados, de manera dificultosa es considerado por el tipo de agregado.

Bazalar y Cadenillas (2019) menciona que en cuanto a la trabajabilidad en la mezcla elaborado con agregados reciclados requiere un ajuste mínimo en la cantidad de cemento esto para compensar el agua adicional demandada para llegar a la consistencia requerida, esto debido a que los agregados de concreto reciclado (ACR), tienen una textura mucho más áspera por lo cual la demanda de mayor agua.

En investigaciones como la de Zhang *et al.* (2010) donde se ha encontrado que el uso de ACR de una resistencia determinada para preparar concreto de la misma resistencia, el valor del asentamiento reduce a medida que la resistencia requerida aumenta.



### **b) Peso unitario**

Este tipo de agregado, presenta una menor densidad, pero precisa detallar que las variantes de la densidad de los agregados reciclados no son tan marcadas como las que se tienen en absorción. Una densidad inferior de los materiales granulares (agregados) resultará, de manera deductiva en concretos con menor peso unitario. Torres & Burkhart (2016) mencionan que un concreto, con presencia de este tipo de agregados, poseen una densidad 5% menor.

### **c) Exudación**

McNeil & Kang (2013) concluyeron que la exudación de este tipo en concreto reduce cuando incrementa el porcentaje de sustitución de agregado grueso reciclado, esto es ocasionado a la absorción del agua de sangrado por la pasta de cemento en la superficie existente de los agregados.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos por Yang *et al.* (2008) reafirman esta propensión, según dicho estudio, la exudación podría iniciarse pasadas las dos horas de mezclado, para concretos con agregados reciclados de alta absorción, mientras que un concreto normal empezaría a los treinta minutos aproximadamente. Esto involucra un mayor cuidado en la hidratación para prevenir fisuras por contracción plástica.





#### **2.2.7.4. Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado endurecido**

##### **a) Resistencia a la compresión**

Es importante mencionar que, en cuanto a resistencia a la compresión a lo largo de los años, se realizaron distintas investigaciones, llegando a distinguir distintas variaciones en el valor de la resistencia a la compresión de los concretos reciclados y los concretos normales o convencionales, como lo menciona Asencio (2014).

No obstante, es importante mencionar que, diversos autores, resaltan que la resistencia de un concreto reciclado en relación a un concreto convencional, dependerá de las características del agregado madre. Se tiene como propiedad más importante la absorción.

Como queda revisado según Yang *et al.* (2008) la absorción de los agregados de este tipo de agregados (reciclados) son de manera general dependientes del contenido de esa pasta de cemento que estará dada en el espacio, es así que a mayor contenido de pasta de cemento, mayor será esta mencionada absorción.

Yang *et al.* (2008) según su investigación publicada en el ACI Materials Journal, caracteriza este tipo particular de agregado (reciclado) según las normas coreanas industriales para ensayos de concreto. Precisa destacar que separa los agregados gruesos y finos en 3 y 2 grupos respectivamente esto según su porcentaje de absorción como muestra la tabla:

**Tabla 7**

*Clasificación de agregados reciclados según estándares coreanos.*

<b>Agregado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Absorción</b>	<b>Aplicación</b>
GRUESO	I	<3%	Concreto Estructural
	II	<5%	Concreto No-Estructural
	III	<7%	Concreto No-Estructural o filler para construcción de pavimentos
FINO	I	<5%	Concreto Estructural
	II	<10%	Concreto No-Estructural

Nota: tomado de (Asencio, 2014).

Se puede mencionar, según información y estudios, que, para agregados de baja absorción, las resistencias a los 28 días se reducen en un 10%, pero pasados los 60 días, alcanza una resistencia igual a la del diseño de control, se demuestra que la resistencia para un diseño con este tipo de agregado no disminuye, sino que tarda más en desarrollarse (Asencio, 2014).

Es importante mencionar que, en agregados con absorción alta, el concreto experimenta una baja en la resistencia de 20% a más. Además que hasta con un 40% de reemplazo el decrecimiento en la resistencia es mínima, ya que se alcanza casi el 100% de la mezcla, asimismo, con un 100% de reemplazo, los valores llegan a un 70% de la resistencia (Asencio, 2014).

### **b) Módulo de elasticidad**

En su investigación Asencio (2014) hace mención que este valor dependerá del módulo de sus agregados, además que el módulo es mayor en agregados convencionales que agregados reciclados. Es decir, precisa



que este factor se encuentra entre un 60% y 100% con respecto a un concreto con agregado convencional de elaboración parecida.

Según Etxeberria *et al.* (2007) en su investigación sobre la influencia de los áridos grueso reciclados en las propiedades del hormigón reciclado, menciona que el módulo de elasticidad tiende a reducir a medida que la proporción en reemplazo del árido aumenta, esto debido a que el árido grueso reciclado contiene pasta de concreto el cual es fácilmente deformado a presiones altas.

### **c) Contracción**

Yang *et al.* (2008) en su investigación hace realce que la contracción en concretos que son reciclados es inferior a lo largo de los 10 primeros días, pero pasado esto es mucho mayor.

Los concretos, con material granular reciclado notan superior contracción en el secado esto en cotejo al hormigón con agregado natural. Esto depende del concreto inicial y sus características (concreto reciclado, agregado reciclado y la fuente).

### **d) Permeabilidad**

El emplear agregado grueso y fino producto de la trituración (reciclaje), esto en hormigón y su mezcla, puede ocasionar un aumento en la porosidad del concreto como tal, accediendo a un valor alto de difusión de gases, lo que no permitirá una protección óptima del refuerzo, esto frente a la corrosión (Asencio, 2014).



### **e) Resistencia a la flexión**

Según Bazalar y Cadenillas (2019) los valores de la resistencia a la flexión en concreto con agregados reciclados reduce el valor de un concreto estándar en un 85%, esto para cualquier porcentaje en reemplazo de agregado reciclado, sin embargo, otros autores calcular este valor como un porcentaje de la resistencia a la compresión no del tipo de material usado en la mezcla, dicho porcentaje varía de 10% a 15% de la resistencia a la compresión (Torre, 2004).

#### **2.2.8. Aplicaciones prácticas de uso de concreto reciclado**

**En la ciudad de Berlín – Alemania en el año 2015**, en campus de la Universidad de Humboldt se construyó como proyecto piloto la construcción del laboratorio de investigación del edificio de Ciencias de la Vida, el cual fue elaborado con concreto premezclado el cual contenía agregados de concreto reciclado un total de 3,800 metros cúbicos proporcionado por la empresa CEMEX, este proyecto figura como piloto para la utilización de este tipo de concreto. El cual tuvo como ventajas que el uso de agregados contribuye a la sostenibilidad ambiental conservando los recursos naturales, también el uso de concreto reciclado para uso estructural. Al igual tuvo como desventajas que la producción del concreto reciclado fue más complicada que la de un concreto normal esto por el uso de aditivos, necesitando expertos para su elaboración, así también como un control minucioso del concreto (CEMEX, 2015).

**Puente atirantado sobre el río Turia 2008**, esta experiencia se llevó a cabo en Manises, Valencia. La Asociación Internacional de Ingenieros y Estructuras, adjudicó el proyecto como el primer puente del mundo en donde se



utilizó materiales reciclados. Se recicló el material del concreto procedente de la estructura de un puente ya existente que fue reemplazado, una sustitución del 20% de agregado normal por agregado reciclado, para la construcción de un tramo de la losa. Las condiciones de la calidad del concreto fueron de  $f_{cm} > 25 \text{ N/mm}^2$  y la resistencia máxima de  $f_{cm} < 50 \text{ N/mm}^2$  (Alaejos, 2008).

**Aeropuerto Internacional de Denver**, uno de los proyectos que más resalta en el reciclaje de concreto, es el aeropuerto internacional de Denver, colorado. Esto debido a la importancia del aeropuerto en los estados unidos y el tercero del mundo. Este proyecto reutilizo los escombros de demolición de estructuras del año 1999, los cuales fueron utilizados como agregados para la elaboración de concreto, los cuales fueron usados en la remodelación y expansión del aeropuerto. La reconstrucción culmino en el año 2005, en cinco etapas. En este proceso se utilizó 6.5 millones de toneladas de agregado reciclado para mezcla de concreto en infraestructura de bases y sub – bases, todo el material de demolición sobrante se utilizó en bases y sub – bases de las vías de acceso en el Aeropuerto Internacional Stapleton (Asociación Colombiana de Productores de Cemento [ASOCRETO], 2011)

**El Puente de Marina Seca del Forum 2004 de Barcelona**, fue construida con empleo de concreto reciclado en algunos de sus elementos. Se utilizó un 20% de reemplazo de agregado reciclado previamente saturado con un grado entre el 80% y 90%, alcanzando resistencias de  $47.8 \text{ N/mm}^2$ , debido a que la absorción promedio de los agregados reciclados oscilaba entre 6.7%. Es preciso destacar que los ensayos de penetración de agua fueron adecuados (Alaejos, 2008).



**Oficinas en Watford en el centro de Londres**, en Reino Unido, 1995, se usó agregados reciclados procedentes de la trituración del concreto de la demolición de un edificio de 12 niveles, para la construcción de las cimentaciones, forjados y pilares de un bloque de oficinas. La relación agua/cemento fue de 0.50, con asentamiento requerido de 75 mm (Alaejos, 2008).

**Fundación Alemana para el Medio Ambiente**, en 1993-1994, se utilizó agregado reciclado para la construcción de sus elementos estructurales de concreto, para ello se seleccionó estrictamente los agregados reciclados y se llevó un alto control de calidad. El tamaño de los agregados reciclados gruesos comprendía entre 4 y 32 mm y el agregado fino fue arena natural. Se utilizó 290 kg/m<sup>3</sup> de cemento Portland, 70 kg/m<sup>3</sup> de cenizas volantes además de plastificante, obteniendo resistencias de 35 N/mm<sup>2</sup> (Alaejos, 2008).

**Viaducto en la carretera RW cerca de Meppel**, en Países Bajos, en 1988 se empleó alrededor de 500 m<sup>3</sup> de concreto reciclado para la construcción de los estribos de un viaducto. En 1990, en la misma zona se construyó un segundo viaducto utilizando agregado grueso reciclado en sustitución del 20% para todas las partes del concreto del viaducto, utilizando un total de 11000 m<sup>3</sup>. En consideración de los buenos resultados por la utilización de estos, a partir de 1991, se exige el uso del agregado de concreto reciclado en un porcentaje de sustitución del 20% de la fracción gruesa en la totalidad de proyectos de concreto, con excepción de los concretos pretensados (Alaejos, 2008).

**Great Belt Link**, en Dinamarca, fue uno de los más significativos proyectos de Dinamarca, la cual consistió en la reutilización de escombros procedentes de la demolición de varias estructuras, dentro de la que se encontraba



un puente de concreto armado. Los residuos de concreto triturado fue utilizado como agregado para la fabricación de nuevo concreto, el cual se utilizó para la construcción de “La casa reciclada” en Odense, la cual consistió de 14 departamentos distribuidos en tres niveles y un sótano (Alaejos, 2008).

**Parque de los humedales de Hong Kong**, ubicado al noreste de la ciudad china de Hong Kong, el parque es un atractivo turístico por su ecosistema de humedales, donde en toda su área existen estructuras como tiendas, galerías y salones. Para la construcción de este complejo se utilizó agregados de concreto reciclado como reemplazo de agregado natural, para elaborar el concreto de la mayoría de estructuras, con este agregado reciclado de obtuvo 5.000 m<sup>3</sup> de concreto nuevo, con asentamientos entre 7.5 y 10 cm (3” y 4”), este proyecto se presentó dificultades como el aumento de cemento en la mezcla esto debido a que se tuvo que incrementar el valor de Slump aumentando agua y para mantener la relación agua – cemento, el cemento también aumento, sin embargo, este efecto se redujo manteniendo húmedo el material reciclado ( ASOCRETO, 2011).



## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1. Optimización**

Es la selección del mejor elemento (con respecto a algún criterio) de un conjunto de elementos disponibles (Da Cunha *et al.*, 2019). Babanski (1982) indica que la optimización se distingue por lograr los mejores resultados posibles, no de manera genérica, sino en condiciones específicas.

### **2.3.2. Diseño de mezcla**

Es el proceso de desarrollar y optimizar una mezcla de materiales, como cemento, agregados y agua, para obtener un concreto o material de construcción con propiedades deseadas, como resistencia a la compresión y durabilidad.

### **2.3.3. Concreto**

Se refiere a la mezcla de cemento, agregados y agua, que forma el material básico utilizado en la construcción de estructuras y otros elementos. El concreto puede ser elaborado con diferentes tipos de agregados, como gravas, arenas y reciclados (Jiménez y López, 2017).

### **2.3.4. Resistencia a la compresión**

Es la capacidad del concreto u otro material de resistir la compresión, medida a través de pruebas como la prueba de cilindros o la prueba de vigas (Bazalar y Cadenillas, 2019). Esta propiedad es crucial para evaluar la calidad y el rendimiento de un material en estructuras y obras de construcción.





### **2.3.5. Concreto Reciclado**

Es un tipo de concreto elaborado con agregados reciclados, procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) (Bermudez, 2021). El uso de concreto reciclado puede contribuir a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo sostenible de la construcción.

### **2.3.6. Curado del concreto**

Es el proceso de someter el concreto a un régimen de curación, que puede incluir la aplicación de curadores, selladores u otros tratamientos para mejorar la resistencia y durabilidad del material (Bazalar y Cadenillas, 2019). El curado puede ser realizado en diferentes etapas del proceso de construcción, como la curación inicial o la curación acelerada.

### **2.3.7. Curado Acelerado**

Es una técnica que consiste en forzar el curado, para poder obtener rápidos endurecimientos del concreto, generalmente son aplicado en procesos industriales (Fundación Laboral de la Construcción, 2006), esto se logra acelerando la velocidad de hidratación del cemento con el fin de alcanzar resistencias necesarias en menores tiempos (Krishna y Sukesan, 1977).

Es un método de curado que implica la aplicación de curadores o selladores para mejorar la resistencia y durabilidad del concreto en un período de tiempo más corto que el curado convencional (Bazalar y Cadenillas, 2019).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Finalidad de la investigación: Básica

Este tipo de investigación se trabaja generalmente en laboratorio, su principal aporte es a la exploración de teorías nuevas o refutar las actuales, es también llamada Investigación fundamenta o pura. Esta investigación satisface las condiciones para pertenecer a este tipo (Sánchez y Reyes (2015)).

##### 3.1.2. Enfoque de investigación: Cuantitativa

El presente proyecto de investigación satisface las condiciones para ser una investigación con un enfoque cuantitativo, según Hernández *et al.* (2014) la investigación cuantitativa consiste en la recolección de datos mediante pruebas numéricas y análisis estadístico, las cuales ayudaran a probar la hipótesis, todo ello con el fin de buscar relaciones que nos ayuden a probar la teoría.

##### 3.1.3. Alcance o niveles de investigación: Correlacional

Explica de manera concreta la relación que existe entre una variable y la otra, modificando una y verificando el efecto que tiene en la otra, de tal manera relacionarlas y crear una relación medible (Hernández *et al.*, 2014).

Cuando se determina que dos variables están relacionadas, y se conoce la magnitud de la relación, se puede predecir en gran o mayor escala el comportamiento de la segunda variable (Hernández *et al.*, 2014).



### **3.1.4. Diseño metodológico de la investigación: Experimental**

Este diseño se basa esencialmente en la manipulación de la variable independiente para observar la variación de la variable dependiente, este tipo de investigación se utiliza cuando se pretende observar la relación de causa y efecto (Hernández *et al.*, 2014).

Esta investigación se encuentra dentro de los parámetros de este diseño, porque se realiza una manipulación en las variables independientes para observar los cambios que genera en la variable dependiente, así también según Hernández *et al.* (2014), la investigación se clasifica como diseño experimental de la clase experimental puro, por el mismo hecho de que manipula la variable independiente para observar los efectos en la variable dependiente.

## **3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO**

### **3.2.1. Geográfica**

Los ensayos fueron efectuados en las instalaciones del laboratorio LAIA CONSUL E.I.R.L, dicho laboratorio tiene como ubicación el distrito de Puno, provincia de Puno y departamento de Puno.

### **3.2.2. Tiempo de extensión del proyecto de estudio**

La duración del presente proyecto consta de 6 meses correspondiente desde abril a octubre del año 2022.



### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. Población**

##### **3.3.1.1. Definición de la población**

La población está conformada por grupos de briquetas las cuales fueron sometidas a diferentes circunstancias controladas, todas cumpliendo las especificaciones de la NTP 339.183. las cuales se especifican a continuación.

Población 1. Conformado por los concretos diseñados para determinar la cantidad óptima de material reciclado que se necesitara para preparar el concreto reciclado con mayor desempeño, este material es sustituido en peso en la siguiente proporción 25%; 50%; 75% y 100%, tanto en agregado fino reciclado y agregado grueso reciclado.

Población 2. Conformado por los concreto diseñados a partir de los resultados de la muestra 1, los agregados para la elaboración de estas muestras fueron en una proporción de 50% agregado fino, 50% agregado fino reciclado y 25% agregado grueso, 75% agregado grueso reciclado, los cuales fueron sometidos a curado acelerado y curado normal.

Población 3. Conformado por los concreto diseñados con agregados normales, los agregados para la elaboración de estas muestras no tienen ninguna adición, servirán como base para la comparación con la muestra 2, los cuales fueron sometidos a curado acelerado y curado normal.



### **3.3.2. Muestra**

#### **3.3.2.1. Procedimiento de muestreo**

Para realizar este procedimiento se tomó en consideración las experiencias de investigaciones, involucrando experiencia y opiniones personales de cada investigador.

Igualmente se utilizó los criterios de aceptación respecto a los códigos ACI 318S. donde se estipula el tamaño de muestra necesario para obtener datos representativos de la muestra.

El código ACI - 318 (2014) menciona que un resultado de resistencia es el promedio de mínimo dos testigos de 150 por 300 mm o mínimo 3 testigos de 100 por 200 mm, los cuales tienen que ser preparados con la misma mezcla y sometido a carga a los 28 días o la edad requerida.

#### **3.3.2.2. Descripción de la muestra**

##### **3.3.2.2.1. Muestras para ensayo normalizado de resistencia a compresión en concreto endurecido**

Para lograr terminar la investigación se pasó por diferentes etapas en las cuales se elaboraron probetas para el ensayo de compresión las cuales se detallan a continuación:

##### **3.3.2.2.1.1. Muestras para la determinación de la influencia de la adición en porcentaje de agregados reciclados**

Primeramente, para poder elegir en que proporciones de combinación de agregados que fuera más óptima, la cual nos daría la mejor



resistencia a la compresión para un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual se prepararon 9 probetas las cuales serán sometidas a carga en diferentes edades, todo ello hace un total de 99 probetas, correspondientes a 11 combinaciones de agregados a diversos porcentajes de reemplazo (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Número de probetas realizadas para la determinación de la mejor combinación de agregados.*

Descripción	F'c	Días			Sub total por proporciones	Total
		7	14	28		
0 % Ag. Fino Reciclado. 100 % Ag. Fino. 0 % Ag. Grueso Reciclado. 100 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
0 % Ag. Fino Reciclado. 100 % Ag. Fino. 100 % Ag. Grueso Reciclado. 0 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
25 % Ag. Fino Reciclado. 75 % Ag. Fino. 25 % Ag. Grueso Reciclado. 75 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
25 % Ag. Fino Reciclado. 75 % Ag. Fino. 50 % Ag. Grueso Reciclado. 50 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
25 % Ag. Fino Reciclado. 75 % Ag. Fino. 75 % Ag. Grueso Reciclado. 25 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	99
50 % Ag. Fino Reciclado. 50 % Ag. Fino. 50 % Ag. Grueso Reciclado. 50 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
50 % Ag. Fino Reciclado. 50 % Ag. Fino. 25 % Ag. Grueso Reciclado. 75 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
50 % Ag. Fino Reciclado. 50 % Ag. Fino. 75 % Ag. Grueso Reciclado. 25 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	

Descripción	F'c	Días			Sub total por proporciones	Total
		7	14	28		
75 % Ag. Fino Reciclado. 25 % Ag. Fino. 75 % Ag. Grueso Reciclado. 25 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
100 % Ag. Fino Reciclado. 0 % Ag. Fino. 0 % Ag. Grueso Reciclado. 100 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	
100 % Ag. Fino Reciclado. 0 % Ag. Fino. 100 % Ag. Grueso Reciclado. 0 % Ag. Grueso.	210	3	3	3	9	

Nota: La tabla detalla la cantidad de muestras que se realizaron y rompieron a la edad indicada.

### 3.3.2.2.1.2. Muestras para la obtención de la ecuación de estimación de resistencia a edades mayores

Para la obtención de la curva de estimación se elaboraron 84 probetas las cuales fueron sometidas a presión uniaxial, teniendo en cuenta el tipo de curado que se le aplico a la probeta se romperá a la edad de 1 día (para curado acelerado) y 28 días (para curado normal).

**Tabla 9**

*Número de probetas utilizadas para la obtención de la curva de predicción y ecuación de regresión.*

Uso	Probetas de concreto	Relación agua-cemento	Tipo de curado	Cantidad de probetas		Total
				Edad (1 día)	Edad (28 días)	
Obtención de la ecuación de regresión (NTP 339.213)	Concreto Convencional	0.42	Curado Estándar		3	84
		0.46		3		
		0.50		3		
		0.54		3		
		0.58		3		
		0.62		3		
		0.66		3		
		0.42	Curado Acelerado	3		
		0.46	Método De	3		
		0.50		3		

Uso	Probetas de concreto	Relación agua-cemento	Tipo de curado	Cantidad de probetas		Total
				Edad (1 día)	Edad (28 días)	
		0.54	Agua Hirviendo	3		
		0.58		3		
		0.62		3		
		0.66		3		
		0.42	Curado Estándar		3	
		0.46			3	
		0.50			3	
		0.54			3	
		0.58			3	
		0.62			3	
		0.66			3	
	Concreto Con Agregado Reciclado	0.42		3		
		0.46	Curado Acelerado-Método De Agua Hirviendo	3		
		0.50		3		
		0.54		3		
		0.58		3		
		0.62	3			
		0.66	3			

Nota: La tabla detalla la cantidad de probetas que se utilizaran en la obtención de la curva de predicción, así como también la edad a la que será sometida a carga.

### 3.3.2.2.1.3. Muestras para la verificación de la ecuación de estimación de resistencia a edades mayores

En esta etapa se hizo la verificación de la ecuación que se obtuvo en la etapa anterior, para lo cual se elaboró 6 probetas, de las cuales 3 fueron curadas en agua hirviendo por 3.5 horas y posteriormente sometidas a compresión a una edad de 28.5 horas, el dato obtenido se introdujo en la ecuación y el resultado obtenido se compara con los 3 restantes que fueron curadas normalmente en un periodo de 28 días, las cuales hicieron un total de 36 probetas.



**Tabla 10**

*Número de probetas para la verificación de la curva de predicción.*

Uso	Probetas de concreto	F'c Kg/cm <sup>2</sup>	Tipo de curado	Cantidad de probetas		Total
				Edad (1 día)	Edad (28 días)	
Verificación de las ecuaciones de regresión obtenidas.	Concreto normal	175	Curado Estándar		3	36
			Curado Acelerado	3		
		210	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		280	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
	Concreto con agregado reciclado	175	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		210	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		280	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		

Nota: La tabla detalla el número de probetas necesarias para realizar la verificación de la precisión de la curva de predicción.

#### 3.3.2.2.1.4. Muestras para la optimización del diseño de mezclas

En esta etapa se prepararon 6 probetas por cada resistencia estudiada, 3 fueron sometidas a curado acelerado, el resultado de la resistencia a compresión (28.5 horas) fue introducida en la ecuación, con el fin de estimar la resistencia a la que llegara (28 días) para hacer un diseño nuevo optimizado, los tres restantes fueron usados para corroborar

los datos obtenidos de la predicción, las cuales hicieron un total de 72 probetas en dos optimizaciones.

**Tabla 11**

*Número de probetas utilizadas en la optimización inicial.*

Uso	Probetas de concreto	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Tipo de curado	Cantidad de probetas		Total
				Edad (1 día)	Edad (28 días)	
<b>Optimización del diseño de mezclas mediante el uso de método de curado acelerado (Op. 1).</b>	Concreto normal	175	Curado Estándar		3	36
			Curado Acelerado	3		
		210	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		280	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
	Concreto con agregado reciclado	175	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		210	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		280	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		

Nota: en la tabla se detalla la cantidad de probetas utilizadas para la optimización inicial, así también sus respectivas edades de rotura.

**Tabla 12**

*Número de probetas utilizadas en la optimización final.*

Uso	Probetas de concreto	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Tipo de curado	Cantidad de probetas		Total
				Edad (1 día)	Edad (28 días)	
Optimización del diseño de mezclas mediante el uso de método de curado acelerado (Op. 2).	Concreto normal	175	Curado Estándar		3	36
			Curado Acelerado	3		
		210	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
	280	Curado Estándar		3		
		Curado Acelerado	3			
	Concreto con agregado reciclado	175	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
		210	Curado Estándar		3	
			Curado Acelerado	3		
280		Curado Estándar		3		
		Curado Acelerado	3			

Nota: en la tabla se detalla la cantidad de probetas utilizadas para la optimización final, así también sus respectivas edades de rotura.

### 3.4. MATERIALES

Los materiales que se utilizaron para la elaboración del concreto se detallan a continuación:



### **3.4.1. Cemento Portland tipo IP**

El cemento utilizado en esta investigación fue el Portland Tipo IP marca Rumi, que cuenta con una densidad de  $2.80 \text{ g/cm}^3$  y cumple con la normativa ASTM C 5958, asimismo, con la NTP 334.900.

### **3.4.2. Agregado fino**

El material agregado fino utilizado en el desarrollo del proyecto se divide en dos, las cuales son detalladas a continuación:

#### **3.4.2.1. Agregado fino normal**

Fue el material fino que es usado para preparación de concreto normal, conseguido mediante zarandeo de la materia prima de la planta Figueroa.

#### **3.4.2.2. Agregado fino reciclado**

Este material es agregado producido mediante trituración de bloques de concretos reciclados, este material fue conseguido de los escombros de un colegio en demolición, y tamizado por la malla N° 4.

### **3.4.3. Agregado grueso**

El material agregado grueso utilizado en el desarrollo de esta investigación se divide en dos tipos de materiales, las cuales son detalladas a continuación.

#### **3.4.3.1. Agregado grueso normal**

Este material es piedra chancada que se encuentra en los distribuidores de agregados, que son los más usados para la elaboración de



concreto, el cual se obtuvo de la cantera Maravillas, ubicada en el distrito de Cabanillas en el km 43+900 de la carretera Juliaca - Arequipa.

#### **3.4.3.2. Agregado grueso reciclado**

Este material es agregado producido mediante trituración de bloques de concretos reciclados, este material fue conseguido de los escombros de un colegio en demolición, y retenido en el tamiz N° 4.

#### **3.4.4. Agua**

El agua que se utilizó fue apta para el consumo humano (potable), proveniente de la misma red de abastecimiento de la ciudad de Puno, al igual que para el proceso de curado estándar y curado acelerado, teniendo en cuenta los cuidados y recomendaciones.

### **3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.5.1. Etapa preliminar**

En esta etapa se realizaron las revisiones bibliográficas, las cuales nos ayudaran a poder realizar la recolección de datos en la etapa de campo y la etapa de laboratorio, teniendo en cuenta recomendaciones y normativas ya elaboradas y comprobadas, para lo cual se hizo uso de las siguientes herramientas.

- Computadora portátil para búsqueda bibliográfica.
- Libros de concreto.
- Revistas con relación al tema de investigación.
- Material de escritorio para apuntes y notas.



### 3.5.2. Etapa de campo

Esta etapa comprende la obtención de los materiales utilizados en la investigación estos materiales cubren la elaboración de 291 probetas de cilindro de  $1570 \text{ cm}^3$ , estos materiales fueron obtenidos de diferentes orígenes, la piedra chancada obtenida de la cantera Maravillas ubicada en el km 43+900 de la carretera Juliaca – Arequipa, el agregado fino obtenido de la planta Maravillas, el material reciclado se obtuvo en el distrito de Cabanillas, este proviene de la demolición de una estructura del Colegio Nacional de Cabanillas, cuyos escombros fueron depositados en el botadero de la población, estos escombros fueron triturados manualmente hasta conseguir material pasante la malla 1“, para esta etapa se utilizó los siguientes materiales:

- Costales para almacenar los agregados y escombros.
- Palas.
- Combas de 4 y 16 lbs.
- Rotomartillo.
- Vehículo de transporte.

### 3.5.3. Etapa de laboratorio

Esta etapa comprende la caracterización de los materiales obtenidos en la etapa de campo, tomando características físicas y mecánicas, las cuales nos sirvieron para elaborar un diseño de mezcla preliminar, la cual fue optimizada, para esta etapa se hizo uso de lo siguiente.



## Herramientas manuales

- Flexómetro.
- Badilejo.
- Cucharón.
- Pala.
- Mazo de goma.
- Instrumentos.
- Juego de tamices.
- Probeta graduada.
- Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad (Fiola).
- Cono de absorción y pisón para peso específico del agregado fino.
- Termómetro.
- Canastilla metálica.
- Molde metálico para peso unitario suelto y compactado.
- Bandejas metálicas.
- Vernier.
- Moldes de concreto de diámetro y altura de 4" y 8" respectivamente.
- Varilla de compactación de diámetro 3/8".



- Cono de Abrams.
- Platos metálicos y almohadillas de neopreno.

### **Equipos.**

- Mezcladora de concreto de 5 ft<sup>3</sup>.
- Cámara fotográfica.
- Balanzas electrónicas.
- Horno eléctrico.
- Prensa hidráulica.
- Tanque de curado acelerado.

#### **3.5.3.1. Obtención de los agregados**

En el desarrollo de la investigación, los materiales necesarios para la elaboración de la mezcla de concreto fueron obtenidos de diferentes lugares por accesibilidad de los investigadores, los cuales son y se obtuvieron de la siguiente manera:

##### **3.5.3.1.1. Agregado fino**

Este material fue obtenido de la planta de procesamiento de materiales pétreos y agregados de Maravillas del distrito de Cabanillas, el cual es un lugar de acopio de materiales de construcción en los que destacan los agregados finos y el hormigón, se eligió este lugar por ser el más cercano a la residencia de los investigadores.



**Tabla 13**

*Ubicación cantera Maravillas*

DATOS DE LA CANTERA			
Ubicación	Coordenadas geográficas	Coordenadas UTM	
Dirección : Maravillas	Latitud : -15.678506	Norte : 8266081.55	
Distrito : Cabanillas		Este : 339668.80	
Provincia : San Román	Longitud : -70.496278	Altura : 3960 m.s.n.m	
Región : Puno		Zona : 19 L	

Nota. En la Tabla se puede observar coordenadas, dirección y ubicación del lugar de acopio de material agregado fino.

**Figura 3**

*Ruta de la cantera Maravillas al laboratorio LAIA.*



Nota: Se puede observar la ubicación y la ruta para llegar de la cantera Maravillas al laboratorio LAIA Consul E.I.R.L., tomado de Google Maps.

## Figura 4

*Lugar de acopio Maravillas agregado fino.*



Nota: En la figura se observa el material fino en acopio en la planta Maravillas.

### 3.5.3.1.2. Agregado grueso

Este material fue obtenido de la cantera Maravillas, que se encuentra en el km 43+900 de la carretera Juliaca - Arequipa, cerca del distrito de Cabanillas, esta cantera fue elegida por la calidad de material que se puede encontrar, y por la cercanía a la vivienda de los investigadores.

**Tabla 14**

*Ubicación cantera Maravillas agregado grueso.*

DATOS DE LA CANTERA		
Ubicación	Coordenadas geográficas	Coordenadas UTM
Dirección : Maravillas	Latitud : -15.678876	Norte : 8266056
Distrito : Cabanillas	Longitud : -70.346764	Este : 339544
Provincia : Lampa		Altura : 3966 m.s.n.m
Región : Puno		Zona : 19 L

Nota: en la tabla se observa las coordenadas, ubicación y dirección de la cantera Maravillas.

**Figura 5**

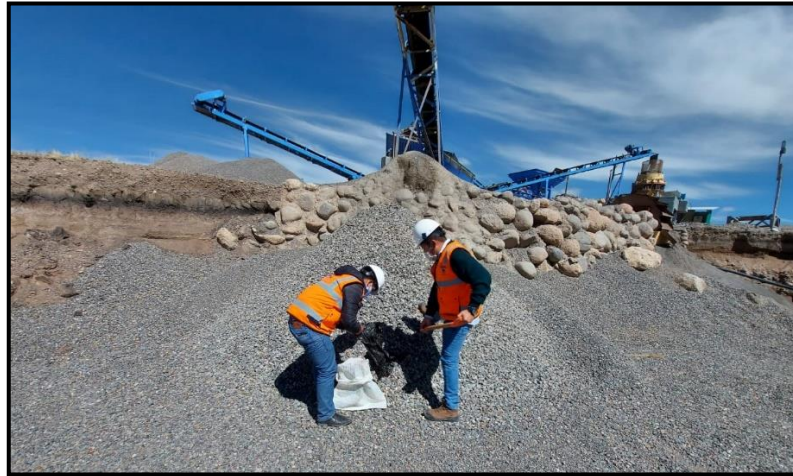
*Ruta cantera Maravillas al laboratorio Laia Consul E.I.R.L.*



Nota: Se puede observar la ruta que se siguió para trasladar el agregado grueso de la Cantera Maravillas al Laboratorio LAIA Consul E.I.R.L. En la ciudad de Puno, tomado de Google Maps.

**Figura 6**

*Cantera Maravillas - Cabanillas.*



Nota: En la figura se puede observar la Cantera Maravillas de la cual se obtuvo el material agregado grueso.

### **3.5.3.1.3. Agregados reciclados**

Este material se obtuvo mediante trituración de bloques de concreto endurecido, los cuales fueron recolectados de la demolición de la Institución Educativa Secundaria Cabanillas, del distrito de Cabanillas Deustua, del cual se seleccionaron solamente concreto endurecido obviando la albañilería, el cual posteriormente paso por un lavado y secado al ambiente, para luego ser triturado con combas y rotomartillos.

**Tabla 15**

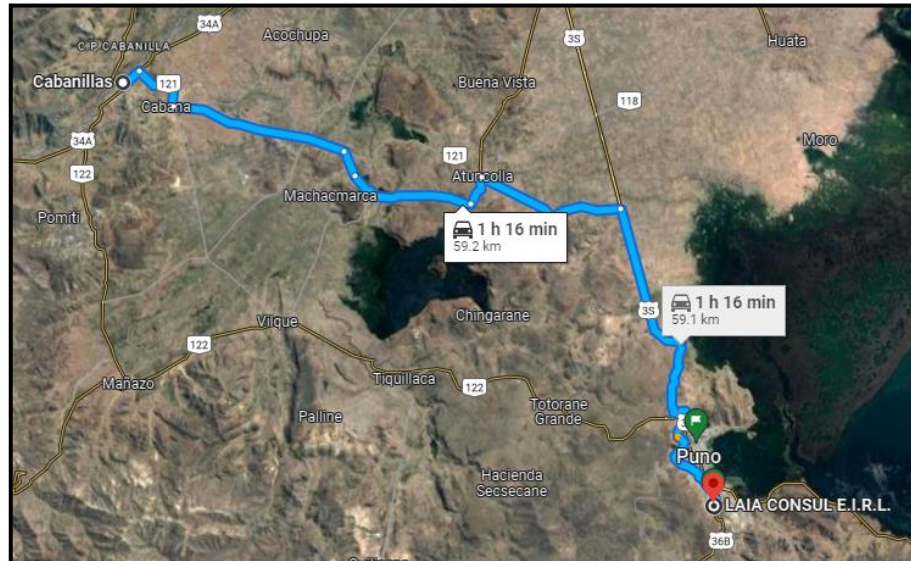
*Ubicación botadero Cabanillas.*

<b>DATOS DE LA CANTERA</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>Coordenadas UTM</b>
Dirección	: Cabanillas	Latitud	: -15.636235
Distrito	: Cabanillas		Norte : 8270897
Provincia	: San Román		Este : 355719
Región	: Puno	Longitud	: -70.497021
			Altura : 3887 m.s.n.m
			Zona : 19 L

Nota: En la tabla se observa las coordenadas, ubicación y dirección del botadero Cabanillas.

### Figura 7

*Ruta y ubicación botadero Cabanilla a laboratorio LAIA Consul.*



Nota: en la figura se puede observar la ruta que se siguió para trasladar el material reciclado al Laboratorio LAIA Consul E.I.R.L, tomado de Google Maps.

### Figura 8

*Recolección del material reciclado de concreto.*



Nota: En la figura se puede observar la recolección del material reciclado en el Botadero de Cabanillas.

Después de la recolección del material reciclado en campo se procedió a triturar los bloques de concreto que se recuperó, para ello:

- Se lavó los bloques con agua presión para retirar las impurezas.
- Se hizo uso de camba de 4 libras para trituración de bloques pequeños y roto martillo para trituración de bloques grandes de concreto.

Posteriormente se separó el agregado grueso reciclado y el agregado fino reciclado, mediante el uso de una malla de tamizaje (N° 4), y luego almacenado para su traslado.

### **Figura 9**

*Proceso de lavado de los bloques de concreto.*



Nota: Lavado de los bloques de concreto.

### Figura 10

*Equipo utilizado para triturado de bloques de concreto.*



Nota: Triturado de bloques de concreto de menor tamaño.

### Figura 11

*Triturado de bloques de mayor tamaño con rotomartillo.*



Nota: Triturado con equipo liviano de bloques de concreto de mayor tamaño.

### Figura 12

*Triturado de bloques de menor tamaño con comba.*



Nota: Triturado a TMN 3/4”.

### Figura 13

*Separación de agregado grueso reciclado y fino reciclado.*



Nota: Separación de agregado fino reciclado y grueso reciclado.

Desde la figura 9 hasta la figura 13, se observa al equipo de trabajo realizando el proceso para la obtención del material reciclado, teniendo los cuidados adecuados.



Al realizar todo el proceso de chancado y tamizado se obtuvieron los dos materiales necesarios para la investigación como son; el agregado grueso reciclado y el agregado fino reciclado.

### Figura 14

*Agregado fino reciclado.*



Nota: En la figura se puede observar el agregado fino reciclado antes de su almacenamiento y traslado.

### Figura 15

*Agregado grueso reciclado.*



Nota: En la figura se observa el agregado grueso reciclado de bloques de concreto.



### 3.5.3.2. Ensayos para la caracterización de los materiales

#### 3.5.3.2.1. Contenido de humedad

Este ensayo se ha realizado de acuerdo a las normativas vigentes: MTC E108, NTP 339.185, ASTM C566-19.

El cual consiste en determinar la cantidad de agua que existe en una muestra con relación al peso de la muestra en estado seco, siendo este un factor muy importante en la investigación que se desarrolló, al trabajar con concreto reciclado, el material reciclado tiene la capacidad de almacenar más agua que el agregado normal, por lo cual es necesario conocer este dato para realizar un adecuado control en la relación agua – cemento del diseño de mezclas.

En la bibliografía revisada existe recomendaciones sobre el contenido de humedad en el agregado reciclado al momento de realizar la mezcla de concreto, cuidando que, al momento de realizar la mezcla, el agregado reciclado no esté muy seco, sino que se encuentre aproximadamente en un estado SSS, ya que al momento de combinarlo con el agua este demorara en absorberlo y genera que la relación agua - cemento efectiva aumente por lo cual tendría una menor resistencia a la compresión.

Para ello los investigadores realizaron un procedimiento para garantizar el contenido de humedad en la muestra la cual se realizó de la siguiente manera:

- Determinar el contenido de humedad de la muestra inicial.



- Determinar el porcentaje de absorción de la muestra y determinar la humedad a un estado SSS.
- Para el caso del agregado fino reciclado el objetivo fue llegar al estado SSS para lo cual se aumentó el contenido de humedad hasta llegar a dicho estado, mezclando agua con la muestra necesaria para los ensayos y embolsando herméticamente para que el agregado fino absorba mejor la humedad, esto durante 48 horas.
- Para el caso del agregado grueso reciclado se sumergió la muestra en la cantidad de agua necesaria para la mezcla, así poder llegar al estado SSS y poder usarlo al momento de la mezcla, el almacenamiento se hizo en recipiente cerrados herméticamente para evitar la evaporación.

Este procedimiento se realizó para poder asegurar la humedad y no tener complicaciones con respecto a la relación agua – cemento.

#### **3.5.3.2.2. Análisis granulométrico por tamizado**

Este ensayo se realizó de acuerdo a la normativa vigente: NTP 400.012, ASTM C136.

El ensayo consiste en la clasificación y separación de la muestra en porciones de diferentes diámetros, las cuales son dadas en las normativas, como se muestra a continuación:

**Tabla 16***Abertura de las mallas utilizadas en el ensayo.*

<b>ABERTURA DE TAMICES</b>	
<b>ASTM</b>	<b>mm</b>
<b>3"</b>	76.20
<b>2 1/2"</b>	63.50
<b>2"</b>	50.80
<b>1 1/2"</b>	38.100
<b>1"</b>	25.400
<b>3/4"</b>	19.050
<b>1/2"</b>	12.700
<b>3/8"</b>	9.525
<b>1/4"</b>	6.350
<b>No. 4</b>	4.750
<b>No. 8</b>	2.360
<b>No. 16</b>	1.180
<b>No. 30</b>	0.590
<b>No. 50</b>	0.297
<b>No. 100</b>	0.149
<b>No. 200</b>	0.074

Nota: Adaptado de (NTP 400.012, 2001)

**3.5.3.2.3. Módulo de fineza de los agregados**

Al tener los datos de los pesos retenidos se procede a calcular el módulo de fineza de los agregados, que es un índice que nos brinda una idea del grosor (AG) o la finura del agregado (AF), los cuales vienen dados por las siguientes ecuaciones.

$$Mf_g = \frac{\sum \% \text{ retenidos en las mallas } (3" + 1\ 1/2" + \frac{3}{4}" + \frac{3}{8}" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8) + 400}{100}$$

$$Mf_{fino} = \frac{\sum \% \text{ retenidos en las mallas } (3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

## Figura 16

### *Procedimiento de tamizado.*



Nota. En la figura se observa el procedimiento que se realizó para determinar la granulometría y el módulo de fineza de los agregados.

Al igual en la Figura 17 se aprecia el resultado del tamizado, así como se puede apreciar la granulometría en las bandejas de laboratorio.

**Figura 17**

*Resultado del tamizado de los agregados.*



Nota: Resultados de granulometría.

#### **3.5.3.2.4. Peso específico y absorción del agregado fino**

Para la investigación se tuvo como partida, el agregado fino normal y el reciclado, para ambos casos se realizó el ensayo de peso específico y absorción, el cual consiste en hallar el peso por unidad de volumen de la masa de agregado en un estado SSS (Saturado Superficialmente Seco), siguiendo las indicaciones de las normas correspondientes las cuales son; NTP 400.022, ASTM C128.

**Figura 18**

*Realización del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.*



Nota: en la figura se puede observar el proceso llevado a cabo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.

### 3.5.3.2.5. Peso específico y absorción del agregado grueso

Al igual que el peso específico y absorción del agregado fino, en el ensayo de los agregados gruesos, se partió del agregado grueso normal y reciclado, el cual consiste en hallar el peso por unidad de volumen de la masa, en un estado SSS, de acuerdo a los procedimientos de las normativas vigentes; NTP 400.021, ASTM C127.

### Figura 19

*Realización del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.*



Nota: en la figura se puede observar el procedimiento que se realizó para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso así también los materiales y equipos que se usó.

#### 3.5.3.2.6. Peso unitario suelto y compactado de los agregados

El ensayo consiste en determinar la cantidad de material que hay dentro de un molde con volumen conocido sin obviar los vacíos que este material genere al momento de colocarlo en el molde, el PUSS (Peso



Unitario Suelto Seco) se obtiene al dejar caer la muestra en el molde y llegar al ras del recipiente, el PUCS (Peso Unitario Compactado Seco) se obtiene al compactar con una varilla con punta circular en tres capas a 25 golpes por capa.

### Figura 20

*Realización del ensayo de PUS y PUCS.*



Nota. En la figura se puede observar parte del procedimiento realizado para el ensayo de PUS y PUCS.

#### 3.5.3.2.7. Resistencia al desgaste en la máquina Los Ángeles

La prueba consiste en someter una muestra de agregados con una gradación definida según TMN, a desgaste dinámico mediante rozamiento de un número definido de bolas de acero, esto durante 500 revoluciones de

la máquina de abrasión Los Ángeles, al terminar pasar la muestra por la malla N° 12, y así poder medir el desgaste que sufrió la muestra.

### Figura 21

*Realización del ensayo de abrasión en la máquina Los Ángeles.*



Nota: En la figura se presenta las etapas de la realización del ensayo de abrasión en la máquina Los Ángeles.

#### 3.5.3.3. Diseño de mezclas método módulo de fineza

Después de tener los datos de las características de los agregados y del cemento a utilizar, se procede a diseñar la combinación de las proporciones de los agregados, cemento y agua para llegar a una resistencia a la compresión en estado endurecido de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>, al igual se realizó diseños de acuerdo a la relación agua cemento requerida.

Para ello se hizo uso del método de diseño de módulo de fineza, el cual varía de acuerdo a las diferentes etapas de esta investigación.

## Figura 22

*Vaciado de mezcla en trompo.*



Nota: En la figura se observa la elaboración de mezcla utilizando una mezcladora de concreto.

## Figura 23

*Vaciado manual de mezcla.*



Nota: la figura muestra la preparación de la mezcla de forma manual.

Al preparar la mezcla se pudo observar que la pasta del concreto fresco se adhiere a la mezcladora, por lo cual, para volúmenes menores no

es recomendable realizarlo con este equipo, por lo cual se optó realizarlo manualmente.

#### 3.5.3.4. Vaciado del concreto en moldes cilíndricos

Al tener los diferentes diseños de mezclas y proporciones necesarias, se realizó el vaciado en moldes cilíndricos de 4" x 8", para el vaciado se usó en la primera etapa un trompo de 5 pies cúbicos de capacidad, para hacer el vaciado se utilizó dos volúmenes de diseño los cuales son; 0.0212 m<sup>3</sup> y 0.0278 m<sup>3</sup>, para elaborar 6 probetas y nueve probetas respectivamente.

Durante el vaciado se hizo los controles necesarios para asegurar el óptimo funcionamiento de la mezcla de concreto tales como el asentamiento y la temperatura.

**Figura 24**

*Moldeo en recipientes cilíndricos de acuerdo a la norma ASTM C 31.*



Nota: vaciado de concreto en moldes de 4" X 8" y almacenado.

En la Figura 24 se puede observar el momento del vaciado y moldeo, y el lugar de almacenamiento teniendo el cuidado de reposarlo en una superficie plana para lograr que las caras del cilindro sean paralelas y no afecten al momento de realizar la rotura.

### 3.5.3.5. Trabajabilidad del concreto fresco

Al realizar la mezcla y antes de realizar el vaciado del concreto en los moldes se realiza el control de la trabajabilidad del concreto a la cual fue diseñada, ya que, si esta se sale de los parámetros, puede afectar en la efectividad de la mezcla, así como en la resistencia, por ello se hizo el control de la trabajabilidad mediante el uso del cono de Abrams.

**Figura 25**

*Control de asentamiento de la mezcla de concreto.*



Nota: En la figura se puede observar la realización del ensayo de cono de Abrams, para determinar la trabajabilidad del concreto.

### 3.5.3.6. Curado del concreto

El curado se realizó de acuerdo a la norma ASTM C192, para la investigación se realizó dos curados diferentes las cuales se detallan a continuación.

#### 3.5.3.6.1. Curado normal del concreto

Este tipo de curado es el que normaliza el ASTM C192 sin modificaciones teniendo cuidado en indicaciones, precauciones y recomendaciones, para lo cual se elaboró una poza de curado, luego del desmolde se identificó con un código, inmediatamente se procede a sumergir en la poza.

Para ello se hizo una poza de 2 m x 1.2 m como se muestra en la Figura 26.

#### Figura 26

*Poza de curado normal.*



Nota: En la figura se puede observar la poza de curado normal realizada por los investigadores, en la cual se hizo el control de temperatura regularmente.

### 3.5.3.6.2. Curado acelerado del concreto

Este tipo de curado esta normalizado en la Norma Técnica Peruana 339.213 y la norma ASTM C 684, Para la investigación se utilizó los procedimientos indicados para el método B (Método de agua hirviendo), luego del desmolde se identificó con un código, inmediatamente se sumerge en el tanque de curado acelerado, después de  $3,5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$  se extraen del tanque de curado acelerado se colocan sobre una superficie plana y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 2 h, para luego ser sometidos a carga.

**Figura 27**

*Tanque de curado acelerado.*



Nota: En la figura se observa el curado de probetas cilíndricas en un tanque que mantiene el agua en estado de ebullición.



### 3.5.3.7. Resistencia a la compresión

Luego del curado se extrae las probetas y se dejan reposar 1h (curado normal) y 2h (curado acelerado), para luego ser sometidas a rotura, en la rotura fueron introducidos dentro de unos platos con neopreno y se sometieron a carga. Este proceso se llevó a cabo en diferentes tiempos ya que en la evolución de la tesis se hizo roturas en diferentes etapas, el procedimiento usado es el siguiente:

- Secado al aire después del curado.
- Colocado de platos metálicos con neopreno.
- Colocación de la muestra y los platos en la máquina de compresión.
- Aplicar carga al espécimen a una velocidad comprendida entre 1.62 kN/s y 2.43 kN/s, hasta que la probeta falle (rotura, fractura, rajadura).
- Registrar la lectura máxima en la máquina de compresión y el tipo de falla.



**Figura 28**

*Rotura de probetas en equipo de compresión.*



Probetas cilíndricas Antes de Rotura

Rotura

Rotura de Probetas Cilíndricas ASTM C39

Nota: En la figura se puede observar el proceso de rotura de probetas cilíndricas.

### 3.6. DISEÑO DE MEZCLA

Una vez realizado los ensayos y tener las características de los agregados a utilizar, se procedió a realizar el diseño de la proporción que nos brindara una mezcla que al llegar a los 28 días de curado nos da una resistencia deseada.

La proporción se obtuvo haciendo uso del método de diseño Modulo de Fineza, para ello se desarrollarlo el diseño de la siguiente manera, partiendo de los datos obtenidos en laboratorio.

El siguiente diseño está basado en el diseño realizado para la proporción de Agregado Fino 50%, Agregado Fino Reciclado 50%, Agregado Grueso 25% y Agregado Grueso Reciclado 75%. Los diseños realizados para las demás proporciones se encuentran en el Anexo 5.

**Tabla 17**

*Datos para el diseño.*

Descripción	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño Máximo	N° 4	1"
Tamaño Máximo Nominal	-	3/4"
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.393	2.221
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1470	1240
Peso Unitario Compactado Seco (Kg/m <sup>3</sup> )	1540	1330
Contenido de Humedad (%)	5.7	2.33
Absorción (%)	5.51	6.73
Módulo de Fineza	3.13	6.97

Nota. En la tabla se observa los datos de los agregados combinados usados para el diseño de mezclas para una combinación de agregado fino 50%, agregado fino reciclado 50%, agregado grueso 25% y agregado grueso reciclado 75%.

### 3.6.1. Cálculo de la resistencia promedio

El cálculo se hace de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 18**

*Resistencia promedio.*

$f'c$	$f'cr$
Menos de 210	$f'c + 70$
<b>210 a 350</b>	<b><math>f'c + 84</math></b>
Mayor a 350	$f'c + 98$

Nota. En la tabla se observa la resistencia a la compresión promedio con respecto a la resistencia a la compresión, tomado de (Abanto, 2009).

Para el diseño se eligió una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por lo cual la resistencia a la compresión promedio sería de 294 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.2. Tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal seleccionado para la investigación de acuerdo a la NTP 400.037 (2014) es de 3/4".

### 3.6.3. Asentamiento requerido

El asentamiento requerido para la investigación es plástico.

**Tabla 19**

*Consistencia del concreto fresco.*

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento</b>
Seca	0" a 2"
<b>Plástica</b>	<b>3" a 4"</b>
Fluida	Mayor igual a 5"

Nota. En la tabla se muestra el asentamiento de acuerdo a la consistencia requerida, tabla tomada de (Abanto, 2009).

Para el diseño el asentamiento requerido es de 3" a 4".

### 3.6.4. Volumen unitario de agua

Para la obtención del volumen unitario de agua, se hizo uso de la tabla establecida en el ACI 211:

**Tabla 20**

*Volumen unitario de agua.*

<b>Asentamiento</b>	<b>Agua en lts/m<sup>3</sup>, para los tamaños máximos nominales de agregado y consistencia indicados</b>							
	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1"</b>	<b>1 1/2"</b>	<b>2"</b>	<b>3"</b>	<b>6"</b>
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
<b>3" a 4"</b>	228	216	<b>205</b>	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...

Nota: En la tabla se observa el volumen unitario de agua obtenido a partir del Tamaño Máximo Nominal y el asentamiento requerido, tabla tomada de (Abanto, 2009).



Para el diseño según nuestros datos anteriores el volumen unitario de agua es de 205 lts/m<sup>3</sup>.

### 3.6.5. Contenido de aire atrapado

Para determinar el porcentaje de contenido de aire se hizo uso de la siguiente tabla proporcionada por la ACI 211.

**Tabla 21**

*Contenido de aire atrapado.*

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

Nota: En la tabla se puede observar el contenido de aire atrapado en porcentaje de acuerdo al TMN, tabla tomada de (Abanto, 2009).

Para el diseño teniendo en cuenta datos el contenido de aire atrapado sería de 2.0%

### 3.6.6. Relación agua cemento a/c

Para obtener la relación agua – cemento hacemos uso de la siguiente tabla proporcionada por el ACI 211, para diseño por resistencia.

**Tabla 22***Relación agua - cemento de diseño.*

F'cr (28 días)	Relación a/c de diseño en peso	
	concretos sin aire incorporado	concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
<b>250</b>	<b>0.62</b>	0.53
<b>300</b>	<b>0.55</b>	0.56
350	0.48	0.4
400	0.43	---
450	0.38	---

Nota. En la tabla se muestra el valor de la relación agua – cemento a partir de la resistencia a la compresión promedio, tabla tomada de (Abanto, 2009).

Para la investigación para una resistencia promedio a la compresión  $F'_{cr}=294 \text{ kg/cm}^2$ , ya que no está el valor en la tabla, es necesario hacer una interpolación entre los valores superior e inferior.

F'cr	a/c
250	0.62
294	X
300	0.55

Al realizar la interpolación se obtuvo:

$$\frac{300 - 250}{300 - 294} = \frac{0.55 - 0.62}{0.55 - X}$$

Despejando se obtiene que  $X = 0.56$  por lo cual la relación a/c será igual

$$a/c = 0.56$$

### 3.6.7. Factor cemento

Este se obtiene de la división entre el volumen unitario de agua y el valor de la relación agua – cemento.



$$F_c = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{a/c} = \frac{205 \text{ lt/m}^3}{0.56 \text{ lt/kg}} = 366.07 \text{ kg/m}^3$$

Posteriormente calculamos la cantidad de bolsas de 42.5 kg por m<sup>3</sup>.

$$F_c = \frac{366.07 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bol}} = 8.61 \text{ bol/m}^3$$

### 3.6.8. Cálculo de volúmenes absolutos de pasta

Este cálculo nos brindara el volumen que la pasta ocupara en un m<sup>3</sup> de concreto.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Factor cemento}}{\text{P. e. del cemento}} = \frac{366.07 \text{ kg/m}^3}{2800 \text{ kg/m}^3} = 0.1307$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{P. e. del agua}} = \frac{205 \text{ l/m}^3}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.2050$$

$$\text{Aire} = \% \text{ de aire incorporado} = 2\% = 0.020$$

Por lo tanto, la suma de estos tres elementos conforma la pasta, sumando así 0.3557

### 3.6.9. Volumen absoluto de agregados

El dato se obtiene de la diferencia entre el 100% equivalente a 1 m<sup>3</sup> y el porcentaje del volumen absoluto de la pasta que seria 35.57 % equivalente a 0.3557 m<sup>3</sup>.

$$\text{Volumen absoluto de agregados} = 1 \text{ m}^3 - 0.3557 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de agregados} = 0.6443 \text{ m}^3$$

### 3.6.10. Módulo de fineza de la combinación de agregados

Para su cálculo se hace uso de la siguiente tabla:

**Tabla 23***Módulo de fineza de la combinación de agregados.*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/m <sup>3</sup> indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
<b>3/4"</b>	4.96	5.04	<b>5.11</b>	<b>5.19</b>
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Nota. En la tabla se puede obtener el módulo de fineza de la combinación de agregados a partir del TMN y el Factor Cemento en bol/m<sup>3</sup>, tomado de (Abanto, 2009).

Para el diseño el TMN es de 3/4" y el número de bol/m<sup>3</sup> es de 8.61, al no haber dicho número en la tabla se procede a calcularlo mediante interpolación.

8	8.61	9
5.11	x	5.19

De acuerdo a esto se realiza la siguiente ecuación.

$$\frac{9 - 8.61}{9 - 8} = \frac{5.19 - X}{5.19 - 5.11}$$

Despejando se obtiene que  $X = 5.16$ , entonces el módulo de fineza de la combinación de agregados es de 5.16.

### 3.6.11. Porcentaje de agregado fino (Rf)

Se determina en relación al volumen absoluto de los agregados, de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$Rf = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \times 100$$



Donde:

- $m$ : Módulo de fineza de la combinación de agregados.
- $m_g$ : Módulo de fineza del agregado grueso.
- $m_f$ : Módulo de fineza del agregado fino.

$$R_f = \frac{6.97 - 5.16}{6.97 - 3.13} \times 100$$

$$R_f = 47.14 \%$$

Por lo tanto.

$$\% \text{ Agregado Fino} = 47.14 \%$$

$$\% \text{ Agregado Grueso} = 100 \% - 47.14 \%$$

$$\% \text{ Agregado Grueso} = 52.86 \%$$

### 3.6.12. Volúmenes absolutos de los agregados

Para determinar los volúmenes absolutos de los agregados se utiliza las siguientes formulas.

$$\text{Agregado Fino} = \left[ \frac{\text{Volumen Absoluto de los agregados}}{\text{los agregados}} \right] \times [\% \text{ de agregado Fino}]$$

$$\text{Agregado Grueso} = \left[ \frac{\text{Volumen Absoluto de los agregados}}{\text{los agregados}} \right] \times [\% \text{ de agregado grueso}]$$

$$\text{Agregado Fino} = 0.6443 \text{ m}^3 \times 47.14 \% = 0.3037 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 0.6443 \text{ m}^3 \times 52.86 \% = 0.3406 \text{ m}^3$$

### 3.6.13. Pesos secos de los agregados

$$\text{Agregado Fino} = \left( \frac{\text{Volumen Agregado Fino}}{\text{Fino}} \right) \times (P.e. \text{ Agregado Fino})$$

$$\text{Agregado Fino} = 0.3037 \text{ m}^3 \times 2393 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 726.75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$





$$\text{Agregado Grueso} = \left( \frac{\text{Volumen Agregado}}{\text{Grueso}} \right) \times (\text{P. e. Agregado Grueso})$$

$$\text{Agregado Grueso} = 0.3406 \text{ m}^3 \times 2221 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 756.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

### 3.6.14. Peso húmedo de los agregados – corrección por humedad

Al obtener los pesos secos de los agregados es necesario realizar una corrección por la humedad presente en los agregados almacenados, para ello se hace el siguiente procedimiento.

#### Calculamos los pesos húmedos.

$$\text{Agregado fino: } (\text{Peso Seco}) \times (1 + \omega\%) = 726.75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \left(1 + \frac{5.07}{100}\right)$$

$$\text{Agregado grueso: } (\text{Peso Seco}) \times (1 + \omega\%) = 756.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \left(1 + \frac{2.33}{100}\right)$$

$$\text{Agregado fino} = 768.17 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 774.10 \text{ kg/m}^3$$

#### Humedad superficial de los agregados

$$\text{A. Fino: } \text{Contenido de humedad} - \text{absorción} = 5.70\% - 5.51\% = 0.19 \%$$

$$\text{A. Grueso: } \text{Contenido de humedad} - \text{absorción} = 2.33\% - 6.73\% = -4.4 \%$$

#### Aporte de humedad

$$\text{A. fino: } (\text{peso seco}) \times (\text{humedad}) = 726.25 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{.19}{100}\right) = 1.38$$

$$\text{A. grueso: } (\text{peso seco}) \times (\text{humedad}) = 756.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{-4.4}{100}\right) = -33.28$$



El aporte total sería de  $-31.90 \text{ lt/m}^3$

### 3.6.15. Agua efectiva

Agua efectiva: *Volumen unitario de agua – aporte de humedad*

$$\text{Agua efectiva: } 205 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3} - (-31.90 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}) = 236.90 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}$$

### 3.6.16. Proporciones en volumen de diseño por $\text{p}^3$

$$\text{Cemento: } \frac{(\text{Peso cemento})}{(\text{peso por pie cubico}) \times \text{Factor Cemento}} = \frac{366.1 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg} \times 8.61} = 1$$

$$\text{Agregado Fino: } \frac{(\text{Peso humedo}) \times 35.31}{\text{P.U. Suelto} \times \text{factor cemento}} = \frac{768.17 \text{ kg/m}^3 \times 35.31 \text{ p}^3}{1470 \text{ kg/m}^3 \times 8.61} = 2.14$$

$$\text{Agregado Grueso: } \frac{(\text{Peso humedo}) \times 35.31}{\text{P.U. Suelto} \times \text{factor cemento}} = \frac{774.10 \text{ kg/m}^3 \times 35.31 \text{ p}^3}{1240 \text{ kg/m}^3 \times 8.61} = 2.56$$

$$\text{Agua: } \frac{(\text{Agua efectiva})}{\text{Factor cemento}} = \frac{236.90}{8.61} = 27.5 \text{ l}$$

## 3.7. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.7.1. Técnicas para el procesamiento y análisis de información

#### 3.7.1.1. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las pruebas pueden variar, lo cual nos da idea de los procedimientos y de los cuidados y defectos que se tienen en estos.

Analizando y midiendo se puede observar y cuantificar los cambios en los objetos de estudio.



### 3.7.1.2. Análisis de determinación $R^2$

El coeficiente R cuadrado nos brinda un pronóstico de resultados, eligiendo el más adecuado cuando este se aproxime al 1.

### 3.7.1.3. Análisis de correlación lineal R de Pearson

Es una medida de dependencia lineal ( $r$ ) permite la obtención del coeficiente al medir la relación existente entre dos variables cuantitativas, a continuación, se muestra los rangos de elección de este coeficiente con valores comprendidos entre -1, 0 y 1.

- Correlación inexistente: ( $r$ ) igual a cero
- Correlación muy reducida: ( $r$ ) comprendidos iguales a  $\pm 0.01$  y menores que  $\pm 0.20$ .
- Correlación baja: ( $r$ ) comprendidos iguales a  $\pm 0.21$  y menores de  $\pm 0.40$ .
- Correlación medida: ( $r$ ) comprendidos igual a  $\pm 0.41$  y menores de  $\pm 0.60$ .
- Correlación alta: ( $r$ ) comprendidos iguales a  $\pm 0.61$  y menores de  $\pm 0.80$ .
- Correlación muy alta: ( $r$ ) comprendidos iguales a  $\pm 0.81$  y menores de  $\pm 0.99$ .
- Correlación perfecta: ( $r$ ) igual a  $\pm 1$ .



#### **3.7.1.4. Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk**

Esta prueba es recomendada para muestras menores a 50 datos, sin embargo, puede aplicarse a muestra más grandes de acuerdo a investigaciones (Flores y Flores, 2021).

Esta prueba nos permite determinar si los datos tienen una distribución normal, esto mediante un gráfico de probabilidad normal en el cual es similar a una línea de regresión, en el cual la recta representa un ajuste perfecto, de este gráfico se analiza las variaciones para evaluar la normalidad de las muestras. (Flores y Flores, 2021).

La prueba formula dos hipótesis las cuales la  $H_0$  acepta que los datos se encuentran dentro de una distribución normal y la  $H_1$  plantea que los datos no se encuentran en una distribución normal.

#### **3.7.1.5. Prueba de T Student de una muestra**

Las pruebas de T Student ayudaran a determinar si los promedios de dos medias poblacionales se asemejan o son diferentes entre sí, para el caso de prueba de una muestra, compara la media poblacional con un valor definido.

La prueba formula dos hipótesis las cuales la  $H_0$  acepta que los datos son iguales al valor elegido y la  $H_1$  plantea que los datos no son iguales al valor establecido.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

##### 4.1.1. Contenido de humedad

**Tabla 24**

*Contenido de humedad en la combinación de agregados normales y reciclados.*

<b>Material</b>	<b>Prueba N° 1</b>	<b>Prueba N° 2</b>	<b>Promedio</b>
Agregado Fino	1.10	1.14	1.12
Agregado Grueso	0.95	1.03	0.99
Agregado Fino Reciclado	10.26	10.28	10.27
Agregado Grueso Reciclado	2.81	2.74	2.78

Nota. En la tabla se muestra las humedades obtenidas y utilizadas para realizar los diseños de mezcla en la combinación de agregados normales y reciclados, finos y gruesos a diversos porcentajes de reemplazo.

**Tabla 25**

*Contenido de humedad en la obtención de la curva de estimación y verificación.*

<b>Material</b>	<b>Prueba N° 1</b>	<b>Prueba N° 2</b>	<b>Promedio</b>
Agregado Fino	1.05	1.07	1.06
Agregado Grueso	0.90	0.97	0.94
Agregado Fino Reciclado	10.24	10.27	10.26
Agregado Grueso Reciclado	2.58	2.66	2.62

Nota. En la tabla se muestra las humedades obtenidas y utilizadas para realizar los diseños de mezcla para la obtención de la curva de predicción y su verificación respectiva.

**Tabla 26**

*Contenido de humedad para la optimización.*

<b>Material</b>	<b>Prueba N° 1</b>	<b>Prueba N° 2</b>	<b>Promedio</b>
Agregado Fino	1.04	1.01	1.03
Agregado Grueso	0.93	0.98	0.96
Agregado Fino Reciclado	10.27	10.25	10.26

Material	Prueba N°	Prueba N°	Promedio
	1	2	
Agregado Grueso Reciclado	2.58	2.52	2.55

Nota: En la tabla se muestra las humedades obtenidas y utilizadas para el diseño de mezclas para la optimización de la resistencia.

#### 4.1.2. Análisis granulométrico

En la investigación se analizó los siguientes agregados.

##### 4.1.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino

**Tabla 27**

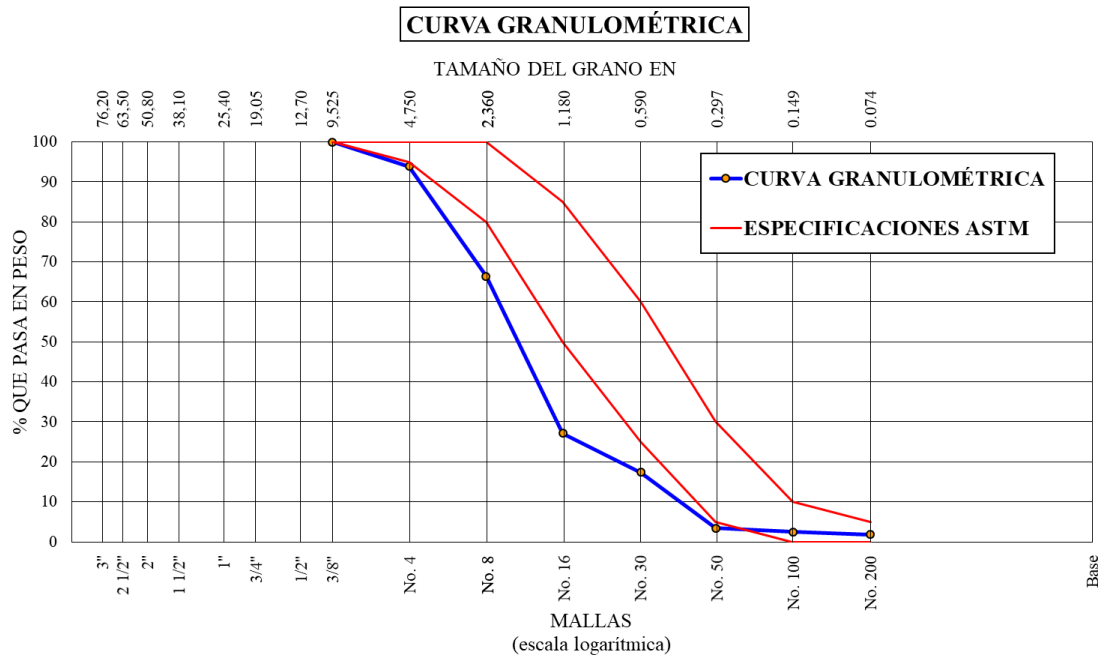
*Análisis granulométrico agregado fino reciclado.*

Análisis granulométrico							
Abertura de tamices		Peso retenido g	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
3/8"	9.525	-	-	-	-	100	100
1/4"	6.35	-	-	-	-		
No. 4	4.76	46.5	5.47	5.47	94.53	95	100
No. 8	2.38	342.5	40.32	45.80	54.20	80	100
No. 16	1.19	182.9	21.53	67.33	32.67	50	85
No. 30	0.59	108.1	12.73	80.06	19.94	25	60
No. 50	0.3	117.8	13.87	93.93	6.07	5	30
No. 100	0.149	25.4	2.99	96.92	3.08	0	10
No. 200	0.074	14.2	1.67	98.59	1.41	0	5
Base		12	1.41	100.00	0.00		
Total		849.4	100				
% Perdida		0.01					

Nota: Resultados del análisis granulométrico del agregado fino reciclado.

**Figura 29**

*Curva granulométrica agregado fino reciclado.*



Nota. En la figura se observa la granulometría del agregado fino reciclado, en la cual se puede apreciar que no cumple con las especificaciones y rangos brindados por la norma ASTM C33.

**Tabla 28**

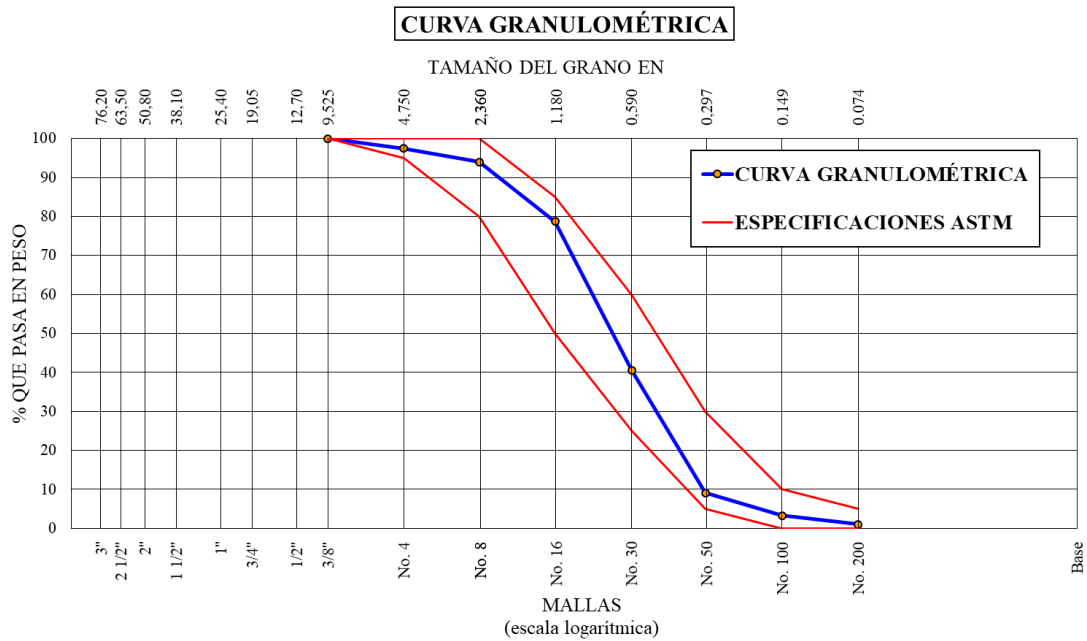
*Granulometría agregado fino normal.*

Análisis granulométrico							
Abertura de tamices		Peso retenido g	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
3/8"	9.525	-	-	-	-	100	100
1/4"	6.35	-	-	-	-		
No. 4	4.76	54.2	8.32	8.32	91.68	95	100
No. 8	2.38	46.3	7.10	15.42	84.58	80	100
No. 16	1.19	82.2	12.61	28.03	71.97	50	85
No. 30	0.59	106.7	16.37	44.40	55.60	25	60
No. 50	0.3	260.9	40.03	84.43	15.57	5	30
No. 100	0.149	75.4	11.57	96.00	4.00	0	10
No. 200	0.074	18.5	2.84	98.83	1.17	0	5
Base		7.6	1.17	100.00	0.00		
Total		651.8	100				
% Perdida		0.02					

Nota: Resultados del análisis granulométrico del agregado fino normal.

**Figura 30**

*Curva granulométrica agregado fino normal.*



Nota: En la figura se observa que la curva granulométrica cumple con las especificaciones establecidas en la norma ASTM C 33.

**Tabla 29**

*Granulometría 25% agregado fino reciclado + 75% agregado fino normal.*

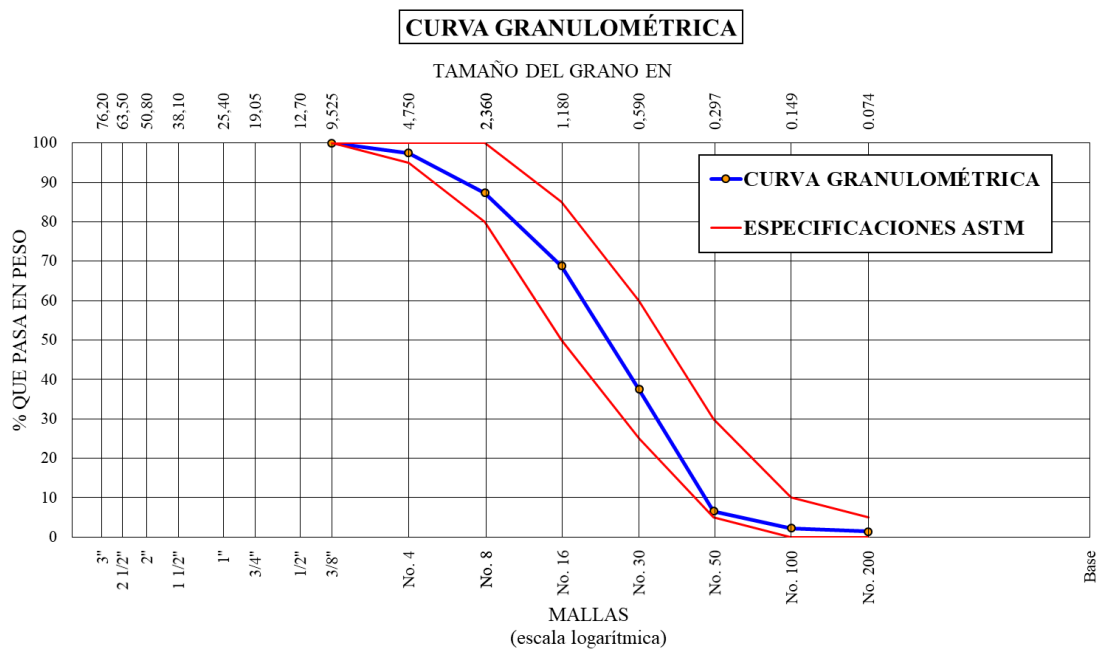
Análisis granulométrico							
Abertura de tamices	Peso retenido	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	Especificación		
					Mín.	Máx.	
ASTM	mm	g					
3/8"	9.525	-	-	-	100	100	
1/4"	6.35	-	-	-			
No. 4	4.76	21,1	2,58	97,42	95	100	
No. 8	2.38	82,5	10,10	87,32	80	100	
No. 16	1.19	151,6	18,55	68,77	50	85	
No. 30	0.59	255,3	31,24	37,52	25	60	
No. 50	0.3	253,4	31,01	6,51	5	30	
No. 100	0.149	34,9	4,27	97,76	0	10	
No. 200	0.074	7,1	0,87	98,63	0	5	
Base		11,2	1,37	100,00	0,00		
Total		817,1	100				
% Perdida		0,05					

Nota: Resultados del análisis granulométrico de 25% AFR + 75% AFN.



**Figura 31**

*Curva granulométrica 25% ag. fino reciclado + 75% ag. fino normal.*



Nota: En la figura se puede observar que la curva granulométrica está dentro de los límites establecidos por la ASTM C33.

**Tabla 30**

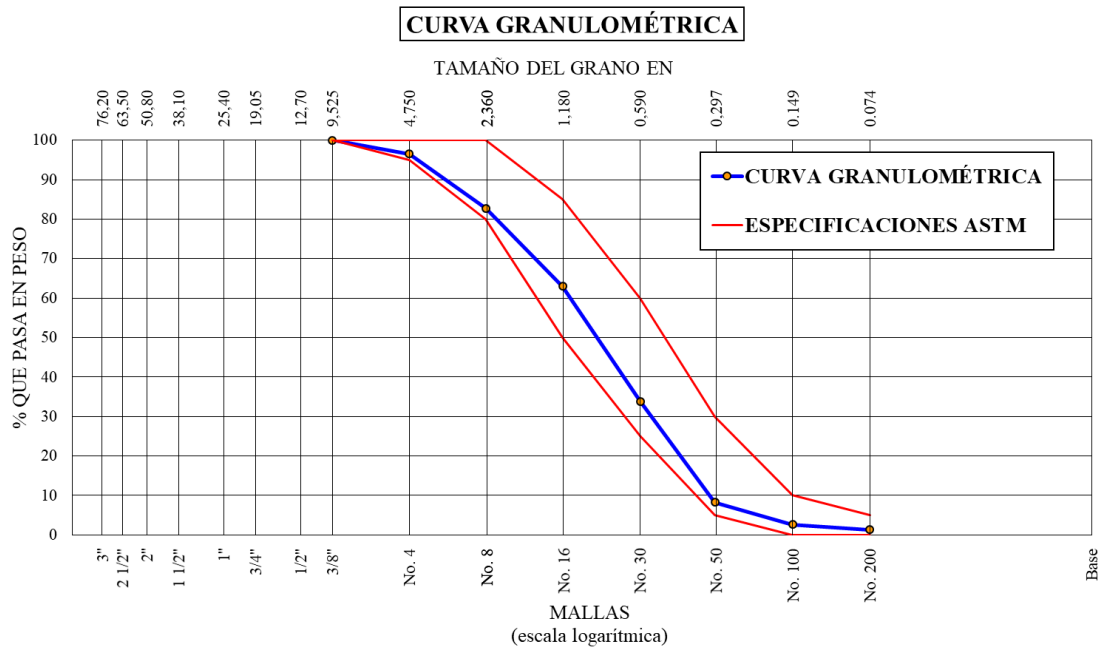
*Granulometría 50% agregado fino reciclado + 50% agregado fino normal.*

Análisis granulométrico							
Abertura de tamices	Peso retenido	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	Especificación		
					Mín.	Máx.	
ASTM	mm	g					
3/8"	9.525	-	-	-	100	100	
1/4"	6.35	-	-	-			
No. 4	4.76	26,8	3,49	96,51	95	100	
No. 8	2.38	105,9	13,79	82,71	80	100	
No. 16	1.19	151,4	19,72	62,99	50	85	
No. 30	0.59	224,2	29,20	33,79	25	60	
No. 50	0.3	196	25,53	8,26	5	30	
No. 100	0.149	43,5	5,67	2,59	0	10	
No. 200	0.074	9,9	1,29	1,30	0	5	
Base		10	1,30	0,00			
Total		767,7	100				
% Perdida		0,03					

Nota: Resultados del análisis granulométrico de 50% AFR + 50% AFN.

**Figura 32**

*Curva granulométrica 50% ag. fino reciclado + 50% ag. fino normal*



Nota: En la figura se observa la curva granulométrica del material combinado a una proporción de 50% AFR- 50%AFN, está dentro de los límites establecidos por la ASTM C33.

**Tabla 31**

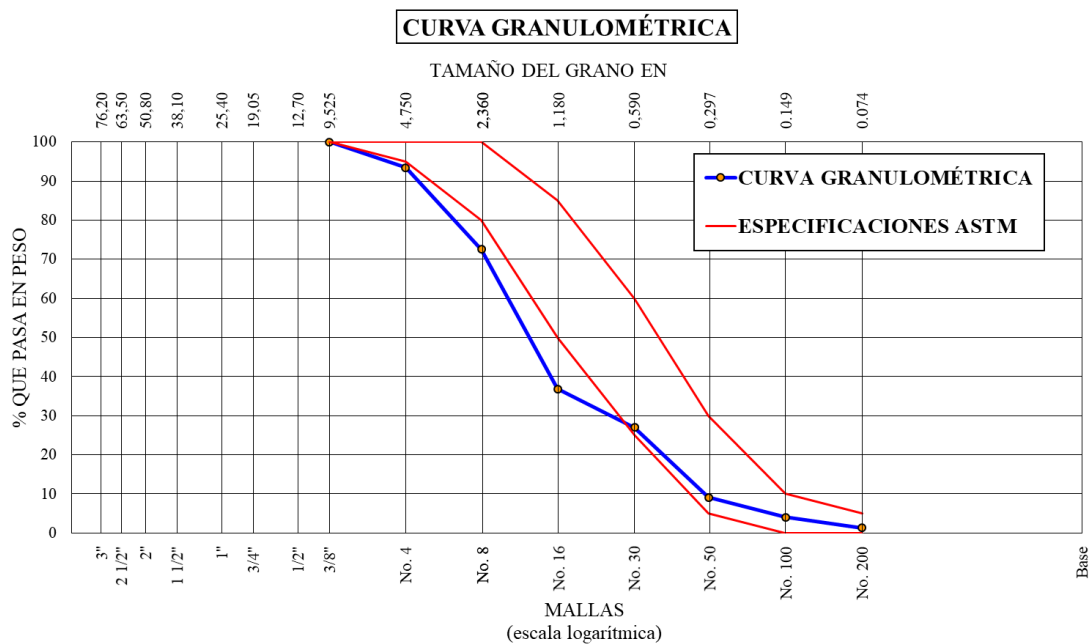
*Granulometría 75% agregado fino reciclado + 25% agregado fino normal.*

Análisis granulométrico							
Abertura de tamices		Peso retenido g	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
3/8"	9.525	-	-	-	-	100	100
1/4"	6.35	-	-	-	-		
No. 4	4.76	55,6	6,58	6,58	93,42	95	100
No. 8	2.38	176,6	20,90	27,49	72,51	80	100
No. 16	1.19	301,9	35,74	63,22	36,78	50	85
No. 30	0.59	83,1	9,84	73,06	26,94	25	60
No. 50	0.3	151,1	17,89	90,94	9,06	5	30
No. 100	0.149	42,2	5,00	95,94	4,06	0	10
No. 200	0.074	23,2	2,75	98,69	1,31	0	5
Base		11,1	1,31	100,00	0,00		
Total		844,8	100				
% Perdida		0,05					

Nota: Resultados del análisis granulométrico de 70% AFR + 25% AFN.

**Figura 33**

*Curva granulométrica 75% agregado fino reciclado + 25% agregado fino normal.*



Nota. En la figura se observa que tres puntos de la curva se encuentran fuera del rango establecido en la ASTM C33, evidenciando que hay un porcentaje de retenido considerable en las mallas N° 4, N° 8 y N° 16.

En la Tabla 32, se muestran los módulos de fineza de los agregados finos, valores que varían entre 2.77 y 3.89, se evidencia que para el agregado fino reciclado el módulo de fineza es más alto, estando fuera del rango de 2.3 – 3.1 recomendado en la normativa ASTM C33.

**Tabla 32**

*Módulo de fineza de la combinación de los agregados finos.*

Descripción	0% AFR 100% AFN	25% AFR 75% AFN	50% AFR 50% AFN	75% AFR 25% AFN	100% AFR 0% AFN
Módulo de Fineza	2.77	3.00	3.13	3.57	3.89

Nota: módulos de fineza de los agregados finos.

#### 4.1.2.2. Análisis granulométrico del agregado grueso

En las tablas 33 hasta la 37, y figura 34 hasta la figura 38, se muestran los resultados de los ensayos de análisis granulométrico de los agregados gruesos, en comparación de los valores mínimos y máximos del Huso N°57. Estos ensayos fueron realizados para el agregado grueso normal, agregado grueso reciclado y para la combinación de 25%, 50% y 75% de agregado grueso reciclado.

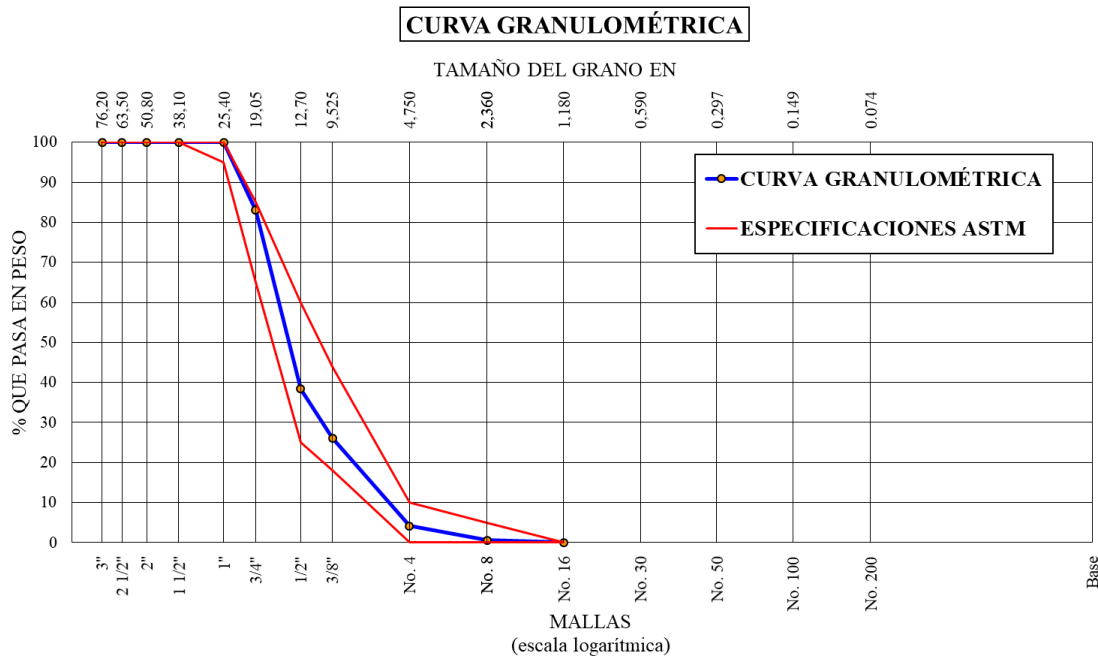
**Tabla 33**

*Granulometría agregado grueso normal.*

Análisis Granulométrico							
Abertura De Tamices		Peso Retenido g	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
1 1/2"	38.1					100	100
1"	25.4					95	100
3/4"	19.05	1493.70	17.01	17.01	82.99	65	85
1/2"	12.7	3918.60	44.63	61.64	38.36	25	60
3/8"	9.525	1075.10	12.24	73.89	26.11	18	44
No. 4	4.75	1924.70	21.92	95.81	4.19	0	10
No. 8	2.36	311.90	3.55	99.36	0.64	0	5
Base		56.30	0.64	100.00	0.00		
Total		8780.3	100				
% Perdida		0.01					

**Figura 34**

*Curva granulométrica agregado grueso normal*



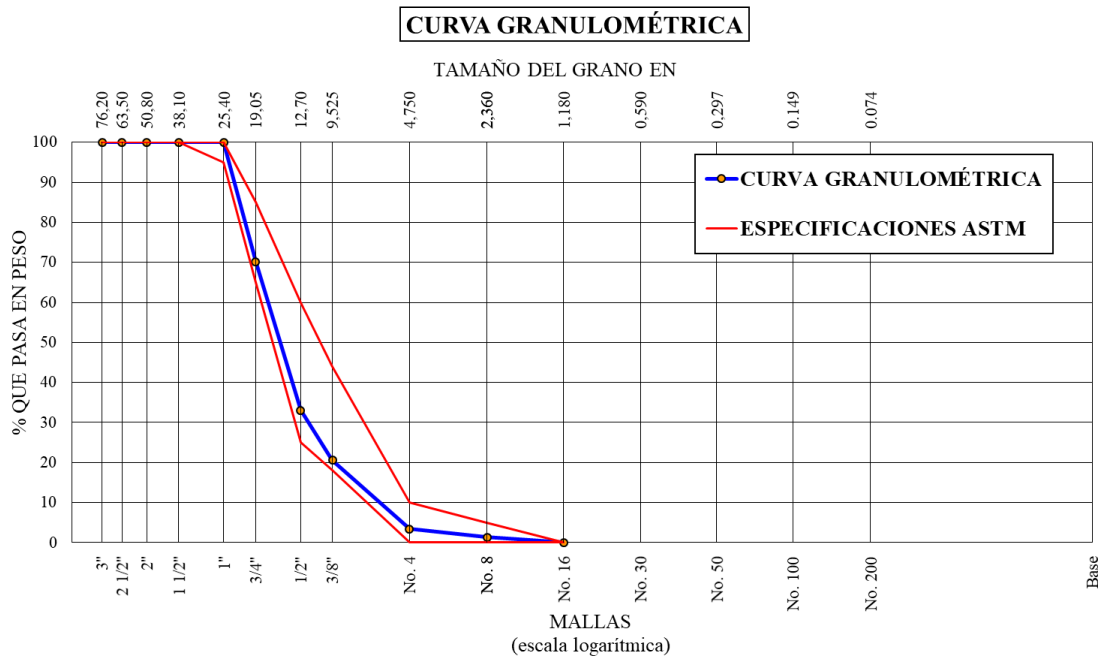
**Tabla 34**

*Granulometría agregado grueso reciclado.*

Análisis Granulométrico							
Abertura De Tamices		Peso Retenido g	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
1 1/2"	38.1					100	100
1"	25.4					95	100
3/4"	19.05	1908.50	29.83	29.83	70.17	65	85
1/2"	12.7	2377.20	37.15	66.98	33.02	25	60
3/8"	9.525	797.30	12.46	79.44	20.56	18	44
No. 4	4.75	1097.40	17.15	96.59	3.41	0	10
No. 8	2.36	129.60	2.03	98.61	1.39	0	5
Base		88.70	1.39	100.00	0.00		
Total		6398.7	100				
% Perdida		0.01					

**Figura 35**

*Curva granulométrica agregado grueso reciclado.*



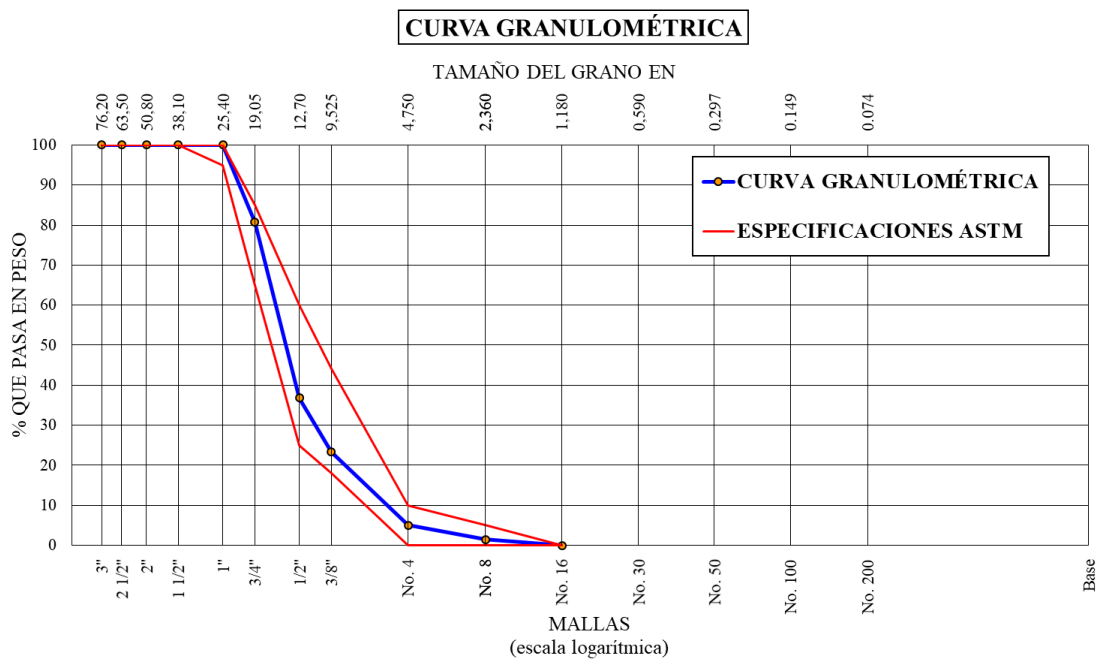
**Tabla 35**

*Granulometría 25% agregado grueso reciclado + 75% agregado grueso normal.*

Análisis Granulométrico							
Abertura De Tamices		Peso Retenido g	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
1 1/2"	38.1					100	100
1"	25.4					95	100
3/4"	19.05	1458.60	19.30	19.30	80.70	65	85
1/2"	12.7	3315.30	43.86	63.16	36.84	25	60
3/8"	9.525	1025.30	13.56	76.72	23.28	18	44
No. 4	4.75	1379.70	18.25	94.98	5.02	0	10
No. 8	2.36	266.10	3.52	98.50	1.50	0	5
Base		113.70	1.50	100.00	0.00		
Total		7558.7	100				
% Perdida		0.02					

**Figura 36**

*Curva granulométrica 25% agregado grueso reciclado + 75% agregado grueso normal*



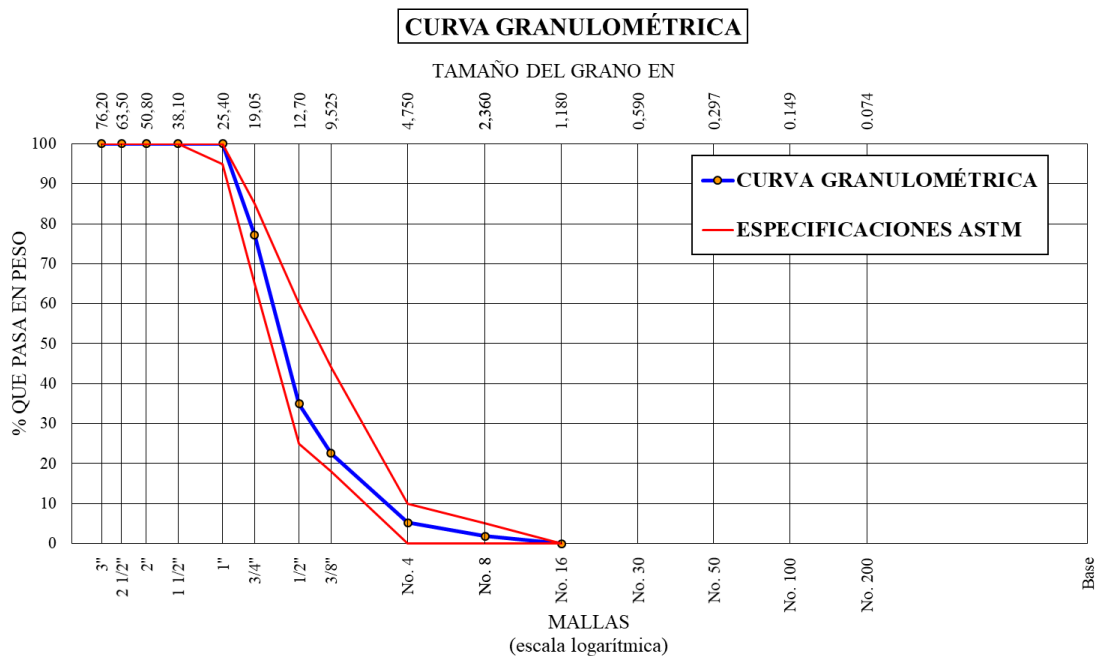
**Tabla 36**

*Granulometría 50% agregado grueso reciclado + 50% agregado grueso normal.*

Análisis Granulométrico							
Abertura De Tamices		Peso Retenido g	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
1 1/2"	38.1					100	100
1"	25.4					95	100
3/4"	19.05	1750.90	22.88	22.88	77.12	65	85
1/2"	12.7	3231.00	42.21	65.09	34.91	25	60
3/8"	9.525	942.00	12.31	77.40	22.60	18	44
No. 4	4.75	1333.60	17.42	94.82	5.18	0	10
No. 8	2.36	257.80	3.37	98.19	1.81	0	5
Base		138.80	1.81	100.00	0.00		
Total		7654.1	100				
% Perdida		0.01					

**Figura 37**

*Curva granulométrica 50% agregado grueso reciclado + 50% agregado grueso normal.*



**Tabla 37**

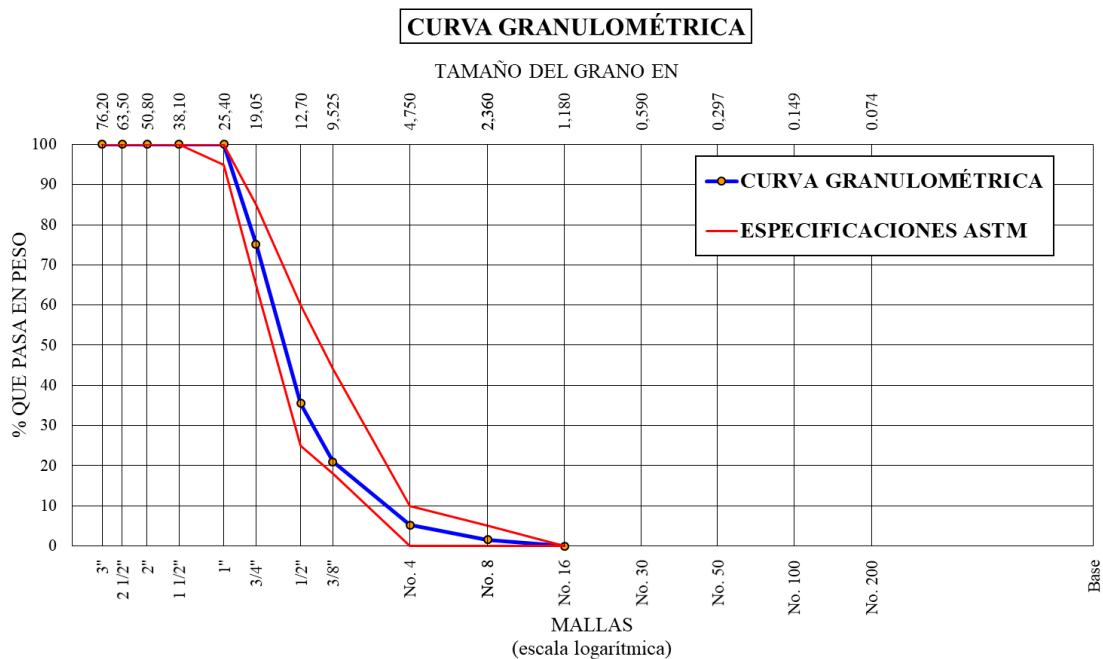
*Granulometría 75% agregado grueso reciclado + 25% agregado grueso normal.*

Análisis Granulométrico							
Abertura De Tamices		Peso Retenido g	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado	Especificación	
ASTM	mm					Mín.	Máx.
1 1/2"	38.1					100	100
1"	25.4					95	100
3/4"	19.05	1884.00	24.86	24.86	75.14	65	85
1/2"	12.7	3005.20	39.66	64.52	35.48	25	60
3/8"	9.525	1102.50	14.55	79.06	20.94	18	44
No. 4	4.75	1187.10	15.66	94.73	5.27	0	10
No. 8	2.36	280.40	3.70	98.43	1.57	0	5
Base		119.00	1.57	100.00	0.00		
Total		7578.2	100				
% Perdida		3.80					



**Figura 38**

*Curva granulométrica 75% agregado grueso reciclado + 25% agregado grueso normal.*



Según las Figuras 34 hasta la 38, se evidencia que, para todos los casos, las curvas granulométricas están dentro del rango establecido en la normativa NTP 400.37, para un Huso N°57, por lo que se afirma que los materiales tales como agregado grueso normal (piedra chancada) y agregado grueso reciclado y la combinación de las mismas, cumplen con los criterios aceptables para la fabricación de concreto.

En la tabla 38, se muestran los resultados de los módulos de fineza de los agregados gruesos, estando estos entre los valores de 6.86 y 7.04, valores que indican la no presencia de partículas grandes, lo que permite que se obtenga una buena mezcla de concreto.

**Tabla 38***Módulos de fineza de los agregados gruesos.*

Descripción	0% AGR	25% AGR	50% AGR	75% AGR	100% AGR
	100% AGN	75% AGN	50% AGN	25% AGN	0% AGN
Módulo de Fineza	6.86	6.89	6.93	6.97	7.04

Nota: módulos de finezas de los agregados gruesos.

#### 4.1.3. Densidad relativa y absorción de los agregados

##### 4.1.3.1. Densidad relativa y absorción de los agregados finos

**Tabla 39***Resultados de la densidad relativa y absorción de los agregados finos.*

Descripción	Densidad relativa y absorción de los agregados finos				
	0%AFR 100%AFN	25%AFR 75%AFN	50%AFR 50%AFN	75%AFR 25%AFN	100%AFR 0%AFN
Densidad relativa (Gravedad específica) (OD)	2.61	2.51	2.39	2.31	2.20
Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD)	2.67	2.61	2.52	2.47	2.38
Densidad relativa aparente (Gravedad específica)	2.77	2.79	2.76	2.77	2.69
Absorción (%)	2.30	3.98	5.51	7.18	8.28

Nota: Resultados del ensayo densidad relativa y absorción de los agregados finos.

En la Tabla 39, se muestran los resultados promedios de la densidad relativa de los agregados fino normal, reciclado y la combinación en un 25%, 50% y 75% de agregado fino reciclado, resultados de los ensayos realizados cumpliendo lo estipulado en la normativa ASTM C128-15, se evidencia que los valores varían desde 2.61 hasta 2.20 g/cm<sup>3</sup>, disminuyendo a medida que aumenta la cantidad de agregado fino reciclado.

Con respecto a la absorción, se evidencia que existe una variación muy considerable entre el agregado fino normal y reciclado, debido a que

este último tiene presencia de mortero y por la considerable cantidad de poros en su estructura. Es por ello, que es muy importante su consideración en los diseños de mezclas, ya que influye directamente en la relación agua – cemento por consiguiente en la resistencia del concreto.

#### 4.1.3.2. Densidad relativa y absorción de los agregados gruesos

**Tabla 40**

*Resultados de la densidad relativa y absorción de los agregados gruesos.*

<b>Densidad relativa y absorción de los agregados gruesos</b>					
<b>Descripción</b>	<b>0%AGR 100%AGN</b>	<b>25%AGR 75%AGN</b>	<b>50%AGR 50%AGN</b>	<b>75%AGR 25%AGN</b>	<b>100%AGR 0%AGN</b>
Densidad relativa (Gravedad específica) (OD)	2.50	2.40	2.32	2.22	2.13
Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD)	2.56	2.50	2.44	2.37	2.30
Densidad relativa aparente (Gravedad específica)	2.65	2.65	2.65	2.61	2.58
Absorción (%)	2.17	3.86	5.45	6.73	8.22

Nota: Resultados del ensayo densidad relativa y absorción de los agregados gruesos.

En la tabla 40, se muestran los resultados promedios de la densidad relativa de los agregados grueso normal, reciclado y la combinación en un 25%, 50% y 75% de agregado grueso reciclado, resultados de los ensayos realizados cumpliendo lo estipulado en la normativa ASTM C127, se evidencia que los valores varían desde 2.50 hasta 2.13 g/cm<sup>3</sup>, disminuyendo a medida que aumenta la cantidad de agregado grueso reciclado.

Con respecto a la absorción, se evidencia que existe una variación muy considerable entre el agregado grueso normal y reciclado, debido a que este último tiene presencia de mortero y por la considerable cantidad de poros en su estructura. Es por ello, que es muy importante su

consideración en los diseños de mezclas, ya que influye directamente en la relación agua – cemento por consiguiente en la resistencia del concreto.

#### 4.1.4. Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados

##### 4.1.4.1. Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados

###### finos

**Tabla 41**

*Resultados de los pesos unitarios sueltos y compactados secos agregados finos.*

<b>Peso unitario suelto seco (PUSS) y compactado seco (PUCS) de los agregados finos</b>						
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>0%AFR</b>	<b>25%AFR</b>	<b>50%AFR</b>	<b>75%AFR</b>	<b>100%AFR</b>
		<b>100%AFN</b>	<b>75%AFN</b>	<b>50%AFN</b>	<b>25%AFN</b>	<b>0%AFN</b>
Densidad aparente suelta	kg/m <sup>3</sup>	1540	1520	1470	1410	1370
Densidad aparente compactada	kg/m <sup>3</sup>	1630	1590	1540	1480	1420

Nota: Resultados del ensayo de pesos unitarios de los agregados finos.

Los resultados de la tabla 41, fueron obtenidos siguiendo lo establecido en la norma ASTM C29/C29M-17a, Kosmatka *et al.* (2004) menciona que la densidad suelta típica del agregado comúnmente empleado en el concreto estándar fluctúa entre 1200 y 1750 kg/m<sup>3</sup>; en base a ello, se puede afirmar que la densidad aparente suelta del agregado normal y reciclado están dentro del rango, ya que los valores varían entre 1540 y 1370 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, evidenciando que estos valores disminuyen a medida que aumenta el contenido de agregado fino reciclado.

#### 4.1.4.2. Peso unitario suelto seco y compactado seco de los agregados gruesos

**Tabla 42**

*Resultados de los pesos unitarios sueltos y compactados secos agregados gruesos.*

<b>Peso unitario suelto seco (PUSS) y compactado seco (PUCS) de los agregados gruesos</b>						
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>0%AGR</b>	<b>25%AGR</b>	<b>50%AGR</b>	<b>75%AGR</b>	<b>100%AGR</b>
		<b>100%AGN</b>	<b>75%AGN</b>	<b>50%AGN</b>	<b>25%AGN</b>	<b>0%AGN</b>
Densidad aparente suelta	kg/m <sup>3</sup>	1430	1300	1230	1240	1120
Densidad aparente compactada	kg/m <sup>3</sup>	1530	1390	1350	1330	1250

Nota: Resultados del ensayo de pesos unitarios de los agregados gruesos.

Los resultados de la tabla 42, de la misma manera que los agregados finos, fueron obtenidos siguiendo lo estipulado en la norma ASTM C29/C29M-17a, asimismo, podemos notar que los valores de densidad aparente suelta disminuyen en cuanto aumenta el porcentaje de agregado grueso reciclado de 1430 a 1120 kg/m<sup>3</sup>, estando el agregado reciclado al 100% el único que no estaría entre el rango estipulado por Kosmatka *et al.* (2004) de 1200 y 1750 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.5. Resistencia al desgaste, prueba de abrasión en la máquina Los Ángeles

Para la presente investigación se realizó la prueba de abrasión los ángeles para el agregado grueso normal y el agregado grueso reciclado, de la cual se obtuvo lo siguiente.

**Tabla 43**

*Resultados de abrasión de los agregados gruesos.*

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Muestra inicial (g)</b>	<b>Muestra retenida en tamiz N° 12 (g)</b>	<b>Porcentaje de desgaste</b>
AGN	B	4999	4092	18.14%
AGR	B	5002	3395.6	32.12%

Nota: Resultados del ensayo de abrasión de los agregados gruesos.

En la tabla 43, se observa los resultados del ensayo de abrasión realizadas a los AGN (Agregado Grueso Normal) y AGR (Agregado Grueso Reciclado), la cual muestra la resistencia al desgaste de cada material y notando que tiene una resistencia aceptable menor a 50% requerido para diversas solicitudes de agregados.

#### **4.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Durante la investigación se han registrado los datos obtenidos del ensayo de cono de Abrams para calcular y corroborar la trabajabilidad del concreto, como este fue diseñado para una consistencia plástica.

La investigación se realizó en varias etapas en las cuales se realizó diferentes mediciones, estas se muestran a continuación:

##### **4.2.1. Asentamiento del concreto en diversos porcentajes de la combinación de agregados normales y reciclados**

Consiste en la selección entre diferentes combinaciones y proporciones de 4 agregados diferentes en propiedades, la más óptima para preparar un concreto.

**Tabla 44***Trabajabilidad del concreto diferentes combinaciones de agregados.*

N°	Descripción	Trabajabilidad (SLUMP)	
		(cm)	(pulgadas)
1	0% AFR 100% AFN 0% AGR 100% AGN	10.9	4.29
2	0% AFR 100% AFN 100% AGR 0% AGN	5.1	2.01
3	25% AFR 75% AFN 25% AGR 75% AGN	8.3	3.27
4	25% AFR 75% AFN 50% AGR 50% AGN	7.6	2.99
5	25% AFR 75% AFN 75% AGR 25% AGN	6.2	2.44
6	50% AFR 50% AFN 50% AGR 50% AGN	6.4	2.52
7	50% AFR 50% AFN 25% AGR 75% AGN	5.6	2.20
8	50% AFR 50% AFN 75% AGR 25% AGN	4.7	1.85
9	75% AFR 25% AFN 75% AGR 25% AGN	4.6	1.81
10	100% AFR 0% AFN 0% AGR 100% AGN	9.8	3.86
11	100% AFR 0% AFN 100% AGR 0% AGN	3.5	1.38

Nota: Resultados del ensayo de asentamiento.

En la Tabla 44, se puede observar los valores obtenidos de los ensayos de Cono de Abrams (Revenimiento - Slump), en las cuales al aumentar la proporción en reemplazo del agregado reciclado se puede observar que el valor disminuye, esto debido a la porosidad que tiene el agregado reciclado, que al contener aire, el concreto posee bastante porosidad y al momento de realizar la mezcla, por la porosidad y la superficie irregular y muy accidentada del agregado reciclado se adhiere a sus paredes mayor cantidad de agua y reduciendo la relación agua – cemento y por consiguiente el valor del Slump.

#### 4.2.2. Asentamiento del concreto en la obtención de la ecuación de estimación de resistencias

Para hacer uso de la NTP 339.213, es necesario preparar mezclas a diferentes relaciones agua – cemento las cuales se muestran en los siguientes recuadros:

##### 4.2.2.1. Asentamiento del concreto normal

**Tabla 45**

*Asentamiento de la mezcla de concreto normal, para la obtención de la curva de estimación.*

Concreto normal		
Relación a/c	Slump (cm)	Slump (pulgada)
0.66	17.3	6.81
0.62	15.7	6.18
0.58	11.6	4.57
0.54	10	3.94
0.5	9.3	3.66
0.46	4.7	1.85
0.42	3.5	1.38

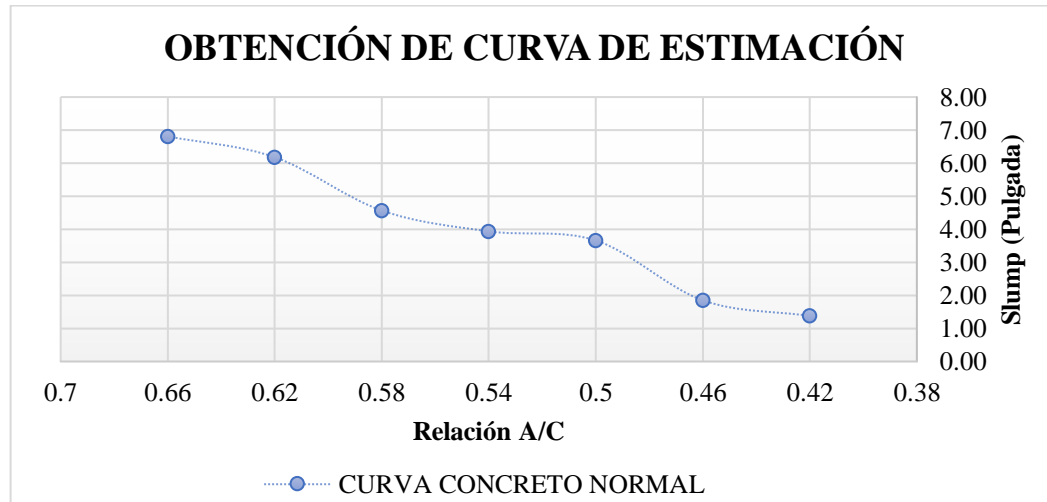
Nota: Resultados del ensayo de asentamiento.

En la Tabla 45, se puede observar el comportamiento del valor de Slump, con respecto a la relación agua – cemento, el cual disminuye a medida que la relación a/c disminuye, a pesar de haber sido diseñados para una consistencia de 3” a 4”.



**Figura 39**

*Slump a diferentes relaciones agua cemento, para un concreto normal.*



Nota: Se observa como el valor de Slump disminuye a menor relación agua cemento.

#### 4.2.2.2. Asentamiento del concreto con agregados reciclados.

**Tabla 46**

*Asentamiento de concreto reciclado, para la obtención de la curva de estimación.*

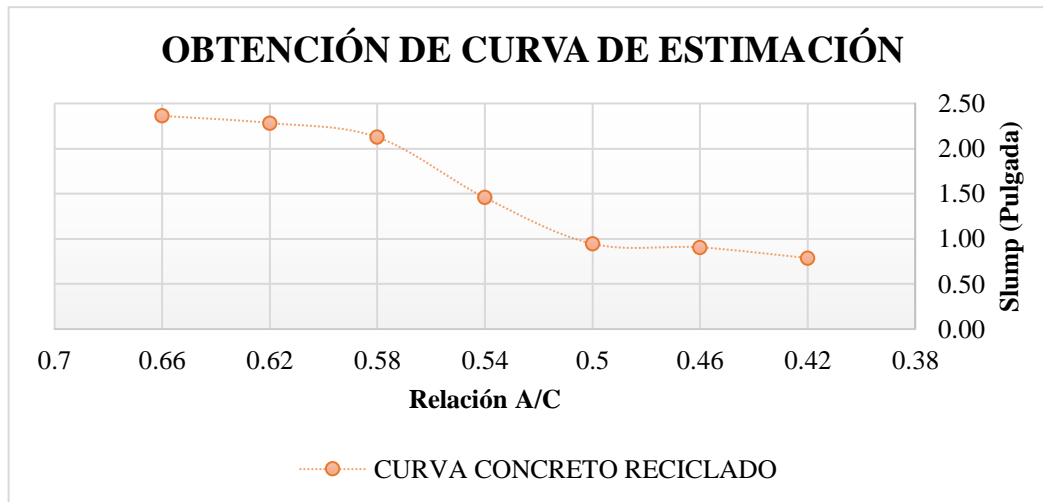
Concreto reciclado		
Relación a/c	Slump (cm)	Slump (pulgada)
0.66	6	2.36
0.62	5.8	2.28
0.58	5.4	2.13
0.54	3.7	1.46
0.5	2.4	0.94
0.46	2.3	0.91
0.42	2	0.79

Nota: Resultados del ensayo de asentamiento.

En la Tabla 46, al igual que la tabla anterior se observa el comportamiento del valor de Slump, con la variación de la relación a/c, el cual también disminuye.

### Figura 40

Valores de slump a diferentes relaciones agua cemento, de una mezcla de concreto reciclado.

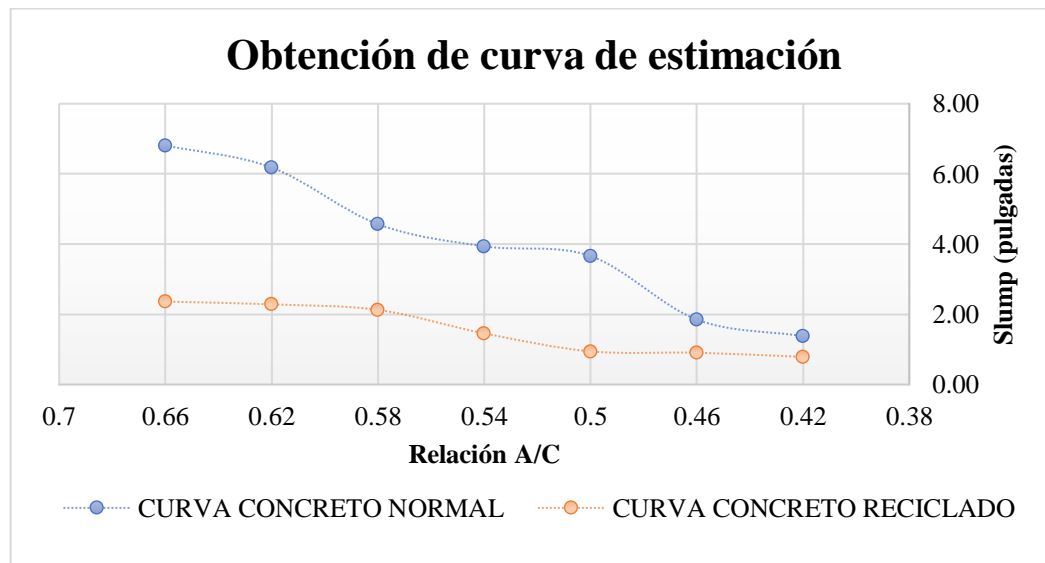


Nota: se observa la disminución de la relación agua cemento a medida que la relación a/c disminuye.

La Figura 41, muestra la comparación entre los asentamientos de las mezclas del concreto normal y con agregados reciclados en el desarrollo de mezclas para la obtención de la ecuación de estimación de resistencias, se observa que el slump medido con el cono de Abrams de este último es significativamente inferior al del concreto normal, logrando alcanzar un máximo de 2.36 pulgadas y un mínimo de 0.79 pulgadas, en cambio, el slump del concreto normal alcanzó un máximo de 6.81 pulgadas y un mínimo de 1.38 pulgadas. Es necesario resaltar que los diseños fueron para un asentamiento entre 3” y 4” hecho que solamente se cumplió para las relaciones a/c 0.50 y 0.54 del concreto normal.

**Figura 41**

*Comparativa de asentamientos relación a/c vs slump.*



Nota: se muestra la comparación de los asentamientos de los concretos

#### 4.2.3. Asentamiento del concreto en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias

Para validar las ecuaciones generadas se verifica mediante la elaboración posterior de mezclas de concreto que estén entre los rangos de relación de agua cemento, para la investigación se hizo uso de las siguientes: 175 kg/cm<sup>2</sup> (0.63), 210 kg/cm<sup>2</sup> (0.56), 280 kg/cm<sup>2</sup> (0.47).

##### 4.2.3.1. Asentamiento del concreto normal

**Tabla 47**

*Asentamiento para la verificación de la ecuación de regresión del concreto normal.*

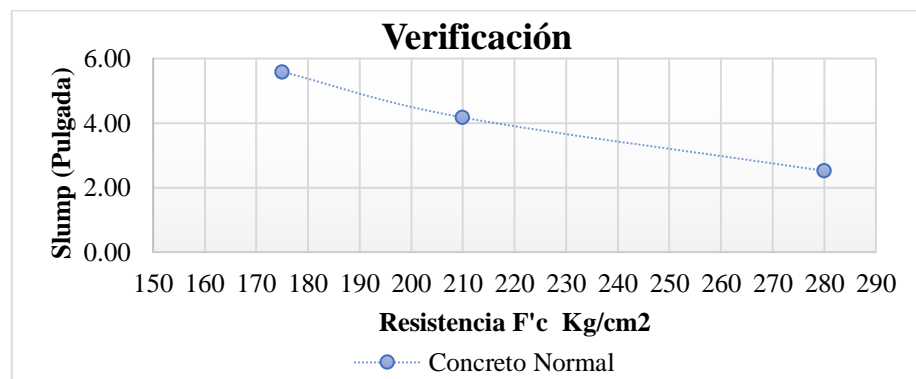
Concreto normal		
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Slump (cm)	Slump (pulgada)
175	14.2	5.59
210	10.6	4.17
280	6.4	2.52

Nota: Asentamientos en la verificación

En la Tabla 47, se observa el valor de la prueba de Slump realizada para los diseños de mezclas de 175, 210, 280 kg/cm<sup>2</sup>, donde el valor de Slump disminuye a medida que la resistencia aumenta, esto debido a la disminución de la relación agua cemento.

**Figura 42**

*Medida del asentamiento en la verificación de la curva de estimación del concreto normal.*



Nota: Valores de Slump obtenidos durante la preparación del concreto para la verificación de la curva de estimación del concreto normal.

#### 4.2.3.2. Asentamiento del concreto con agregados reciclados.

**Tabla 48**

*Asentamiento durante la preparación del concreto para la verificación de la curva de estimación del concreto reciclado.*

Concreto reciclado		
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Slump (cm)	Slump (pulgada)
175	5.4	2.13
210	4.2	1.65
280	2.3	0.91

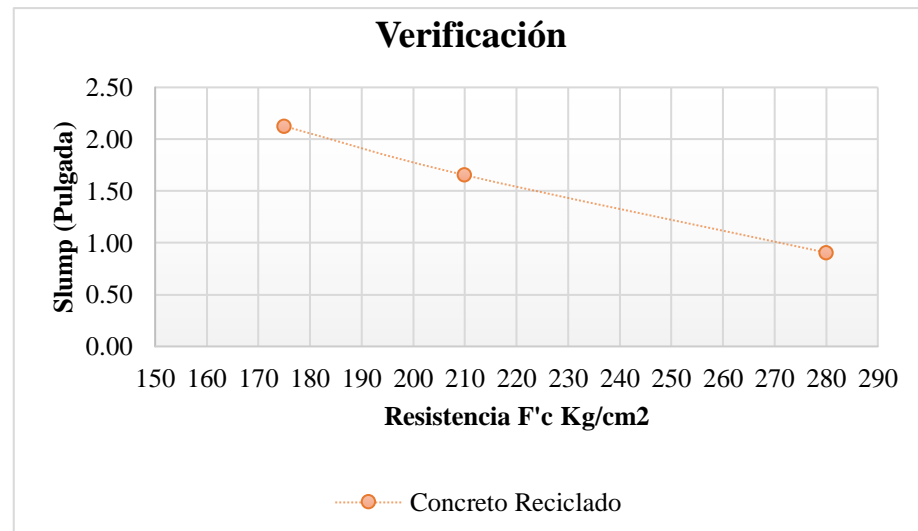
Nota: Asentamientos en la verificación

En la Tabla 48, se observa el valor de Slump, obtenidas al realizar la mezcla de concreto con agregados reciclados, los cuales son menores a

los obtenidos en el concreto normal, esto debido a los agregados reciclados.

### Figura 43

*Valores slump durante la verificación de la curva de estimación del concreto reciclado.*

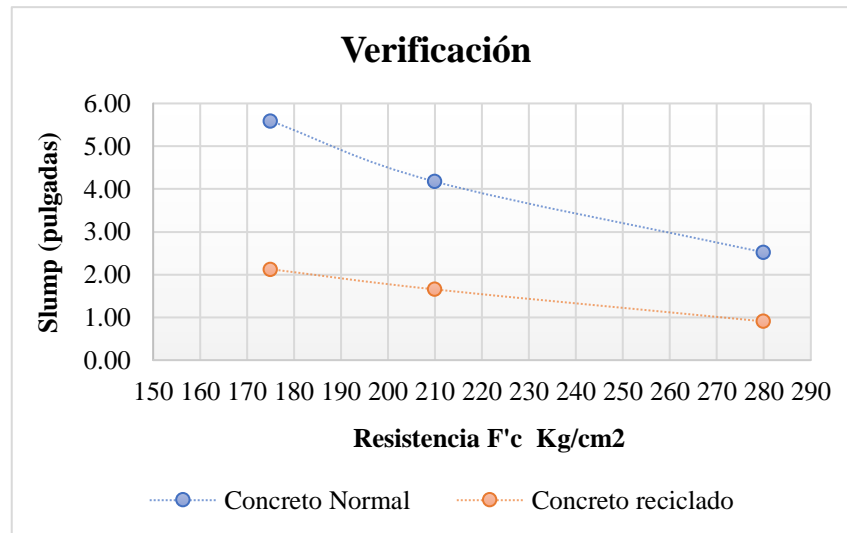


Nota: Valores de Slump obtenidos durante la preparación del concreto para la verificación de la curva de estimación del concreto con agregados reciclados.

En la figura 44, se muestra la comparación entre los asentamientos de las mezclas del concreto normal y con agregados reciclados en el desarrollo de mezclas para la verificación de la ecuación de estimación de resistencias, en los diseños de mezclas se consideró un asentamiento entre 3” y 4”, sin embargo, se aprecia que para ninguno de los casos están en ese rango.

**Figura 44**

*Comparación de asentamientos entre concreto normal y con agregados reciclados.*



Nota: Comparación de Slump obtenidos durante la preparación del concreto para la verificación de la curva de estimación.

#### 4.2.4. Asentamiento del concreto en la optimización del diseño de mezclas

De la verificación se parte como base para realizar las optimizaciones, se necesita llegar a la trabajabilidad a la que se diseñó.

##### 4.2.4.1. Asentamiento del concreto normal

##### 4.2.4.1.1. En la prueba inicial

**Tabla 49**

*Asentamiento del concreto en la optimización inicial (concreto normal).*

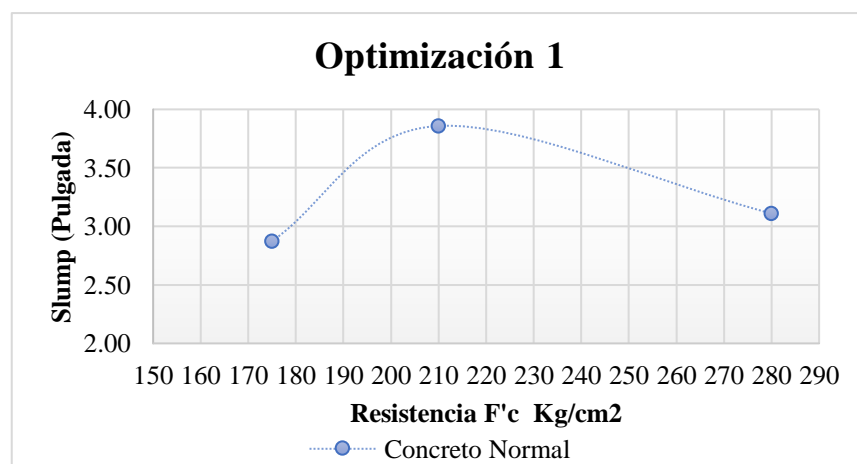
Concreto normal		
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Slump (cm)	Slump (pulgada)
175	7.3	2.87
210	9.8	3.86
280	7.9	3.11

Nota: Asentamientos en la optimización inicial.

En la Tabla 49, se observa los valores de Slump obtenidos luego de la optimización inicial, se puede observar que para la misma resistencia promedio que se diseña, cambio la relación agua cemento y el valor de Slump, se optimizo el valor de Slump, para poder llegar entre 3" y 4", esta optimización según Rivva (1992) menciona si el asentamiento de la tanda de ensayo no fue correcto, incrementar o disminuir el contenido de agua estimado en 2 litros por metro cubico de concreto por cada incremento o disminución de 10 mm en el asentamiento deseado , de acuerdo a esta recomendación se hizo el cálculo para aumentar o reducir el valor del Slump en 1" el cual sería de 5 litros por metro cubico de concreto, teniendo así los valores actuales de Slump.

#### Figura 45

*Valores del asentamiento de la optimización inicial (concreto normal).*



Nota: Asentamiento en la primera optimización las cuales están entre 2" y 4".

#### 4.2.4.1.2. En la prueba final

**Tabla 50**

*Asentamiento en la optimización final (concreto normal).*

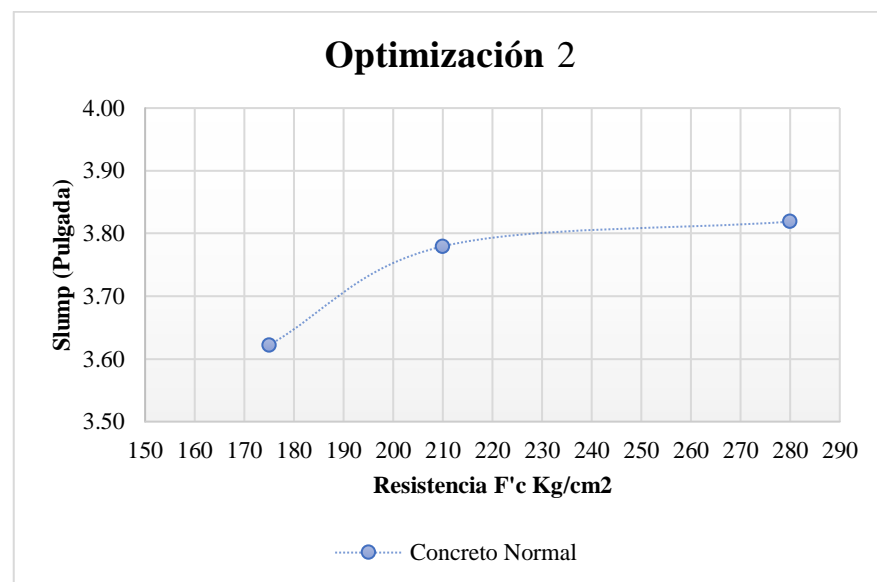
Concreto normal		
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Slump (cm)	Slump (pulgada)
175	9.2	3.62
210	9.6	3.78
280	9.7	3.82

Nota: Asentamientos en la optimización final.

En la Tabla 50, se observa que los valores ya se encuentran dentro del rango de 3" a 4", para el cual se aplicó la recomendación y se llegó a la consistencia requerida.

**Figura 46**

*Valores del asentamiento en la optimización final (concreto normal).*



Nota: Se observa que los valores de Slump se encuentran dentro del rango para una consistencia plástica de 3" a 4".

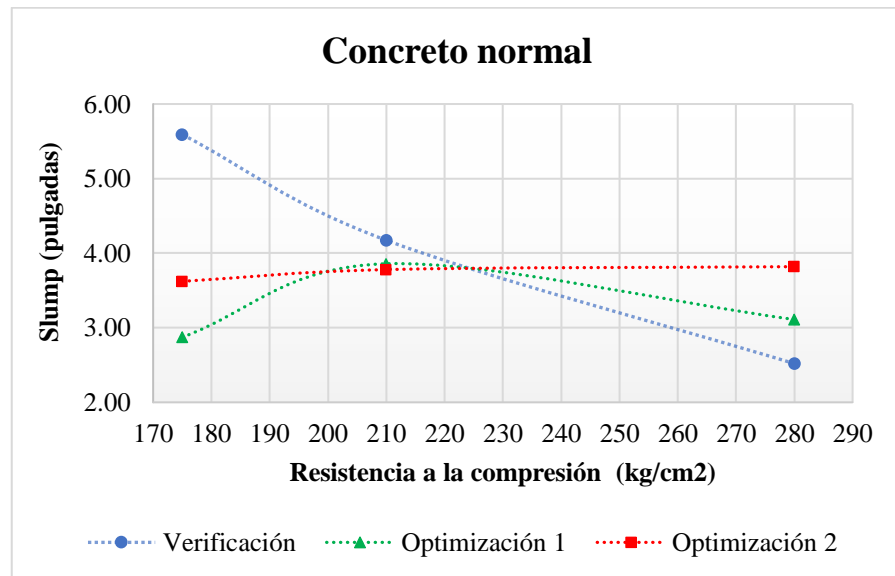
En la figura 47, se muestra la evolución de los asentamientos del concreto normal, tomando como inicio las mezclas utilizadas en la



verificación de la ecuación de estimación de resistencias y terminando en la optimización 2 (curva de color rojo), se observa que los asentamientos finales para los concreto de resistencias 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> están en el rango de 3” – 4”.

**Figura 47**

*Evolución de asentamientos en el concreto normal*



Nota: Evolución de los asentamientos en el concreto normal.

#### 4.2.4.2. Asentamiento del concreto con agregados reciclados

##### 4.2.4.2.1. En la prueba inicial

**Tabla 51**

*Asentamiento en la optimización inicial (concreto reciclado).*

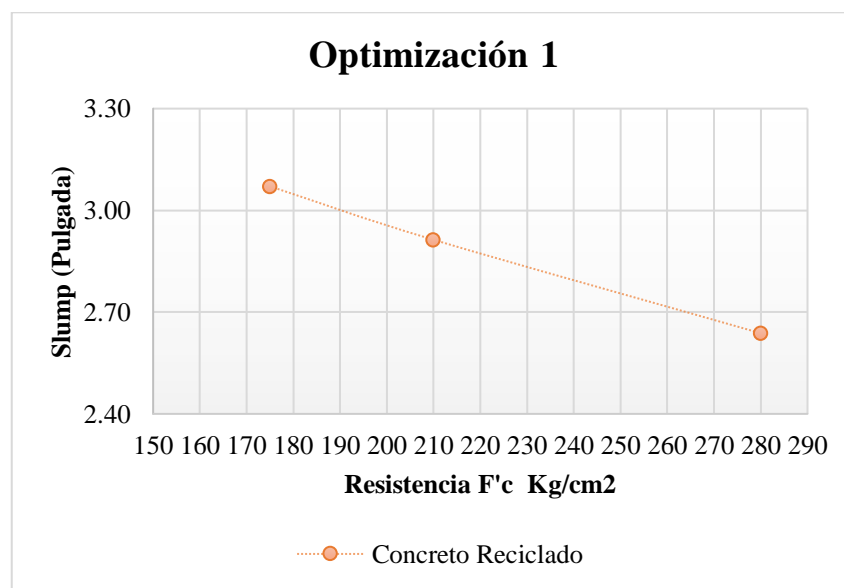
Concreto reciclado		
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Slump (cm)	Slump (pulgada)
175	7.8	3.07
210	7.4	2.91
280	6.7	2.64

Nota: Asentamientos en la optimización inicial.

En la Tabla 51, al igual que la primera optimización del concreto normal, se aplicó la recomendación para aumentar el valor del Slump, como el concreto con agregados reciclados tiene un valor más bajo que del concreto normal, se necesita aumentar más agua por consiguiente aumentar más cemento a la mezcla.

**Figura 48**

*Valores del asentamiento en la optimización inicial (concreto reciclado).*



Nota: Se observa que los valores de la prueba de Slump, se encuentran entre 2” y 3.5”.

#### 4.2.4.2.2. En la prueba final

**Tabla 52**

*Asentamiento en la optimización final (concreto reciclado).*

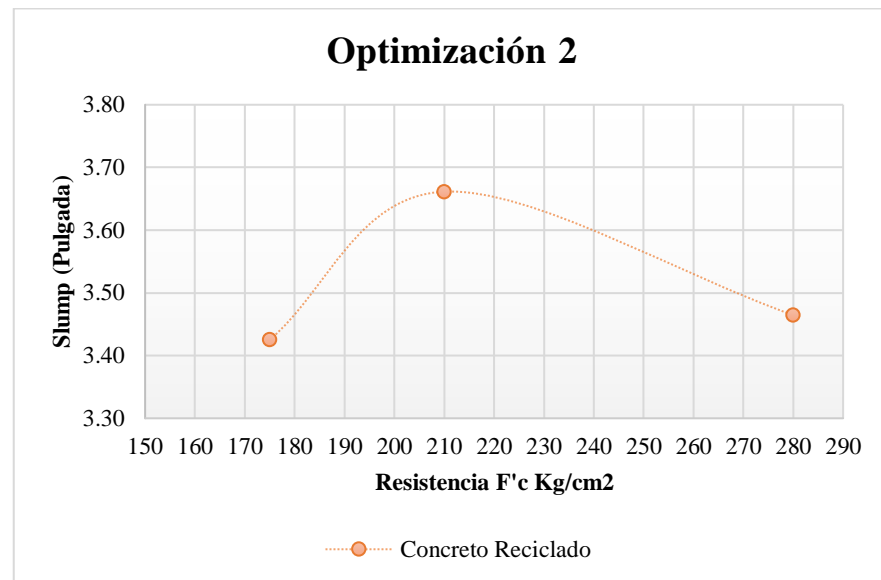
Concreto reciclado		
Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Slump (cm)	Slump (pulgada)
175	8.7	3.43
210	9.3	3.66
280	8.8	3.46

Nota: Asentamientos en la optimización final.

En la Tabla 52, vemos los valores de la prueba de Slump, los cuales fueron optimizados de acuerdo a las recomendaciones ya mencionadas.

### Figura 49

*Valores de asentamiento en la optimización final (concreto reciclado).*

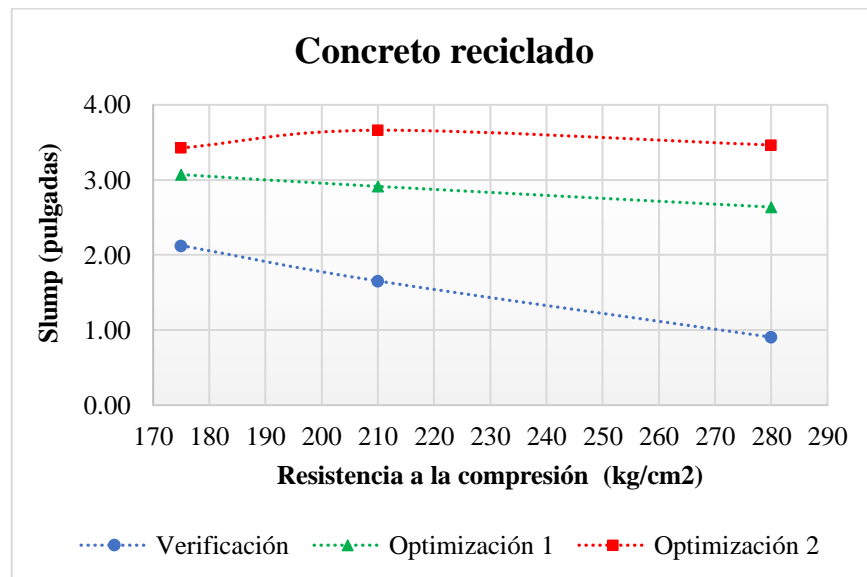


Nota: Se puede observar que los valores de Slump se encuentran dentro de los valores requeridos para la consistencia plástica, los cuales son de 3” a 4”.

En la figura 50, se muestra la evolución de los asentamientos del concreto con agregados reciclados, tomando como inicio las mezclas utilizadas en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias y terminando en la optimización 2 (curva de color rojo), se observa que los asentamientos finales para los concreto de resistencias 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> están en el rango de 3” – 4”.

**Figura 50**

*Evolución de asentamientos en el concreto con agregados reciclados*



Nota: Evolución de los asentamientos en el concreto normal.

#### **4.3. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

Los ensayos de resistencia a la compresión se basan en lo establecido por la norma ASTM C39/C39M-21, por consiguiente, los resultados mostrados en el Anexo 6 se expresan en unidades del Sistema Internacional, sin embargo, con el fin de favorecer a la comprensión, análisis y procesamiento de resultados, se llevó a cabo la conversión de unidades, según se muestran en las tablas posteriores.

##### **4.3.1. Resistencia a la compresión en diversos porcentajes de la combinación de agregados normales y reciclados**

En este ítem, se muestran los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7, 14 y 28 días del concreto, en donde se desarrollaron 11 combinaciones de agregados gruesos y finos reciclados, según se detalla a continuación.



- 0% AFR+100% AFN - 0% AGR+100% AGN: 0% agregado fino reciclado, 100% agregado fino normal, 0% agregado grueso reciclado y 100% agregado grueso normal.
- 0% AFR+100% AFN - 100% AGR+0% AGN: 0% agregado fino reciclado, 100% agregado fino normal, 100% agregado grueso reciclado y 0% agregado grueso normal.
- 25% AFR+75% AFN - 25% AGR+75% AGN: 25% agregado fino reciclado, 75% agregado fino normal, 25% agregado grueso reciclado y 75% agregado grueso normal.
- 25% AFR+75% AFN - 50% AGR+50% AGN: 25% agregado fino reciclado, 75% agregado fino normal, 50% agregado grueso reciclado y 50% agregado grueso normal.
- 25% AFR+75% AFN - 75% AGR+25% AGN: 25% agregado fino reciclado, 75% agregado fino normal, 50% agregado grueso reciclado y 50% agregado grueso normal.
- 50% AFR+50% AFN - 25% AGR+75% AGN: 50% agregado fino reciclado, 50% agregado fino normal, 25% agregado grueso reciclado y 75% agregado grueso normal.
- 50% AFR+50% AFN - 50% AGR+50% AGN: 50% agregado fino reciclado, 50% agregado fino normal, 50% agregado grueso reciclado y 50% agregado grueso normal.
- 50% AFR+50% AFN - 75% AGR+25% AGN: 50% agregado fino reciclado, 50% agregado fino normal, 75% agregado grueso reciclado y 25% agregado grueso normal.



- 75%AFR+25%AFN - 75%AGR+25%AGN: 75% agregado fino reciclado, 25% agregado fino normal, 75% agregado grueso reciclado y 25% agregado grueso normal.
- 100%AFR+0%AFN - 0%AGR+100%AGN: 100% agregado fino reciclado, 0% agregado fino normal, 0% agregado grueso reciclado y 100% agregado grueso normal.
- 100%AFR+0%AFN - 100%AGR+0%AGN: 100% agregado fino reciclado, 0% agregado fino normal, 100% agregado grueso reciclado y 0% agregado grueso normal.

Las tablas 53 hasta la 63, muestran los resultados de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto en  $\text{kg/cm}^2$ , su promedio y porcentaje alcanzado con respecto a la resistencia de diseño.

Los datos de origen de los resultados que se muestran, están en el Anexo 6.

**Tabla 53**

*Resistencia a la compresión 0%AFR+100%AFN - 0%AGR+100%AGN*

Descripción	Resistencia de diseño ( $\text{kg/cm}^2$ )	Edad (días)	Área ( $\text{cm}^2$ )	Lectura dial (kg)	Resistencia ( $\text{kg/cm}^2$ )	Resistencia promedio ( $\text{kg/cm}^2$ )	% promedio
0%AFR-0%AGR-1	210	7	77.89	13741.24	176.42		
0%AFR-0%AGR-2	210	7	77.72	14180.25	182.45	<b>177.63</b>	<b>84.59%</b>
0%AFR-0%AGR-3	210	7	77.79	13537.53	174.03		
0%AFR-0%AGR-4	210	14	78.04	16926.24	216.89		
0%AFR-0%AGR-5	210	14	77.35	16997.33	219.75	<b>215.63</b>	<b>102.68%</b>
0%AFR-0%AGR-6	210	14	78.16	16433.85	210.26		
0%AFR-0%AGR-7	210	28	77.56	17754.44	228.91		
0%AFR-0%AGR-8	210	28	78.10	18541.86	237.41	<b>234.82</b>	<b>111.82%</b>
0%AFR-0%AGR-9	210	28	78.24	18632.54	238.15		



**Tabla 54**

*Resistencia a la compresión 0%AFR+100%AFN - 100%AGR+0%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
0%AFR-100%AGR-1	210	7	77.46	12339.07	159.30		
0%AFR-100%AGR-2	210	7	77.85	12137.17	155.90	<b>157.13</b>	<b>74.82%</b>
0%AFR-100%AGR-3	210	7	78.15	12206.00	156.19		
0%AFR-100%AGR-4	210	14	77.91	14598.09	187.37		
0%AFR-100%AGR-5	210	14	78.07	15443.65	197.82	<b>191.60</b>	<b>91.24%</b>
0%AFR-100%AGR-6	210	14	77.55	14703.49	189.60		
0%AFR-100%AGR-7	210	28	78.04	17097.58	219.09		
0%AFR-100%AGR-8	210	28	78.14	17050.16	218.20	<b>216.36</b>	<b>103.03%</b>
0%AFR-100%AGR-9	210	28	78.28	16579.05	211.79		

**Tabla 55**

*Resistencia a la compresión 25%AFR+75%AFN - 25%AGR+75%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
25%AFR-25%AGR-1	210	7	77.85	14340.23	184.20		
25%AFR-25%AGR-2	210	7	77.95	14231.41	182.57	<b>181.76</b>	<b>86.55%</b>
25%AFR-25%AGR-3	210	7	78.06	13933.39	178.50		
25%AFR-25%AGR-4	210	14	77.63	17037.92	219.48		
25%AFR-25%AGR-5	210	14	77.85	16842.45	216.34	<b>219.90</b>	<b>104.71%</b>
25%AFR-25%AGR-6	210	14	77.68	17391.75	223.89		
25%AFR-25%AGR-7	210	28	77.75	18885.87	242.91		
25%AFR-25%AGR-8	210	28	78.12	19942.30	255.28	<b>244.89</b>	<b>116.61%</b>
25%AFR-25%AGR-9	210	28	77.93	18428.59	236.48		

**Tabla 56***Resistencia a la compresión 25%AFR+75%AFN - 50%AGR+50%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
25%AFR-50%AGR-1	210	7	78.26	13089.24	167.25		
25%AFR-50%AGR-2	210	7	77.53	12792.62	165.00	<b>164.74</b>	<b>78.45%</b>
25%AFR-50%AGR-3	210	7	78.06	12642.85	161.96		
25%AFR-50%AGR-4	210	14	77.75	15954.88	205.21		
25%AFR-50%AGR-5	210	14	77.98	16474.67	211.27	<b>207.50</b>	<b>98.81%</b>
25%AFR-50%AGR-6	210	14	77.92	16052.25	206.01		
25%AFR-50%AGR-7	210	28	77.32	18105.26	234.16		
25%AFR-50%AGR-8	210	28	77.92	18278.53	234.58	<b>237.64</b>	<b>113.16%</b>
25%AFR-50%AGR-9	210	28	78.10	19069.99	244.17		

**Tabla 57***Resistencia a la compresión 25%AFR+75%AFN - 75%AGR+25%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
25%AFR-50%AGR-1	210	7	78.14	11855.91	151.73		
25%AFR-50%AGR-2	210	7	77.88	11910.00	152.93	<b>151.99</b>	<b>72.38%</b>
25%AFR-50%AGR-3	210	7	78.02	11805.01	151.31		
25%AFR-50%AGR-4	210	14	77.93	15056.82	193.21		
25%AFR-50%AGR-5	210	14	77.93	14569.31	186.95	<b>192.71</b>	<b>91.77%</b>
25%AFR-50%AGR-6	210	14	77.78	15398.75	197.98		
25%AFR-50%AGR-7	210	28	77.90	17472.87	224.30		
25%AFR-50%AGR-8	210	28	78.07	17708.31	226.83	<b>221.65</b>	<b>105.55%</b>
25%AFR-50%AGR-9	210	28	77.73	16620.23	213.82		



**Tabla 58***Resistencia a la compresión 50%AFR+50%AFN - 25%AGR+75%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
50%AFR-25%AGR-1	210	7	77.70	13387.23	172.29		
50%AFR-25%AGR-2	210	7	78.06	12814.42	164.16	<b>167.37</b>	<b>79.70%</b>
50%AFR-25%AGR-3	210	7	77.99	12919.26	165.65		
50%AFR-25%AGR-4	210	14	77.96	16116.99	206.73		
50%AFR-25%AGR-5	210	14	77.98	15787.07	202.45	<b>207.15</b>	<b>98.64%</b>
50%AFR-25%AGR-6	210	14	77.80	16513.84	212.26		
50%AFR-25%AGR-7	210	28	77.88	19040.83	244.49		
50%AFR-25%AGR-8	210	28	77.85	19154.78	246.05	<b>245.24</b>	<b>116.78%</b>
50%AFR-25%AGR-9	210	28	77.23	18935.99	245.19		

**Tabla 59***Resistencia a la compresión 50%AFR+50%AFN - 50%AGR+50%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
50%AFR-50%AGR-1	210	7	77.70	13895.57	178.84		
50%AFR-50%AGR-2	210	7	77.39	14303.29	184.82	<b>182.55</b>	<b>86.93%</b>
50%AFR-50%AGR-3	210	7	77.73	14301.79	183.99		
50%AFR-50%AGR-4	210	14	78.16	17098.19	218.76		
50%AFR-50%AGR-5	210	14	77.67	16976.52	218.57	<b>219.79</b>	<b>104.66%</b>
50%AFR-50%AGR-6	210	14	77.68	17247.08	222.03		
50%AFR-50%AGR-7	210	28	77.37	18287.59	236.37		
50%AFR-50%AGR-8	210	28	77.88	19140.51	245.77	<b>242.34</b>	<b>115.40%</b>
50%AFR-50%AGR-9	210	28	77.89	19073.05	244.87		

**Tabla 60***Resistencia a la compresión 50%AFR+50%AFN - 75%AGR+25%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
50%AFR-75%AGR-1	210	7	77.81	12379.80	159.10		
50%AFR-75%AGR-2	210	7	77.96	12609.20	161.74	<b>159.29</b>	<b>75.85%</b>
50%AFR-75%AGR-3	210	7	77.60	12186.63	157.04		
50%AFR-75%AGR-4	210	14	77.57	15288.21	197.09		
50%AFR-75%AGR-5	210	14	77.93	15334.94	196.78	<b>197.94</b>	<b>94.26%</b>
50%AFR-75%AGR-6	210	14	77.71	15537.94	199.95		
50%AFR-75%AGR-7	210	28	77.89	18172.03	233.30		
50%AFR-75%AGR-8	210	28	77.98	19051.88	244.32	<b>237.16</b>	<b>112.93%</b>
50%AFR-75%AGR-9	210	28	78.03	18249.00	233.87		

**Tabla 61***Resistencia a la compresión 75%AFR+25%AFN - 75%AGR+25%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
75%AFR-75%AGR-1	210	7	77.46	13086.10	168.94		
75%AFR-75%AGR-2	210	7	77.77	13092.13	168.34	<b>168.65</b>	<b>80.31%</b>
75%AFR-75%AGR-3	210	7	77.84	13128.35	168.66		
75%AFR-75%AGR-4	210	14	77.90	16483.69	211.60		
75%AFR-75%AGR-5	210	14	78.07	16372.52	209.72	<b>212.09</b>	<b>101.00%</b>
75%AFR-75%AGR-6	210	14	77.83	16730.19	214.96		
75%AFR-75%AGR-7	210	28	78.04	18867.76	241.77		
75%AFR-75%AGR-8	210	28	78.06	18878.33	241.84	<b>241.03</b>	<b>114.78%</b>
75%AFR-75%AGR-9	210	28	77.81	18633.84	239.48		



**Tabla 62**

*Resistencia a la compresión 100%AFR+0%AFN - 0%AGR+100%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
100%AFR-0%AGR-1	210	7	77.87	12879.34	165.40		
100%AFR-0%AGR-2	210	7	77.57	12363.20	159.38	<b>162.10</b>	<b>77.19%</b>
100%AFR-0%AGR-3	210	7	77.76	12560.90	161.53		
100%AFR-0%AGR-4	210	14	77.95	16976.70	217.79		
100%AFR-0%AGR-5	210	14	78.06	16287.72	208.66	<b>213.78</b>	<b>101.80%</b>
100%AFR-0%AGR-6	210	14	77.98	16756.33	214.88		
100%AFR-0%AGR-7	210	28	77.49	19411.07	250.50		
100%AFR-0%AGR-8	210	28	77.52	19214.88	247.87	<b>249.38</b>	<b>118.75%</b>
100%AFR-0%AGR-9	210	28	77.58	19376.36	249.76		

**Tabla 63**

*Resistencia a la compresión 100%AFR+0%AFN - 100%AGR+0%AGN.*

Descripción	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% promedio
100%AFR-100%AGR-1	210	7	77.87	11973.51	153.76		
100%AFR-100%AGR-2	210	7	77.96	12399.75	159.05	<b>157.72</b>	<b>75.10%</b>
100%AFR-100%AGR-3	210	7	77.62	12446.25	160.35		
100%AFR-100%AGR-4	210	14	78.18	15206.05	194.50		
100%AFR-100%AGR-5	210	14	78.15	15266.49	195.35	<b>196.71</b>	<b>93.67%</b>
100%AFR-100%AGR-6	210	14	77.77	15576.69	200.29		
100%AFR-100%AGR-7	210	28	78.13	17472.32	223.63		
100%AFR-100%AGR-8	210	28	77.81	16918.62	217.44	<b>222.62</b>	<b>106.01%</b>
100%AFR-100%AGR-9	210	28	77.48	17571.75	226.79		

En la tabla 64, se presenta un resumen de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto, con el fin de facilitar la comparación y así seleccionar la combinación más adecuada.

**Tabla 64**

*Resumen de resistencias obtenidas en la etapa de selección de la mejor combinación de agregados.*

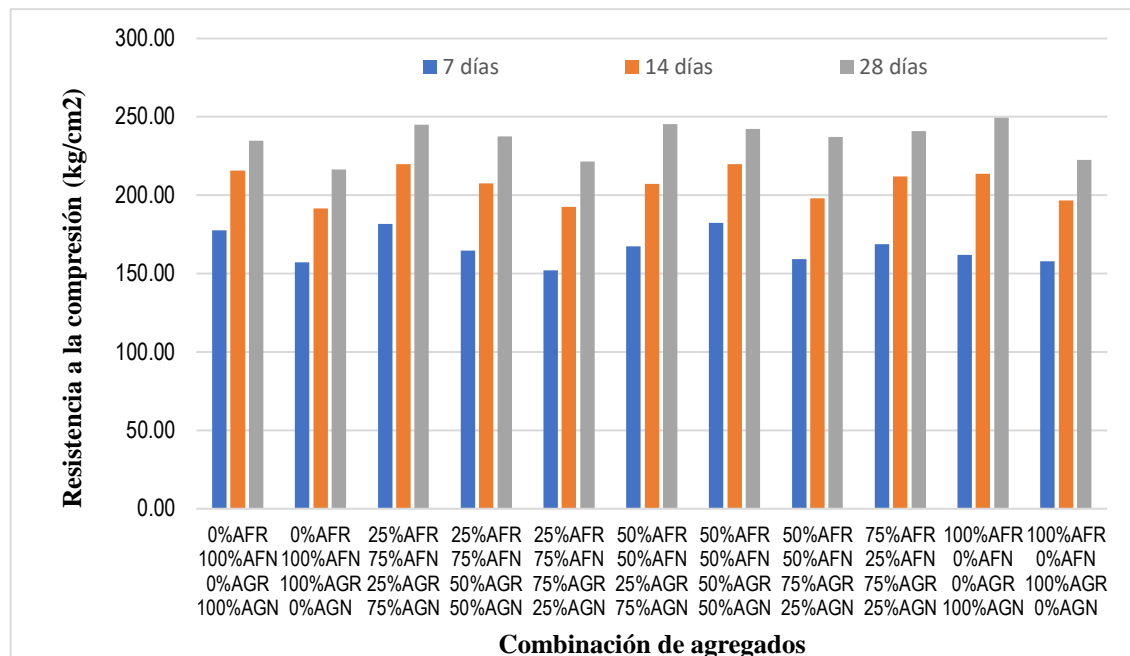
Descripción	7 días (kg/cm <sup>2</sup> )	14 días (kg/cm <sup>2</sup> )	28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
0% AFR+100% AFN - 0% AGR+100% AGN	177.63	215.63	234.82
0% AFR+100% AFN - 100% AGR+0% AGN	157.13	191.60	216.36
25% AFR+75% AFN - 25% AGR+75% AGN	181.76	219.90	244.89
25% AFR+75% AFN - 50% AGR+50% AGN	164.74	207.50	237.64
25% AFR+75% AFN - 75% AGR+25% AGN	151.99	192.71	221.65
50% AFR+50% AFN - 25% AGR+75% AGN	167.37	207.15	245.24
50% AFR+50% AFN - 50% AGR+50% AGN	182.55	219.79	242.34
50% AFR+50% AFN - 75% AGR+25% AGN	159.29	197.94	237.16
75% AFR+25% AFN - 75% AGR+25% AGN	168.65	212.09	241.03
100% AFR+0% AFN - 0% AGR+100% AGN	162.10	213.78	249.38
100% AFR+0% AFN - 100% AGR+0% AGN	157.72	196.71	222.62

Nota. Resumen de resistencias a la compresión a diferentes combinaciones de agregado.

De acuerdo con los datos de la Tabla 64, se puede precisar que, para los 28 días, la combinación 100% AFR+0% AFN - 0% AGR+100% AGN es la que adquiere más alta resistencia a la compresión obteniendo un valor de 249.38 kg/cm<sup>2</sup>, superando incluso a la resistencia del concreto patrón (0% AFR+100% AFN - 0% AGR+100% AGN) la cual tuvo una resistencia de 234.82 kg/cm<sup>2</sup>; al otro extremo, la combinación 0% AFR+100% AFN - 100% AGR+0% AGN presenta la menor resistencia de 216.36 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, es importante destacar que todas estas superaron a la resistencia de diseño  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 51**

*Representación gráfica de las resistencias obtenidas a diferentes edades y diferentes combinaciones de agregados.*



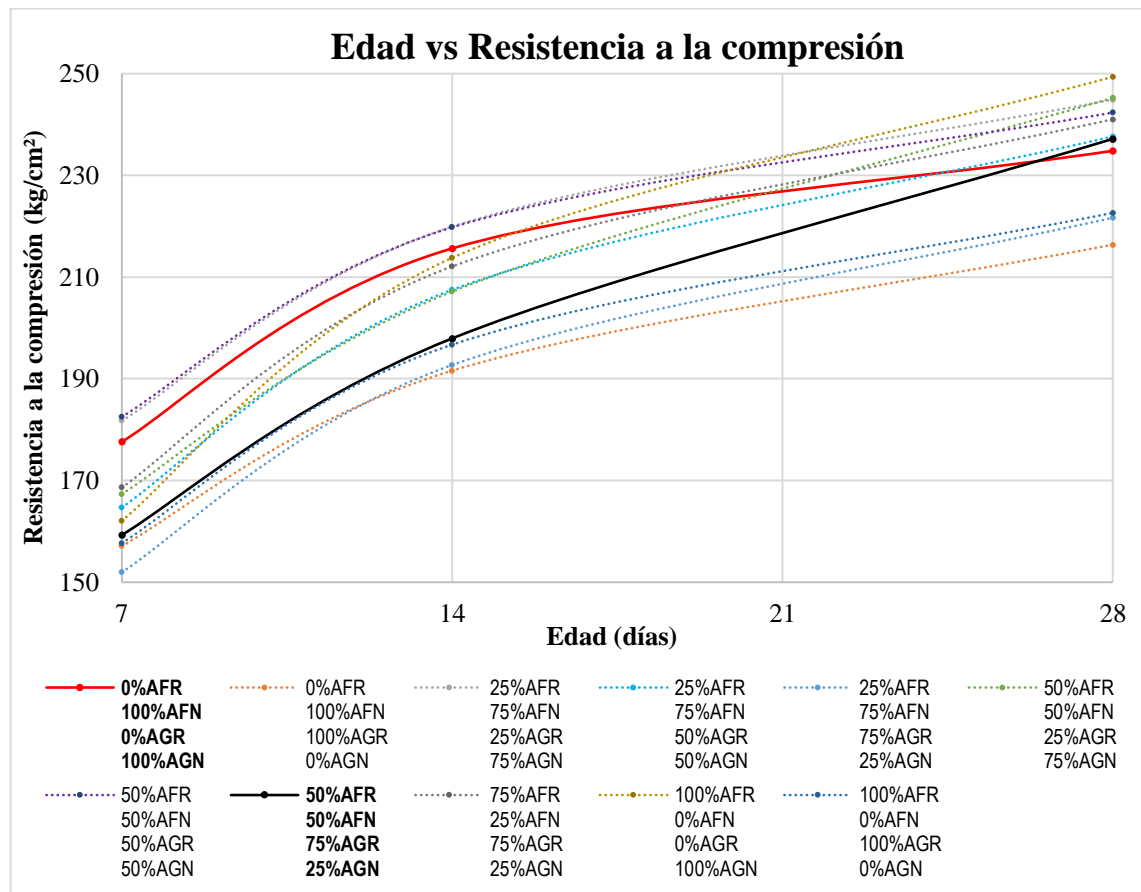
Nota: cuadro de barras de resistencias a 7,14 y 28 días.

De la Figura 51, se puede apreciar un patrón que refiere que el agregado fino reciclado tiene un aporte positivo a la resistencia a la compresión del concreto, ya que, al incrementar el porcentaje de este, se obtiene mayores resistencias. Sin embargo, el comportamiento del agregado grueso reciclado es contrario, ya que las resistencias obtenidas disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de combinación.

En la Figura 52 se presenta la evolución de las resistencias del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días, la curva de color rojo corresponde a la mezcla patrón, es decir, el concreto elaborado con agregados normales 0%AFR+100%AFN - 0%AGR+100%AGN y la curva de color negro corresponde a la combinación de 50%AFR+50%AFN - 75%AGR+25%AGN, se observa que es la mejor en desarrollar resistencias a la edad de 28 días.

**Figura 52**

*Curvas de desarrollo de resistencias del concreto*



Nota: Evolución de resistencias del concreto.

Cabe señalar que, para la elaboración del concreto en esta investigación, los agregados finos reciclados han permanecido saturados con un contenido de humedad similar al porcentaje de absorción del mismo, y que el agregado grueso reciclado ha sido sumergido 24 horas antes de la elaboración de la mezcla, con el fin de contrarrestar la variación de la relación agua/cemento efectivo, ya que los agregados reciclados presentan un alto porcentaje de absorción.

Con lo expuesto, se puede inferir que debido a ello las variaciones en las resistencias a la compresión no son sustancialmente significativas, ya que la diferencia máxima es de 33.02 kg/cm<sup>2</sup> y que todas las combinaciones superan a la resistencia de diseño. No obstante, es necesario considerar la consistencia del



concreto, ya que, con esta práctica, el asentamiento medido con el cono de Abrams disminuye a medida que aumenta el porcentaje de agregados reciclados.

#### 4.3.1.1. Análisis estadístico objetivo N° 1

Para realizar el análisis estadístico inferencial requerido para el nivel de investigación de la presente tesis iniciamos con:

##### 4.3.1.1.1. Prueba de normalidad

Para realizar la prueba de normalidad se utiliza la prueba de Shapiro - Wilk o la prueba de Kolmogorov – Smirnov. La primera cuando el número de datos es inferior o igual a 50 y la segunda cuando es mayor de 50 datos, para el caso se utiliza la de Shapiro – Wilk, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis estadística.

##### 4.3.1.1.1.1. Planteamiento de la hipótesis estadística

Como se quiere determinar estadísticamente la normalidad de los datos obtenidos la configuración sería la siguiente.

- **H0:**  $p\text{-valor} > \text{significancia}$  → los datos poseen una distribución normal.
- **H1:**  $p\text{-valor} < \text{significancia}$  → los datos no poseen una distribución normal.

Donde el valor de la significancia es de 0.05, con una confiabilidad de 95%.

#### 4.3.1.1.1.2. Análisis estadístico con la prueba de Shapiro – Wilk

Para realizar este análisis primero definimos los datos obtenidos el cual es el siguiente:

**Tabla 65**

*Cuadro de resistencias a diferentes combinaciones de agregados.*

	<b>GR1</b>	<b>GR2</b>	<b>GR3</b>	<b>GR4</b>	<b>GR5</b>
<b>FR1</b>	234.82	232.37	229.27	218.56	216.36
<b>FR2</b>	246.82	244.89	237.64	221.65	217.51
<b>FR3</b>	248.14	245.24	242.34	237.16	220.14
<b>FR4</b>	248.76	245.59	243.71	241.03	221.38
<b>FR5</b>	249.38	247.64	245.89	244.90	222.62

Nota. En la tabla se observa un cuadro de doble entrada donde se muestra las resistencias a la compresión y el porcentaje en reemplazo en interacción.

- FR1: Diseño con 0% Fino Reciclado.
- FR2: Diseño con 25% Fino Reciclado.
- FR3: Diseño con 50% Fino Reciclado.
- FR4: Diseño con 75% Fino Reciclado.
- FR5: Diseño con 100% Fino Reciclado.
- GR1: Diseño con 0% Grueso Reciclado.
- GR2: Diseño con 25% Grueso Reciclado.
- GR3: Diseño con 50% Grueso Reciclado.
- GR4: Diseño con 75% Grueso Reciclado.
- GR5: Diseño con 100% Grueso Reciclado.



Primeramente, realizamos la prueba de normalidad para las resistencias obtenidas bajo influencia del agregado fino reciclado.

**Tabla 66**

*Cálculo estadístico de Shapiro – Wilk, para el agregado grueso reciclado.*

<b>Prueba de normalidad</b>				
	<b>Grueso Reciclado</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
		<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. “p”</b>
<b>Fino reciclado</b>	GR1	,879	5	,305
	GR2	,874	5	,283
	GR3	,859	5	,226
	GR4	,793	5	,071
	GR5	,701	5	,010

Nota. En la tabla se puede observar el cálculo estadístico realizado mediante el programa IBM SPSS.

Como se puede observar en la tabla 66, los valores p para cada grupo de análisis del concreto a diferentes porcentajes de agregado grueso, para analizar la normalidad de cada grupo.

Seguidamente se realiza la prueba de normalidad para las resistencias obtenidas bajo la influencia del agregado grueso reciclado.

**Tabla 67**

*Cálculo estadístico de Shapiro – Wilk, para el agregado fino reciclado.*

<b>Prueba de normalidad</b>				
	<b>Fino Reciclado</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
		<b>Estadístico</b>	<b>gl.</b>	<b>Sig. “p”</b>
<b>Grueso reciclado</b>	FR1	,879	5	,305
	FR2	,874	5	,283
	FR3	,859	5	,226
	FR4	,793	5	,071
	FR5	,701	5	,010

Nota: en la tabla se observa el análisis estadístico para la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk.



En la tabla 67, se muestra los valores de “p” para cada grupo de análisis de concreto elaborado con agregado fino a diferentes porcentajes de combinación, para analizar la normalidad de cada grupo.

#### 4.3.1.1.1.3. Decisión de análisis

De acuerdo a la hipótesis estadística y el valor de la significancia de 0.05 tenemos el siguiente criterio.

- **H0:** p-valor > significancia → los datos poseen una distribución normal.
- **H1:** p-valor < significancia → los datos no poseen una distribución normal.

Para los grupos de agregados gruesos a diferentes porcentajes de combinación, afectados por la adición de agregado fino a diferentes porcentajes, según el valor p de la tabla 66 y tomando el criterio, 4 de los datos se encuentran dentro de la distribución normal, sin embargo, 1 dato no cumple con la distribución normal por lo cual para este grupo de datos se tomará como si no cumplieran todas con la distribución normal, sugiriendo para el análisis una prueba no paramétrica.

Para los grupos de concretos con agregados finos a diferentes porcentajes de combinación afectados por la adición de agregado grueso a diferentes porcentajes de combinación, según la tabla 67 y de acuerdo al criterio de análisis, 3 de los datos cumplen con una distribución normal y 2 no cumplen, por lo cual el grupo de datos se tomará como si no cumpliera la distribución normal, y se sugiere utilizar pruebas no paramétricas para el análisis estadístico de la influencia.

#### 4.3.1.1.4. Análisis no paramétrico de varios datos por el método de Kruskal-Wallis

De acuerdo a la prueba de normalidad al tener datos que no se encuentran dentro de una distribución normal, se optó por realizar una prueba no paramétrica denominada Kruskal-Wallis.

Se realiza un análisis para la influencia de la adición en porcentajes de agregado grueso reciclado en concreto elaborado con agregados finos reciclados.

Tomando los mismos datos para el análisis de normalidad realizamos la prueba de Kruskal – Wallis para varios datos el cual nos brinda el siguiente cuadro.

**Tabla 68**

*Cálculo estadístico de Kruskal - Wallis, para el agregado grueso reciclado.*

Prueba de Kruskal - Wallis			
N° de datos	Estadístico de contraste	Grados de libertad	Sig. asintótica (P – Valor)
25	7.54	4	0.110

Nota: la tabla muestra el cálculo realizado mediante el programa IBM SPSS.

Para la prueba de hipótesis se formula lo siguiente:

- **H0:** P - Valor > Significancia →.la combinación en proporción de agregados gruesos no afecta significativamente en la resistencia a la compresión.

- **H1:** P - Valor > Significancia →.la combinación en proporción de agregados gruesos afecta significativamente en la resistencia a la compresión.

Para una significancia de 0.05 con una confiabilidad de 95% se concluye que la adición de agregado grueso reciclado en proporciones no afecta la resistencia a la compresión de concreto con agregados reciclado a diferentes porcentajes de combinación, aceptando así la H0.

Se realiza un análisis para la influencia de la adición en porcentajes de agregado fino reciclado en concreto elaborado con agregados gruesos reciclados.

Tomando los mismos datos para el análisis de normalidad realizamos el análisis estadístico de Kruskal – Wallis, el cual se muestra a continuación.

### Tabla 69

*Calculo estadístico de Kruskal - Wallis, para el agregado fino reciclado.*

Prueba de Kruskal - Wallis			
N° de datos	Estadístico de contraste	Grados de libertad	Sig. asintótica (P – Valor)
25	15.367	4	0.004

Nota: la tabla muestra el análisis de Kruskal – Wallis realizado mediante el programa IBM SPSS.

Para la prueba de hipótesis se formula lo siguiente:

- **H0:** P - Valor > Significancia →.la combinación en proporción de agregados finos no afecta significativamente en la resistencia a la compresión.

- **H1:** P - Valor > Significancia → la combinación en proporción de agregados finos afecta significativamente en la resistencia a la compresión.

Para una significancia de 0.05 con una confiabilidad de 95% se concluye que la adición de agregado fino reciclado en proporciones afecta la resistencia a la compresión de concreto con agregados grueso reciclado a diferentes porcentajes de combinación, aceptando la hipótesis alternativa.

#### 4.3.1.2. Análisis de correlación de Pearson

El análisis de correlación de Pearson se analizará para FR1 y GR1, ya que estos son los que representan más a cada grupo, y ambos poseen distribución normal.

##### 4.3.1.2.1. Agregado fino reciclado

**Tabla 70**

*Datos para hacer un análisis de correlación de Pearson para el agregado fino reciclado.*

<b>f'c kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje en reemplazo X</b>	<b>Resistencia 28 días Yi, kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>X<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>Y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>X<sub>i</sub>*Y<sub>i</sub></b>
210.00	0%	234.82	0.00	55141.20	0.00
210.00	25%	246.82	0.06	60920.11	61.71
210.00	50%	248.14	0.25	61573.46	124.07
210.00	75%	248.76	0.56	61881.54	186.57
210.00	100%	249.38	1.00	62190.38	249.38
Total	2.50	1227.92	1.88	301706.70	621.73

De acuerdo a los datos obtenidos se aplica la siguiente fórmula.

$$r = \frac{n(\sum X_i * Y_i) - (\sum X_i) * (\sum Y_i)}{\sqrt{n * (\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} * \sqrt{n * (\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2}}$$

$$r = \frac{5 * 621.73 - 2.50 * 1227.92}{\sqrt{5 * 1.88 - 2.5^2} * \sqrt{5 * 301706.70 - 1227.92^2}}$$

$$r = 0.8062$$

De acuerdo al análisis de Pearson podemos observar que, según el coeficiente de correlación “r” el agregado fino reciclado tiene una correlación directa, lo que significa que a medida que se reemplaza el agregado fino en la mezcla este tiende a aumentar la resistencia a la compresión.

#### 4.3.1.2.2. Agregado grueso reciclado

**Tabla 71**

*Datos para hacer un análisis de correlación de Pearson para el agregado grueso reciclado.*

f'c kg/cm <sup>2</sup>	Porcentaje en reemplazo X	Resistencia 28 días Yi, kg/cm <sup>2</sup>	Xi <sup>2</sup>	Yi <sup>2</sup>	Xi*Yi
210.00	0%	234.82	0.00	55141.20	0.00
210.00	25%	232.37	0.06	53997.26	58.09
210.00	50%	229.27	0.25	52562.63	114.63
210.00	75%	218.56	0.56	47767.47	163.92
210.00	100%	216.36	1.00	46811.65	216.36
Total	2.50	1131.38	1.88	256280.22	553.00

De acuerdo a los datos obtenidos se aplica la siguiente fórmula.

$$r = \frac{n(\sum X_i * Y_i) - (\sum X_i) * (\sum Y_i)}{\sqrt{n * (\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} * \sqrt{n * (\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2}}$$

$$r = \frac{5 * 553.00 - 2.50 * 1131.38}{\sqrt{5 * 1.88 - 2.5^2} * \sqrt{5 * 256280.22 - 1131.38^2}}$$



$$r = -0.9639$$

De acuerdo al análisis de Pearson, el agregado grueso reciclado tiene una correlación inversa lo cual quiere decir que a medida que el remplazo del agregado grueso reciclado aumenta la resistencia a la compresión disminuye.

Al hacer un análisis se puede observar que el agregado grueso reciclado tiene una influencia mucho más grande que el agregado fino reciclado, viendo que el agregado grueso reciclado reduce la resistencia a medida que se aumenta el remplazo en el diseño, y el agregado fino reciclado aumenta la resistencia a medida que aumenta el reemplazo de esta en la mezcla.

#### **4.3.1.3. Combinación de agregados mediante método gráfico**

Mediante el método de diseño de combinación de agregados – método gráfico, se realizó un diseño para los agregados reciclado fino y reciclado grueso, teniendo las siguientes combinaciones, las que nos permiten usar la máxima cantidad de agregado en reemplazo, cumpliendo las solicitudes del ASTM C33.

### 4.3.1.3.1. Combinación de agregados finos

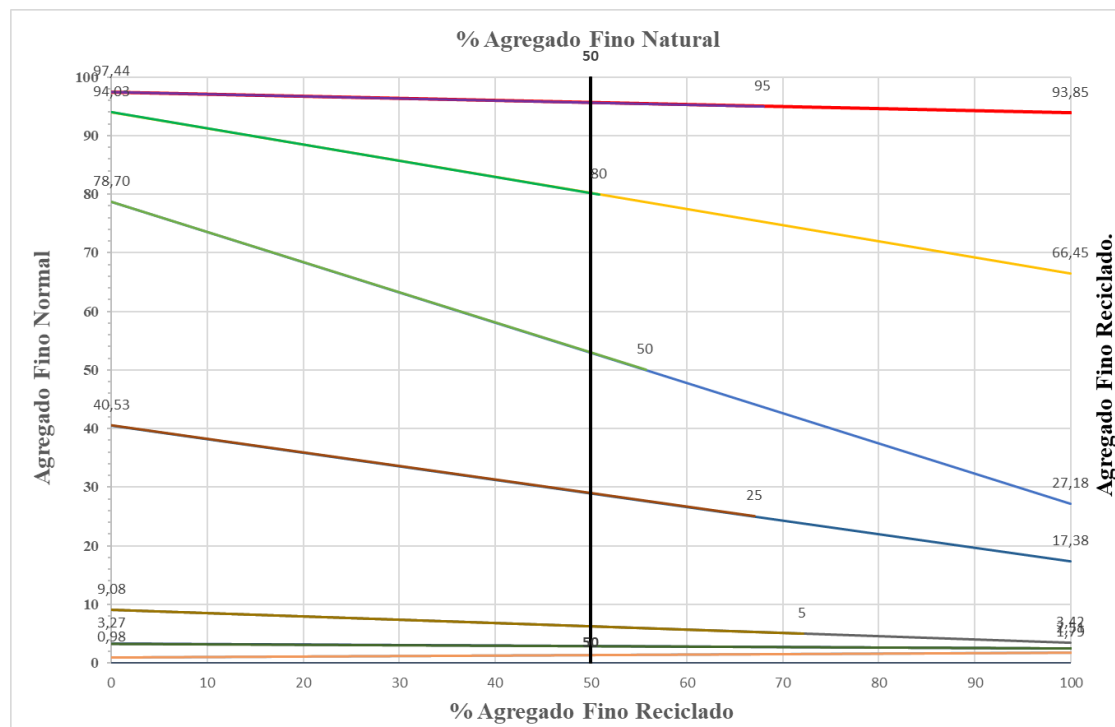
**Tabla 72**

*Datos de porcentaje pasante de material fino para combinación de agregados.*

Combinación de agregados método gráfico						
Abertura de tamices		Mat. AFN%	Mat. AFR%	Especificación		Combinación
ASTM	mm			Mín.	Máx.	
3/8"	9,525			100	100	100,00
No. 4	4,76	97,44	93,85	95	100	95,65
No. 8	2,38	94,03	66,45	80	100	80,24
No. 16	1,19	78,70	27,18	50	85	52,94
No. 30	0,59	40,53	17,38	25	60	28,96
No. 50	0,3	9,08	3,42	5	30	6,25
No. 100	0,149	3,27	2,51	0	10	2,89
No. 200	0,074	0,98	1,79	0	5	1,39
Combinación		<b>50</b>	<b>50</b>			

**Figura 53**

*Diseño gráfico de combinación de agregados.*

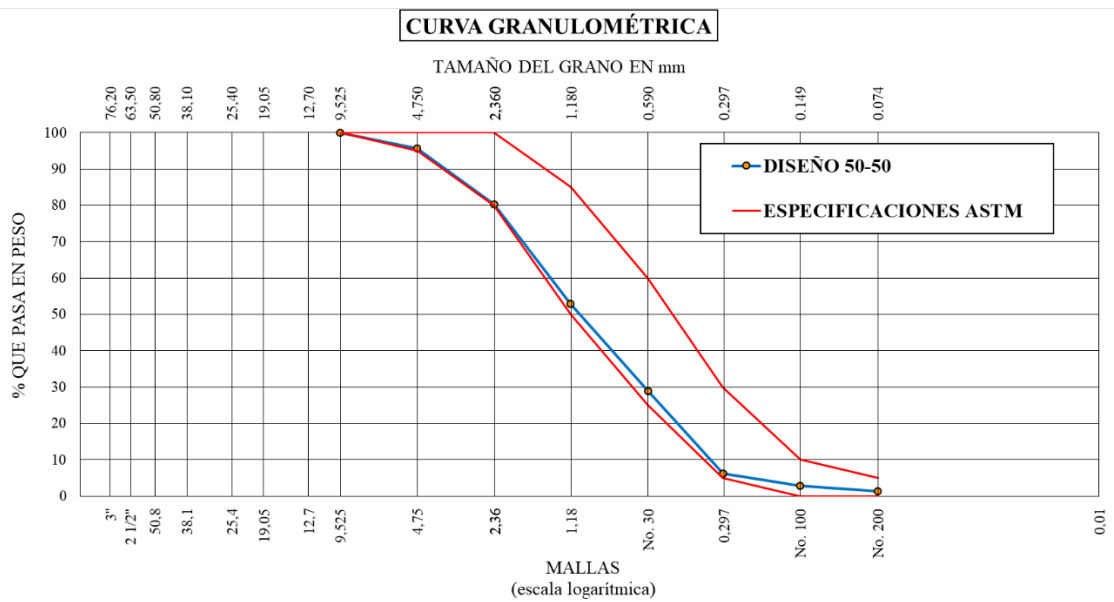


Nota: se aprecia la combinación gráfica de los agregados.



**Figura 54**

*Curva granulométrica de la combinación de agregados a 50% AFR – 50% AFN.*



Nota. La combinación por el método gráfico está dentro de los límites establecidos por el ASTM C33.

En la Tabla 72, Figura 53 y Figura 54, se observa la combinación de agregados en una proporción de 50% AFR y 50% AFN, se seleccionó esta proporción porque nos permite usar el 50% de material y ver que, mediante diseño de mezcla de agregados y ensayos realizados, el material se encuentra dentro de los husos establecidos en el ASTM C33.

### 4.3.1.3.2. Combinación de agregados gruesos

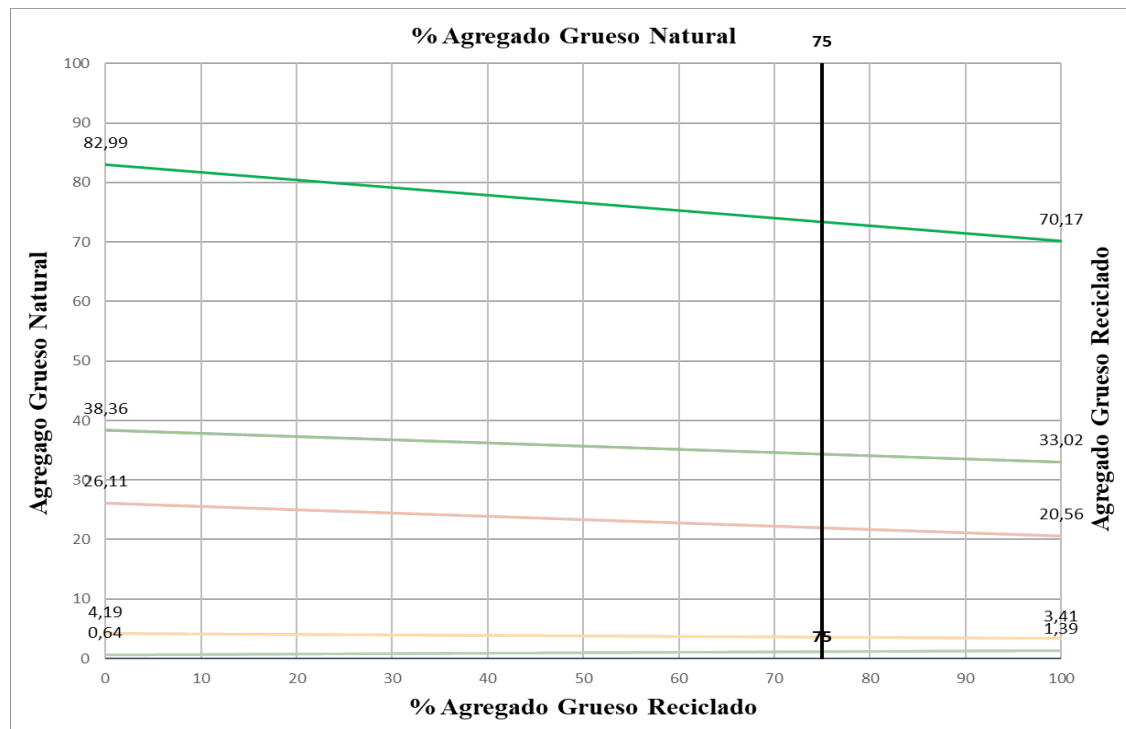
**Tabla 73**

*Datos de porcentaje pasante de material grueso para combinación de agregados.*

Análisis granulométrico						
Abertura de tamices		Mat. AGN %	Mat. AGR %	Especificación		Combinación
ASTM	mm			Mín.	Máx.	
1 1/2"	38,1			100	100	
1"	25,4			95	100	100,00
3/4"	19,05	82,99	70,17	65	85	73,38
1/2"	12,7	38,36	33,02	25	60	34,36
3/8"	9,525	26,11	20,56	18	44	21,95
No. 4	4,75	4,19	3,41	0	10	3,61
No. 8	2,36	0,64	1,39	0	5	1,20
Combinación		<b>25</b>	<b>75</b>			

**Figura 55**

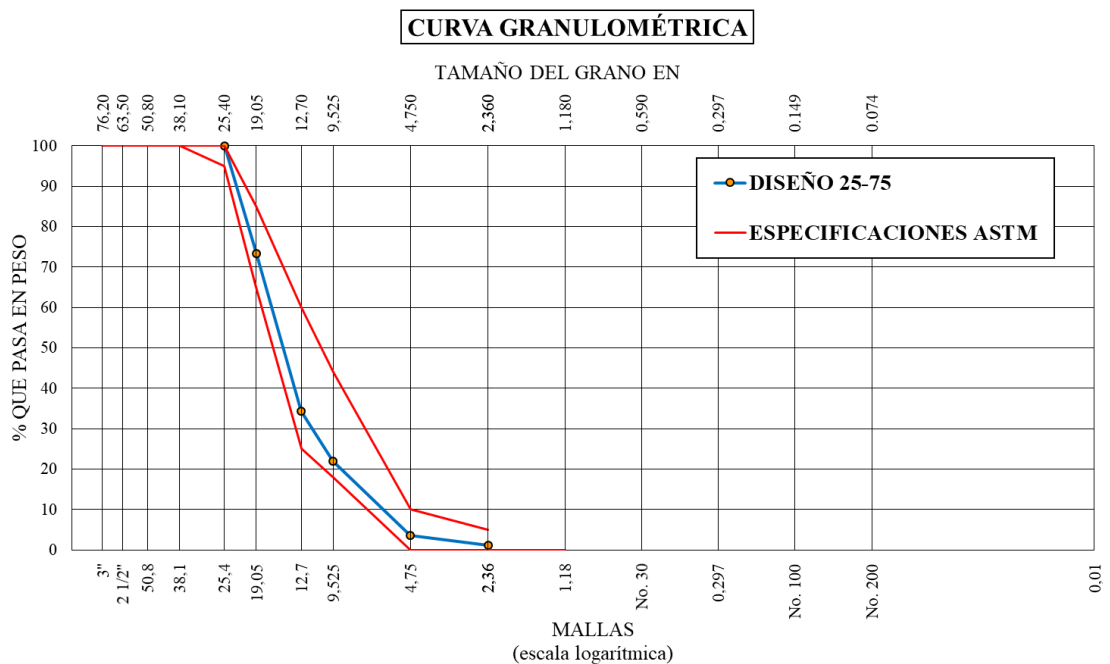
*Método gráfico de diseño de combinación de agregados.*



Nota: se aprecia la combinación gráfica de los agregados gruesos.

**Figura 56**

*Curva granulométrica combinación de agregados de 75% AGR y 25% AGN.*



Nota. La combinación por el método gráfico está dentro de los límites establecidos por el ASTM C33.

En la Tabla 73, Figura 55 y Figura 56, se observa la combinación de agregados en una proporción de 75% AGR y 25% AFN, se seleccionó esta proporción porque es la mayor cantidad de material que es debido usar para no afectar la resistencia a la compresión, todas las combinaciones están dentro de los límites establecidos en el ASTM C33.

Teniendo ello en cuenta se selecciona una proporción que nos permita la utilización de los dos agregados y su reemplazo en mayor medida, y no afectando la resistencia requerida, por lo que según los ensayos a los materiales y las resistencias obtenidas se procede a seleccionar la proporción de 50% agregado fino reciclado y 75% agregado grueso reciclado, siendo este el que nos permite utilizar la mayor cantidad de materiales reciclados sin afectar la resistencia y el cual los ensayos a



sus materiales no difieren mucho de las especificaciones dadas en el ASTM C33.

#### **4.3.2. Resistencia a la compresión en la obtención de la ecuación de estimación de resistencias**

Para la etapa de la obtención de la curva de estimación de resistencias se han elaborado (42) probetas cilíndricas de concreto normal y (42) probetas cilíndricas de concreto con agregados reciclados, cuyas medidas son de 4" de diámetro y 8" de altura, de las cuales (21) han sido sometidos a curado estándar y (21) a curado acelerado (Procedimiento B-método del agua hirviendo) según lo estipulado en la norma.

La NTP 339.213, establece como (6) la cantidad mínima de relaciones agua/cemento, sin embargo, para la presente investigación se ha realizado ensayos para (7) relaciones, tales como: 0.42, 0.46, 0.50, 0.54, 0.58, 0.62 y 0.66. Para cada relación de agua/cemento se ha obtenido una tanda de (6) probetas, (3) sometidos al curado acelerado y (3) al curado estándar.

Por otra parte, los (14) diseños de mezclas elaborados para cada relación agua/cemento y tipo de concreto (concreto normal y concreto con agregados reciclados) se muestran en el Anexo 5.

Los registros de los datos de edad, medidas, resistencias, etc., se muestran en el Anexo 6.

De esta manera, desde la Tabla 69 hasta la Tabla 72, se muestran las resistencias a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto.

### 4.3.2.1. Resistencias del concreto normal

#### 4.3.2.1.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 74**

*Resistencia a la compresión concreto normal-curado acelerado.*

Descripción	Relación agua / cemento	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-0.66-1	0.66	28hrs 25min	77.84	7545.90	96.94	
CN-0.66-2	0.66	28hrs 27min	77.81	7767.18	99.82	<b>96.97</b>
CN-0.66-3	0.66	28hrs 29min	77.93	7337.88	94.16	
CN-0.62-1	0.62	28hrs 34min	77.46	8449.37	109.08	
CN-0.62-2	0.62	28hrs 36min	77.87	8415.72	108.07	<b>108.61</b>
CN-0.62-3	0.62	28hrs 38min	77.94	8470.78	108.68	
CN-0.58-1	0.58	28hrs 40min	78.15	9355.89	119.72	
CN-0.58-2	0.58	28hrs 42min	78.00	9863.71	126.46	<b>122.22</b>
CN-0.58-3	0.58	28hrs 44min	78.45	9451.75	120.48	
CN-0.54-1	0.54	28hrs 31min	77.98	11728.77	150.41	
CN-0.54-2	0.54	28hrs 34min	77.88	11361.68	145.89	<b>147.14</b>
CN-0.54-3	0.54	28hrs 36min	77.58	11257.66	145.11	
CN-0.50-1	0.50	28hrs 32min	77.86	13535.71	173.85	
CN-0.50-2	0.50	28hrs 35min	77.45	13461.27	173.81	<b>170.98</b>
CN-0.50-3	0.50	28hrs 37min	77.93	12880.03	165.28	
CN-0.46-1	0.46	28hrs 28min	77.91	15165.22	194.65	
CN-0.46-2	0.46	28hrs 30min	77.99	15349.79	196.82	<b>193.22</b>
CN-0.46-3	0.46	28hrs 32min	78.01	14681.87	188.20	
CN-0.42-1	0.46	28hrs 25min	77.92	17708.90	227.27	
CN-0.42-2	0.46	28hrs 28min	77.88	17518.88	224.95	<b>225.67</b>
CN-0.42-3	0.46	28hrs 30min	77.67	17460.60	224.80	

Nota: rotura a 28.5 horas concreto normal.

En la Tabla 74, se observa los datos obtenidos de la rotura de las probetas las cuales tienen un curado inicial de 23 horas  $\pm$  30 min,

posteriormente es curado en el tanque de curado acelerado por 3.5 horas  $\pm$  5 min y al sacar del tanque se deja enfriar a temperatura ambiente durante 2 horas, haciendo así un total de 28.5 horas  $\pm$  30 min, todo esto para mezclas de concreto a diferentes relaciones agua cemento, las cuales nos servirán como punto de partida para construir la curva de estimación a edades mayores.

#### 4.3.2.1.2. Especímenes sometidos a curado estándar

**Tabla 75**

*Resistencia a la compresión concreto normal-curado estándar.*

Descripción	Relación agua / cemento	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-0.66-4	0.66	28	77.78	12729.22	163.66	
CN-0.66-5	0.66	28	77.54	12526.57	161.55	<b>163.34</b>
CN-0.66-6	0.66	28	77.65	12798.38	164.82	
CN-0.62-4	0.62	28	77.96	14244.41	182.71	
CN-0.62-5	0.62	28	77.96	14582.80	187.05	<b>186.82</b>
CN-0.62-6	0.62	28	78.10	14893.16	190.69	
CN-0.58-4	0.58	28	78.01	16046.82	205.70	
CN-0.58-5	0.58	28	77.92	15984.71	205.14	<b>206.98</b>
CN-0.58-6	0.58	28	77.80	16345.89	210.10	
CN-0.54-4	0.54	28	77.49	20130.62	259.78	
CN-0.54-5	0.54	28	78.04	19867.11	254.58	<b>255.14</b>
CN-0.54-6	0.54	28	78.07	19601.18	251.07	
CN-0.50-4	0.50	28	77.85	22817.43	293.09	
CN-0.50-5	0.50	28	77.86	22597.35	290.23	<b>289.71</b>
CN-0.50-6	0.50	28	78.04	22303.51	285.80	
CN-0.46-4	0.46	28	77.99	26797.37	343.60	
CN-0.46-5	0.46	28	77.62	25947.74	334.29	<b>337.85</b>
CN-0.46-6	0.46	28	77.47	26002.86	335.65	

Descripción	Relación agua / cemento	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-0.42-4	0.46	28	78.13	30532.64	390.79	
CN-0.42-5	0.46	28	77.87	30008.02	385.36	<b>384.84</b>
CN-0.42-6	0.46	28	77.87	29464.09	378.38	

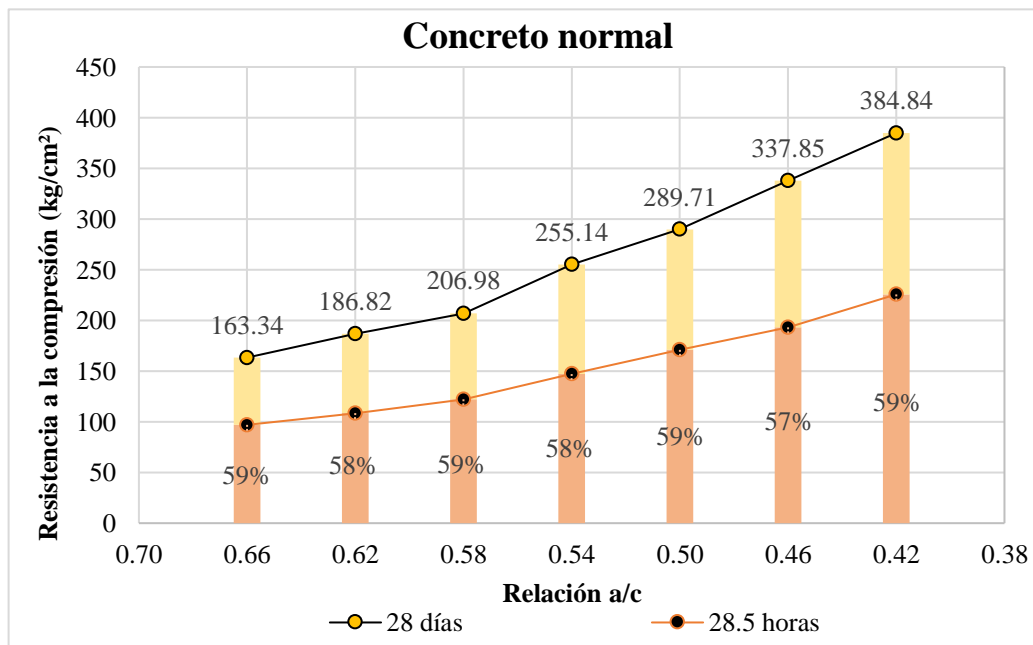
Nota: Rotura a 28 días.

En la Tabla 75, se observa los datos de la tanda de muestras curadas a 28 días, las cuales fueron curadas de manera normal, teniendo los cuidados necesarios para el control de temperatura de la poza de curado.

En la figura 57, se observa la relación entre las resistencias a la compresión del concreto normal a las 28.5 horas como un porcentaje del resultado obtenido a los 28 días, siendo éstos muy aproximados, variando entre 57% y 59%.

**Figura 57**

*Relación de resistencias a las 28.5 horas y 28 días del concreto normal*



Nota: Resistencias a las 28.5 horas como porcentaje de los 28 días de curado.

### 4.3.2.2. Resistencias del concreto con agregados reciclados

#### 4.3.2.2.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 76**

*Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado acelerado.*

Descripción	Relación agua / cemento	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-0.66-1	0.66	28hrs 25min	77.95	6349.77	81.46	
CR-0.66-2	0.66	28hrs 27min	78.00	6273.29	80.43	<b>80.07</b>
CR-0.66-3	0.66	28hrs 29min	77.61	6077.51	78.31	
CR-0.62-1	0.62	28hrs 30min	77.85	6933.05	89.06	
CR-0.62-2	0.62	28hrs 33min	78.00	7284.85	93.40	<b>91.27</b>
CR-0.62-3	0.62	28hrs 35min	78.07	7130.87	91.34	
CR-0.58-1	0.58	28hrs 35min	77.96	8183.22	104.97	
CR-0.58-2	0.58	28hrs 37min	77.46	8541.14	110.27	<b>107.72</b>
CR-0.58-3	0.58	28hrs 40min	77.88	8405.52	107.93	
CR-0.54-1	0.54	28hrs 33min	78.11	10075.55	128.99	
CR-0.54-2	0.54	28hrs 36min	77.99	10128.59	129.87	<b>127.82</b>
CR-0.54-3	0.54	28hrs 38min	78.10	9730.23	124.59	
CR-0.50-1	0.50	28hrs 38min	77.89	11268.88	144.68	
CR-0.50-2	0.50	28hrs 41min	78.21	11447.33	146.37	<b>148.29</b>
CR-0.50-3	0.50	28hrs 43min	78.14	12018.37	153.81	
CR-0.46-1	0.46	28hrs 34min	78.06	13612.19	174.38	
CR-0.46-2	0.46	28hrs 37min	77.98	14028.23	179.90	<b>178.08</b>
CR-0.46-3	0.46	28hrs 40min	77.81	14001.72	179.95	
CR-0.42-1	0.46	28hrs 38min	77.90	17210.77	220.93	
CR-0.42-2	0.46	28hrs 41min	77.96	16728.44	214.58	<b>216.99</b>
CR-0.42-3	0.46	28hrs 44min	77.94	16792.68	215.46	

Nota: rotura a 28.5 horas concreto reciclado.

En la Tabla 76, al igual que en los datos de curado acelerado del concreto normal, tuvo el mismo procedimiento de curado y rotura,



haciendo una tanda de 6 probetas de las cuales 3 fueron sometidas a curado acelerado y los tres restantes a curados normal.

#### 4.3.2.2.2. Especímenes sometidos a curado estándar

**Tabla 77**

*Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado estándar.*

Descripción	Relación agua / cemento	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-0.66-4	0.66	28	78.04	13472.96	172.64	
CR-0.66-5	0.66	28	77.69	13548.30	174.39	<b>171.44</b>
CR-0.66-6	0.66	28	78.08	13061.71	167.29	
CR-0.62-4	0.62	28	77.98	15086.13	193.46	
CR-0.62-5	0.62	28	77.96	15048.07	193.02	<b>197.14</b>
CR-0.62-6	0.62	28	77.87	15958.60	204.94	
CR-0.58-4	0.58	28	78.04	16974.97	217.52	
CR-0.58-5	0.58	28	78.00	17214.77	220.70	<b>221.28</b>
CR-0.58-6	0.58	28	77.62	17513.04	225.63	
CR-0.54-4	0.54	28	78.18	19653.40	251.39	
CR-0.54-5	0.54	28	78.08	19253.73	246.59	<b>249.77</b>
CR-0.54-6	0.54	28	77.59	19501.31	251.34	
CR-0.50-4	0.50	28	77.23	20663.57	267.56	
CR-0.50-5	0.50	28	77.71	21433.37	275.81	<b>272.50</b>
CR-0.50-6	0.50	28	78.13	21416.93	274.12	
CR-0.46-4	0.46	28	78.24	24301.63	310.60	
CR-0.46-5	0.46	28	78.14	24188.81	309.56	<b>313.26</b>
CR-0.46-6	0.46	28	77.97	24921.17	319.63	
CR-0.42-4	0.46	28	78.18	28403.41	363.31	
CR-0.42-5	0.46	28	77.96	27717.11	355.53	<b>358.54</b>
CR-0.42-6	0.46	28	78.21	27904.78	356.79	

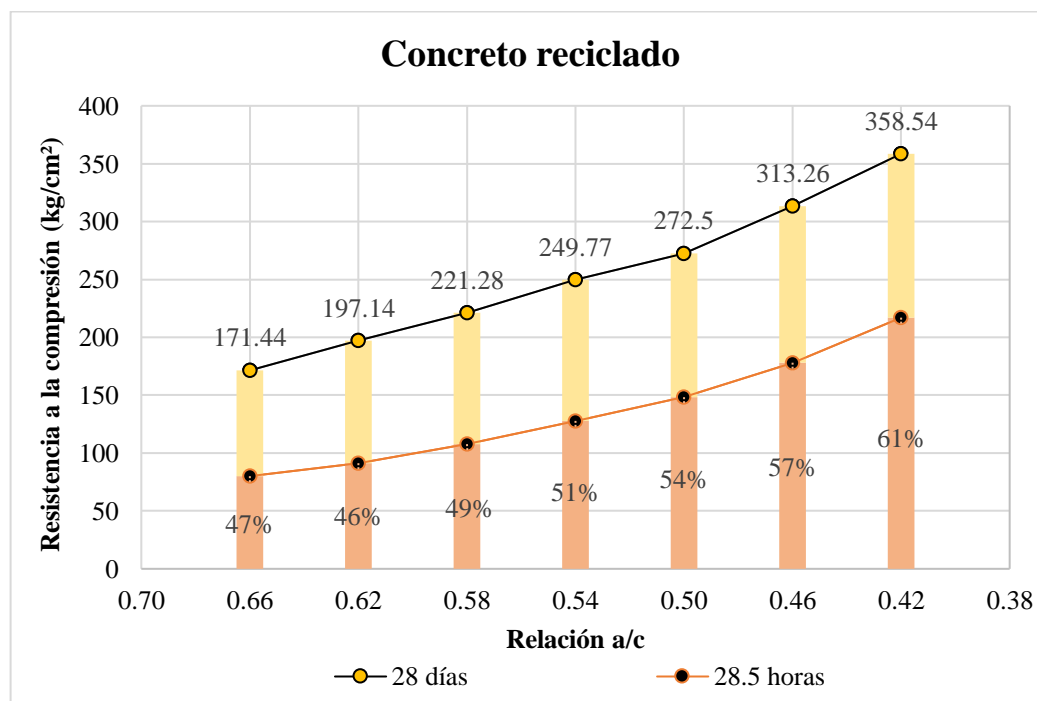
Nota: rotura a 28 días concreto reciclado.

En la Tabla 77, se observa los datos obtenidos a los 28 días de los tres testigos de concreto con agregados reciclados que fueron sometidos a curado normal, teniendo cuidado en el control de temperatura.

En la figura 58, se observa la relación entre las resistencias a la compresión del concreto con agregados reciclados a las 28.5 horas como un porcentaje del resultado obtenido a los 28 días, siendo estos más distantes que los del concreto normal, los valores se encuentran entre 46% y 61%.

**Figura 58**

*Relación de resistencias a las 28.5 horas y 28 días del concreto con agregados reciclados.*

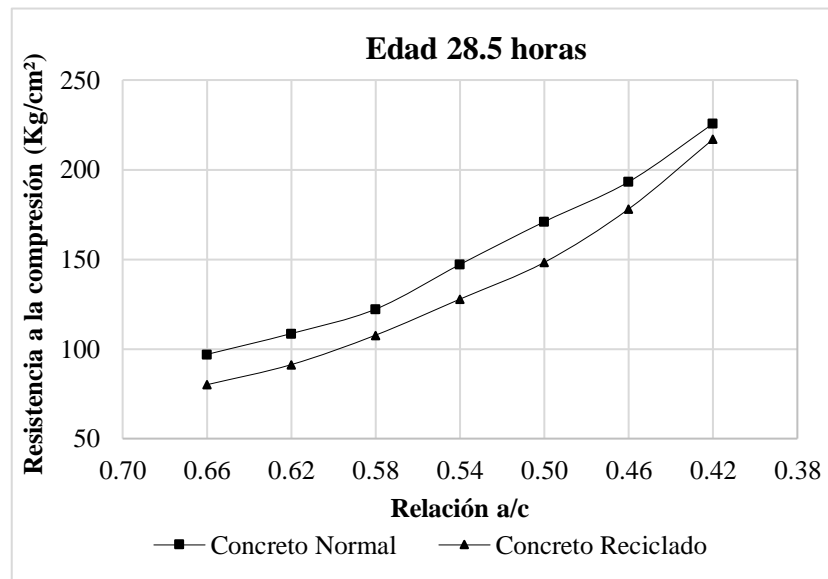


Nota: Resistencias a las 28.5 horas como porcentaje de los 28 días de curado.

En la Figura 59, se puede observar que para todas las relaciones a/c, las resistencias a la compresión del concreto normal a la edad de 28.5 horas son superiores a las del concreto con agregados reciclados.

**Figura 59**

*Curvas de a/c vs resistencias del concreto a las 28.5 horas*

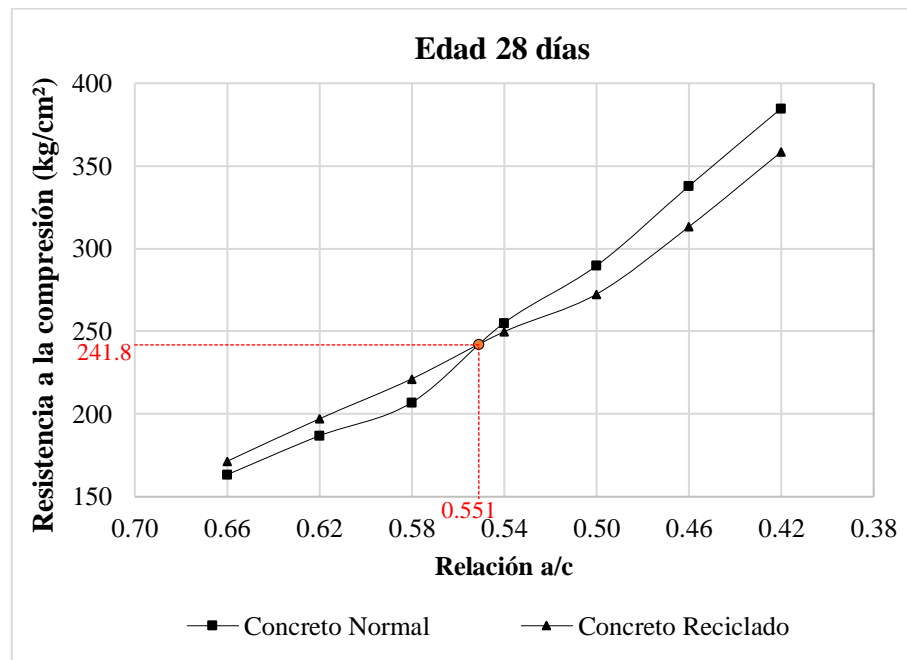


Nota: elaboración propia.

En la Figura 60, se muestra el comportamiento de las resistencias del concreto con agregados reciclados en comparación al normal, esto en la gráfica de relación a/c versus resistencia a la compresión a los 28 días, pudiendo apreciar que para resistencias menores a 241.8 kg/cm<sup>2</sup> el concreto con agregados reciclados presenta mejores resistencias, hecho que se invierte cuando se supera esta resistencia, en donde el concreto normal toma ventaja.

**Figura 60**

*Curvas de a/c vs resistencias del concreto a los 28 días*



Nota: Elaboración propia.

#### 4.3.3. Estimación de resistencia a edades mayores

En este apartado se desarrolla los cálculos para la construcción de las gráficas de estimación de resistencias del concreto normal y concreto con agregados reciclados a los 28 días, tomando como base el análisis estadístico de la NTP 339.213, Para ello, los datos a utilizar son los mostrados en el ítem 4.3.2.

##### 4.3.3.1. Estimación de resistencias del concreto normal

###### 4.3.3.1.1. Ecuación de regresión

Según la (NTP 339.213, 2018, Pag. 26) “En general, el análisis de regresión por mínimos cuadrados será utilizado para conseguir la ecuación de la recta que muestra la relación entre las resistencias de las probetas de concreto sometidos a curado estándar y curado acelerado”



De acuerdo a la Norma se sigue los siguientes procedimientos.

Definir la ecuación

$$Y = a + b * X$$

Donde:

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$b = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}$$

$$S_{XY} = \sum (X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})$$

$$S_{XX} = \sum (X_i - \bar{X})^2$$

$$S_{YY} = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$$

$$\bar{Y} = \sum \frac{Y_i}{n}$$

#### 4.3.3.1.2. Banda de confianza por regresión lineal

$$W_i = S_e * \sqrt{2F} * \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{S_{xx}}}$$

Donde:

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} (S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}})}$$

$n$  = Número de datos disponibles para la elaboración de la curva de predicción.



$F$  = Valor de distribución de Fisher, para 2 y  $n - 2$  grados de libertad y nivel de significancia de 0,10.

De acuerdo a las ecuaciones y los datos anteriormente mostrados

$$\bar{X} = 152.12 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{Y} = 260.67 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_{xy} = 23,066.68 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2$$

$$S_{xx} = 13,308.39 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2$$

$$S_{yy} = 40,058.34 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2$$

$$b = \frac{23066.68 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2}{13308.39 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2}$$

$$b = 1.733$$

$$a = 260.67 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} - 1.733 * 152.12 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$a = -2.987 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Y = -2.987 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 1.733 * X$$

Bandas de confiabilidad.

$$S_e = 3.954 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

**Tabla 78**

*Datos para la proyección de la curva de estimación del concreto normal.*

Relación a/c	Resistencia acelerada $X_i$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia 28 días $Y_i$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia estimada $Y$ , kg/cm <sup>2</sup>	$W_i$ , kg/cm <sup>2</sup>	Límite inferior de confianza kg/cm <sup>2</sup>	Límite superior de confianza kg/cm <sup>2</sup>
0.42	225.67	384.84	388.16	8.06	380.10	396.22
0.46	193.22	337.85	331.92	5.65	326.27	337.56
0.50	170.98	289.71	293.36	4.48	288.89	297.84
0.54	147.14	255.14	252.04	4.14	247.90	256.17

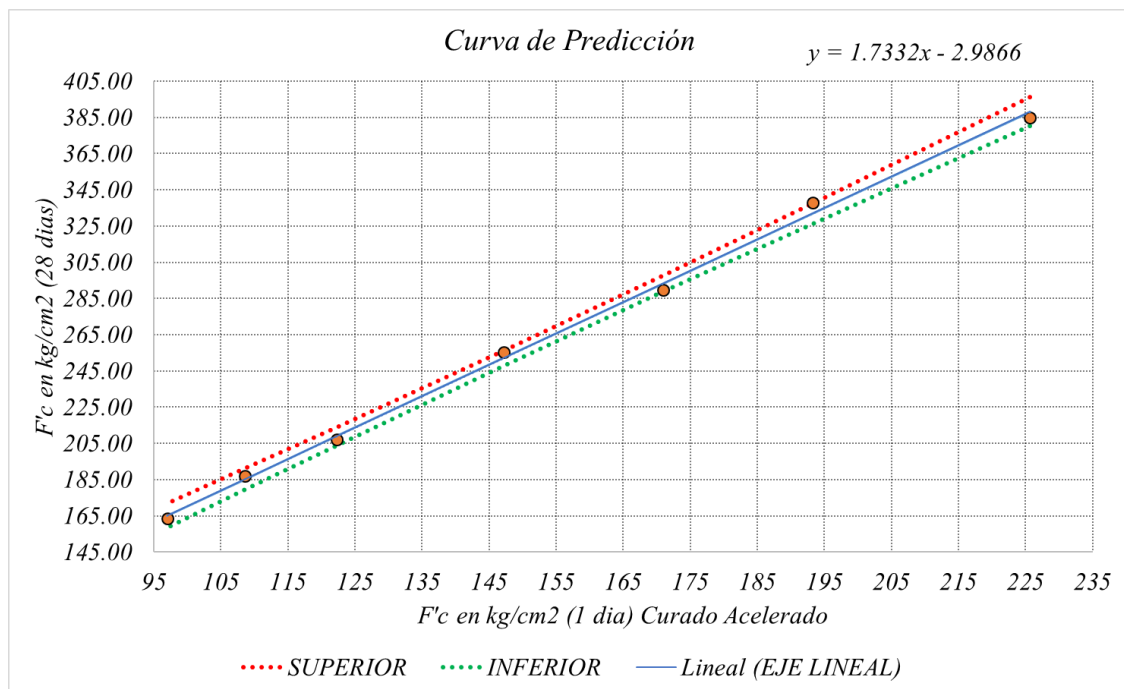
Relación a/c	Resistencia acelerada $X_i$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia 28 días $Y_i$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia estimada $Y$ , kg/cm <sup>2</sup>	$W_i$ , kg/cm <sup>2</sup>	Límite inferior de confianza kg/cm <sup>2</sup>	Límite superior de confianza kg/cm <sup>2</sup>
0.58	122.22	206.98	208.85	4.98	203.87	213.83
0.62	108.61	186.82	185.26	5.80	179.46	191.07
0.66	96.97	163.34	165.09	6.62	158.47	171.72

Nota: Datos calculados para el gráfico.

En la Tabla 78, se observa los datos necesarios para realizar el gráfico de la curva de predicción, como los valores obtenidos a 1 día y 28 días, también los valores de la estimación, así como también el valor para obtener las bandas de confianza  $W_i$ .

**Figura 61**

*Curva de estimación de resistencias del concreto normal.*



Nota. En la figura se observa el eje lineal de la curva de predicción, las bandas de confiabilidad superior e inferior y la ecuación de regresión obtenida mediante cálculo y el programa MS Excel.

#### 4.3.3.1.3. Análisis de correlación de Pearson agregado normal

**Tabla 79**

*Datos para el análisis de correlación de Pearson.*

Relación a/c	Resistencia acelerada Xi, kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia 28 días Yi, kg/cm <sup>2</sup>	Xi <sup>2</sup>	Yi <sup>2</sup>	Xi*Yi
0.42	225.67	384.84	50928.45	148104.39	86848.88
0.46	193.22	337.85	37335.26	114140.37	65279.86
0.50	170.98	289.71	29234.16	83929.95	49534.05
0.54	147.14	255.14	21649.20	65098.12	37540.94
0.58	122.22	206.98	14937.73	42840.72	25297.10
0.62	108.61	186.82	11796.13	34900.47	20290.16
0.66	96.97	163.34	9403.83	26681.04	15839.95
Total	1064.82	1824.68	175284.76	515695.07	300630.92

Nota: En la tabla realizamos en cálculo de los datos necesarios para obtención del coeficiente de correlación Pearson.

Para determinar el nivel de correlación de los datos obtenidos para elaborar la curva de predicción se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson.

$$r = \frac{n(\sum X_i * Y_i) - (\sum X_i) * (\sum Y_i)}{\sqrt{(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} * \sqrt{(\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2}}$$
$$r = \frac{7 * 300630.92 - 1064.82 * 1824.68}{\sqrt{175284.76 - 1064.82^2} * \sqrt{515695.07 - 1824.68^2}}$$
$$r = 0.999024$$





### 4.3.3.2. Estimación de resistencias del concreto con agregados reciclados

#### 4.3.3.2.1. Ecuación de regresión

$$\bar{X} = 135.75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{Y} = 254.85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_{xy} = 19,310.44 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2$$

$$S_{xx} = 14,476.48 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2$$

$$S_{yy} = 25,916.00 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2$$

$$b = \frac{19,310.44 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2}{14,476.48 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)^2}$$

$$b = 1.334$$

$$a = 254.85 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} - 1.334 * 135.75 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$a = 73.774 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Y = 73.774 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 1.334 * X$$

Bandas de confiabilidad.

$$S_e = 5.612 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

**Tabla 80**

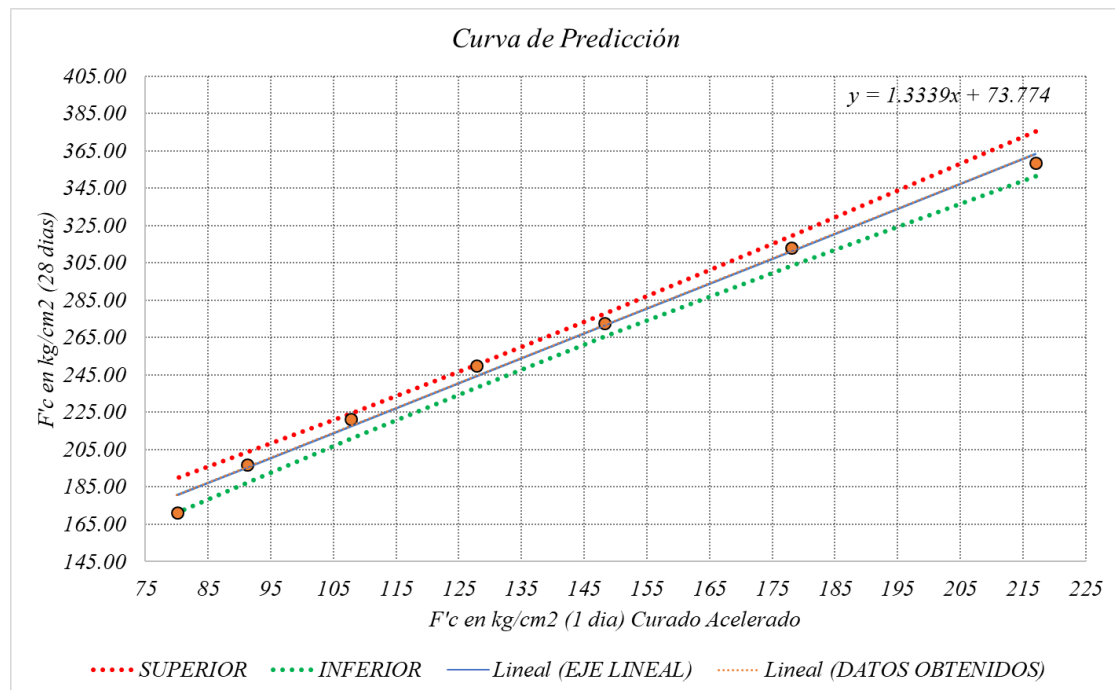
*Datos para la proyección de la curva de predicción (concreto reciclado).*

Relación a/c	Resistencia acelerada $X_i$ , Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia 28 días $Y_i$ , Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia estimada $Y$ , Kg/cm <sup>2</sup>	$W_i$ , Kg/cm <sup>2</sup>	Límite inferior de confianza Kg/cm <sup>2</sup>	Límite superior de confianza Kg/cm <sup>2</sup>
0.42	216.99	358.54	363.22	11.94	351.28	375.16
0.46	178.08	313.26	311.31	7.97	303.35	319.28
0.50	148.29	272.50	271.58	6.05	265.53	277.63
0.54	127.82	249.77	244.27	5.92	238.35	250.19
0.58	107.72	221.28	217.47	6.85	210.62	224.32
0.62	91.27	197.14	195.52	8.16	187.36	203.67
0.66	80.07	171.44	180.58	9.22	171.36	189.80

Nota. En la tabla se tiene los datos necesarios y hallados mediante el procedimiento ya descrito, para graficar la curva de predicción.

**Figura 62**

*Curva de predicción concreto reciclado.*



Nota. En la figura se observa el eje lineal de la curva de predicción, así como las bandas de confianza a 90% superior e inferior.

#### 4.3.3.2.2. Análisis de correlación de Pearson concreto con agregados reciclados

**Tabla 81**

*Datos para el análisis de correlación de Pearson para el concreto reciclado.*

Relación a/c	Resistencia acelerada Xi, kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia 28 días Yi, kg/cm <sup>2</sup>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup>	Y <sub>i</sub> <sup>2</sup>	X <sub>i</sub> *Y <sub>i</sub>
0.42	216.99	358.54	47084.66	128553.32	77800.32
0.46	178.08	313.26	31711.30	98133.92	55784.89
0.50	148.29	272.50	21988.94	74254.43	40407.62
0.54	127.82	249.77	16337.10	62386.72	31925.19
0.58	107.72	221.28	11604.32	48966.31	23837.38
0.62	91.27	197.14	8329.60	38864.18	17992.31
0.66	80.07	171.44	6410.67	29391.67	13726.63
Total	950.23	1783.94	143466.59	480550.56	261474.34

Nota. En la tabla tenemos los datos calculados para poder determinar el coeficiente de correlación de Pearson, el cual nos permite definir la probabilidad de predicción de nuestra muestra.

Para determinar el nivel de correlación de los datos obtenidos para elaborar la curva de predicción se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson.

$$r = \frac{n(\sum X_i * Y_i) - (\sum X_i) * (\sum Y_i)}{\sqrt{(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} * \sqrt{(\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2}}$$
$$r = \frac{7 * 261474.34 - 950.23 * 1783.94}{\sqrt{143466.59 - 950.23^2} * \sqrt{480550.56 - 1783.94^2}}$$
$$r = 0.996957$$

#### 4.3.4. Resistencia a la compresión en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias

##### 4.3.4.1. Resistencias del concreto normal

##### 4.3.4.1.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 82**

*Resistencia a la compresión concreto normal-curado acelerado-verificación.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-V-175-1	0.63	175	28hrs 28min	77.82	8439.58	108.45	
CN-V-175-2	0.63	175	28hrs 30min	77.85	8366.67	107.47	<b>106.82</b>
CN-V-175-3	0.63	175	28hrs 32min	77.96	8150.18	104.54	
CN-V-210-1	0.56	210	28hrs 32min	77.77	10594.44	136.23	
CN-V-210-2	0.56	210	28hrs 35min	77.93	10948.72	140.49	<b>140.10</b>
CN-V-210-3	0.56	210	28hrs 38min	77.97	11194.34	143.57	
CN-V-280-1	0.47	280	28hrs 35min	77.93	14430.25	185.17	
CN-V-280-2	0.47	280	28hrs 38min	77.76	14341.04	184.43	<b>189.17</b>
CN-V-280-3	0.47	280	28hrs 41min	77.98	15432.42	197.90	

Nota: Resistencias de curado acelerado en la verificación.

Para poder realizar la verificación y cálculo de la precisión de la curva de predicción, se realizó tres tandas elaboradas para diferentes relaciones agua cemento, por lo cual decidimos adoptar las relaciones a/c, que nos brinda para un  $f'c$  de 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, así también tener una muestra patrón para poder realizar las optimizaciones posteriores, por ello en la Tabla 80 se muestra el dato de tres probetas de cada resistencia  $f'c$  de un total de seis probetas las cuales fueron sometidas a curado acelerado y obteniendo los datos de la tabla.

#### 4.3.4.1.2. Especímenes sometidos a curado estándar (28 días)

**Tabla 83**

*Resistencia a la compresión concreto normal-curado estándar-verificación.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-V-175-4	0.63	175	28	78.07	14051.69	179.99	
CN-V-175-5	0.63	175	28	78.01	14096.76	180.70	<b>181.47</b>
CN-V-175-6	0.63	175	28	77.60	14255.83	183.71	
CN-V-210-4	0.56	210	28	78.06	19084.31	244.48	
CN-V-210-5	0.56	210	28	77.50	18173.94	234.51	<b>237.94</b>
CN-V-210-6	0.56	210	28	78.10	18339.78	234.82	
CN-V-280-4	0.47	280	28	77.55	25335.15	326.69	
CN-V-280-5	0.47	280	28	78.32	25593.88	326.79	<b>329.74</b>
CN-V-280-6	0.47	280	28	78.05	26204.64	335.74	

Nota: Resistencia del curado estándar en la verificación.

Las tres probetas restantes de cada tanda de seis se muestran en la Tabla 81, las cuales fueron sometidas a curado estándar y comparadas estadísticamente con el promedio de resistencias obtenido de la estimación de resistencia a 28 días de las probetas curadas aceleradamente.

#### 4.3.4.1.3. Estimación de resistencias a edades mayores

De acuerdo a los datos obtenidos a las 28 horas 30 min, y la ecuación obtenida en el 4.3.3.1.1, se realiza la estimación de la resistencia a 28 días.

**Tabla 84***Resistencia a la compresión mediante estimación a edades mayores.*

Descripción	Resistencia 28.5 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-V-175-1	108.45		184.98			
CN-V-175-2	107.47	<b>106.82</b>	183.29	<b>182.16</b>	<b>188.08</b>	<b>176.23</b>
CN-V-175-3	104.54		178.21			
CN-V-210-1	136.23		233.13			
CN-V-210-2	140.49	<b>140.10</b>	240.52	<b>239.83</b>	<b>244.10</b>	<b>235.57</b>
CN-V-210-3	143.57		245.86			
CN-V-280-1	185.17		317.96			
CN-V-280-2	184.43	<b>189.17</b>	316.68	<b>324.89</b>	<b>330.28</b>	<b>319.49</b>
CN-V-280-3	197.9		340.02			

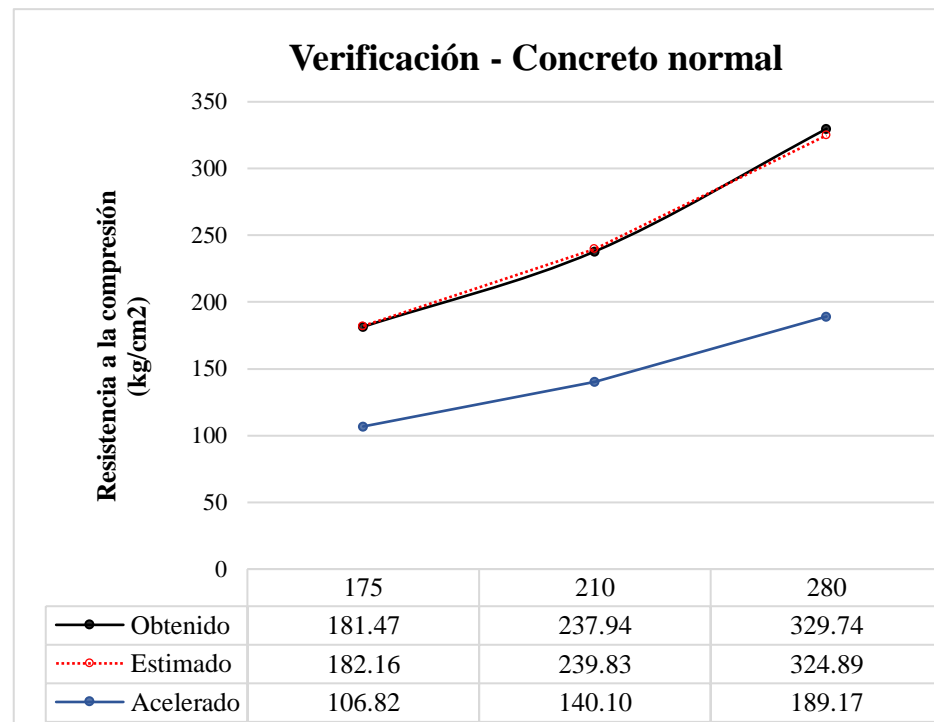
Nota: resistencia estimada mediante curado acelerado.

De acuerdo a la ecuación de regresión y los datos obtenidos del curado acelerado, se procede a realizar la estimación de la resistencia a los 28 de curado, el cual se muestra en la Tabla 84, así como también se muestra los límites inferiores y superiores de la banda de confiabilidad de la curva de predicción.

En la Figura 63, se muestra la comparación entre la resistencia obtenidas a las 28.5 horas que fue obtenida de especímenes sometidos a curado acelerado, las resistencias estimadas de la ecuación de predicción de resistencias del concreto normal y las resistencias reales obtenidas a los 28 días del mismo concreto que fue sometido a curado estándar, estos para la verificación de la ecuación considerando las resistencias de diseño de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 63**

*Resistencias del concreto normal; acelerado, estimado y obtenido – Verificación.*



Nota: comparación de las resistencias obtenidas en la verificación del concreto normal.

#### 4.3.4.1.4. Verificación de la precisión de la ecuación de regresión

Para verificar la precisión de la ecuación de regresión, según la Tabla 84, para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo la resistencia a las 28 horas, de 140.10 kg/cm<sup>2</sup>, de la ecuación de regresión lineal el promedio de la resistencia a los 28 días es 239.83 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a ello si la resistencia acelerada fue obtenida sin error, el 90% del intervalo de confianza para el promedio de resistencia los 28 días estará entre 235.57 kg/cm<sup>2</sup> y 244.10 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo la resistencia obtenida aceleradamente, tiene una incertidumbre la cual está dado por la desviación estándar de la tanda, la cual se define de la siguiente manera.

$$X \pm error$$

$$X \pm Z_{0.05} * \frac{S_t}{\sqrt{n}}$$

Donde:

- $Z_{0.05}$ : coeficiente Z de una distribución Normal para 5% de significancia, el cual es de 1.645
- $S_t$ : Desviación estándar de la tanda.
- n: Número de datos de la tanda.

A partir de la cual obtenemos los siguientes datos:

**Tabla 85**

*Incertidumbre y proyecciones en la curva de estimación.*

Descripción	Resistencia acelerada Xi (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia 28 días Yi (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada Y (kg/cm <sup>2</sup> )	Wi (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite inferior confiabilidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior confiabilidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Xi	140.10	237.94	239.83	4.26	235.57	244.10
Xi+ error (límite superior)	143.60		245.90	4.19		<b>250.09</b>
Xi - error (límite inferior)	136.60		233.77	4.36	<b>229.41</b>	
<b>Error</b>	<b>3.50</b>					

Nota: datos para el cálculo de la precisión.

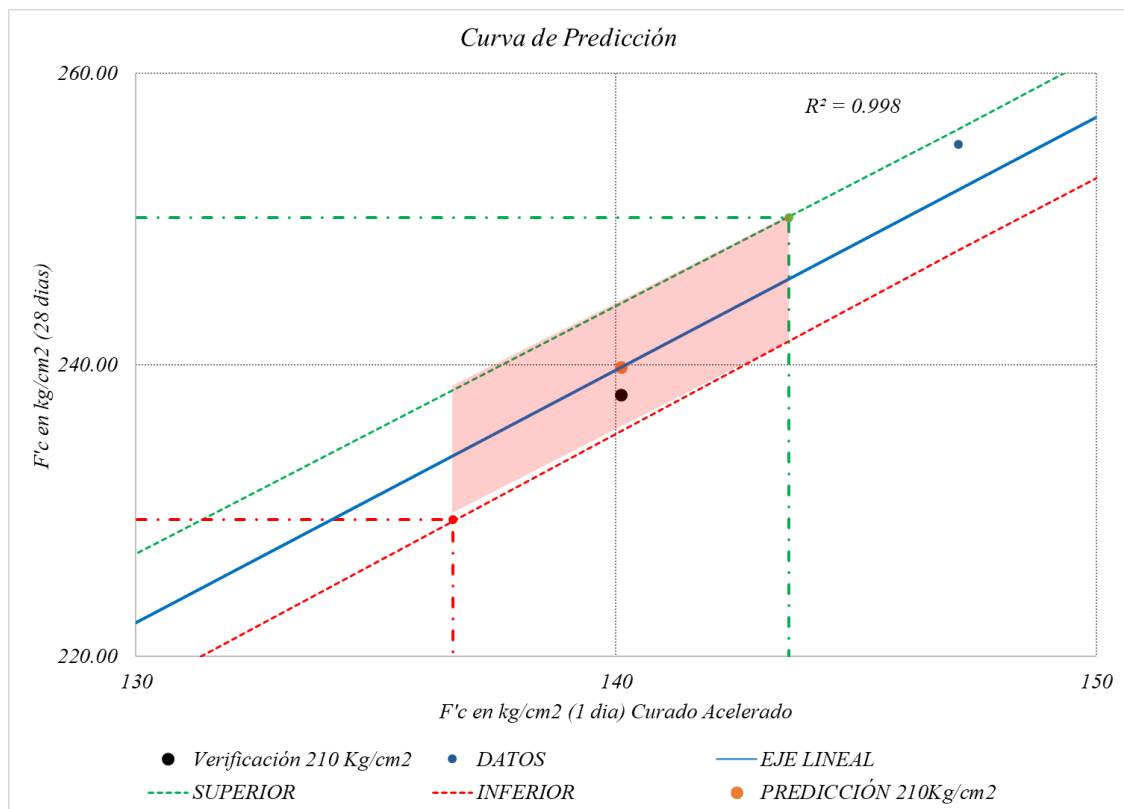
Para realizar la verificación y ver la precisión de la curva de predicción tomamos el valor de la resistencia acelerada del diseño F'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se muestra en la Tabla 85, en la cual se muestra el promedio de la resistencia acelerada y el valor de la incertidumbre que se genera al curar aceleradamente, los cuales se proyectan en las bandas de confiabilidad, para tener un rango de aceptación incluyendo la incertidumbre.



Se calcularon los límites de confianza al 90% para la incertidumbre, el cual para el menor valor se tomó en la banda inferior y para el mayor valor en banda superior, como se muestra a continuación.

**Figura 64**

*Rango para aceptar la precisión a un 90% de confiabilidad  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> concreto normal.*



Nota: Zona de aceptación de los resultados de la verificación.

En la Figura 64 se muestra el área generada a partir de la incertidumbre proyectada en las bandas de confiabilidad, al igual se observa los datos de predicción y verificación, de acuerdo a ello se puede hacer una prueba de hipótesis para verificar si el valor obtenido a los 28 días es igual al obtenido mediante estimación.

#### 4.3.4.2. Resistencias del concreto con agregados reciclados

##### 4.3.4.2.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 86**

*Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado acelerado-verificación.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-V-175-1	0.63	175	28hrs 35min	78.05	7124.63	91.28	
CR-V-175-2	0.63	175	28hrs 38min	78.05	6811.38	87.27	<b>88.71</b>
CR-V-175-3	0.63	175	28hrs 40min	77.94	6825.08	87.57	
CR-V-210-1	0.56	210	28hrs 30min	78.27	9527.21	121.72	
CR-V-210-2	0.56	210	28hrs 33min	77.61	8925.57	115.01	<b>118.68</b>
CR-V-210-3	0.56	210	28hrs 35min	77.94	9298.79	119.31	
CR-V-280-1	0.47	280	28hrs 32min	78.21	14034.21	179.44	
CR-V-280-2	0.47	280	28hrs 35min	77.73	13432.38	172.81	<b>176.65</b>
CR-V-280-3	0.47	280	28hrs 38min	77.60	13789.49	177.70	

Nota: Resistencia de curado acelerado en la verificación.

En la Tabla 86, se observa la rotura de tres probetas por resistencia promedio requerida, de un total de 6 probetas por tanda, las cuales fueron sometidas a curado acelerado siguiendo el mismo procedimiento que en el curado normal, de las cuales se obtuvieron la resistencia promedio las cuales nos servirán para verificar la ecuación de regresión y la curva de predicción.

#### 4.3.4.2.2. Especímenes sometidos a curado estándar (28 días)

**Tabla 87**

*Resistencia a la compresión concreto con agregados reciclados-curado estándar-verificación.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-V-175-4	0.63	175	28	77.99	14977.04	192.04	
CR-V-175-5	0.63	175	28	78.00	14676.22	188.16	<b>193.96</b>
CR-V-175-6	0.63	175	28	77.99	15729.08	201.68	
CR-V-210-4	0.56	210	28	78.03	18422.16	236.09	
CR-V-210-5	0.56	210	28	77.75	18560.55	238.72	<b>236.84</b>
CR-V-210-6	0.56	210	28	78.03	18392.33	235.71	
CR-V-280-4	0.47	280	28	78.02	23374.17	299.59	
CR-V-280-5	0.47	280	28	77.72	23804.67	306.29	<b>304.51</b>
CR-V-280-6	0.47	280	28	78.08	24020.86	307.64	

Nota: Resistencia de curado estándar en la verificación.

De igual manera en la Tabla 87, se muestra las tres probetas restantes de cada resistencia promedio diseñada, las cuales fueron curadas de manera estándar, teniendo cuidado en las necesidades del curado estándar.

#### 4.3.4.2.3. Estimación de resistencias a edades mayores

De acuerdo a los datos obtenidos a las 28.5 hrs  $\pm$  15 min, y la ecuación obtenida en el 4.3.3.2.1, se realiza la estimación de la resistencia a 28 días.

**Tabla 88***Resistencias a la compresión estimadas a los 28 días.*

Descripción	Resistencia 28.5 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-V-175-1	91.28		195.53			
CR-V-175-2	87.27	<b>88.71</b>	190.18	<b>192.10</b>	<b>200.49</b>	<b>183.71</b>
CR-V-175-3	87.57		190.58			
CR-V-210-1	121.72		236.14			
CR-V-210-2	115.01	<b>118.68</b>	227.19	<b>232.08</b>	<b>238.31</b>	<b>225.85</b>
CR-V-210-3	119.31		232.92			
CR-V-280-1	179.44		313.13			
CR-V-280-2	172.81	<b>176.65</b>	304.29	<b>309.41</b>	<b>317.25</b>	<b>301.57</b>
CR-V-280-3	177.7		310.81			

Nota: Resistencias estimadas mediante curado acelerado.

De acuerdo a la ecuación obtenida para un concreto con agregados reciclados, y teniendo los datos de rotura a 1 día, se procede a hacer la estimación de las resistencias mostradas en la Tabla 88, para posteriormente compararlo estadísticamente con los datos de resistencia obtenidos a los 28 días de curado normal.

#### 4.3.4.2.4. Verificación de la precisión de la ecuación de regresión

De acuerdo a la Tabla 88, para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo la resistencia a las 28.5 horas, de 118.68 kg/cm<sup>2</sup>, haciendo uso de la ecuación de regresión Lineal para agregado reciclado el promedio de la resistencia estimada a los 28 días es 232.08 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a ello si la resistencia acelerada fue obtenida sin error, el 90% del intervalo de confianza para el promedio de resistencia los 28 días estará entre 225.85 kg/cm<sup>2</sup> y 238.31 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, la resistencia obtenida

aceleradamente, tiene una incertidumbre la cual está dado por la desviación estándar de la tanda, la cual se define de la siguiente manera.

$$X \pm error$$

$$X \pm Z_{0.05} * \frac{S_t}{\sqrt{n}}$$

Donde:

- $Z_{0.05}$ : coeficiente Z de una distribución normal para 5% de significancia, el cual es de 1.645
- $S_t$ : Desviación estándar de la tanda.
- n: Número de datos de la tanda.

A partir de la cual obtenemos los siguientes datos:

**Tabla 89**

*Incertidumbre y valores del rango de aceptación.*

Descripción	Resistencia acelerada Xi (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia 28 días Yi (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada Y (kg/cm <sup>2</sup> )	Wi (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite inferior confiabilidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior confiabilidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Xi	118.68	236.84	232.08	6.23	225.85	238.31
Xi+ error (Limite Superior)	121.91		236.39	6.10		<b>242.49</b>
Xi - error (Límite Inferior)	115.45		227.78	6.39	<b>221.39</b>	
<b>Error</b>	<b>3.23</b>					

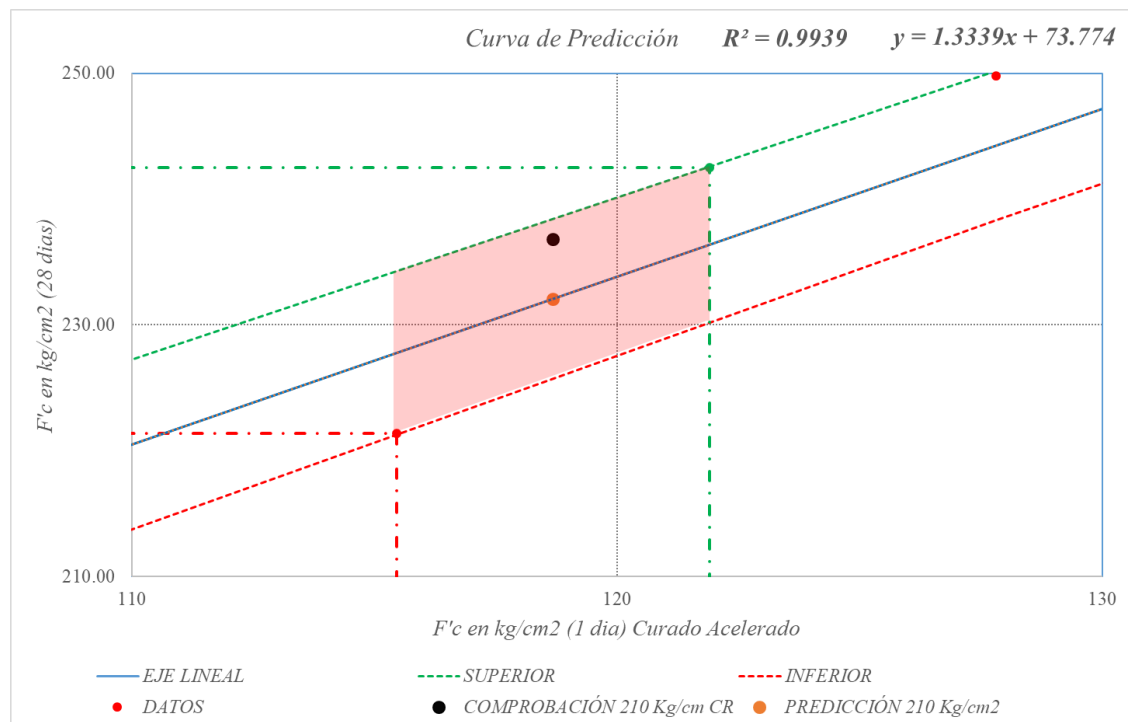
Nota: Datos para la verificación de la precisión.

En la Tabla 89, se muestra los datos necesarios para realizar el análisis de incertidumbre planteada en la NTP 339.213, para la verificación de la ecuación de regresión.

Donde se calcularon los límites de confianza al 90% para la incertidumbre, el cual para el menor valor se tomó en la banda inferior y para el mayor valor en la banda superior, como se muestra a continuación.

**Figura 65**

*Rango para aceptar la precisión a un 90% de confiabilidad  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup> concreto reciclado.*



Nota: Zona de aceptación de los resultados de la verificación.

Nota. En la Figura 65 se muestra el área generada a partir de la incertidumbre proyectada en las bandas de confiabilidad, al igual se observa que los datos de predicción y verificación se encuentran dentro del área, de acuerdo a ello se puede hacer una prueba de hipótesis para verificar si el valor obtenido a los 28 días es igual al obtenido mediante estimación.

#### 4.3.4.3. Análisis estadístico objetivo N° 2

Para poder dar una respuesta a la hipótesis se realiza a continuación un análisis estadístico inferencial:

##### 4.3.4.3.1. Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk

Para la selección del tipo de análisis que se realizara una prueba de normalidad así determinar el tipo de prueba que se tiene que realizar, para ello tenemos los siguientes datos:

**Tabla 90**

*Datos para realizar la prueba de normalidad.*

Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto normal			Concreto reciclado		
	28 días estimado (kg/cm <sup>2</sup> )	28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	28 días estimado (kg/cm <sup>2</sup> )	28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
175	184.98	179.99		195.53	192.04	
	183.29	180.7	181.47	190.18	188.16	193.96
	178.21	183.71		190.58	201.68	
210	233.13	244.48		236.14	236.09	
	240.52	234.51	237.94	227.19	238.72	236.84
	245.86	234.82		232.92	235.71	
280	317.96	326.69		313.13	299.59	
	316.68	326.79	329.74	304.29	306.29	304.51
	340.02	335.74		310.81	307.64	

Nota: en la tabla se presentan los datos de resistencia obtenido a los 28 días y el estimado a 28 días en 28.5 horas.

##### 4.3.4.3.1.1. Planteamiento de hipótesis estadística

Para determinar estadísticamente la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro – Wilk, se define las siguientes hipótesis estadísticas.

- **H0:** p-valor > significancia → los datos poseen una distribución normal.
- **H1:** p-valor < significancia → los datos no poseen una distribución normal.

Donde el valor de la significancia es de 0.05, con una confiabilidad de 95%.

#### 4.3.4.3.1.2. Prueba estadística de Shapiro – Wilk

Tomando los datos de la tabla 91, se analizarán los datos obtenidos mediante estimación porque son los que queremos saber si son similares a los obtenidos a los 28 días. y realizando el análisis tenemos que:

Analizando los datos del concreto normal a diferentes resistencias de diseño.

**Tabla 91**

*Datos para realizar la prueba de normalidad.*

<b>Prueba de normalidad</b>				
	<b>F'c</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
		<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. "P"</b>
<b>Resistencia</b>	175 kg/cm <sup>2</sup>	0.923	3	0.463
	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.991	3	0.823
	280 kg/cm <sup>2</sup>	0.791	3	0.093

Nota: en la tabla se muestra el análisis realizado mediante el programa IBM SPSS.

En la tabla 91 se observa los valores de significancia P de los grupos de análisis para la prueba de normalidad.

Analizando los datos del concreto reciclado a diferentes resistencias de diseño.



**Tabla 92**

*Datos para realizar la prueba de normalidad.*

<b>Prueba de normalidad</b>				
	<b>F'c</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
		<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. "P"</b>
<b>Resistencia</b>	175 kg/cm <sup>2</sup>	0.806	3	0.128
	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.974	3	0.693
	280 kg/cm <sup>2</sup>	0.930	3	0.489

Nota: la tabla muestra los resultados del análisis realizado en el programa IBM SPSS.

En la tabla 92 se observa los valores de P para realizar la prueba de normalidad.

#### **4.3.4.3.1.3. Decisión de análisis**

De acuerdo a las hipótesis estadísticas planteadas, y teniendo los valores de P – valor, se decidió lo siguiente:

- **H0:** p-valor > significancia → los datos poseen una distribución normal.
- **H1:** p-valor < significancia → los datos no poseen una distribución normal.

Para los datos de concreto normal se puede observar que el P – valor obtenido para cada grupo de análisis es mayor a 0.05 por lo cual se realizando la contrastación en las hipótesis planteadas, se puede concluir que los grupos de análisis cumplen con la normalidad de los datos, por lo cual se procederá a aplicar un análisis estadístico paramétrico.

Para los datos de concreto reciclado siguiendo la premisa anterior se puede aceptar la hipótesis nula por lo que podemos decir que los grupos

de análisis cumplen una distribución normal, pudiendo así realizar un análisis estadístico paramétrico.

#### 4.3.4.3.2. Análisis estadístico paramétrico T Student de una muestra

El análisis de T Student de una muestra nos ayudara a determinar si los valores obtenidos mediante curado acelerado son estadísticamente iguales a los obtenidos a curado normal en 28 días.

##### 4.3.4.3.2.1. Planteamiento de hipótesis de análisis

Para el análisis mediante una prueba estadística paramétrica, para el caso T Student se plantea las siguientes hipótesis estadísticas.

- **H0:**  $P - \text{Valor} > \text{Significancia} \rightarrow$  las resistencias estimadas son iguales a las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal.
- **H1:**  $P - \text{Valor} > \text{Significancia} \rightarrow$  las resistencias estimadas no son iguales a las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal.

##### 4.3.4.3.2.2. Prueba de T Student

**Tabla 93**

*Datos para realizar la prueba de T Student.*

F'c kg/cm <sup>2</sup>	Concreto normal			Concreto reciclado		
	Resistencia estimada kg/cm <sup>2</sup>	Desv. est.	Promedio resistencia a 28 días kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia estimada kg/cm <sup>2</sup>	Desv. est.	Promedio resistencia a 28 días kg/cm <sup>2</sup>
175	184.98			195.53		
	183.29	3.52	181.47	190.18	2.98	193.96
	178.21			190.58		
210	233.13			236.14		
	240.52	6.39	237.94	227.19	4.53	236.84

F'c kg/cm <sup>2</sup>	Concreto normal			Concreto reciclado		
	Resistencia estimada kg/cm <sup>2</sup>	Desv. est.	Promedio resistencia a 28 días kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia estimada kg/cm <sup>2</sup>	Desv. est.	Promedio resistencia a 28 días kg/cm <sup>2</sup>
	245.86			232.92		
	317.96			313.13		
280	316.68	13.12	329.74	304.29	4.58	304.51
	340.02			310.81		

Nota: en la tabla se observa los datos necesarios para realizar un análisis estadístico de T Student.

- a) Para realizar el análisis primeramente se halla el estadístico de prueba “t”, el cual se determina mediante la siguiente ecuación.

$$t = \frac{\hat{Y} - \bar{Y}}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- $\hat{Y}$ : Resistencia estimada a los 28 días.
- $\bar{Y}$ : Resistencia obtenida a los 28 días.
- S: desviación estándar de la tanda.
- n: Número de datos.

Realizando este análisis para los grupos de datos anteriores tenemos lo siguiente:

**Tabla 94**

*Datos calculados del estadístico de prueba de cada grupo.*

F'c	Estadístico de prueba “t”	
	Concreto normal	Concreto reciclado
175 kg/cm <sup>2</sup>	0.341	-1.083
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.515	-1.817
280 kg/cm <sup>2</sup>	-0.641	1.853



Nota: en la tabla se muestran los estadísticos de prueba calculados con la ecuación anterior para cada grupo de datos.

b) Cálculo del P – Valor, haciendo uso de la tabla T Student a dos colas mostrada en el Anexo 11.

Para una significancia de 0.05 y una confiabilidad de 95%, teniendo 2 grados de libertad por cada grupo de análisis se procede a interpolar en la tabla hasta encontrar la significancia el cual es también llamado P-Valor.

### Tabla 95

*Datos calculados del P – Valor mediante tabla del Anexo 11.*

<b>P – Valor (mediante tabla)</b>		
<b>F'c</b>	<b>Concreto normal</b>	<b>Concreto reciclado</b>
175 kg/cm <sup>2</sup>	0.768	0.395
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.662	0.217
280 kg/cm <sup>2</sup>	0.588	0.208

Nota: en la tabla se observa los datos de P – Valor para cada grupo de análisis.

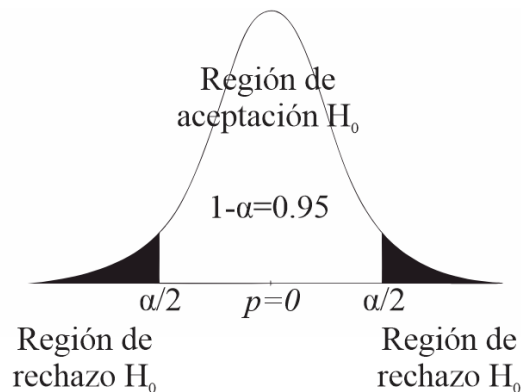
De acuerdo a la tabla 95, donde se muestran los valores de P – Valor, los cuales fueron calculados mediante interpolación de acuerdo a la tabla presentada en el Anexo 11, con lo cual se procede contrastar la hipótesis.

#### 4.3.4.3.2.3. Decisión de análisis

Para la decisión del análisis podemos apoyarnos en el siguiente gráfico.

**Figura 66**

*Zonas de aceptación y rechazo de una distribución T Student.*



Nota: la figura muestra los límites para una distribución T Student para una confiabilidad de 95% y una significancia de 0.05, así también las zonas de aceptación y rechazo de la hipótesis nula.

Y con las hipótesis estadísticas planteadas.

- **H0:** P – Valor > Significancia → las resistencias estimadas son iguales a las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal.
- **H1:** P – Valor > Significancia → las resistencias estimadas no son iguales a las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal.

De acuerdo a la Tabla 95 donde se muestran el P – Valor, contrastando con las hipótesis estadísticas, podemos concluir que las resistencias estimadas mediante un curado acelerado son estadísticamente iguales a las resistencias obtenidas a los 28 días de curado normal.

#### **4.3.5. Resistencia del concreto en la optimización del diseño de mezclas**

En este ítem, se muestran los resultados de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto cuyos diseños de mezclas fueron optimizados dos veces (Optimización Inicial y Optimización Final), testigos de concreto normal y

con agregados reciclados que fueron sometidas a curado acelerado (28.5 h) y curado estándar (28 días)

Es necesario destacar que las optimizaciones parten de los diseños de mezclas utilizados en la verificación de las ecuaciones de regresión para las resistencias de diseño  $f'c = 175, 210$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla N°89).

**Tabla 96**

*Relación a/c, resistencia a la compresión y slump de la verificación de la ecuación de regresión.*

Tipo de Concreto	175 kg/cm <sup>2</sup>			210 kg/cm <sup>2</sup>			280 kg/cm <sup>2</sup>		
	a/c	Resist. (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump (pulg.)	a/c	Resist. (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump (pulg.)	a/c	Resist. (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump (pulg.)
Normal	0.63	181.47	5.59	0.56	237.93	4.17	0.47	329.74	2.52
Con Agreg. reciclados	0.63	193.96	2.13	0.56	236.84	1.65	0.47	304.51	0.91

Nota: Datos iniciales para la optimización.

En la Tabla 96, se puede apreciar los datos de relación agua/cemento, resistencia y slump para las resistencias de diseño especificadas, estos partieron del diseño de mezclas según el código ACI, método de diseño módulo de fineza. Sin embargo, se evidencia que las resistencias son superiores a las de diseño y el Slump para todos los casos están fuera del rango de consistencia plástica (3'' - 4''), cabe precisar que los slump del concreto con agregados reciclados son mucho menores a los del concreto normal. Es por ello, que es necesario la optimización considerando las relaciones agua/cemento y la trabajabilidad (Slump) del concreto fresco.

#### 4.3.5.1. Resistencias en la optimización inicial

##### 4.3.5.1.1. Resistencias del concreto normal

##### 4.3.5.1.1.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 97**

*Resistencia a la compresión concreto normal - optimización inicial.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP1-175-1	0.65	175	28hrs 35min	77.54	7875.93	101.57	
CN-OP1-175-2	0.65	175	28hrs 38min	77.64	7466.25	96.16	<b>98.72</b>
CN-OP1-175-3	0.65	175	28hrs 40min	78.07	7685.31	98.44	
CN-OP1-210-1	0.57	210	28hrs 30min	78.12	10717.30	137.20	
CN-OP1-210-2	0.57	210	28hrs 33min	77.63	10125.70	130.43	<b>133.37</b>
CN-OP1-210-3	0.57	210	28hrs 35min	78.01	10335.84	132.49	
CN-OP1-280-1	0.49	280	28hrs 32min	77.56	13632.30	175.75	
CN-OP1-280-2	0.49	280	28hrs 35min	77.62	13879.83	178.83	<b>176.06</b>
CN-OP1-280-3	0.49	280	28hrs 38min	78.09	13556.87	173.61	

Nota: Resistencias obtenidas del curado acelerado.

Como se observa en la Tabla 97, para realizar la optimización se optó por la variación de la relación agua - cemento con respecto a la muestra patrón para así poder llegar a la resistencia deseada, para poder tener una resistencia a los 28 días (estimada), se realizó el mismo procedimiento descrito en la verificación para el curado acelerado, teniendo así los datos de la tabla.

#### 4.3.5.1.1.2. Estimación de resistencias a edades mayores

**Tabla 98**

*Resistencia a la compresión concreto normal-estimación-optimización inicial.*

Descripción	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio estimada (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP1-175-1	101.57		173.06	
CN-OP1-175-2	96.16	<b>98.72</b>	163.69	<b>168.12</b>
CN-OP1-175-3	98.44		167.63	
CN-OP1-210-1	137.20		234.81	
CN-OP1-210-2	130.43	<b>133.37</b>	223.09	<b>228.18</b>
CN-OP1-210-3	132.49		226.64	
CN-OP1-280-1	175.75		301.64	
CN-OP1-280-2	178.83	<b>176.06</b>	306.96	<b>302.17</b>
CN-OP1-280-3	173.61		297.92	

Nota: Resistencias estimadas mediante curado acelerado.

Con los datos obtenidos anteriormente se procede a la estimación, llegando a los datos mostrados en la Tabla 98, como se puede observar las resistencias a las que se llegó todavía difieren del  $f'c$  requerido por lo cual se realizará una segunda optimización.

#### 4.3.5.1.1.3. Especímenes sometidos a curado estándar (28 días)

**Tabla 99**

*Resistencia a la compresión concreto normal - optimización inicial.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP1-175-4	0.65	175	28	78.01	12960.43	166.15	
CN-OP1-175-5	0.65	175	28	78.12	13007.09	166.51	<b>170.64</b>
CN-OP1-175-6	0.65	175	28	78.09	13999.71	179.28	
CN-OP1-210-4	0.57	210	28	78.04	17516.68	224.46	
CN-OP1-210-5	0.57	210	28	77.49	17408.59	224.67	<b>225.08</b>



Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP1-210-6	0.57	210	28	77.36	17491.19	226.12	
CN-OP1-280-4	0.49	280	28	77.85	23979.64	308.04	
CN-OP1-280-5	0.49	280	28	77.79	24143.82	310.38	<b>306.98</b>
CN-OP1-280-6	0.49	280	28	78.02	23603.37	302.52	

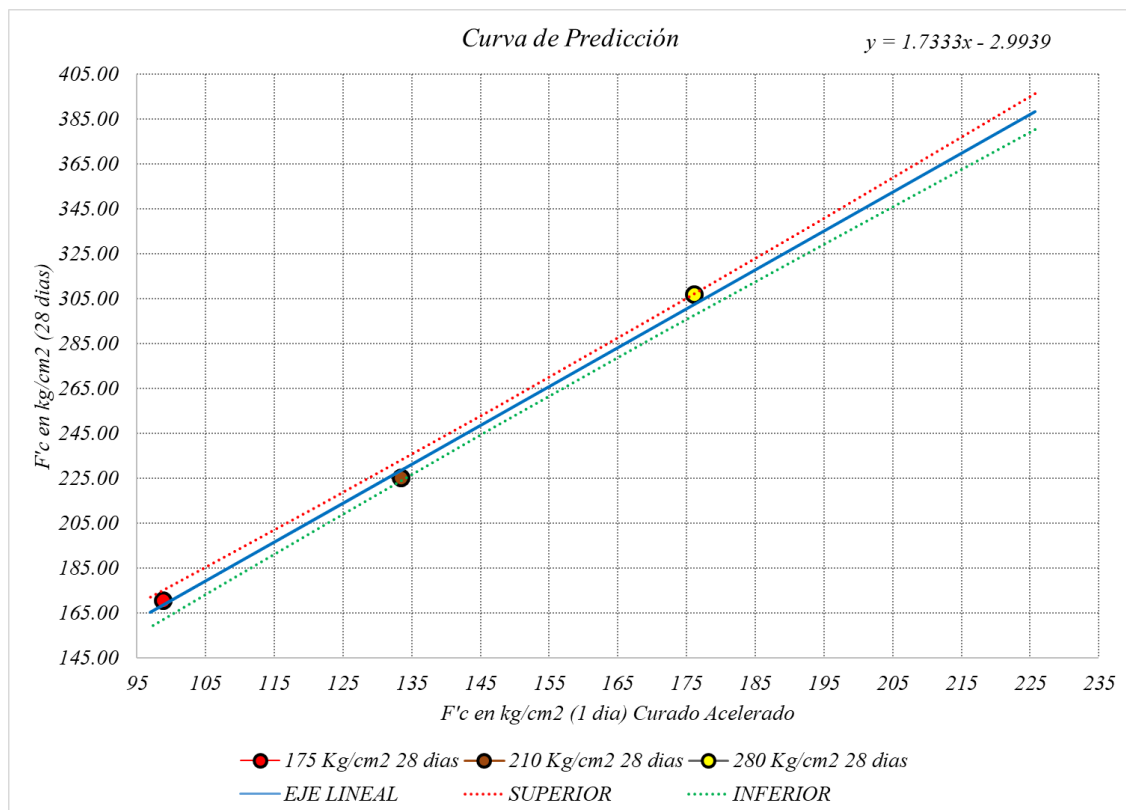
Nota: Resistencias obtenidas a los 28 días de curado estándar.

En la tabla 99, se encuentran los datos de las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal, las cuales nos servirá para verificar si las resistencias tomadas, para realizar la optimización N° 2, son las correctas y no habrá variaciones.

#### 4.3.5.1.1.4. Comparación de resultados de resistencia

**Figura 67**

*Proyección de Resistencia obtenidas a curado estándar 28 días.*



Nota: Datos de resistencia en la curva de estimación.

En la Figura 67, se observa los valores obtenidos a los 28 días por medio de un curado normal y su rotura, proyectadas dentro de la curva de predicción, donde se observa que estos valores se encuentran dentro de las bandas a 90% de confiabilidad.

#### 4.3.5.1.2. Resistencias del concreto con agregados reciclados

##### 4.3.5.1.2.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 100**

*Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización inicial.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP1-175-1	0.64	175	28hrs 35min	78.03	6778.47	86.87	
CR-OP1-175-2	0.64	175	28hrs 38min	77.84	6789.35	87.22	<b>87.55</b>
CR-OP1-175-3	0.64	175	28hrs 40min	78.08	6913.98	88.55	
CR-OP1-210-1	0.58	210	28hrs 30min	77.52	8759.77	113.00	
CR-OP1-210-2	0.58	210	28hrs 33min	78.05	8652.66	110.86	<b>110.41</b>
CR-OP1-210-3	0.58	210	28hrs 35min	77.65	8335.57	107.35	
CR-OP1-280-1	0.49	280	28hrs 32min	78.02	11741.01	150.49	
CR-OP1-280-2	0.49	280	28hrs 35min	78.14	12982.00	166.13	<b>160.37</b>
CR-OP1-280-3	0.49	280	28hrs 38min	77.64	12770.92	164.48	

Nota: Resistencias obtenidas por medio de curado acelerado.

Al igual que en la primera optimización del concreto con agregados normales, en la Tabla 100, se muestra las resistencias de la primera optimización del concreto con agregados reciclados, también se observa la variación de la relación a/c con la de la muestra patrón, obteniendo resistencias a curado acelerado.

#### 4.3.5.1.2.2. Estimación de resistencias a edades mayores

**Tabla 101**

*Resistencia a la compresión concreto reciclado-estimación-optimización inicial.*

Descripción	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio estimada (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP1-175-1	86.87		189.66	
CR-OP1-175-2	87.22	<b>87.55</b>	190.12	<b>190.56</b>
CR-OP1-175-3	88.55		191.89	
CR-OP1-210-1	113.00		224.51	
CR-OP1-210-2	110.86	<b>110.41</b>	221.65	<b>221.05</b>
CR-OP1-210-3	107.35		216.97	
CR-OP1-280-1	150.49		274.52	
CR-OP1-280-2	166.13	<b>160.37</b>	295.38	<b>287.69</b>
CR-OP1-280-3	164.48		293.18	

Nota: resistencias estimadas mediante curva de estimación.

En la Tabla 101, se observa la estimación obtenida de las probetas curadas aceleradamente, las cuales nos muestran que aún falta realizar una optimización, sin embargo, se observa que la resistencia obtenida para el  $f'c$  de 280 kg/cm<sup>2</sup> está dentro del rango de la resistencia deseada, pero el valor de la consistencia del concreto no es el requerido para el diseño por lo cual se realizara una optimización solamente de la consistencia.

#### 4.3.5.1.2.3. Especímenes sometidos a curado estándar (28 días)

**Tabla 102**

*Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización inicial.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP1-175-4	0.64	175	28	78.33	14251.96	181.94	<b>187.21</b>
CR-OP1-175-5	0.64	175	28	77.78	14350.77	184.50	

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP1-175-6	0.64	175	28	78.08	15240.06	195.18	
CR-OP1-210-4	0.58	210	28	77.80	17227.08	221.43	
CR-OP1-210-5	0.58	210	28	78.18	17498.33	223.81	<b>222.60</b>
CR-OP1-210-6	0.58	210	28	77.86	17330.07	222.57	
CR-OP1-280-4	0.49	280	28	77.83	22874.27	293.90	
CR-OP1-280-5	0.49	280	28	77.87	21612.88	277.57	<b>285.14</b>
CR-OP1-280-6	0.49	280	28	77.63	22042.18	283.96	

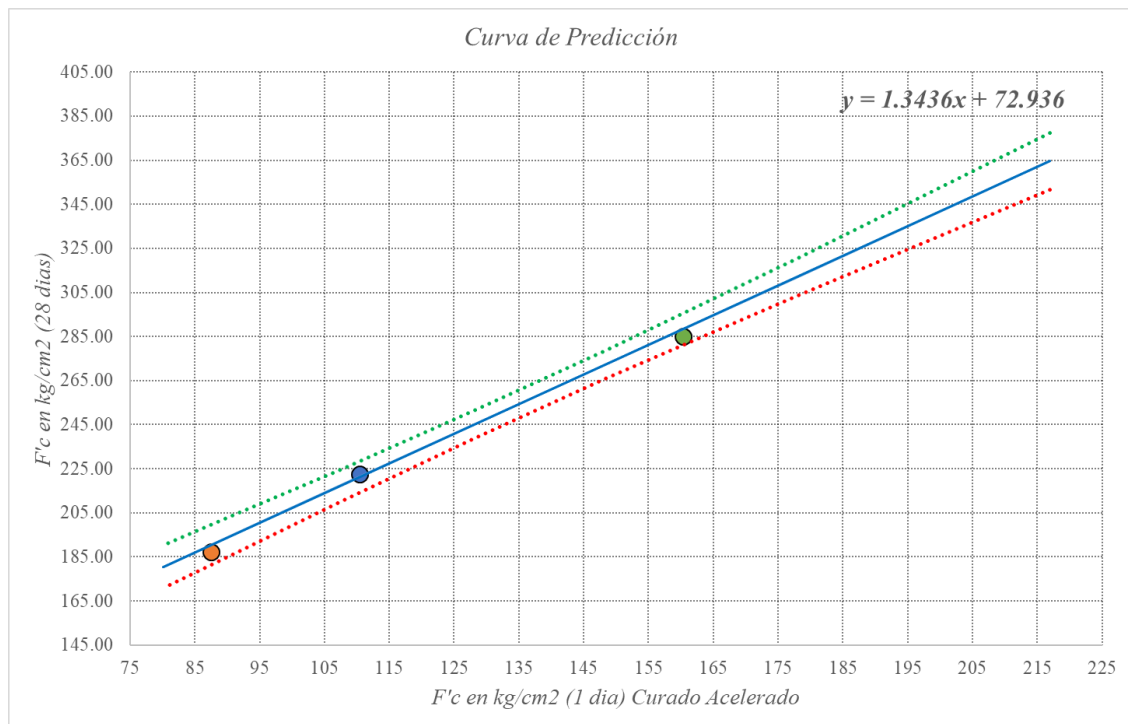
Nota: Resistencias obtenidas a los 28 días de curado estándar.

En la Tabla 102, se encuentra los datos obtenidos de la rotura de probetas a 28 días de curado normal, las cuales nos ayudan a corroborar los datos obtenidos de la estimación que se utilizaron para la optimización.

#### 4.3.5.1.2.4. Comparación de resultados de resistencia

**Figura 68**

Valores de las resistencias obtenidas a 28 días en curado estándar.



Nota: Resistencias obtenidas a los 28 días en la curva de estimación.

En la Figura 68, se observan los datos obtenidos a los 28 días de curado estándar, proyectados en la curva de predicción, los cuales se encuentran dentro de las bandas de confiabilidad.

#### 4.3.5.2. Resistencias en la prueba final

##### 4.3.5.2.1. Resistencias del concreto normal

##### 4.3.5.2.1.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 103**

*Resistencia a la compresión concreto normal - optimización final.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP2-175-1	0.64	175	28hrs 35min	77.78	8469.87	108.89	
CN-OP2-175-2	0.64	175	28hrs 38min	77.86	8118.73	104.28	<b>106.03</b>
CN-OP2-175-3	0.64	175	28hrs 40min	77.55	8135.55	104.91	
CN-OP2-210-1	0.575	210	28hrs 30min	77.35	9582.64	123.89	
CN-OP2-210-2	0.575	210	28hrs 33min	77.69	9657.81	124.31	<b>125.76</b>
CN-OP2-210-3	0.575	210	28hrs 35min	77.52	10006.97	129.09	
CN-OP2-280-1	0.50	280	28hrs 32min	77.68	12797.29	164.75	
CN-OP2-280-2	0.50	280	28hrs 35min	78.19	12753.77	163.10	<b>165.34</b>
CN-OP2-280-3	0.50	280	28hrs 38min	77.48	13029.74	168.17	

Nota: Resistencias obtenidas mediante curado acelerado.

En la Tabla 103, se tiene los datos de las probetas de un diseño optimizado, con relación a/c diferente a la optimización inicial, las cuales al momento de la rotura nos dieron las resistencias contempladas.

##### 4.3.5.2.1.2. Estimación de resistencias a edades mayores

**Tabla 104**

*Resistencia a la compresión concreto normal-estimación-optimización final.*

Descripción	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio estimada (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP2-175-1	108.89		185.74	
CN-OP2-175-2	104.28	<b>106.03</b>	177.75	<b>180.78</b>
CN-OP2-175-3	104.91		178.85	
CN-OP2-210-1	123.89		211.74	
CN-OP2-210-2	124.31	<b>125.76</b>	212.47	<b>214.99</b>
CN-OP2-210-3	129.09		220.76	
CN-OP2-280-1	164.75		282.56	
CN-OP2-280-2	163.10	<b>165.34</b>	279.71	<b>283.59</b>
CN-OP2-280-3	168.17		288.49	

Nota: Resistencias estimadas mediante curva de estimación.

En la Tabla 104, se tiene los valores de resistencia estimada a 28 días de las probetas curadas aceleradamente, en las cuales se puede observar que los valores obtenidos están dentro del rango de las resistencias deseadas, así como también se mostró que la consistencia calculada cumple con la requerida.

#### 4.3.5.2.1.3. Especímenes sometidos a curado estándar (28 días)

**Tabla 105**

*Resistencia a la compresión concreto normal - optimización final.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CN-OP2-175-4	0.64	175	28	78.25	13778.40	176.07	
CN-OP2-175-5	0.64	175	28	77.88	14177.11	182.03	<b>177.55</b>
CN-OP2-175-6	0.64	175	28	77.28	13487.78	174.54	
CN-OP2-210-4	0.575	210	28	77.48	16176.77	208.79	
CN-OP2-210-5	0.575	210	28	77.94	16641.77	213.52	<b>213.18</b>
CN-OP2-210-6	0.575	210	28	77.88	16918.11	217.24	
CN-OP2-280-4	0.50	280	28	77.75	22398.06	288.07	
CN-OP2-280-5	0.50	280	28	77.73	21666.93	278.75	<b>285.76</b>
CN-OP2-280-6	0.50	280	28	77.61	22543.88	290.47	

Nota: Resistencias a los 28 días de curado normal.

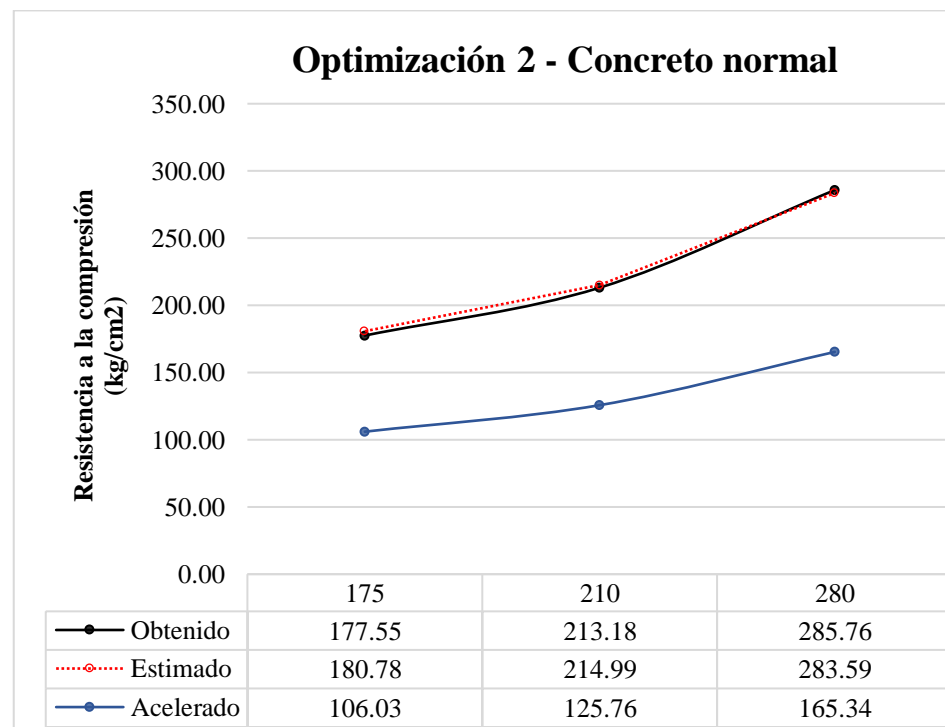
En la tabla 105, se tiene los datos de resistencia a la compresión de testigos de concretos curados de manera normal a 28 días, con los cuales se hará la corroboración con las obtenidas mediante estimación.

#### 4.3.5.2.1.4. Comparación de resultados de resistencia

En la Figura 69, se muestra la comparación entre la resistencia obtenidas a las 28.5 horas que fue obtenida de especímenes sometidos a curado acelerado, las resistencias estimadas de la ecuación de predicción de resistencias del concreto normal y las resistencias reales obtenidas a los 28 días del mismo concreto que fue sometido a curado estándar, estos para la optimización final de las resistencias de diseño 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 69**

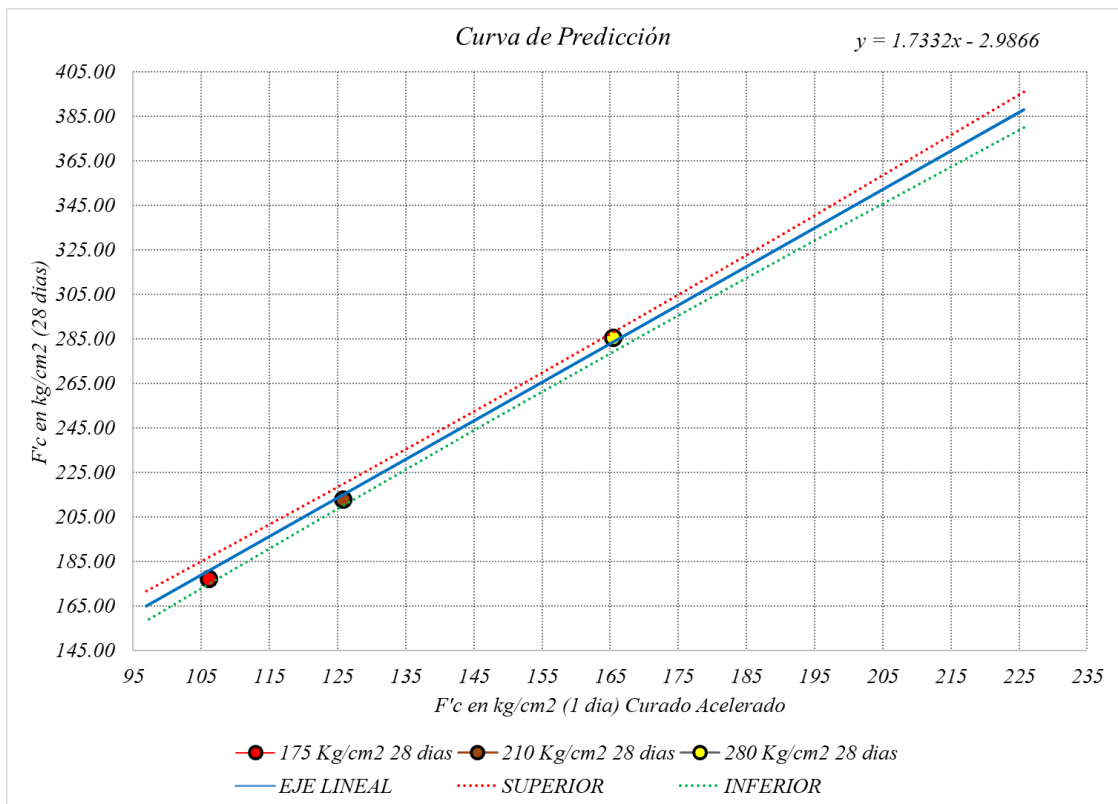
*Resistencias del concreto normal; acelerado, estimado y obtenido - optimización 2*



Nota: comparación de resistencias en la optimización final.

**Figura 70**

*Proyección de resistencias a la compresión en la curva de estimación, concreto normal.*



Nota. En la figura se puede observar que los valores obtenidos a los 28 días de curado normal y rotura, se encuentran dentro de las bandas de confiabilidad a 90%.

#### 4.3.5.2.2. Resistencias del concreto con agregados reciclados

##### 4.3.5.2.2.1. Especímenes sometidos a curado acelerado

**Tabla 106**

*Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización final.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm²)	Edad (h:m)	Área (cm²)	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
CR-OP2-175-1	0.65	175	28hrs 35min	77.96	6074.45	77.91	
CR-OP2-175-2	0.65	175	28hrs 38min	77.61	6454.80	83.17	<b>78.72</b>
CR-OP2-175-3	0.65	175	28hrs 40min	77.78	5838.89	75.07	
CR-OP2-210-1	0.59	210	28hrs 30min	77.95	8450.39	108.41	
CR-OP2-210-2	0.59	210	28hrs 33min	77.70	8120.00	104.50	<b>104.88</b>
CR-OP2-210-3	0.59	210	28hrs 35min	77.47	7880.37	101.72	
CR-OP2-280-1	0.49	280	28hrs 32min	77.69	12168.27	156.62	<b>161.41</b>



Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (h:m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP2-280-2	0.49	280	28hrs 35min	77.88	12398.73	159.19	
CR-OP2-280-3	0.49	280	28hrs 38min	77.89	13116.61	168.41	

Nota. En la tabla se observa la resistencia a compresión de especímenes curado aceleradamente, las cuales nos ayudaran en para estimación a 28 días.

#### 4.3.5.2.2.2. Estimación de resistencias a edades mayores

**Tabla 107**

*Resistencia a la compresión concreto reciclado-estimación-optimización final.*

Descripción	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio estimada (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP2-175-1	77.91		177.70	
CR-OP2-175-2	83.17	<b>78.72</b>	184.71	<b>178.78</b>
CR-OP2-175-3	75.07		173.91	
CR-OP2-210-1	108.41		218.38	
CR-OP2-210-2	104.50	<b>104.88</b>	213.17	<b>213.67</b>
CR-OP2-210-3	101.72		209.46	
CR-OP2-280-1	156.62		282.69	
CR-OP2-280-2	159.19	<b>161.41</b>	286.12	<b>289.08</b>
CR-OP2-280-3	168.41		298.42	

Nota. Con los datos obtenidos mediante el curado acelerado, en la tabla se realiza la estimación a una edad de 28 días.

#### 4.3.5.2.2.3. Especímenes sometidos a curado estándar (28 días)

**Tabla 108**

*Resistencia a la compresión concreto reciclado - optimización final.*

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP2-175-4	0.65	175	28	77.49	13155.36	169.78	
CR-OP2-175-5	0.65	175	28	77.60	13901.79	179.16	<b>176.54</b>
CR-OP2-175-6	0.65	175	28	77.68	14035.37	180.68	
CR-OP2-210-4	0.59	210	28	78.03	16608.11	212.83	
CR-OP2-210-5	0.59	210	28	77.61	16176.77	208.43	<b>212.29</b>

Descripción	Relación agua / cemento	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura dial (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CR-OP2-210-6	0.59	210	28	77.60	16732.52	215.62	
CR-OP2-280-4	0.49	280	28	77.68	22735.59	292.67	
CR-OP2-280-5	0.49	280	28	77.70	22075.83	284.12	<b>287.32</b>
CR-OP2-280-6	0.49	280	28	77.90	22213.49	285.15	

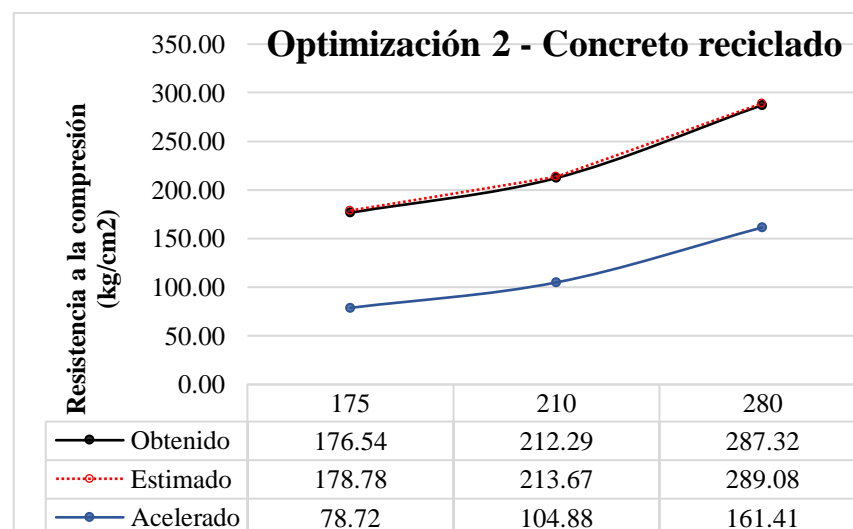
Nota. En la tabla se muestran los datos obtenidos de la rotura de probetas de concreto sometidas a curado estándar.

#### 4.3.5.2.2.4. Comparación de resultados de resistencia

En la Figura 71, se muestra la comparación entre la resistencia obtenidas a las 28.5 horas que fue obtenida de especímenes sometidos a curado acelerado, las resistencias estimadas de la ecuación de predicción de resistencias del concreto con agregados reciclados y las resistencias reales obtenidas a los 28 días del mismo concreto que fue sometido a curado estándar, estos para la optimización final de las resistencias de diseño de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 71**

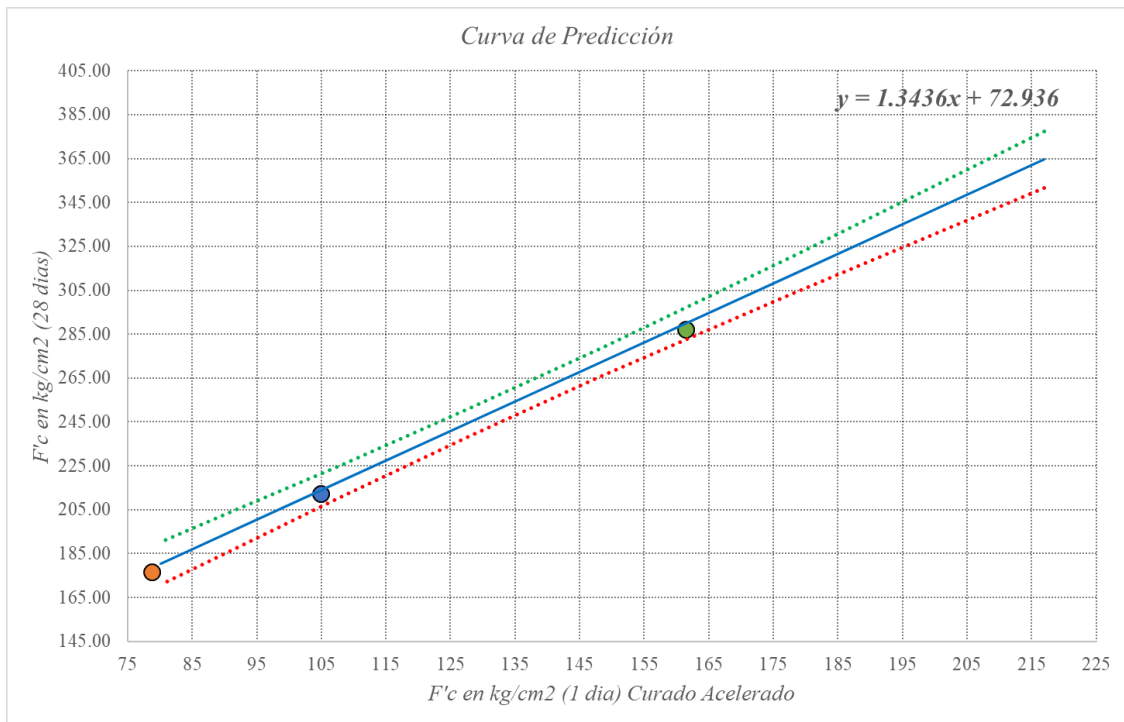
*Resistencias del concreto reciclado; acelerado, estimado y obtenido - optimización 2*



Nota: comparación de las resistencias obtenidas en la optimización final.

**Figura 72**

*Proyección de las resistencias a 28 días de curado estándar, en la curva de estimación concreto reciclado.*



Nota: En la figura se observa la proyección de los datos de resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de curado normal en la curva de predicción.

### 4.3.5.3. Resultados de optimización

**Tabla 109**

*Comparativa del diseño patrón y diseño optimizado del concreto normal.*

Concreto normal								
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto patrón				Optimización final			
	Relación agua - cemento	Factor cemento (bolsas)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump	Relación agua - cemento	Factor cemento	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump
175	0.63	7.70	181.47	5.59	0.64	7.20	177.55	3.62
210	0.56	8.60	237.93	4.17	0.575	8.20	213.18	3.78
280	0.47	10.30	329.74	2.52	0.50	10.10	285.76	3.82

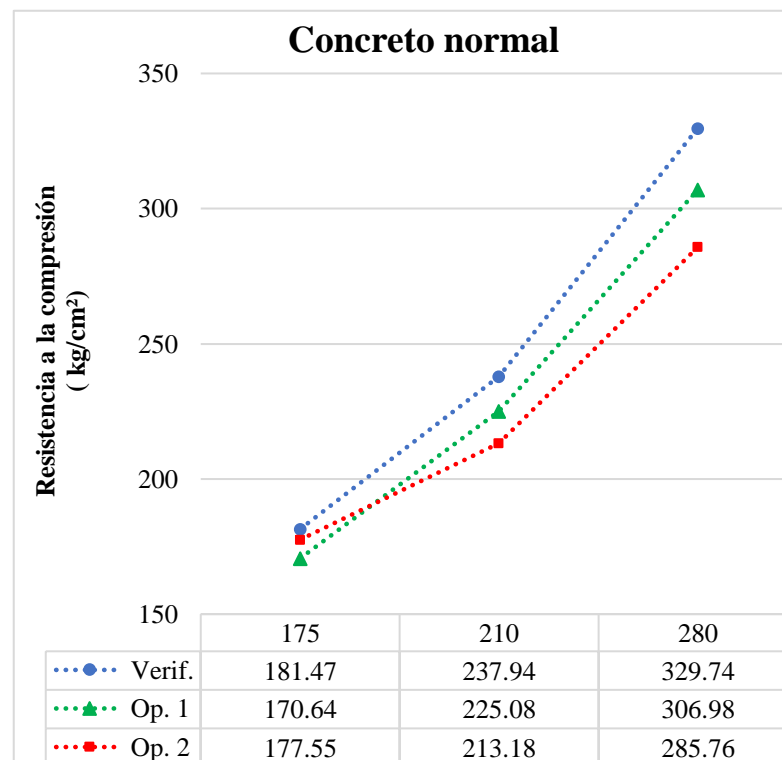
Nota: Datos del concreto normal, diseño inicial y el diseño final.

Como se observa en la Tabla 109, se muestra los datos de la muestra patrón para realizar la optimización y los resultados de la optimización finalizada, de la cual se pueden interpretar que; el aumento de la relación agua - cemento implica una disminución en factor cemento, además, que el slump ahora cumple con la solicitud de diseño.

En la Figura 73, se muestra la evolución de las resistencias del concreto normal, tomando como inicio las resistencias utilizadas en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias y terminando en la optimización 2 (final), en la que se observa que las resistencias son aproximadamente iguales a las resistencias de diseño deseadas 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 73**

*Evolución de resistencias en el concreto normal*



Nota: Evolución de las resistencias del concreto normal.

**Tabla 110***Comparativa del diseño patrón y diseño optimizado del concreto reciclado.*

Concreto reciclado								
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto patrón				Optimización final			
	Relación agua - cemento	Factor cemento (bolsas)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump	Relación agua - cemento	Factor cemento	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump
175	0.63	7.70	193.96	2.13	0.65	7.80	176.54	3.43
210	0.56	8.60	236.84	1.65	0.59	8.80	212.29	3.66
280	0.47	10.30	304.51	0.91	0.49	11.30	287.32	3.46

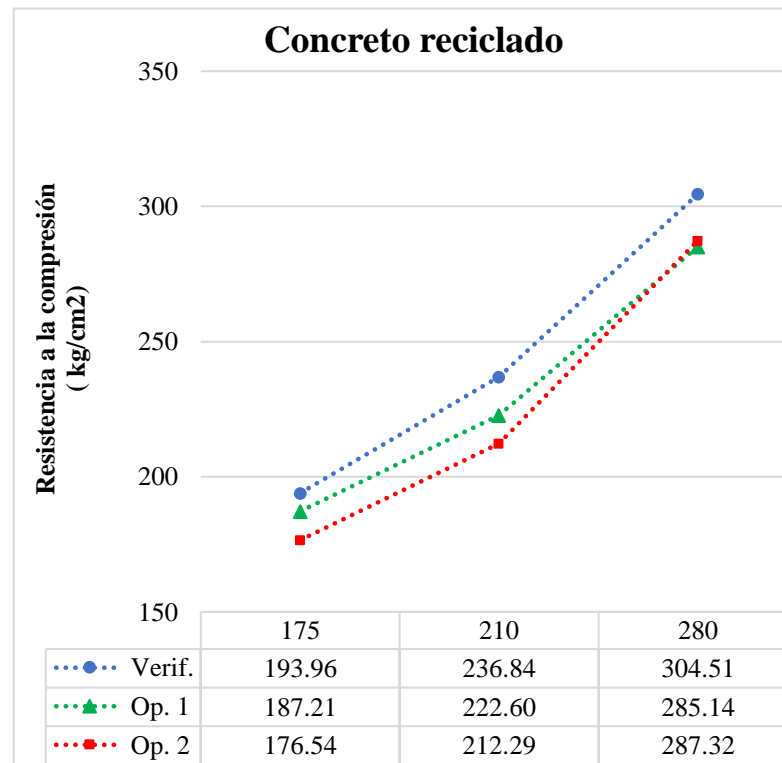
Nota: Datos del concreto reciclado, diseño inicial y el diseño final.

En la Tabla 110, se observa que las relaciones agua - cemento aumentan, al igual que el factor cemento, esto debido a la optimización de la consistencia requerida en el diseño, la cual fue muy baja por lo que fue necesario aumentar la cantidad de agua y como consecuencia se adiciono cemento para no afectar la relación, por lo cual el factor cemento aumenta.

En la Figura 74, se muestra la evolución de las resistencias del concreto con agregados reciclados, tomando como inicio las resistencias utilizadas en la verificación de la ecuación de estimación de resistencias y terminando en la optimización 2 (final), en la que se observa que las resistencias son aproximadamente iguales a las resistencias de diseño deseadas 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 74**

*Evolución de resistencias en el concreto con agregados reciclados.*



Nota: evolución de las resistencias del concreto reciclado.

De las Tablas 109 y 110, se puede afirmar que para las resistencias  $f^c = 175, 210 \text{ kg/cm}^2$  las relaciones agua – cemento del concreto con agregados reciclados son mayores, dando a interpretar que necesita menor cantidad de cemento que el concreto normal, sin embargo, en consideración de la consistencia es que fue necesario aumentar la cantidad de agua y como consecuencia la cantidad de cemento, notando al final que el factor cemento es mayor que el del concreto normal.

En el caso de la resistencia  $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , la relación agua cemento del concreto con agregados reciclados es menor que la del concreto normal y el factor cemento es mayor.

#### 4.3.5.4. Análisis estadístico objetivo N° 3

Para evaluar la utilización de las curvas de estimación en la optimización primeramente se realizará la prueba de normalidad de los datos obtenidos, esto para determinar la prueba estadística que nos valide la hipótesis planteada.

##### 4.3.5.4.1. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk

Para realizar la prueba necesitamos los datos obtenidos, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 111**

*Datos necesarios para realizar un análisis estadístico.*

OP	f'c	Concreto normal			Concreto reciclado		
		Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est.	Promedio 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia estimada (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est.	Promedio 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
OP1	175 kg/cm <sup>2</sup>	173,06	4,70	170,64	189,66	1,18	187,21
		163,69			190,12		
		167,63			191,89		
	210 kg/cm <sup>2</sup>	234,81	6,01	225,08	224,51	3,81	222,60
		223,09			221,65		
		226,64			216,97		
280 kg/cm <sup>2</sup>	301,64	4,54	306,98	274,52	11,46	285,14	
	306,96			295,38			
	297,92			293,18			
OP2	175 kg/cm <sup>2</sup>	185,74	4,33	177,55	177,7	5,48	176,54
		177,75			184,71		
		178,85			173,91		
	210 kg/cm <sup>2</sup>	211,74	5,01	213,18	218,38	4,48	212,29
		212,47			213,17		
		220,76			209,46		
280 kg/cm <sup>2</sup>	282,56	4,48	285,76	282,69	8,27	287,32	
	279,71			286,12			
	288,49			298,42			

Nota: la tabla presenta el arreglo de los datos obtenidos para poder realizar todos los análisis estadísticos necesarios para el contraste de la hipótesis.

#### 4.3.5.4.1.1. Planteamiento de las hipótesis estadísticas

Para determinar estadísticamente la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro – Wilk, se define las siguientes hipótesis estadísticas.

- **H0:** p-valor > significancia → los datos poseen una distribución normal.
- **H1:** p-valor < significancia → los datos no poseen una distribución normal.

Donde el valor de la significancia es de 0.05, con una confiabilidad de 95%.

#### 4.3.5.4.1.2. Análisis de normalidad mediante prueba de Shapiro – Wilk

Con los datos de la tabla NN, con los valores de las columnas de estimación realizamos el análisis de normalidad de datos, ya que serán estas las que se comparen con los obtenidos a 28 días de curado, obteniendo el siguiente cuadro.

**Tabla 112**

*Análisis estadístico mediante la prueba de Shapiro - Wilk.*

		Prueba de normalidad					
Optimización	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Shapiro-Wilk					
		Concreto normal			Concreto reciclado		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
OP1	175	0.992	3	0.825	0.897	3	0.376
	210	0.951	3	0.573	0.981	3	0.736
	280	0.990	3	0.806	0.828	3	0.184



		Prueba de normalidad					
Optimización	F <sup>ˆ</sup> c (kg/cm <sup>2</sup> )	Shapiro-Wilk					
		Concreto normal			Concreto reciclado		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
OP2	175	0.851	3	0.243	0.971	3	0.674
	210	0.810	3	0.139	0.991	3	0.815
	280	0.961	3	0.618	0.904	3	0.399

Nota: la tabla muestra los datos brindados por el programa IBM SPSS, el cual está acomodado de acuerdo a cada optimización y por tipo de concreto, donde nos muestra el P – Valor, para cada grupo de datos.

#### 4.3.5.4.1.3. Decisión de análisis

De acuerdo a los datos obtenidos mediante análisis de Shapiro – Wilk, podemos realizar la contrastación con las hipótesis estadísticas de la prueba de normalidad las cuales son:

- **H0:** p-valor > significancia → los datos poseen una distribución normal.
- **H1:** p-valor < significancia → los datos no poseen una distribución normal.

Al tener el P – Valor de cada grupo de datos, se puede concluir que todos los datos cumplen con una distribución normal, por lo tanto, se puede realizar pruebas estadísticas paramétricas que para el caso sería la prueba de T Student de una muestra.

#### 4.3.5.4.2. Prueba paramétrica T Student para una muestra

Teniendo los datos de la tabla 111, podemos realizar un análisis estadístico utilizando la prueba de T Student para una muestra.

- a) Para realizar el análisis primeramente se halla el estadístico de prueba “t”, el cual se determina mediante la siguiente ecuación.

$$t = \frac{\hat{Y} - \bar{Y}}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- $\hat{Y}$ : Resistencia estimada a los 28 días.
- $\bar{Y}$ : Resistencia obtenida a los 28 días.
- S: desviación estándar de la tanda.
- n: Número de datos.

Realizando este análisis para los grupos de datos que se tienen, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 113**

*Cálculo del estadístico de prueba “t”.*

Estadístico de prueba “t”		
F’c	Concreto normal	Concreto reciclado
175 kg/cm <sup>2</sup>	-0.925	4.200
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.893	-0.708
280 kg/cm <sup>2</sup>	-1.832	0.386
175 kg/cm <sup>2</sup>	1.292	0.706
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.626	0.533
280 kg/cm <sup>2</sup>	-0.840	0.368

Nota: en la tabla se muestran los estadísticos de prueba calculados con la ecuación anterior para cada grupo de datos.

- b) Cálculo del P – Valor, haciendo uso de la tabla T Student a dos colas mostrada en el Anexo 11.

Para una significancia de 0.05 y una confiabilidad de 95%, teniendo 2 grados de libertad por cada grupo de análisis se procede a

interpolarse en la tabla hasta encontrar la significancia el cual es también llamado P-Valor.

#### **Tabla 114**

*Cálculo del P – Valor mediante tabla de distribución T Student.*

<b>P – Valor (mediante tabla)</b>		
<b>F´c</b>	<b>Concreto normal</b>	<b>Concreto reciclado</b>
175 kg/cm <sup>2</sup>	0.455	0.051
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.468	0.554
280 kg/cm <sup>2</sup>	0.213	0.741
175 kg/cm <sup>2</sup>	0.344	0.555
210 kg/cm <sup>2</sup>	0.596	0.651
280 kg/cm <sup>2</sup>	0.490	0.752

Nota: en la tabla se observa los datos de P – Valor para cada grupo de análisis.

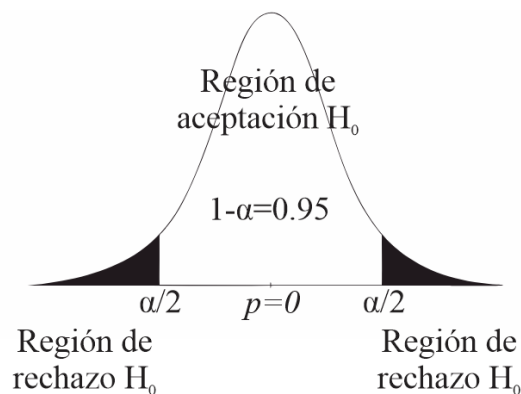
De acuerdo a la tabla 114, donde se muestran los valores de P – Valor, los cuales fueron calculados mediante interpolación de acuerdo a la tabla presentada en el Anexo 11, con lo cual se procede contrastar la hipótesis.

#### **4.3.5.4.2.1. Decisión de análisis**

Para la decisión del análisis podemos apoyarnos en el siguiente gráfico.

### Figura 75

*Zonas de aceptación y rechazo de una distribución T Student.*



Nota: la figura muestra los límites para una distribución T Student para una confiabilidad de 95% y una significancia de 0.05, así también las zonas de aceptación y rechazo de la hipótesis nula.

Y con las hipótesis estadísticas planteadas.

- **H0:** P – Valor > Significancia → las resistencias estimadas son iguales a las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal.
- **H1:** P – Valor > Significancia → las resistencias estimadas no son iguales a las resistencias obtenidas a 28 días de curado normal.

De acuerdo a la tabla 114 donde se muestran el P – Valor, contrastando con las hipótesis estadísticas, podemos concluir que las resistencias estimadas mediante un curado acelerado son estadísticamente iguales a las resistencias obtenidas a los 28 días de curado normal.

#### 4.4. ANÁLISIS DE COSTOS

En vista que se ha estimado la viabilidad técnica del concreto con agregados reciclados, considerando las resistencias a la compresión, es necesario estimar la viabilidad económica del mismo. Es por ello que, en el presente ítem se estudia el costo de producción del concreto normal y con agregados reciclados.

Debido a que, en el mercado actual no existen plantas procesadoras de agregados reciclados gruesos y finos en la región de Puno, es necesario evaluar el precio unitario de estos, para ello, se definen etapas por las que atraviesa la materia prima para convertirse en agregados reciclados, según se muestra a continuación:

- 1RA ETAPA: Habilitación de la materia prima
- 2DA ETAPA: Carguío y transporte de la materia prima a la planta chancadora
- 3RA ETAPA: Granulado y/o triturado de concreto.

Las dos primeras etapas, pueden estimarse en base al libro de “Costos y presupuestos en edificación” de la Cámara Peruana de la Construcción y de los ACU de los expedientes técnicos aprobados de la región de Puno, resultados que se muestran a continuación:

**Tabla 115**

*Habilitación de la materia prima necesaria.*

<b>Habilitación de la materia prima</b>						
<b>Rendimiento :</b>	<b>m3/día</b>	<b>35</b>	<b>Costo unitario directo por: m3</b>			<b>26.97</b>
<b>Descripción del recurso</b>	<b>Und.</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
Operador De Equipo	hh	0.2000	0.0457	26.06	1.19	
Capataz	hh	0.1000	0.0229	26.06	0.6	
Peón	hh	3.0000	0.6857	18.53	12.71	
					<b>14.50</b>	
<b>MATERIALES</b>						

<b>Habilitación de la materia prima</b>						
<b>Rendimiento :</b>	<b>m3/día</b>	<b>35</b>	<b>Costo unitario directo por: m3</b>			<b>26.97</b>
<b>Descripción del recurso</b>	<b>Und.</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
Agua	m3		0.2000	5.56	1.11	
Materia Prima De Demolición	m3		1.0000	2.00	2.00	
						<b>3.11</b>
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas Manuales	%MO		0.0300	14.50	0.44	
Retroexcavadora C/Rotomartillo	hm	0.3000	0.0686	130.00	8.92	
						<b>9.36</b>

Nota: análisis de costos unitarios de habilitación de la materia prima.

**Tabla 116**

*Carguío y transporte de la materia prima habilitada.*

<b>Carguío y transporte de la materia prima a la planta chancadora d&lt;2.5km</b>						
<b>Rendimiento :</b>	<b>m3/día</b>	<b>240</b>	<b>Costo unitario directo por: m3</b>			<b>9.37</b>
<b>Descripción del recurso</b>	<b>Und.</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
Operador De Equipo	hh	1.8000	0.0600	26.06	1.56	
Capataz	hh	0.1000	0.0033	26.06	0.09	
Peón	hh	1.0000	0.0333	18.53	0.62	
						<b>2.27</b>
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas Manuales	%MO		0.0300	2.27	0.07	
Retroexcavadora P/Carguío	hm	0.7000	0.0233	130.00	3.03	
Camión Volquete 15m3	hm	1.0000	0.0333	120.00	4.00	
						<b>7.10</b>

Nota: análisis de costos unitarios del carguío y transporte de la materia prima.

El costo de la habilitación, carguío y transporte de la materia prima por m3 es S/ 26.97 y S/ 9.37 respectivamente, sumando un total de S/ 36.34 por m3 de material con el tamaño máximo y características adecuadas para ingresar a la planta trituradora.

Para la estimación del costo de la tercera etapa se realiza la cotización en tres plantas de la región de Puno, los cuales son S/35, S/38 y S/34, para efectos de esta investigación se considera el valor promedio S/35.50. Este monto considera el volumen de producto final.

Sumando los costos de las tres etapas se obtiene S/ 71.84 como el costo de 1 m3 de agregado grueso y fino reciclado, es preciso señalar que 1 m3 se separa en

proporciones de 65% agregado grueso y 35% agregado fino, pudiéndose llegar a la conclusión de que se aprovechará el 100% de los áridos reciclados, separados por una malla de 4.75 mm, que diferencia entre el agregado grueso y agregado fino reciclado.

Los costos de los áridos convencionales finos y gruesos se obtuvieron de cotizaciones para la ciudad de Puno (Anexo 13), obteniendo valores que se muestran en la Tabla 117.

**Tabla 117**

*Cotización de materia prima en la ciudad de Puno.*

<b>Material</b>	<b>Und.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Cot. 01 (S/)</b>	<b>Cot. 02 (S/)</b>	<b>Cot. 03 (S/)</b>	<b>Promedio (S/)</b>
Piedra chancada	m3	1	97.50	116.82	110.00	108.11
Arena gruesa	m3	1	70.00	74.34	90.00	78.11

Nota: costos de materiales en la ciudad de Puno.

Según la Tabla 117, se nota que el costo obtenido de los agregados reciclados están entre el rango del costo de la piedra chancada y arena gruesa, el costo del árido reciclado representa un 66.45% del costo de la piedra chancada y un 91.97% de la arena gruesa, además, según Bedoya y Dzul (2015) para la producción a escala industrial estandarizada, un metro cúbico de agregados reciclados representa el 65% del costo del agregado natural.

El costo del agua por m<sup>3</sup>, para uso industrial en la ciudad de Puno es de S/ 5.56 inc. IGV, el cual será considerado para la estimación del costo del concreto por m<sup>3</sup>.

Las Tablas 118 hasta la Tabla 123, muestran los costos de los materiales para la elaboración del concreto normal y con agregados reciclados para resistencias de 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, cantidades que fueron obtenidas en la optimización final del diseño de mezclas, los cuales se muestran en el Anexo 5.

**Tabla 118***Costo de materiales  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  - concreto normal.*

Material	Unidad	Cantidad	P.U. (S/)	Parcial (S/)	Total (S/)
Cemento	bls	7.170	26.50	<b>190.01</b>	<b>303.31</b>
Agua	m3	0.216	5.56	<b>1.20</b>	
Agregado fino	m3	0.512	78.11	<b>39.99</b>	
Agregado grueso	m3	0.667	108.11	<b>72.11</b>	

**Tabla 119***Costo de materiales  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  - concreto normal.*

Material	Unidad	Cantidad	P.U. (S/)	Parcial (S/)	Total (S/)
Cemento	bls	8.180	26.50	<b>216.77</b>	<b>327.26</b>
Agua	m3	0.221	5.56	<b>1.23</b>	
Agregado fino	m3	0.477	78.11	<b>37.26</b>	
Agregado grueso	m3	0.666	108.11	<b>72.00</b>	

**Tabla 120***Costo de materiales  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  - concreto normal.*

Material	Unidad	Cantidad	P.U. (S/)	Parcial (S/)	Total (S/)
Cemento	bls	10.120	26.50	<b>268.18</b>	<b>372.82</b>
Agua	m3	0.234	5.56	<b>1.30</b>	
Agregado fino	m3	0.404	78.11	<b>31.56</b>	
Agregado grueso	m3	0.664	108.11	<b>71.79</b>	

**Tabla 121***Costo de materiales  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  - concreto con agregados reciclados.*

Material	Unidad	Cantidad	P.U. (S/)	Parcial (S/)	Total (S/)
Cemento	bls	7.780	26.50	<b>206.17</b>	<b>299.06</b>
Agua	m3	0.248	5.56	<b>1.38</b>	
Agregado fino	m3	0.249	78.11	<b>19.45</b>	
Agregado grueso	m3	0.129	108.11	<b>13.95</b>	
Agregado fino reciclado	m3	0.305	71.84	<b>21.91</b>	
Agregado grueso reciclado	m3	0.504	71.84	<b>36.21</b>	



**Tabla 122**

*Costo de materiales  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  - concreto con agregados reciclados.*

Material	Unidad	Cantidad	P.U. (S/)	Parcial (S/)	Total (S/)
Cemento	bls	8.770	26.50	<b>232.41</b>	
Agua	m3	0.253	5.56	<b>1.41</b>	
Agregado fino	m3	0.231	78.11	<b>18.04</b>	<b>322.84</b>
Agregado grueso	m3	0.131	108.11	<b>14.16</b>	
Agregado fino reciclado	m3	0.283	71.84	<b>20.33</b>	
Agregado grueso reciclado	m3	0.508	71.84	<b>36.49</b>	

**Tabla 123**

*Costo de materiales  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  - concreto con agregados reciclados.*

Material	Unidad	Cantidad	P.U. (S/)	Parcial (S/)	Total (S/)
Cemento	bls	11.280	26.50	<b>298.92</b>	
Agua	m3	0.268	5.56	<b>1.49</b>	
Agregado fino	m3	0.188	78.11	<b>14.68</b>	<b>382.42</b>
Agregado grueso	m3	0.131	108.11	<b>14.16</b>	
Agregado fino reciclado	m3	0.230	71.84	<b>16.52</b>	
Agregado grueso reciclado	m3	0.510	71.84	<b>36.64</b>	

En la Tabla 124, se muestra el resumen de los costos de los materiales para resistencias de  $175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$  de los concretos normales y concretos con agregados reciclados.

**Tabla 124**

*Resumen de costo de producción de concreto normal y reciclado.*

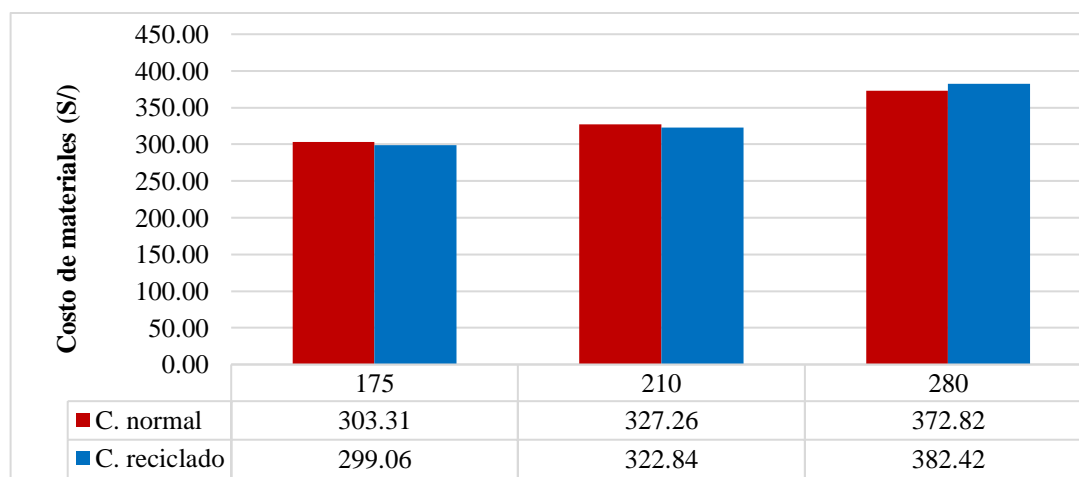
F'c diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de concreto	Resist. obt. (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia	Costo (S/)
175	CN	177.55	101.46%	<b>303.31</b>
	CR	176.54	100.88%	<b>299.06</b>
210	CN	213.18	101.51%	<b>327.26</b>
	CR	212.29	101.09%	<b>322.84</b>
280	CN	285.76	102.06%	<b>372.82</b>
	CR	287.32	102.61%	<b>382.42</b>

Nota: Comparación de costos de producción de los concretos.

Para resistencias de 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> los costos de los materiales del concreto con agregados reciclados son menores, representando el 98.60% y 98.65% del concreto normal respectivamente, sin embargo, para el concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>, el costo de los materiales del concreto con agregados reciclados es mayor al del concreto normal representando el 102.57%. Un aspecto a resaltar es que, para todos los casos, la suma del costo de los agregados para el concreto con agregados reciclados es menor al del concreto normal, poniendo en evidencia que el costo se eleva principalmente por el insumo de cemento.

**Figura 76**

*Costo de producción de concreto normal y reciclado.*



Nota: comparación de costo de producción de concreto normal y concreto reciclado.

## 4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.5.1. Influencia de la combinación de agregados normales y reciclados en la resistencia a la compresión del concreto

En la investigación se elaboraron 11 combinaciones de los agregados finos y gruesos normales y reciclados para la producción de concreto de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo valores de resistencias entre 216.36 kg/cm<sup>2</sup> y 249.38 kg/cm<sup>2</sup> correspondientes a las combinaciones 0%AFR+100%AF - 100%AGR+0%AG y 100%AFR+0%AF - 0%AGR+100%AG respectivamente, teniendo una diferencia máxima de 33.02 kg/cm<sup>2</sup>, además, todas las resistencias están sobre el  $f'c$  de diseño. Por motivos ya justificados en esta investigación, se optó por la combinación 50%AFR+50%AF - 75%AGR+25%AG cuya resistencia obtenida a los 28 días fue de 237.16 kg/cm<sup>2</sup>, 2.34 kg/cm<sup>2</sup> mayor a la combinación patrón (0%AFR+100%AF - 0%AGR+100%AG) la cual obtuvo 234.82 kg/cm<sup>2</sup>.

La investigación de Camargo (2018) indica que la resistencia a la compresión a los 28 días, de las probetas con 0%, 100%, 80%, 60%, 50%, 40% y 20% de agregados gruesos reciclados, son 274.63, 201.66, 239.43, 249.67, 255.28, 266.26 y 258.96 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, deduciendo que solamente el concreto con 100% de agregados gruesos reciclados no llega a la resistencia de diseño. Asimismo, se puede notar que para un diseño de 0% de agregados gruesos reciclados la resistencia a la compresión es máxima con 274.63 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a los resultados de nuestra investigación, tenemos que la resistencia máxima es de 249.38 kg/cm<sup>2</sup> la que corresponde a 100% de agregado fino reciclado con 100% de agregado grueso normal, la diferencia entre ambos resultados es de 25.25



kg/cm<sup>2</sup>, diferencia que se deduce es por la integración de agregado fino reciclado, y por la diferencia en los demás materiales como el cemento, agregados, etc.

Otra investigación de Silva *et al.* (2019), obtiene que a mayores de reemplazo de residuo de mampostería y menores de cal hidratada presentan mejores resistencias a la compresión, la resistencia indicada aumenta un 25.1% a los 28 días de curado con respecto a la mezcla patrón. En cuanto a nuestros resultados, encontramos similitud ya que nuestra combinación 100% AFR+0% AF - 0% AGR+100% AG, presenta mejor resistencia en 6.20% con respecto a la muestra patrón, esto debido al comportamiento puzolánico en los agregados finos reciclados.

Soncco (2022), muestra que para 0%, 33%, 67% y 100% de incorporación de agregados finos reciclados y para la relación agua/cemento de 0.62 se tienen resistencias de 125.87, 170.24, 161.69 y 156.53 kg/cm<sup>2</sup>, para 0.55, se tiene 172.09, 198.46, 184.88 y 177.76 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y para 0.48, se tiene 257.27, 211.48, 194.19 y 182.68 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En base a ello, se puede decir que para las relaciones agua/cemento de 0.62 y 0.55, la incorporación de agregado fino reciclado para todos los porcentajes presenta resistencias que superan a la mezcla patrón, siendo el máximo el 33%, caso contrario a la relación a/c de 0.48, en donde la incorporación de cualquier porcentaje de agregado fino reciclado es menor y las resistencias disminuyen conforme se aumenta el porcentaje de incorporación de agregado fino reciclado. Estos resultados son muy similares al de nuestra investigación, ya que se encontró que a mayor incorporación de agregado fino reciclado mejores resistencias a la compresión se obtiene, esto considerando que los agregados reciclados han sido saturados para la elaboración de probetas.

En tal sentido, respecto a lo referido y analizado los resultados, se puede confirmar que la elección de la combinación de 50% de agregados finos reciclados, 50% de agregados finos normales, 75% de agregados gruesos reciclados y 25% de agregados gruesos normales (50%AFR+50%AF - 75%AGR+25%AG) es adecuada y viable técnicamente por su capacidad de resistencia a la compresión.

#### **4.5.2. Ecuación de estimación de resistencias a la compresión del concreto normal y con agregados reciclados**

En la presente investigación se ha elaborado dos ecuaciones de regresión para la estimación de resistencias del concreto normal y con agregados reciclados, éstos considerando 07 relaciones agua-cemento, obteniendo que para el concreto normal se tiene una recta cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0.998$ , y para el concreto con agregados reciclados  $R^2 = 0.994$ .

Los resultados al ser comparados con lo que encontraron Apaza y Condori (2020), quienes indican que para un concreto con aditivo impermeabilizante sometido a curado acelerado método B (agua hervida) se tiene un  $R^2 = 0.997$ , en la cual afirma que para una resistencia acelerada de  $188.04 \pm 1.10 \text{ kg/cm}^2$ , se estima con un intervalo de confianza del 90% una resistencia de  $265.83 \text{ kg/cm}^2$ , además una resistencia real a los 28 días de  $267.61 \text{ kg/cm}^2$ , con una diferencia de  $1.78 \text{ kg/cm}^2$  con lo que se verifica la gráfica de predicción. En cuanto a nuestros resultados, se tiene en la verificación de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en concreto normal que para una resistencia acelerada de  $140.10 \pm 3.5$ , una estimación de  $239.83 \text{ kg/cm}^2$  y una resistencia real de  $237.93 \text{ kg/cm}^2$  con una diferencia de  $1.90 \text{ kg/cm}^2$ ; para el concreto con agregados reciclados, se tiene que para una resistencia acelerada de



$118.68 \pm 3.23 \text{ kg/cm}^2$  se estima una resistencia de  $232.08 \text{ kg/cm}^2$ , y una resistencia real de  $236.84 \text{ kg/cm}^2$  con una diferencia de  $4.76 \text{ kg/cm}^2$ .

Asimismo, otra investigación de Huamán y Santiago (2019), afirma que para 3.5 horas de curado acelerado por el método B (Agua hirviendo), se tienen resistencias entre  $10.97 - 14.02 \text{ Mpa}$ , los cuales representan el 52.23% y 66.78% respectivamente las resistencias de diseño. En nuestra investigación tenemos que para el mismo tiempo de curado acelerado por el método B, para la verificación de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en concreto normal se tiene una resistencia acelerada de  $140.10 \text{ kg/cm}^2$ , 66.71% de la resistencia de diseño y para el concreto con agregados reciclados una resistencia acelerada de  $118.68 \text{ kg/cm}^2$ , 56.51% de la resistencia de diseño, estos porcentajes están dentro del rango de porcentajes obtenidos en la investigación en discusión.

Es por ello, que se puede confirmar que el uso de la ecuación de regresión para la estimación de resistencias a edades mayores del concreto normal y con agregados reciclados son aplicables para su uso, estando éstas verificadas estadísticamente y contrastadas.

#### **4.5.3. Optimización de los diseños de mezclas del concreto normal y con agregados reciclados**

En esta investigación, se optimizaron diseños de mezclas del concreto normal y con agregados reciclados, para la obtención de resistencias de  $175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días y asentamientos que estén dentro de 3"-4".

En la investigación de Orbe y Zúñiga (2013) optimizan la relación agua/cemento en el diseño de hormigones para las resistencias de 180, 210, 240 y



280 kg/cm<sup>2</sup> para una edad de 56 días, encontrando que para todos los casos las relaciones agua/cemento aumentan con respecto al patrón establecido del ACI, de 0.623 a 0.672 para 180 kg/cm<sup>2</sup>, de 0.530 a 0.625 para 210 kg/cm<sup>2</sup>, de 0.494 a 0.565 para 240 kg/cm<sup>2</sup> y de 0.445 a 0.531 para 280 kg/cm<sup>2</sup>, cuyas resistencias a los 56 días varían de 224 a 196, de 295 a 223, de 334 a 260 y de 378 a 303 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En nuestra investigación se tiene que para el concreto normal las relaciones agua/cemento varían de 0.63 a 0.64 para 175 kg/cm<sup>2</sup>, de 0.56 a 0.575 para 210 kg/cm<sup>2</sup> y de 0.47 a 0.50 para 280 kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo resistencias que varían de 181.47 a 177.55, de 237.93 a 213.18 y de 329.74 a 285.76 respectivamente. De igual modo, para el concreto con agregados reciclados las relaciones agua/cemento varían de 0.63 a 0.65 para 175 kg/cm<sup>2</sup>, de 0.56 a 0.59 para 210 kg/cm<sup>2</sup> y de 0.47 a 0.49 para 280 kg/cm<sup>2</sup>, cuyas resistencias varían de 193.96 a 176.54, de 236.84 a 212.29 y de 304.51 a 287.32 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En concordancia con la investigación en mención, las relaciones agua/cemento aumentan para todos los casos de optimización, pudiéndose interpretar que la cantidad de cemento será menor en las optimizaciones, sin embargo, en nuestra investigación se consideró la consistencia del concreto, siendo ésta influyente en el concreto con agregados reciclados, ya que los agregados presentan un porcentaje alto de absorción, es por ello, que es necesario el incremento de agua y como consecuencia, la cantidad de cemento.

En base a lo sustentado, se puede confirmar que la optimización de los diseños de mezclas es adecuada en cuanto a resistencias a la compresión y consistencias medidas con el ensayo de asentamiento del concreto o prueba del cono de Abrams.



#### 4.5.4. Costos de producción del concreto normal y con agregados reciclados

En nuestra investigación se hizo la comparación de los costos de los materiales para la producción de concreto normal y con agregados reciclados, cantidad de materiales que han sido extraídas de los diseños de mezclas de la optimización final para las resistencias de 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, considerando que las resistencias están aproximadamente iguales a las de diseño y con consistencia plástica de 3''-4'' de asentamiento.

Son muy diversas las conclusiones en cuanto a los costos de producción de concretos con agregados reciclados, Bedoya y Dzul (2015), comparan los costos de producción de concretos con 0%, 25%, 50% y 100% de agregados reciclados, obteniendo costos de 108.50, 108.08, 108.23 y 107.39 USD/m<sup>3</sup> respectivamente, con una diferencia máxima de 1.11 USD/m<sup>3</sup> resultando más económica el concreto con 100% de agregados reciclados, esto quiere decir, que no hay mucha variación en el costo de producción entre el concreto con 0% y 100% de agregados reciclados, cabe señalar que, estos costos son calculados para resistencias a los 28 días de 23.51 MPa, 22.91 MPa, 22.28 Mpa y 20.33 MPa respectivamente. Por otro lado, Ruelas (2015), indica que el costo del concreto aumenta a medida que aumenta el porcentaje de agregado reciclado, siendo la condición más costosa la que es incorporada con 60% de árido grueso reciclado, además, menciona que la resistencia de 140kg/cm<sup>2</sup> tiene mayor incremento de costo equivalente a S/ 14.63 que representa un aumento de 9.33%, cabe resaltar que el precio unitario del agregado grueso reciclado se calculó descartando el 30% de su volumen, por ser partículas pequeñas menores a 4.75mm, sin embargo para nuestra investigación las partículas menores a 4.75 mm se consideraron como





agregados finos. Asimismo, en nuestra investigación se ha obtenido que el costo de materiales para la producción de 1 m<sup>3</sup> de concreto con agregados normales para las resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> optimizadas, son de S/ 303.31, S/ 327.26 y S/ 372.82 respectivamente, y para el concreto con agregados reciclados costos de S/ 299.06, S/ 322.84 y S/ 382.42 respectivamente, resultando que los concretos con agregados reciclados son menos costosas que los concretos normales de resistencias 175 y 210 kg/cm<sup>2</sup> y más costosa para el concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, podemos afirmar, que nuestros resultados mantienen una relación coherente con los otros resultados.

#### **4.6. PROPUESTA DE USO DEL CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS**

El uso de agregados para la elaboración de concretos viene siendo estudiada, un punto de partida es la NTP 400.053, que define el uso de agregados reciclados considerando su origen, es por ello que en la presente investigación se analiza la posibilidad de su uso en elementos estructurales como pavimento de bajo tránsito.

En el Anexo 12, se realizó el cálculo del espesor de losa de concreto, de la cual se obtuvo 13.82 cm para el concreto normal y 14.68 cm para concreto con agregados reciclados, la diferencia de espesores es de 0.86 cm. Sin embargo, esta diferencia es muy despreciable, ya que, por proceso constructivo, durabilidad y requerimientos mínimos en normativas, es necesario considerar un espesor de 15 cm.



## V. CONCLUSIONES

- Del objetivo general se concluye que, el uso del método de curado acelerado para optimizar la resistencia a compresión del concreto en 28.5 horas, tiene una buena confiabilidad, esto ocurre tanto para el concreto normal y el concreto reciclado, pasando de 181.47 kg/cm<sup>2</sup> a 177.55 kg/cm<sup>2</sup>, para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup>, de 237.93 kg/cm<sup>2</sup> a 213.18 kg/cm<sup>2</sup>, para un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, de 329.74 kg/cm<sup>2</sup> a 285.76 kg/cm<sup>2</sup>, para un concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>, en concreto con agregados normales, y de 193.96 kg/cm<sup>2</sup> a 176.54 kg/cm<sup>2</sup>, para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup>, de 236.84 kg/cm<sup>2</sup> a 212.29 kg/cm<sup>2</sup>, para un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, de 304.51 kg/cm<sup>2</sup> a 287.32 kg/cm<sup>2</sup>, para un concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>, en concreto con agregados reciclados, por lo tanto la investigación presenta las siguientes conclusiones específicas.
- De acuerdo al primer objetivo, según el análisis estadístico por el método de Kruskal – Wallis, se determinó que la adición en porcentajes de agregados reciclados fino y grueso, tienen una influencia independiente, la adición en porcentaje del agregado grueso reciclado no tiene influencia representativa en el concreto elaborado con agregado reciclado fino, sin embargo, la adición en porcentaje del agregado fino reciclado tiene influencia representativa en el concreto elaborado con agregado reciclado grueso, así también mediante un análisis de correlación de Pearson se determinó el tipo de influencia, el cual mostró que el agregado fino reciclado tiene una influencia positiva con  $r = 0.8062$  y el agregado grueso reciclado tiene una influencia negativa con  $r = -0.9639$ . además, mediante el análisis de las gráficas de granulometría y diseños de combinación se eligió la proporción de 50% en combinación de agregado fino reciclado y 75% en combinación de agregado grueso



reciclado, el cual cumple las solicitaciones del ASTM C33 y también la resistencia a la compresión.

- De acuerdo al segundo objetivo, mediante un análisis estadístico paramétrico T Student, se determinó que los valores obtenidos mediante estimación por curado acelerado son estadísticamente iguales a los datos obtenidos a los 28 días, tanto para concreto normal y concreto con agregados reciclados. Además, mediante un análisis de correlación de Pearson se determinó el coeficiente de determinación  $r^2$ , el cual determina la calidad de la regresión para predecir resultados, dándonos para la ecuación de estimación del concreto normal  $R^2 = 99.8\%$  y para el concreto con agregados reciclados  $R^2 = 99.4\%$ .
- De acuerdo al tercer objetivo, mediante análisis estadístico T Student se determinó estadísticamente que los datos obtenidos mediante curado acelerado para realizar la optimización son iguales a los obtenidos a los 28 días de curado normal, se determinaron diseños de mezclas para  $f'c=175, 210$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$ , de concreto normal los cuales alcanzaron resistencias del 101.46, 101.52 y 102.06% respectivamente y para el concreto con agregados reciclados alcanzaron resistencias del 100.88, 101.09 y 102.61% respectivamente, este proceso de optimización se realizó sin esperar los resultados a 28 días, el método de ajuste que se utilizó consideró la variación de la relación agua/cemento y el asentamiento requerido.
- De acuerdo al cuarto objetivo específico se tiene que para resistencias de 175 y 210  $\text{kg/cm}^2$  los costos para un  $\text{m}^3$  de los materiales en la producción de concreto con agregados reciclados son menores que el del concreto con agregados normales, representando el 98.60% y 98.65% respectivamente, sin embargo, para la resistencia de 280  $\text{kg/cm}^2$  el costo es mayor, representando el 102.57%.



## VI. RECOMENDACIONES

- Que, al momento de preparación de la mezcla, los agregados finos y gruesos reciclados estén saturados y con un contenido de humedad igual o superior al de la absorción, y que se pueda considerar el uso de agregados finos reciclados en la fabricación de elementos estructurales en vista de que esta mejora la propiedad de resistencia a la compresión del concreto.
- Considerar el uso y aplicación de los métodos de curado acelerado para la estimación de resistencias en la ejecución de obras que involucre el manejo concreto simple, armado y premezclado, debido a que estas tienen un grado de confiabilidad alto y que, con ello, se reduce el tiempo de obtención de datos y hace que la toma de decisiones sea más eficaz.
- Considerar el uso de aditivos reductores de agua o plastificantes en la elaboración de concreto con agregados reciclados, ya que para concretos de resistencia  $f'_c=175$  kg/cm<sup>2</sup> y 210 kg/cm<sup>2</sup> requiere mayores relaciones a/c para alcanzar las mismas resistencias del concreto con agregados normales, sin embargo, el slump es menor.
- Realizar el estudio de la resistencia a la flexión, tracción y otras propiedades físicas del concreto con agregados finos reciclados como la durabilidad, impermeabilidad, etc.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)* (2ª ed). San Marcos.
- ACI - 318. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) y comentario*. American Concrete Institute (ACI).
- ACI 211.1-91. (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. American Concrete Institute (ACI).
- Ajdukiewicz, A., & Kliszczewicz, A. (2002). Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24(2), 269–279. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00012-9)
- Alaejos Gutiérrez, P. (2008). *Tipos y propiedades de áridos reciclados*. Centro de estudios y experimentación de obras publicas (CEDEX).
- American Concrete Pavement Association. (2009). *Recycling Concrete Pavements*. ACPA.
- Apaza Choquemamani, L., y Condori Cuchuyrumi, L. A. (2020). *Influencia del curado acelerado en la predicción de la resistencia del concreto con aditivos* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11787>
- Aroste Villa, J. L. (2021). *Impregnación de agregados reciclados con cemento IP y el mejoramiento de sus características físicas -mecánicas, en la resistencia del concreto* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18457>
- Asencio Sangay, A. R. (2014). *Efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/493>
- Asociación Colombiana de Productores de Cemento. (2011). Agregados reciclados presentes en la rehabilitación de estructuras. *Noticreto*, 108(1), 62–65. [http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto\\_108.html](http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto_108.html)



- ASTM C131. (2003). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C33. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C595. (2008). *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Babanski, Y. K. (1982). *Optimización del proceso de enseñanza*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Bazalar La Puerta, L. R., y Cadenillas Calderon, M. A. J. (2019). Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en estructuras aporticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental. In *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar\\_LPL.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar_LPL.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Bedoya, C., y Dzul, L. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista Ingeniería de Construcción [Online]*, 30(2), 99–108. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000200002>
- Bermudez Hernández, R. D. (2021). *Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos de construcción y demolición como agregado grueso* [Tesis de Grado, Universidad de la Costa, CUC].  
[https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8174/Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8174/Evaluación%20de%20la%20resistencia%20a%20la%20compresión%20de%20un%20concreto%20con%20la%20sustitución%20de%20residuos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Camargo Najjar, C. G. (2018). Evaluación del uso de pavimentos rígidos demolidos como agregados reciclados en la elaboración de mezclas de concreto en la región Puno-2011. *Revista Científica Investigación Andina*, 18(1), 209–235.  
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3052>
- Cardenas Lopez, A. E., y Huillcañahui Taco, I. (2021). *Influencia de las condiciones de curado en la predicción de la resistencia del concreto utilizando métodos*



- acelerados* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12773/12475>
- CEMEX. (2015). *Proyecto Piloto de CEMEX en Berlín Construido con Concreto Especial de Agregado Reciclado*. <https://www.cemex.com/es/w/proyecto-piloto-de-cemex-en-berlin-construido-con-concreto-especial-de-agregado-reciclado>
- Centro de estudios y experimentación de obras públicas. (2012). *Reciclado de pavimentos de hormigón*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. <https://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/34/reciclado-de-pavimentos-de-hormigon/valorizacion/propiedades-del-material-procesado-/185/propiedades-fisicas.html>
- Cipriano Rojas, F. C. (2019). *Concreto elaborado con agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/19519>
- Coronación Martínez, S. W. (2017). *Evaluación de impactos por la extracción de agregados para la construcción en el cauce del río Achamayo, Concepción - Junín* [Tesis de grado, Universidad Peruana los Andes].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12848/279>
- Da Cunha, J., Nieto Almeida, L. E., Crespo Borges, T., y López Fernández, R. (2019). La optimización del proceso de enseñanza-aprendizaje una tarea de la dirección de las universidades. *Revista Conrado*, 15(68), 308–314.  
<http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>
- Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., & Barra, M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 37(5), 735–742.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.002>
- Flores Tapia, C. E., y Flores Cevallos, K. L. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk Y Kolmogórov-Smirnov. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2), 83–106.  
<https://doi.org/https://revistas.up.ac.pa/index.php/societas>



- Fundación Laboral de la Construcción. (2006). *Curado acelerado del hormigón*.  
Diccionario de La Construcción.  
<https://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/estructuras-de-hormigon/curado-acelerado-del-hormigon>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la Construcción* (2<sup>a</sup> ed). Centro de publicaciones.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6<sup>a</sup>ed). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Huamán Pinedo, J. B., y Santiago Mendoza, R. I. (2019). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=21$  MPa, comparando el método de curado acelerado y curado normal* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/240>
- Jiménez Cortes, W. A., y López Rincon, A. M. (2017). *Análisis mecánico de la utilización de concreto reciclado como agregado grueso en un concreto de alto desempeño (6000 psi ó 42 Mpa)*. [Tesis de grado, Universidad Católica De Colombia].  
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/cbfb96f-9147-4872-81c0-e44ab38ed4bf/content>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association (PCA).
- Krishna Iyer, R., y Sukesan Nair, N. (1977). Ensayos acelerados de resistencia del hormigón. *The Indian Concrete Journal*, 51(11), 334–341.  
<https://doi.org/10.3989/mc.1979.v29.i175.1095>
- Laura Apaza, D. H. (2022). *Diagnóstico técnico del manejo de residuos de construcción y demolición en edificaciones de la ciudad de Juliaca* [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].  
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/7226>
- Martínez Molina, W., Torres Acosta, A. A., Alonso Guzmán, E. M., Chavéz García, H. L., Hernández Barrios, H., Lara Gómez, C., Martínez Alonso, W., Pérez Quiroz, J. T., Bedolla Arroyo, J. A., y Gonzáles Valdez, F. M. (2015). *Concreto*





reciclado: una revisión. *ALCONPAT*, 5(3), 235–248.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-68352015000300235](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300235)

McNeil, K., & Kang, T. H. K. (2013). Recycled concrete aggregates: a review.

*International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(1), 61–69.

<https://doi.org/10.1007/s40069-013-0032-5>

Meza Ichpas, F. G. (2019). *Estudio de las características del concreto reciclado fresco y endurecido, con sustitución parcial y total del agregado grueso* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería].

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/18706>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Lima, Perú.

Neville, A. M. (1999). *Tecnología del Concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

NTP 334.001. (2011). *Cementos. Definiciones y nomenclatura* (3ª ed). INDECOPI.

NTP 334.009. (2005). *Cementos. Cementos portland requisitos* (3ªed). INDECOPI.

NTP 339.088. (2006). *Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos* (2ªed). INDECOPI.

NTP 339.213. (2018). *Concreto. Método de ensayo normalizado para la elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto* (2ª ed). INACAL.

NTP 400.011. (2008). *Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)* (2ª ed). INDECOPI.

NTP 400.012. (2001). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (2ªed). INDECOPI.

NTP 400.037. (2014). *Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto* (3ª ed). INDECOPI.

NTP 400.053. (1999). *Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje*



*de concreto de demolición.* INDECOPI.

Ojeda López, L. K., Mar Huaynillo, E. R., y Zea Colca, M. R. (2017). *Plan de gestión de residuos de construcción y demolición depositados en espacios públicos y de obras menores de la provincia de Puno - 2018.*

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/propuesta-plan-gestion-residuos-construccion-demolicion-depositados>

Orbe Pinchao, L. V., y Zúñiga Morales, P. S. (2013). *Optimización de la relación agua/cemento en el diseño de hormigones estándar establecidos en los códigos ACI-ASTM* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional].

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6470>

Orts Borrás, F. (2011). *Aplicación del hormigón postesado en edificación* [Tesina de maestría, Universidad Politécnica de Valencia].

<http://hdl.handle.net/10251/14659>

Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de tecnología del concreto en el Perú* (2ª ed). Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Nacional.

Rivva López, E. (1992). *Diseño de mezclas* (1ª ed). Editorial HOZLO S.C.R.L.

Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* (1ª ed). Capítulo Peruano ACI.

Rodríguez Vaca, C. R., y Torres Chamorro, E. S. (2018). *Fabricación de un dispositivo, para generar el curado acelerado en cilindros de hormigón, para evaluar la resistencia a la compresión en un tiempo menor a las 24 horas* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador].

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17016>

Ruelas Paredes, E. C. (2015). *Uso de pavimento rígido reciclado de la ciudad de Puno, como agregado grueso para la producción de concreto* [Tesis de Grad, Universidad Nacional del Altiplano].

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2038>

Sánchez Carlessi, H., y Reyes Meza, C. (2015). Metodología y diseños en la investigación científica. In *Business Support Anneth* (5ª ed). Business Support



Aneth SRL.

- Schierloh, M. I., Rougier, V. C., y Sota, J. D. (2021). Adecuación de un método de curado acelerado para Hormigones elaborados con cementos Portland CPC40 y áridos de la zona de Concepción del Uruguay. *XVI Congreso Latinoamericano de Patología de La Construcción y XVIII de Control de Calidad En La Construcción*. <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/5829?show=full>
- Silva Urrego, Y. F., Rojas Rojas, J. E., Gamboa, J. A., Gordillo, M., y Delvasto Arjona, S. (2019). Optimización de la resistencia a compresión usando un diseño de mezcla de vértices extremos, en concretos ternarios basados en residuo de mampostería y cal hidratada. *Revista EIA*, 16(31), 99–113. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.1177>
- Soncco Cuno, E. (2022). Evaluación de las propiedades físico-mecánica del concreto con uso total o parcial de agregado fino reciclado elaborado en la ciudad de Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18946>
- Suárez Silgado, S. S., Betancourt Quiroga, C., Molina Benavides, J., y Mahecha Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224–244. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>
- Tafsirojjaman, Rashid, M. M., & Imam, M. O. (2015). A study on treated recycled coarse aggregate as a partial replacement of coarse aggregate in concrete. In *Proceedings of the International Conference on Recent Innovation in Civil Engineering for Sustainable Development (IICSD-2015)*, 58–63.
- Torre C., A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Torres, A., & Burkhart, A. (2016). Developing sustainable high strength concrete mixtures using local materials and recycled concrete. *Materials Sciences and Applications*, 07(02), 128–137. <https://doi.org/10.4236/msa.2016.72013>
- Valdivia Torres, G. C. (2018). *Diseño de mezclas de concreto con curado acelerado por*



*el método de agua caliente en la ciudad de Arequipa - 2017* [Universidad Católica de Santa María].

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8184>

Yang, K. H., Chung, H. S., & Ashour, A. F. (2008). Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties. *ACI Materials Journal*, 105(3), 289–296. <http://hdl.handle.net/10454/7768>

Zhang, W., Munn, C., & Ingham, J. M. (2010). Recycled Concrete Aggregate and its Application in New Zealand Ready-Mix Concrete Production. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(5), 443–450.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000044](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000044)

Zorrilla Rodríguez, C. E. (2018). *Estudio de la influencia del curado acelerado del concreto para un  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2075>



## ANEXOS

**ANEXO 1:** Matriz de consistencia.

**ANEXO 2:** Operacionalización de variables.

**ANEXO 3:** Detalles de la máquina de curado acelerado

**ANEXO 4:** Certificados de ensayos de caracterización de materiales.

**ANEXO 5:** Diseños de mezclas

5.1. Porcentajes de la combinación de agregados finos y gruesos.

5.2. Obtención de la ecuación de estimación de resistencias.

5.3. Verificación de la ecuación de estimación de resistencias.

5.4. Optimización inicial.

5.5. Optimización final.

**ANEXO 6:** Certificados de resistencias a la compresión

6.1. Porcentajes de la combinación de agregados finos y gruesos.

6.2. Obtención de la ecuación de estimación de resistencias.

6.3. Verificación de la ecuación de estimación de resistencias.

6.4. Optimización inicial.

6.5. Optimización final.

**ANEXO 7:** Constancia de uso de equipos y laboratorio

**ANEXO 8:** Certificado de calibración de los equipos.



**ANEXO 9:** Panel fotográfico.

**ANEXO 10:** Certificado de fabricación del tanque de curado acelerado.

**ANEXO 11:** Tabla de distribución de T Student.

**ANEXO 12:** Viabilidad técnica del uso del concreto con agregados reciclados.

**ANEXO 13:** Cotizaciones de los materiales.



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jeanmarco Miranda Sabanaya,  
identificado con DNI Nº 72500583 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Optimización del diseño de mezcla para la obtención de una adecuada resistencia del concreto con agregados reciclados, mediante el método de Curado acelerado, Puno - 2021 ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de enero del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wuincinton Miranda Cabana,  
identificado con DNI 70398839 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" Optimización del diseño de mezcla para la obtención de una  
adecuada resistencia del concreto con agregados reciclados, mediante  
el método de curado acelerado, Puno - 2021 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de enero del 2024.

  
FIRMA (obligatoria)

  
Huella





## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jeanmarco Melianda Sabaraya,  
identificado con DNI N° 72500983 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Optimización del diseño de mezcla para la obtención de una adecuada resistencia del concreto con agregados reciclados, mediante el método de curado acelerado, Puno - 2021 ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de enero del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Wuinclinton Miranda Cabana,  
identificado con DNI 70398839 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil,

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Optimización del diseño de mezcla para la obtención de una adecuada resistencia del concreto con agregados reciclados, mediante el método de curado acelerado, Puno – 2021 ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de enero del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella