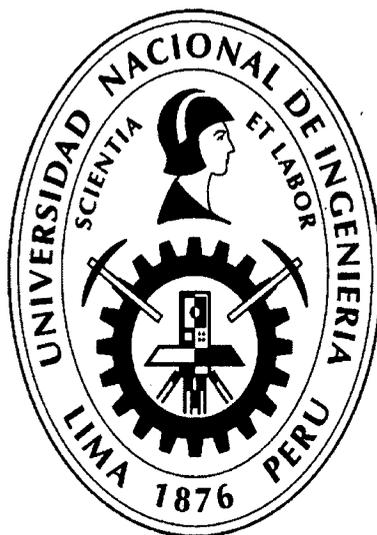


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA EN PROBETAS  
COMPACTADAS CON LOS MÉTODOS POR APISONADO Y POR  
VIBRACIÓN PARA CONCRETOS A/C = 0.60, 0.65 Y 0.70.**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**RICARDO BARAHONA SÁNCHEZ.**

**Lima- Perú**

**2015**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

**INDICE**

	Página
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>LISTA DE CUADROS</b>	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xiv
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b>	xviii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xxii
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES Y MÉTODOS DE COMPACTACIÓN</b>	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.1.1 Equipos de vibrado (ACI 309R-2005)	1
1.1.1.1 <i>Vibradores Internos</i>	1
1.1.1.2 <i>Vibradores de Forma</i>	4
1.1.1.3 <i>Mesas vibratoras</i>	5
1.1.1.4 <i>Vibradores de superficie</i>	6
1.1.2 Prueba de Hipótesis	7
1.1.2.1 <i>Hipótesis Estadística</i>	7
1.1.2.2 <i>Tipos de Hipótesis</i>	7
1.1.2.3 <i>Definiciones</i>	8
1.1.2.4 <i>Prueba t con dos muestras e intervalo de confianza</i>	8
1.2 MÉTODOS DE COMPACTACIÓN	11
1.2.1 Método por Apisonado	11
1.2.1.1 <i>Método por Apisonado en especímenes cilíndricos</i>	12
1.2.1.2 <i>Método por Apisonado en especímenes viga</i>	12
1.2.2 Método por Vibración	13
1.2.2.1 <i>Método por Vibración en especímenes cilíndricos</i>	16
1.2.2.2 <i>Método por Vibración en especímenes viga</i>	16
<b>CAPÍTULO II: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES</b>	18
2.1 AGREGADO GRUESO	18
2.1.1 Propiedades Físicas	18
2.1.1.1 <i>Análisis Granulométrico (NTP 400.012:2013)</i>	18
2.1.1.2 <i>Módulo de Finura (NTP 400.011:2013)</i>	20
2.1.1.3 <i>Tamaño Máximo (NTP 339.047:2006)</i>	21
2.1.1.4 <i>Tamaño Nominal Máximo (NTP 339.047:2006)</i>	21

2.1.1.5	<i>Peso Específico (NTP 400.021:2002)</i>	21
2.1.1.6	<i>Peso Unitario Suelto (NTP 400.017:2011)</i>	22
2.1.1.7	<i>Peso Unitario Compactado (NTP 400.017:2011)</i>	23
2.1.1.8	<i>Porcentaje de Absorción (NTP 400.021:2002)</i>	24
2.1.1.9	Contenido de Humedad (NTP 339.185:2013)	26
2.1.1.10	<i>Contenido de material que pasa la Malla N°200 (NTP 400.018:2013)</i>	26
2.2	AGREGADO FINO	28
2.2.1	Propiedades Físicas	28
2.2.1.1	<i>Análisis granulométrico (NTP 400.012:2013)</i>	28
2.2.1.2	<i>Módulo de Finura (NTP 400.011:2013)</i>	30
2.2.1.3	<i>Peso Específico (NTP 400.022:2013)</i>	31
2.2.1.4	<i>Peso Unitario Suelto (NTP 400.017:2011)</i>	33
2.2.1.5	<i>Peso Unitario Compactado (NTP 400.017:2011)</i>	34
2.2.1.6	<i>Porcentaje de absorción (NTP 400.022:2013)</i>	35
2.2.1.7	<i>Contenido de Humedad (NTP 339.185:2013)</i>	36
2.2.1.8	<i>Contenido de material que pasa la Malla N° 200 (NTP 400.018:2013)</i>	37
2.3	AGREGADO GLOBAL	37
2.3.1	Peso Unitario Compactado	38
2.3.2	Análisis Granulométrico (NTP 400.012:2013)	40
2.3.3	Módulo de Finura (NTP 400.011:2013)	42
2.4	CEMENTO PORTLAND	42
2.4.1	Generalidades	42
2.4.2	Propiedades Físicas	42
2.4.2.1	<i>Peso Específico</i>	43
2.4.2.2	<i>Finura</i>	43
2.4.2.3	<i>Consistencia Normal</i>	43
2.4.2.4	<i>Tiempo de Fraguado</i>	43
2.4.2.5	<i>Contenido de Aire</i>	44
2.4.2.6	<i>Calor de Hidratación</i>	44
2.4.2.7	<i>Resistencia a la Compresión</i>	45
2.4.2.8	<i>Estabilidad de Volumen</i>	45
2.4.3	Propiedades Químicas	45
2.4.3.1	<i>Componentes químicos</i>	45

2.4.3.2	<i>Compuestos químicos</i>	46
2.4.3.3	<i>Propiedades de los compuestos principales</i>	46
2.5	AGUA PARA EL CONCRETO (NTP 339.088:2014)	47
<b>CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE PROPORCIONES</b>		48
3.1	DISEÑO DE MEZCLA SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DEL ACI	48
3.1.1	Diseño para un concreto de relación A/C = 0.60	48
3.1.1.1	<i>Diseño para A/C = 0.60, con una relación A.G / A.F = 52/48</i>	51
3.1.2	Diseño para un concreto de relación A/C = 0.65	54
3.1.3	Diseño para un concreto de relación A/C = 0.70	57
<b>CAPÍTULO IV: PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO</b>		60
4.1	PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO	60
4.1.1	Peso Unitario (NTP 339.046:2013)	60
4.1.1.1	<i>Consolidación del concreto por apisonado</i>	60
4.1.1.2	<i>Consolidación del concreto por vibración</i>	61
4.1.2	Contenido de Aire (NTP 339.083:2003)	64
4.1.2.1	<i>Consolidación del concreto por apisonado</i>	64
4.1.2.2	<i>Consolidación del concreto por vibración</i>	64
4.1.3	Tiempo de Fraguado (NTP 339.082:2011)	66
4.1.3.1	<i>Tiempo de fraguado para un concreto de relación A/C = 0.60</i>	67
4.1.3.2	<i>Tiempo de fraguado para un concreto de relación A/C = 0.65</i>	68
4.1.3.3	<i>Tiempo de fraguado para un concreto de relación A/C = 0.70.</i>	69
4.1.4	Exudación (NTP 339.077:2013)	71
4.1.4.1	<i>Exudación para un concreto de relación A/C = 0.60</i>	72
4.1.4.2	<i>Exudación para un concreto de relación A/C = 0.65</i>	73
4.1.4.3	<i>Exudación para un concreto de relación A/C = 0.70</i>	74
4.1.5	Asentamiento (NTP 339.035:2009)	76
4.2	PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO	77
4.2.1	Curado del Concreto (ASTM C192:2011)	77
4.2.1.1	<i>Curado Inicial</i>	77

4.2.1.2	<i>Retiro de los Moldes</i>	78
4.2.1.3	<i>Ambiente de Curado</i>	78
4.2.2	Resistencia a la Compresión (NTP 339.034:2013)	79
4.2.3	Resistencia a la Compresión Diametral (NTP 339.084:2012)	88
4.2.4	Resistencia a la flexión (NTP 339.078:2012)	93
	<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	104
5.1	ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO	104
5.1.1	Resistencia a la Compresión	105
5.1.1.1	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.60</i>	105
5.1.1.2	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.65</i>	108
5.1.1.3	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.70</i>	111
5.1.1.4	<i>Gráficas de resistencia a la compresión promedio (<math>f'_{cp}</math>) respecto a la relación A/C</i>	113
5.1.2	Resistencia a la Compresión Diametral	118
5.1.2.1	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.60</i>	119
5.1.2.2	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.65</i>	120
5.1.2.3	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.70</i>	122
5.1.2.4	<i>Gráficas de resistencia a la compresión diametral promedio (<math>T_p</math>) con respecto a la relación A/C</i>	123
5.1.3	Resistencia a la Flexión	126
5.1.3.1	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.60</i>	126
5.1.3.2	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.65</i>	128
5.1.3.3	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.70</i>	129
5.1.3.4	<i>Gráficas de Módulo de rotura promedio (<math>M_{rp}</math>) vs. relación A/C</i>	131

---

5.1.4	Análisis estadístico de prueba de hipótesis.	133
5.1.4.1	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.60</i>	133
5.1.4.2	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.65</i>	138
5.1.4.3	<i>Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.70</i>	143
	<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	149
6.1	CONCLUSIONES	149
6.2	RECOMENDACIONES	150
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	151
	<b>ANEXOS</b>	154

## RESUMEN

La norma ASTM C31-C31M-08b explica los tipos de compactación de probetas; por vibración y por apisonado, y detalla cada uno de estos procedimientos.

La presente investigación tiene como objetivo principal encontrar un factor de correlación entre la resistencia a la compresión obtenida de una probeta compactada con el método por apisonado y una probeta compactada con el método por vibración.

Para ello se determinaron las propiedades físicas de los agregados utilizados, y con éstos resultados obtenidos se pudo hacer los diseños de mezcla de concreto con relaciones agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70.

Se verificó que la frecuencia de vibración del cabezal del vibrador de concreto, adquirido para compactar las probetas, cumplía con la norma ASTM anteriormente indicada.

Se realizó el vaciado de probetas y vigas, y el curado de los especímenes al día siguiente. Se determinaron las propiedades físicas del concreto al estado fresco y se ensayaron los especímenes al estado endurecido para determinar sus propiedades mecánicas.

Se analizaron los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, resistencia a la compresión diametral y resistencia a la flexión para poder comparar estos dos métodos de compactación de probetas.

Finalmente se llegó a la conclusión de que no hay ninguna diferencia entre las resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas con los dos métodos utilizados a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , y por tanto estos dos métodos de compactación de probetas son similares.

## LISTA DE CUADROS

	Página
1.1 Hipótesis alternativa y región de rechazo.	10
1.2 Método de consolidación. Requisitos de aplicación.	11
1.3 Requisitos de la barra compactadora.	11
1.4 Moldeo de especímenes por apisonado. Requisitos.	12
1.5 Cuadro resumen de las mediciones de vibraciones al cabezal de la vibradora utilizada, hecha el día 16/12/2014.	13
1.6 Cuadro resumen de las mediciones de vibraciones al cabezal de la vibradora utilizada, hecha el día 21/01/2015.	14
1.7 Moldeo de especímenes por vibración. Requisitos.	15
2.1 Requisitos granulométricos para el agregado grueso.	19
2.2 Muestras granulométricas del agregado grueso.	19
2.3 Granulometría del agregado grueso.	20
2.4 Resultados de Peso Unitario Suelto del A.G.	23
2.5 Resultados de Peso Unitario Compactado del A.G.	24
2.6 Muestras para determinar el Peso específico y Porcentaje de absorción del A.G.	25
2.7 Resultados de peso específico y porcentaje de absorción del A.G.	25
2.8 Resultados de Contenido de Humedad del A.G.	26
2.9 Resultados de porcentaje de material que pasa la malla N°200 del A.G.	28
2.10 Límites granulométricos para el agregado fino.	29
2.11 Muestras granulométricas del agregado fino.	29
2.12 Granulometría del agregado fino.	30
2.13 Resultados de Peso Unitario Suelto del A. F.	33
2.14 Resultados de Peso Unitario Compactado del A.F.	34
2.15 Muestras de agregado fino para determinar el Peso específico y Porcentaje de absorción.	36
2.16 Resultados de peso específico y porcentaje de absorción del A.F.	36
2.17 Resultados de Contenido de Humedad del A.F.	37

2.18	Resultados de Contenido de material que pasa la malla N°200 del A.F.	37
2.19	Resultados del ensayo de compacidad para el agregado global.	38
2.20	Resultados del ensayo de compacidad para el agregado global con el peso de la muestra promedio.	38
2.21	Granulometría del agregado global con una relación de agregado grueso/agregado fino de 52/48.	40
2.22	Granulometría del agregado global	41
2.23	Tiempo de fraguado del cemento portland.	44
2.24	Calor de Hidratación del cemento portland.	44
2.25	Resistencia a la compresión del cemento portland.	45
2.26	Límites aproximados de la composición del cemento Portland.	46
2.27	Principales compuestos del cemento Portland.	46
3.1	Resumen de las propiedades físicas de los agregados.	48
3.2	Agua de diseño aproximado y contenido de aire requerido para diferentes slumps y TNM de los agregados.	49
3.3	Diseño de mezcla para una relación A/C = 0.60 y una relación Agregado grueso / Agregado fino = 52/48.	53
3.4	Diseño de mezcla para un concreto de relación A/C=0.65.	56
3.5	Diseño de mezcla para un concreto de relación A/C=0.70.	59
4.1	Capacidad de los recipientes de medición.	60
4.2	Cálculo de Peso unitario del concreto con relación A/C=0.60.	62
4.3	Cálculo de Peso unitario del concreto con relación A/C=0.65.	62
4.4	Cálculo de Peso unitario del concreto con relación A/C=0.70.	62
4.5	Resumen de Peso Unitario del concreto para las distintas relaciones agua-cemento.	62
4.6	Contenido de aire de los concretos utilizados.	65
4.7	Resultado de la medición de tiempo de fraguado para un concreto de relación agua-cemento 0.60.	67
4.8	Resultado de la medición de tiempo de fraguado para un concreto de relación agua-cemento 0.65.	68
4.9	Resultado de la medición de tiempo de fraguado para un concreto de relación agua-cemento 0.70.	69
4.10	Resumen de tiempo de fraguado para las distintas relaciones agua-cemento.	70

4.11	Cantidad de agua exudada con respecto al tiempo, para un concreto de relación A/C = 0.60.	72
4.12	Cálculo de Exudación (%), para un concreto de relación A/C = 0.60.	73
4.13	Cantidad de agua exudada con respecto al tiempo, para un concreto de relación A/C = 0.65.	73
4.14	Cálculo de Exudación (%), para un concreto de relación A/C = 0.65.	73
4.15	Cantidad de agua exudada con respecto al tiempo, para un concreto de relación A/C = 0.70.	74
4.16	Cálculo de Exudación (%), para un concreto de relación A/C = 0.70.	74
4.17	Resumen de Exudación para las distintas relaciones agua-cemento.	74
4.18	Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por vibración.	82
4.19	Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por vibración.	83
4.20	Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.70 para probetas compactadas por vibración.	84
4.21	Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por apisonado.	85
4.22	Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por apisonado.	86
4.23	Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.70 para probetas compactadas por apisonado.	87
4.24	Resumen de resistencias a la compresión promedio.	88
4.25	Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por vibración.	90
4.26	Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por vibración.	91

4.27	Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación $A/C=0.70$ para probetas compactadas por vibración.	91
4.28	Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación $A/C=0.60$ para probetas compactadas por apisonado.	92
4.29	Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación $A/C=0.65$ para probetas compactadas por apisonado.	92
4.30	Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación $A/C=0.70$ para probetas compactadas por apisonado.	93
4.31	Resumen de resistencias a la compresión diametral promedio.	93
4.32	Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación $A/C=0.60$ para vigas compactadas por vibración.	97
4.33	Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación $A/C=0.65$ para vigas compactadas por vibración.	98
4.34	Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación $A/C=0.70$ para vigas compactadas por vibración.	99
4.35	Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación $A/C=0.60$ para vigas compactadas por apisonado	100
4.36	Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación $A/C=0.65$ para vigas compactadas por apisonado.	101
4.37	Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación $A/C=0.70$ para vigas compactadas por apisonado.	102
4.38	Resumen de módulos de rotura promedio.	103
5.1	Coefficientes de variaciones máximos aceptables, para el ensayo de resistencia a la compresión.	105
5.2	Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.60$ .	106
5.3	Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.60$ .	106

5.4	Factor de correlación de la resistencia a la compresión, para un concreto de relación $A/C = 0.60$ .	107
5.5	Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.65$ .	108
5.6	Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.65$ .	109
5.7	Factor de correlación de la resistencia a la compresión, para un concreto de relación $A/C = 0.65$ .	110
5.8	Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.70$ .	111
5.9	Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.70$	112
5.10	Factor de correlación de la resistencia a la compresión, para un concreto de relación $A/C = 0.70$ .	112
5.11	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 7 días.	114
5.12	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 14 días.	115
5.13	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 21 días.	116
5.14	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 28 días.	117
5.15	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 45 días.	118

---

5.16	Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60.	119
5.17	Análisis de resultados de resistencia a compresión diametral de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.60.	120
5.18	Factor de correlación de la resistencia a la compresión diametral, para un concreto de relación agua-cemento 0.60.	120
5.19	Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.65.	121
5.20	Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.65.	121
5.21	Factor de correlación de la resistencia a la compresión diametral, para un concreto de relación agua-cemento 0.65.	122
5.22	Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.70.	122
5.23	Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto A/C = 0.70.	123
5.24	Factor de correlación de la resistencia a la compresión diametral, para un concreto de relación agua-cemento 0.70.	123
5.25	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.	124
5.26	Cuadro comparativo de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.	125
5.27	Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60.	126

---

5.28	Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.60$ .	127
5.29	Factor de correlación de la resistencia a la flexión, para un concreto de relación agua-cemento 0.60.	127
5.30	Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.65$ .	128
5.31	Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.65$ .	129
5.32	Factor de correlación de la resistencia a la flexión, para un concreto de relación agua-cemento 0.65.	129
5.33	Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.70$ .	130
5.34	Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.70$ .	130
5.35	Factor de correlación de la resistencia a la flexión, para un concreto de relación agua-cemento 0.70.	131
5.36	Cuadro comparativo de módulo de rotura promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 7 días.	131
5.37	Cuadro comparativo de módulo de rotura promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 28 días.	132

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1.1 Partes de la cabeza vibradora de masa excéntrica.	1
1.2 Vibrador interno de eje flexible, usado en esta tesis	2
1.3 Vibrador interno con motor eléctrico en la cabeza.	3
1.4 Vibradores internos neumáticos.	4
1.5 Vibradores externos.	5
1.6 Mesa vibradora.	6
1.7 Vibradora de superficie.	6
1.8 Proceso de medición de las vibraciones de la vibradora de concreto.	14
1.9 Pantalla del tacómetro con una de las mediciones.	15
1.10 Compactación del concreto por el método por vibración en especímenes cilíndricos.	16
1.11 Compactación del concreto por el método por vibración en especímenes viga.	17
2.1 Curva granulométrica del agregado grueso (huso ASTM N°5).	20
2.2 Pesado en agua del agregado grueso superficialmente seco.	22
2.3 Ensayo de porcentaje de absorción del agregado grueso.	25
2.4 Curva granulométrica del agregado fino (huso ASTM C33).	30
2.5 Ensayo para determinar si el agregado fino está en su estado saturado superficialmente seco.	32
2.6 Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración.	32
2.7 Curva P.U.C con respecto al porcentaje de arena del agregado global.	39
2.8 Ensayo de Peso Unitario Compactado del agregado global.	39
2.9 Curva granulométrica del agregado global.	41
4.1 Gráfica peso Unitario del concreto con respecto a la relación A/C.	63
4.2 Ensayo de Peso Unitario del concreto.	63
4.3 Gráfica contenido de aire (%) con respecto a la relación A/C.	65
4.4 Ensayo de Contenido de Aire del concreto.	66

4.5	Gráfica Resistencia a la penetración con respecto al tiempo transcurrido para un concreto de relación A/C = 0.60.	68
4.6	Gráfica Resistencia a la penetración con respecto al tiempo transcurrido para un concreto de relación A/C = 0.65.	69
4.7	Gráfica Resistencia a la penetración con respecto al tiempo transcurrido para un concreto de relación A/C = 0.70.	70
4.8	Equipo para el ensayo de Tiempo de fraguado	71
4.9	Gráfica Exudación (%) con respecto a la relación A/C.	75
4.10	Ensayo de Porcentaje de Exudación del concreto.	75
4.11	Ensayo de asentamiento del concreto.	76
4.12	Recubrimiento de las probetas con una lámina plástica.	77
4.13	Retiro de los moldes de los especímenes cilíndricos.	78
4.14	Curado de los especímenes en agua con cal.	78
4.15	Esquema de los patrones de tipo de fracturas en probetas.	79
4.16	Ensayo de probetas cilíndricas a compresión axial.	80
4.17	Ensayo de probetas cilíndricas a compresión diametral.	89
4.18	Ensayo de una viga a flexión.	95
5.1	Evolución de la resistencia a la compresión de probetas compactadas por los dos métodos, para un concreto de relación A/C = 0.60.	108
5.2	Evolución de la resistencia a la compresión de probetas compactadas por los dos métodos, para un concreto de relación A/C = 0.65.	110
5.3	Evolución de la resistencia a la compresión de probetas compactadas por los dos métodos, para un concreto de relación A/C = 0.70.	113
5.4	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.	114
5.5	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 14 días.	115
5.6	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 21 días.	116

5.7	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 28 días.	117
5.8	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 45 días.	118
5.9	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 7 días.	124
5.10	Gráfica comparativa de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 28 días.	125
5.11	Gráfica comparativa de resistencia a la flexión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 7 días.	132
5.12	Gráfica comparativa de resistencia a la flexión promedio con respecto a la relación $A/C$ , para un tiempo de curado del concreto de 28 días.	133
5.13	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.60$ , para 7 días de edad del concreto.	134
5.14	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.60$ para 7 días de edad del concreto.	134
5.15	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.60$ para 28 días de edad del concreto.	136
5.16	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.60$ para 28 días de edad del concreto.	137

5.17	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.65$ para 7 días de edad del concreto.	139
5.18	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.65$ para 7 días de edad del concreto.	139
5.19	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.65$ para 28 días de edad del concreto.	141
5.20	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.65$ para 28 días de edad del concreto.	142
5.21	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.70$ para 7 días de edad del concreto.	144
5.22	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.70$ para 7 días de edad del concreto.	144
5.23	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación $A/C = 0.70$ para 28 días de edad del concreto.	146
5.24	Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación $A/C = 0.70$ para 28 días de edad del concreto.	147

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

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

A: Contenido de material que pasa la malla N° 200.

A<sub>1</sub>: Masa de la muestra seca al horno.

Ab,(%): Porcentaje de absorción del agregado grueso.

Absorción (%): Porcentaje de absorción del agregado fino.

A/C: Relación agua-cemento.

A.F: Agregado fino.

A.G: Agregado grueso.

A.Gb: Agregado global.

b: Ancho promedio de la viga en la sección de falla.

B: Masa de picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración.

C: Masa del picnómetro lleno de la muestra y agua hasta la marca de calibración.

C<sub>1</sub>: Masa de agua en el espécimen de ensayo.

CV: Coeficiente de variación.

d: Diámetro.

D: Densidad o peso unitario del concreto.

D<sub>1</sub>: Masa de agua de exudación.

D<sub>2</sub>: Diámetro de la probeta cilíndrica.

Exudación (%): Porcentaje de exudación.

f'c: Resistencia a la compresión.

f'cp: Resistencia a la compresión promedio

F.C: Factor de correlación.

G: Carga de rotura.

$h$ : Altura promedio de la viga en la sección de falla.

$H_0$ : Hipótesis nula.

$H_a$ : Hipótesis alternativa.

$L$ : Luz libre entre apoyos.

$m$ : Número de datos de los resultados de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración.

$M_1$ : Peso unitario suelto del agregado grueso.

$M_2$ : Peso unitario compactado del agregado grueso.

$M_3$ : Peso unitario suelto del agregado fino.

$M_4$ : Peso unitario compactado del agregado fino.

$M_c$ : masa del recipiente de medida lleno de concreto.

$M_m$ : Masa del recipiente de medida.

$MF$ : Módulo de finura.

$Mr$ : Módulo de rotura.

$Mrp$ : Módulo de rotura promedio.

$n$ : Número de datos de los resultados de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

$n_1, n_2$  : número de datos con los cuales se obtiene las medias muestrales  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  respectivamente.

$l$ : Longitud.

$P$ : es el nivel de significación más pequeño al cual  $H_0$  sería rechazada cuando se utiliza un procedimiento de prueba especificado con un conjunto de datos dado.

$P$  (%): Contenido de humedad del agregado grueso.

$P_1$ : Máxima carga aplicada por la máquina de ensayo.

$P_1$ (%):Contenido de humedad del agregado fino.

$P_2$ : Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo.

Pe: Peso específico del agregado grueso.

P.E: Peso específico del agregado fino.

S: Masa de la muestra de saturado superficialmente seca.

S<sub>1</sub>: masa de la muestra saturada superficialmente seca.

S<sub>2</sub>: Masa de la muestra de ensayo.

S<sub>a</sub>: Desviación estándar de los resultados de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

S<sub>v</sub>: Desviación estándar de los resultados de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración.

t: Estadístico de prueba.

T: Resistencia a la compresión diametral.

T<sub>i</sub> : Variable estandarizada.

T<sub>p</sub>: Resistencia a la compresión diametral promedio.

v: Número de grados de libertad.

V<sub>m</sub>: Volumen del recipiente de medida.

w: Masa neta de agua agregada a la mezcla.

W: Masa total de la mezcla.

$\bar{X}$  : Media muestral.

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>n1</sub> : muestra aleatoria de una distribución normal.

$\bar{x}_a$ : Promedio de resistencia a la compresión verdadera de las probetas compactadas por el método por apisonado.

$\bar{x}_v$ : Promedio de resistencia a la compresión verdadera de las probetas compactadas por el método por vibración.

$\bar{Y}$  : Media muestral.

y<sub>1</sub>, y<sub>2</sub>, ..., y<sub>n2</sub> : muestra aleatoria de una distribución normal.

α: Nivel de significación.

$\Theta$ : Parámetro de interés.

$\Theta_0$  : Número específico llamado valor nulo.

$\Delta_0$ : Valor nulo.

$\Delta\%$ : Diferencia del F.C con respecto al 100%, éste viene a ser la resistencia a la compresión axial o resistencia a la compresión diametral o resistencia a la flexión de un espécimen compactado con el método por apisonado.

$\mu_1, \mu_2$  : Medias poblacionales.

$\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

$\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración.

$\sigma$ : Desviación estándar.

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  : Desviaciones estándar de las muestras cuyas medias muestrales son  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  respectivamente.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se centra en la compactación del concreto en probetas con el método por vibración y con el método por apisonado para concretos con relación agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70, y con un slump de 3" a 4". Para entender mejor lo que significa compactación del concreto, vamos a la norma NTP 339.047: 2006, donde se define a Compactación, como: "Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de mezcla de mortero o de concreto fresco".

Se ha determinado las propiedades físicas de los agregados usando las normas NTP especificadas en el capítulo II, para cada ensayo realizado, con las propiedades físicas de los agregados obtenidas, se hizo los diseños de mezcla nombrados líneas arriba.

En la norma ASTM-C31-C31M-08b se detalla el procedimiento de los dos métodos de compactación, las características y dimensiones que deben de cumplir los aparatos utilizados para tal fin. Además en la norma ACI 309R-2005 se muestra los tipos y las características de los diferentes tipos de vibradores de concreto. Para este estudio de investigación se ha usado un vibrador de concreto del tipo interno.

Se han hecho probetas cilíndricas y vigas de concreto. Las probetas cilíndricas han sido ensayadas a compresión axial y compresión diametral, y las vigas han sido ensayadas a flexión.

Para la presente investigación la compactación de especímenes de concreto con el método por apisonado será considerado como patrón de comparación con el método por vibración, ya que es el método masivamente usado para compactar especímenes de concreto.

El objetivo principal de este estudio es encontrar un factor de correlación entre la resistencia a la compresión obtenida de una probeta compactada con el método por apisonado y una probeta compactada con el método por vibración.

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES Y MÉTODOS DE**  
**COMPACTACIÓN**

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES Y MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

El objetivo de esta investigación es encontrar un factor de correlación entre la resistencia a la compresión obtenida de una probeta compactada con el método por apisonado y una probeta compactada por el método por vibración. Para compactar una probeta por el método por apisonado es necesario una varilla que cumpla con los requisitos de la norma ASTM-C31-C31M-08b y para compactar una probeta por el método por vibración es necesario una vibradora que también cumpla con los requisitos de la norma ASTM-C31-C31M-08b, es por eso que es necesario conocer los tipos de vibradores y sus características, más adelante se nombrarán algunos de los tipos de vibradores y sus características. El vibrador que se usará para esta investigación es del tipo interno.

#### 1.1.1 Equipos de Vibrado (ACI 309R-2005)

Los tipos de los equipos de vibrado son los siguientes:

##### 1.1.1.1 Vibradores Internos

Estos vibradores tienen una cabeza vibradora. La cabeza es inmersa en el concreto y actúa directamente en contra del concreto. En la mayoría de los casos, los vibradores internos dependen del efecto refrigerante del concreto fresco vibrado para evitar el sobrecalentamiento de la cabeza del vibrador.

##### Vibradores Internos de Eje Flexible

Este tipo de vibrador es probablemente el más extensamente usado. La masa excéntrica (Figura N° 1.1) es usualmente accionada por un motor eléctrico, motor neumático o un motor de combustión interna.

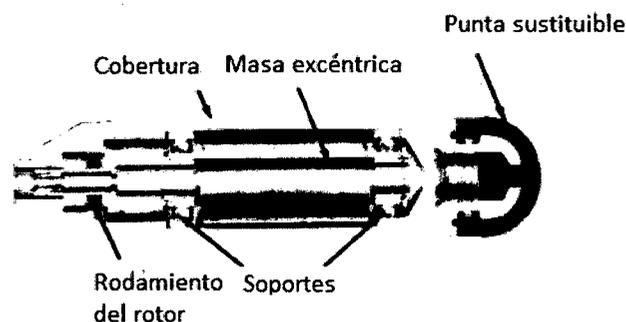


Figura N° 1.1 Partes de la cabeza vibradora de masa excéntrica.

Para el motor eléctrico, el accionamiento del eje flexible va desde el motor eléctrico a la cabeza del vibrador, donde gira la masa excéntrica. La frecuencia de este tipo de vibrador es bastante alto cuando opera en el aire, generalmente en el rango de 12,000 a 17,000 vibraciones por minuto (200 a 283 Hz) (los valores más altos son para las cabezas de tamaños más pequeños). Sin embargo, cuando operan en el concreto, la frecuencia es usualmente reducida en aproximadamente 1/5.

Para el motor de gasolina y diésel, la velocidad del motor es usualmente 3,600 revoluciones por minuto (60 Hz). Una faja en V o engranaje de transmisión son usados para aumentar la velocidad a un nivel de frecuencia aceptable. Otro tipo de unidad usa un motor de gasolina de dos ciclos que opera sin carga a una velocidad de 12,000 RPM.

Para la mayoría de los vibradores de eje flexible, la frecuencia es la misma que la velocidad del eje. Sin embargo, la cabeza vibradora con masa del tipo pendular es capaz de lograr altas frecuencias de vibración con un modesto motor eléctrico y velocidad del eje flexible. El extremo del péndulo golpea el alojamiento interior en un patrón en forma de estrella, dando a la cabeza vibradora una frecuencia mayor que la del eje.

Para esta investigación se ha usado este vibrador interno (ver figura N°1.2) con motor eléctrico.

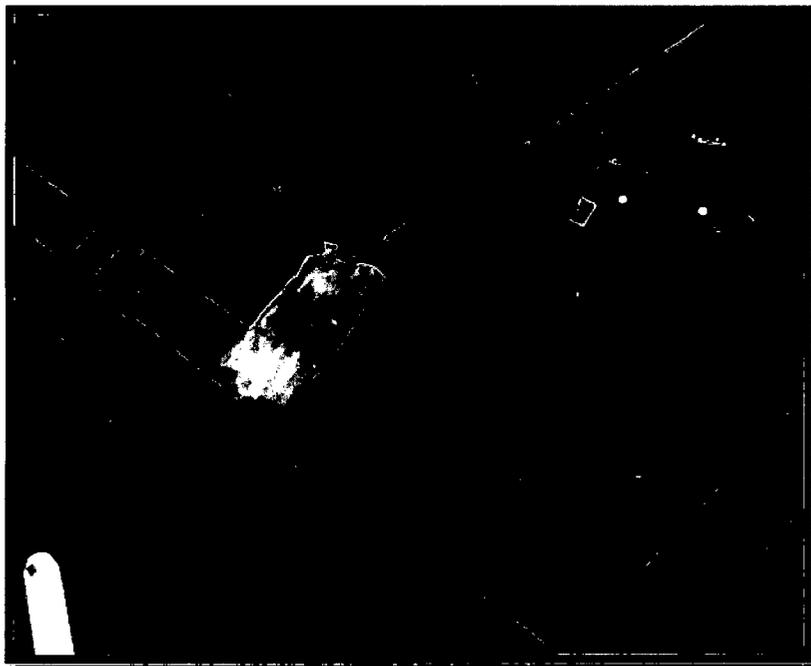


Figura N° 1.2. Vibrador interno de eje flexible, usado en esta tesis.

## Vibradores Internos con Motor Eléctrico en la Cabeza

Este tipo de vibrador ha aumentado su popularidad en los últimos años (Figura N°1.3).

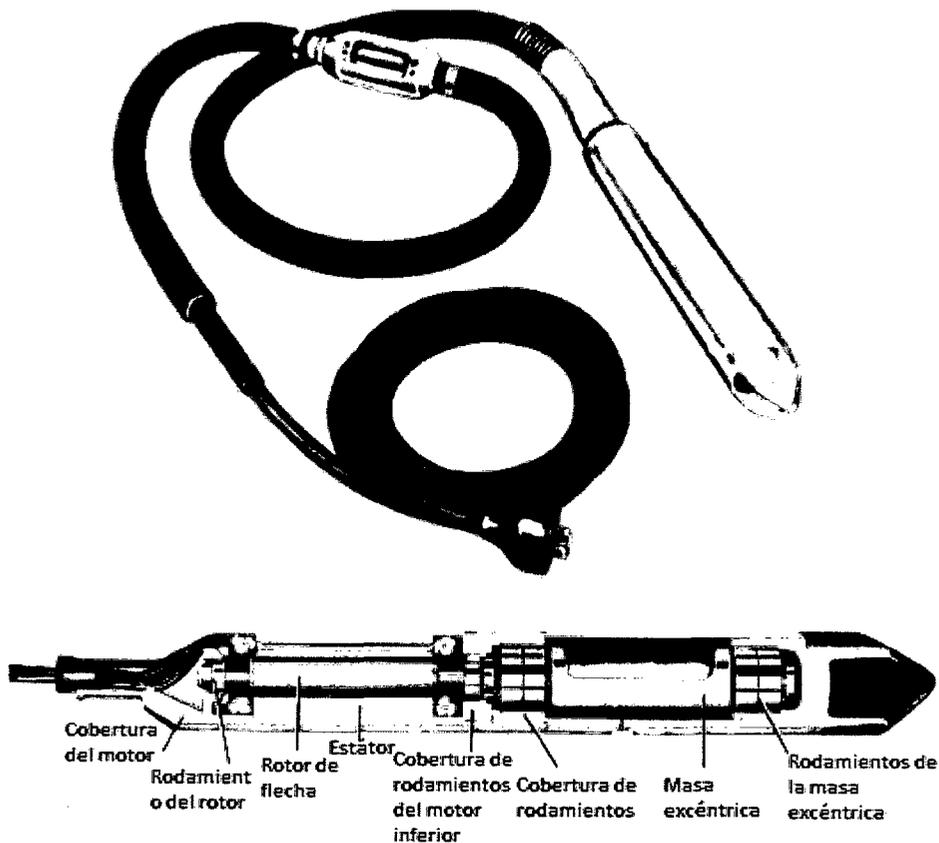


Figura N° 1.3. Vibrador interno con motor eléctrico en la cabeza.

Desde que el motor está en la cabeza del vibrador, no hay separación entre el motor y el accionamiento flexible para manejarlo. Este tipo de vibrador lleva en su cabeza un considerable cable eléctrico que también actúa como mango. Los vibradores con motor eléctrico en la cabeza tienen un diámetro de por lo menos 2 pulgadas (50 mm). Los motores de los vibradores operan a 150 ó 200 Hz, actualmente son usados en algunos países.

## Vibradores Internos Neumáticos

Los vibradores neumáticos (Figura N° 1.4) son operados por aire comprimido, el motor neumático generalmente está dentro de la cabeza del vibrador. El motor neumático del tipo paleta es el más común, con ambos el motor y los elementos excéntricos apoyados en los rodamientos. Modelos sin rodamientos, que generalmente requiere menos mantenimiento, están también disponibles en el

mercado. Unos pocos modelos neumáticos con eje flexible, con motor de aire fuera de la cabeza, están también disponibles en el mercado (ACI 309R-2005).

Los vibradores neumáticos son atractivos cuando el aire comprimido es el más fácilmente disponible recurso de energía. La frecuencia es alta, depende de la presión del aire, por eso la presión del aire debe ser siempre mantenida a un nivel apropiado, usualmente es recomendado por el fabricante. En algunos casos, es deseable variar la presión del aire para obtener una frecuencia diferente.

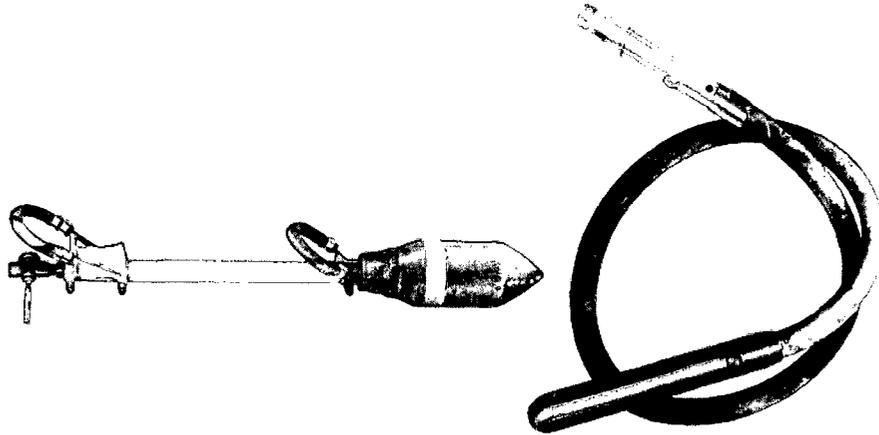


Figura N° 1.4. Vibradores internos neumáticos.

### Vibradores Internos Hidráulicos

Los vibradores hidráulicos, usan un motor de engranaje hidráulico, son populares en máquinas pavimentadoras. Aquí el vibrador es conectado al sistema hidráulico de la pavimentadora por medio de mangueras de alta presión. La frecuencia de vibración puede ser regulada variando la tasa de flujo del fluido hidráulico a través del vibrador. La eficiencia del vibrador depende de la presión y tasa de flujo del fluido hidráulico. Por tanto es importante que el sistema hidráulico sea revisado frecuentemente.

#### 1.1.1.2 Vibradores de Forma

##### Descripción General

Los vibradores de forma (Figura N° 1.5) son vibradores externos conectado a la parte exterior de la forma o molde. Estos vibradores hacen vibrar la forma, éstos a su vez transmiten la vibración al concreto. Los vibradores de forma son auto refrigerantes y puede ser de cualquiera de los dos tipos rotativo o de pistón.

Secciones de concreto con un ancho de 24 pulgadas (600 mm) y una profundidad de 30 pulgadas (750 mm) han sido efectivamente vibradas por vibradores de forma en la industria de los prefabricados de concreto. Para muros y vaciados más profundos de concreto, puede ser necesario complementar un vibrador de forma con una vibración interna para secciones con anchos mayores a 12 pulgadas (300 mm).

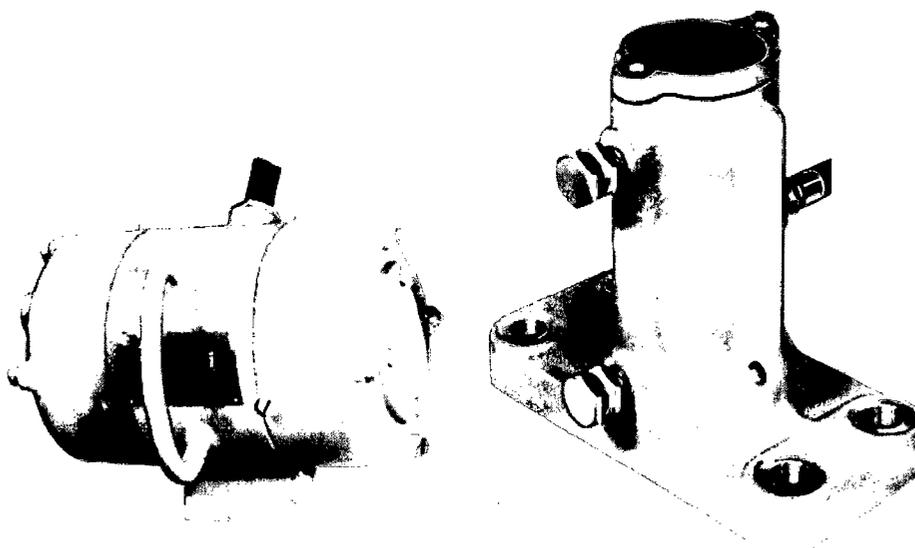


Figura N° 1.5. Vibradores externos: a la izquierda se muestra un vibrador del tipo rotativo y a la derecha se muestra un vibrador del tipo pistón.

#### 1.1.1.3 Mesas vibratoras

Una mesa vibradora normalmente consiste de una mesa de acero o concreto armada con vibradores externos rígidamente montados al bastidor de soporte (Figura N° 1.6). La mesa y el bastidor están aislados en la base por medio de muelles de acero o almohadillas de aislamiento de neopreno.

La mesa puede ser parte del molde. Sin embargo, un molde separado usualmente descansa en la parte superior de la mesa. La vibración es transmitida de la mesa al molde y de ahí al concreto.

Baja frecuencia (debajo de 6,000 vibraciones por minuto [100 Hz]), la vibración con alta amplitud (por encima de 0.005 pulgadas [0.13 mm]) es normalmente preferida, por lo menos para mezclas más duras.

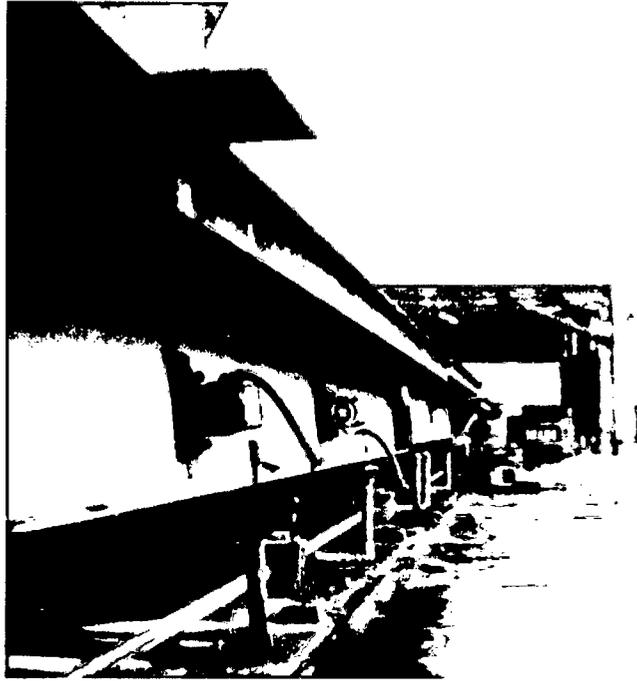


Figura N° 1.6. Mesa vibradora.

#### 1.1.1.4 Vibradores de superficie

Los vibradores de superficie (Figura N° 1.7) son aplicados a la superficie superior y consolidar el concreto de arriba abajo manteniendo un nivel homogéneo de compactación. Su efecto nivelador asiste la operación de acabado. Estos vibradores son usadas principalmente en la construcción de losas.

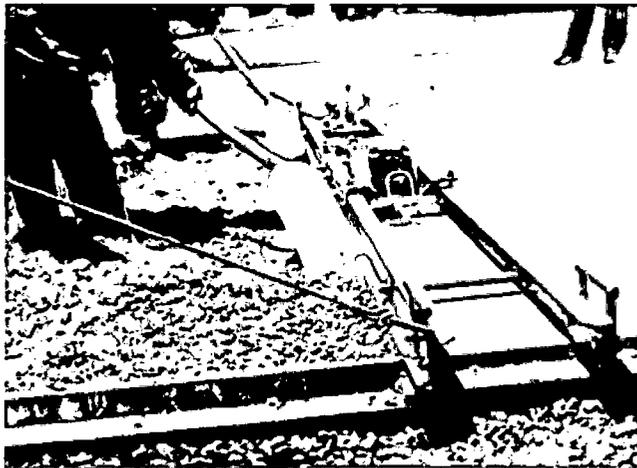


Figura N° 1.7. Vibrador de superficie.

### 1.1.2 Prueba de Hipótesis

Para desarrollar esta parte teórica se ha tomado como referencia bibliográfica al libro "Probabilidades y estadística para ingeniería y ciencias" de Jay L. Devore.

Un parámetro puede ser estimado a partir de datos muestrales o con un solo número (una estimación puntual) o un intervalo completo de valores plausibles (un intervalo de confianza). Con frecuencia, sin embargo, el objetivo de una investigación no es estimar un parámetro sino decidir cuál de dos pretensiones contradictorias sobre el parámetro es correcta. Los números para lograr esto comprenden la parte de la inferencia estadística llamada *prueba de hipótesis*.

#### 1.1.2.1 Hipótesis Estadística

Una hipótesis estadística o simplemente hipótesis es una pretensión o aseveración sobre el valor de un solo parámetro (característica de una población o característica de una distribución de probabilidad), sobre valores de varios parámetros o sobre la forma de una distribución de probabilidad completa.

#### 1.1.2.2 Tipos de Hipótesis

La hipótesis nula denotada por  $H_0$ , es la pretensión de que inicialmente se supone cierta (la pretensión de "creencia previa"). La hipótesis alternativa denotada por  $H_a$ , es la aseveración contradictoria a  $H_0$ .

La hipótesis nula será rechazada en favor de la hipótesis alternativa solo si la evidencia muestral sugiere que  $H_0$  es falsa. Si la muestra no contradice fuertemente a  $H_0$ , se continuará creyendo en la verdad de la hipótesis nula. Las dos posibles conclusiones derivadas de un análisis de prueba de hipótesis son entonces rechazar  $H_0$  o no rechazar  $H_0$ .

Una prueba de hipótesis es un método de utilizar datos muestrales para decidir si la hipótesis nula debe ser rechazada.

En el tratamiento de la prueba de hipótesis,  $H_0$  siempre será formulada como una afirmación de igualdad. Si  $\theta$  denota el parámetro de interés, la hipótesis nula tendrá la forma  $H_0: \theta = \theta_0$  donde  $\theta_0$  es un número específico llamado valor nulo del parámetro (valor pretendido para  $\theta$  por la hipótesis nula).

La alternativa de la hipótesis nula  $H_0: \theta = \theta_0$  se verá como una de las siguientes tres aseveraciones: 1)  $H_a: \theta > \theta_0$  (en cuyo caso la hipótesis nula implícita es  $\theta \leq$

$\theta_0$ ), 2)  $H_a: \theta < \theta_0$  (por consiguiente la hipótesis implícita nula establece que  $\theta \geq \theta_0$ ) o 3)  $H_a: \theta \neq \theta_0$ . Por ejemplo, sea  $\sigma$  la desviación estándar de la distribución de diámetros internos (pulgadas) de un cierto tipo de manguito de metal. Si se decidió utilizar el manguito a menos que la evidencia muestral demuestre conclusivamente que  $\sigma > 0.001$ , la hipótesis apropiada sería  $H_0: \sigma = 0.001$  contra  $H_a: \sigma > 0.001$ .

### 1.1.2.3 Definiciones

- a. Estadístico de prueba, una función de los datos muestrales en los cuales ha de basarse la decisión (rechazar  $H_0$  o no rechazar  $H_0$ ).
- b. Región de rechazo, el conjunto de todos los valores estadísticos de prueba por los cuales  $H_0$  será rechazada.
- c. Error tipo I, consiste en rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.
- d. Error tipo II, implica no rechazar  $H_0$  cuando  $H_0$  es falsa.
- e. Nivel de Significación, se representa por  $\alpha$  y se define como la probabilidad de cometer un error tipo I. Los valores que frecuentemente se emplean para  $\alpha$  son 0.01 ó 0.05.
- f. Valor P (o nivel de significación) es el nivel de significación más pequeño al cual  $H_0$  sería rechazada cuando se utiliza un procedimiento de prueba especificado con un conjunto de datos dado. Una vez que se ha determinado el valor de P, la conclusión a un nivel de particular  $\alpha$  resulta de comparar el valor P con  $\alpha$ : 1) Valor  $P \leq \alpha \Rightarrow$  rechazar  $H_0$  al nivel  $\alpha$ . 2) Valor  $P > \alpha \Rightarrow$  no rechazar  $H_0$  al nivel  $\alpha$ .

El valor  $\alpha$  más pequeño con el cual  $H_0$  sería rechazada es el área de la cola capturada por el valor calculado del estadístico de prueba. Este valor  $\alpha$  más pequeño es el valor de P.

### 1.1.2.4 Prueba t con dos muestras e intervalo de confianza

Normalmente un investigador no conoce los valores de las varianzas de la población. En realidad, con muestras grandes, el teorema de límite central permite utilizar estos métodos incluso cuando las dos poblaciones de interés no son normales.

No obstante, existen muchos problemas en los cuales por lo menos un tamaño de muestra es pequeño y los valores de la varianza de la población son

desconocidos. Sin el teorema del límite central, se procede haciendo suposiciones específicas sobre las distribuciones de población subyacente. El uso de procedimientos inferenciales que se desprenden de estas suposiciones se limita entonces a situaciones en las que las suposiciones se satisfacen por lo menos de forma aproximada.

a. Suposiciones

Ambas poblaciones son normales, de modo que  $X_1, X_2, \dots, X_{n_1}$  es una muestra aleatoria de una distribución normal y también lo es  $Y_2, \dots, Y_{n_2}$  (con las X y Y independientes entre sí). La factibilidad de estas suposiciones puede ser juzgada construyendo una curva de probabilidad normal de las  $X_i$  y otra de las  $Y_i$ .

b. Teorema

Cuando ambas distribuciones de población son normales, la variable estandarizada:

$$T_i = \frac{\bar{X} - \bar{Y} - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (1.1)$$

Donde:

$T_i$ : Variable estandarizada.

$\bar{X}, \bar{Y}$ : Medias muestrales.

$\mu_1, \mu_2$ : Medias poblacionales.

$\sigma_1, \sigma_2$ : Desviaciones estándar de las muestras, cuyas medias muestrales son  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  respectivamente.

$n_1, n_2$ : número de datos con los cuales se obtiene las medias muestrales  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  respectivamente.

Tiene aproximadamente una distribución t con v grados de libertad estimado a partir de los datos como sigue:

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} = \frac{[(es_1)^2 + (es_2)^2]^2}{\frac{(es_1)^4}{n_1 - 1} + \frac{(es_2)^4}{n_2 - 1}} \quad (1.2)$$

Donde:  $es_1 = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n_1}}, es_2 = \frac{\sigma_2}{\sqrt{n_2}}$  (redondear v al entero más cercano hacia abajo).

La manipulación de T en un enunciado de probabilidad para aislar  $\mu_1-\mu_2$  da un intervalo de confianza, en tanto que al reemplazar  $\mu_1-\mu_2$  con el valor nulo  $\Delta_0$  se obtiene un estadístico de prueba.

c. Procedimientos t con dos muestras

El intervalo de confianza t con dos muestras para  $\mu_1-\mu_2$  con nivel de confianza de  $100(1-\alpha)\%$  es entonces:

$$\bar{X} - \bar{Y} \pm t_{\alpha/2, v} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (1.3)$$

Donde  $t_{\alpha/2, v}$  es un valor de t para un grado de libertad de "v" y un nivel de significación de  $\alpha/2$ .

La prueba t con dos muestras para probar  $H_0: \mu_1-\mu_2 = \Delta_0$  es como sigue:

Valor estadístico de prueba:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y} - \Delta_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (1.4)$$

Cuadro N° 1.1 Hipótesis alternativa y región de rechazo.

Hipótesis alternativa	Región de rechazo con una prueba a nivel $\alpha$ aproximado
$H_a: \mu_1-\mu_2 > \Delta_0$	$t \geq t_{\alpha, v}$ (cola superior)
$H_a: \mu_1-\mu_2 < \Delta_0$	$t \leq -t_{\alpha, v}$ (cola inferior)
$H_a: \mu_1-\mu_2 \neq \Delta_0$	$t \geq t_{\alpha/2, v}$ o $t \leq -t_{\alpha/2, v}$ (dos colas)

Fuente: "Probabilidades y estadística para ingeniería y ciencias"-Jay L. Devore.

También se puede calcular un valor P.

## 1.2 MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Para describir los métodos de compactación de especímenes cilíndricos y especímenes viga se usa la norma "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field" (ASTM C31/C31M-08b).

En ambos métodos de compactación, por Apisonado y por Vibración, se usará moldes cilíndricos (Diámetro = 0.15 m y altura = 0.30 m) y moldes viga (Ancho = 0.15 m, altura = 0.15 m y largo = 0.535 m).

Se debe determinar el método de consolidación de acuerdo con el cuadro N° 1.2.

Cuadro N° 1.2 Método de consolidación. Requisitos de aplicación

Asentamiento, mm	Método de consolidación
≥ 25	Apisonado o vibración
< 25	Vibración

Fuente: norma ASTM C31-C31M-08b.

### 1.2.1 Método por Apisonado

En este método se usará una varilla compactadora circular recta de acero liso, que tenga su extremo de compactación, o ambos, terminados en punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla y con dimensiones conforme al cuadro N° 1.3.

Cuadro N° 1.3 Requisitos de la barra compactadora

Diámetro de cilindro o ancho de la viga, mm	Dimensiones de la varilla <sup>A</sup>	
	Diámetro, mm	Longitud de la varilla, mm
<150	10	300
150	16	500
225	16	650

<sup>A</sup> Tolerancia en la longitud, ± 100 mm. Tolerancia en el diámetro ± 2 mm.

Fuente: norma ASTM C31-C31M-08b.

Los especímenes de concreto se deben moldear cumpliendo los requisitos que se indican en el cuadro N° 1.4.

Cuadro N° 1.4 Moldeo de especímenes por apisonado. Requisitos.

<b>Tipo de espécimen y tamaño</b>	<b>Número de capas de igual altura</b>	<b>Número de golpes por capa</b>
Cilindros: diámetro, mm	---	---
100	2	25
150	3	25
225	4	50
Vigas: ancho, mm		
150 a 200	2	Ver ítem 1.2.1.2
> 200	3 ó más de igual altura, sin exceder 150 mm	Ver ítem 1.2.1.2

Fuente: Norma ASTM C31-C31M-08b.

#### 1.2.1.1 Método por Apisonado en especímenes cilíndricos

Para compactar por apisonado un espécimen cilíndrico se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Seleccionar barra compactadora apropiada del cuadro N° 1.3: Requisitos de la barra compactadora.
- ✓ Determinar los requisitos para el moldeo del cuadro N ° 1.4: Moldeo de especímenes por apisonado. Requisitos.
- ✓ Seleccionar una cuchara de tamaño adecuado.
- ✓ Adicionar en la capa final una cantidad de concreto de manera de enrasar a tope con el borde superior del molde después de la consolidación.

#### 1.2.1.2 Método por Apisonado en especímenes viga

Para compactar por apisonado un espécimen viga se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Seleccionar barra compactadora apropiada del cuadro N° 1.3: Requisitos de la barra compactadora.
- ✓ Determinar los requisitos para el moldeo del cuadro N° 1.4: Moldeo de especímenes por apisonado. Requisitos.
- ✓ Determinar el número de golpes por capa, uno cada 14 cm<sup>2</sup> del área de la superficie superior de la viga.
- ✓ Seleccionar una cuchara de tamaño adecuado.

- ✓ Adicionar en la capa final una cantidad de concreto de manera de enrasar a tope con el borde superior del molde después de la consolidación.

### 1.2.2 Método por Vibración

En este método se usará un vibrador interno para compactación de concreto que debe cumplir con las normas "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field" (ASTM C 31/C 31M-2008b) y "Guide for Consolidation of Concrete" (ACI 309R-05). En éstas se especifica que se use un vibrador interno de concreto con las siguientes características:

- ✓ Vibradora de alta revolución, con una frecuencia de vibración de por lo menos 7000 vibraciones por minuto (150 Hz) cuando está trabajando en el concreto.
- ✓ El diámetro de la barra vibradora debe ser no más que  $\frac{1}{4}$  del diámetro del molde cilíndrico o  $\frac{1}{4}$  del ancho del molde viga.
- ✓ Otras formas de barras vibradoras deberán tener un perímetro equivalente a la circunferencia de la barra vibradora, de un vibrador apropiado.
- ✓ La longitud combinada del eje de vibración y el elemento vibrante, debe exceder por lo menos 75 mm la altura de la sección a ser vibrada.

La frecuencia de vibración de la barra vibradora debe ser verificada periódicamente con un tacómetro vibrador o cualquier otro dispositivo adecuado. En la norma ACI 309R-05 se indica una forma de verificar la frecuencia de vibración de un vibrador interno; en el concreto, así: la frecuencia de vibración puede ser determinada pegando el tacómetro vibrador contra el extremo posterior del vibrador mientras está casi sumergido en el concreto. Los resultados de las mediciones de las vibraciones de la vibradora de concreto se muestran en los cuadros N° 1.5 y N° 1.6.

Cuadro N° 1.5 Cuadro resumen de las mediciones de vibraciones al cabezal de la vibradora utilizada, hecha el día 16/12/2014

N° Medición	Profundidad (cm)	Frecuencia medida (CPM)	Frecuencia medida (Hz)	Amplitud (mm/s)
1	0	10,275.0	171.25	224
2	12.5	10,313.5	171.98	135
3	17.5	10,200.0	171.98	146

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 1.6 Cuadro resumen de las mediciones de vibraciones al cabezal de la vibradora utilizada, hecha el día 21/01/2015

N° Medición	Profundidad (cm)	Frecuencia medida (CPM)	Frecuencia medida (Hz)	Amplitud (mm/s)
1	0	11,812.5	196.88	131
2	12.5	12,150.0	202.50	88.3
3	17.5	12,675.0	211.25	39.1

Fuente: Elaboración propia.

Se hizo la segunda medición de la frecuencia de vibración del cabezal de la vibradora de concreto, para verificar que la frecuencia de vibración se mantenga de acuerdo a lo requerido, que sea mayor a 7000 ciclos por minuto.

El informe completo de las mediciones de vibraciones hecho por la empresa Tecnofajas S.A se adjunta en el anexo A.2.

En la figura N° 1.8 se muestra el momento en que se está midiendo las vibraciones del cabezal de la vibradora de concreto con un tacómetro.



Figura N° 1.8. Proceso de medición de las vibraciones de la vibradora de concreto.

En la figura N° 1.9 se muestra la pantalla del equipo de medición de las vibraciones con una de las mediciones realizadas al cabezal de la vibradora de concreto.

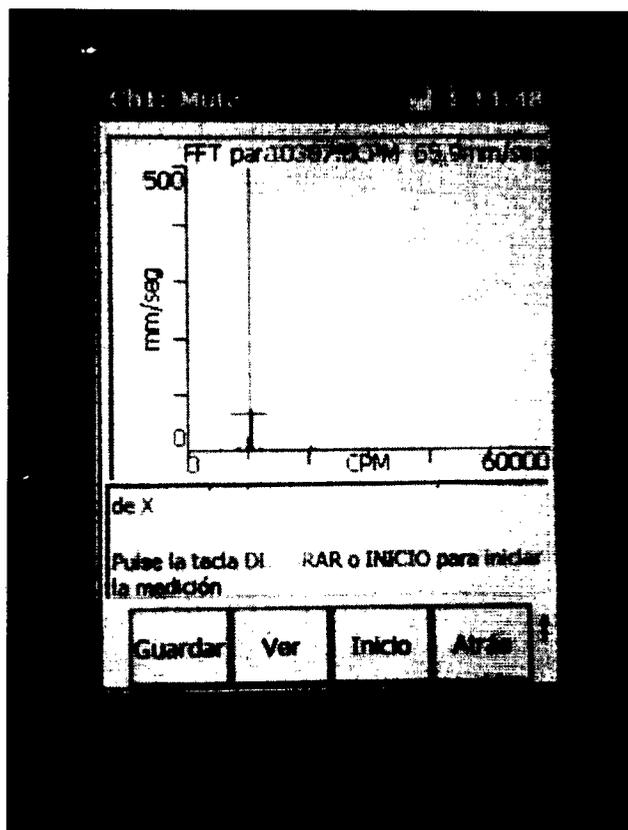


Figura N° 1.9 Pantalla del tacómetro con una de las mediciones.

Los especímenes de concreto se deben moldear cumpliendo los requisitos que se indican en el cuadro N° 1.7.

Cuadro N° 1.7 Moldeo de especímenes por vibración. Requisitos

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas	Número de inserciones de vibrador por capa	Altura aproximada de capa, mm
Cilindros: diámetro, mm	---	---	---
100	2	1	Mitad altura de espécimen
150	2	2	Mitad altura de espécimen
225	2	4	Mitad altura de espécimen
Vigas: ancho, mm			
150 a 200	1	Ver ítem 1.2.2.2	Altura de espécimen
> 200	2 ó más	Ver ítem 1.2.2.2	200 lo más próximo

Fuente: norma ASTM C31-C31M-08b.

Además, la norma ASTM C31/C31M-08b indica: generalmente es requerido no más de 5 segundos por cada inserción del elemento vibrante para una adecuada consolidación, para concretos con slump mayores de 3". Para este estudio de investigación se ha tomado como tiempo de vibración, 5 segundos por inserción.

#### 1.2.2.1 Método por Vibración en especímenes cilíndricos

Para compactar por vibración un espécimen cilíndrico se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Seleccionar el vibrador apropiado.
- ✓ Determinar los requisitos para el moldeo del cuadro N° 1.7: Moldeo de especímenes por vibración. Requisitos.
- ✓ Seleccionar una cuchara de tamaño adecuado.
- ✓ Adicionar en la capa final una cantidad de concreto de manera de enrasar a tope con el borde superior del molde después de la consolidación.

En la figura N° 1.10 se muestra la compactación de una probeta por el método por vibración. Además, se puede ver que la medición del tiempo (5 segundos) de vibrado se hace con un cronómetro, que el operario tiene sujetado con su mano derecha.



Figura N° 1.10. Compactación del concreto por el método por vibración en un espécimen cilíndrico.

### 1.2.2.2 Método por Vibración en especímenes viga

Para compactar por apisonado un espécimen viga se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Seleccionar el vibrador apropiado.
- ✓ Determinar los requisitos para el moldeo del cuadro N° 1.7: Moldeo de especímenes por vibración. Requisitos.
- ✓ Determinar el número de inserciones de vibrador por capa: insertar el vibrador a intervalos que no excedan 150 mm a lo largo del eje central de la dimensión mayor del espécimen. Para especímenes mayores de 150 mm de sección, usar alternativamente inserciones a lo largo de 2 líneas.
- ✓ Seleccionar una cuchara de tamaño adecuado.
- ✓ Adicionar en la capa final una cantidad de concreto de manera de enrasar a tope con el borde superior del molde después de la consolidación.

En la figura N° 1.11 se muestra la compactación de una viga por el método por vibración.



Figura N° 1.11. Compactación del concreto por el método por vibración en un espécimen viga.

**CAPÍTULO II**  
**PROPIEDADES DE LOS**  
**MATERIALES**

## CAPÍTULO II: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En este capítulo se determinarán las propiedades físicas de los agregados; aplicando ensayos normalizados según las normas NTP, se mostrará las propiedades físicas y químicas del cemento, y las características del agua para hacer concreto.

### 2.1 AGREGADO GRUESO

Según la norma NTP 339.047:2006 el agregado grueso es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (Nº 4) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca.

Para la presente investigación se utilizó agregado grueso procedente de la cantera de Unicon-Huachipa.

#### 2.1.1 Propiedades Físicas

##### 2.1.1.1 *Análisis Granulométrico (NTP 400.012:2013)*

El Análisis Granulométrico se usa para determinar la gradación o distribución del tamaño de partículas en una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor de los materiales propuestos para su uso como agregados o los que están siendo utilizados como tales.

Para realizar el Análisis Granulométrico del agregado grueso se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Tomar una muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010.
- ✓ Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para el ensayo, aplicando la norma NTP 400.043.
- ✓ Secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Si se necesita resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso, ya que los resultados varían muy poco) (NTP 400.012:2013).
- ✓ Seleccionar tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida.
- ✓ Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior.
- ✓ Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1% de la masa del

residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual.

- ✓ Verificar la masa total del material con la masa colocada en cada tamiz luego del tamizado. Si la cantidad difiere en más de 0.3% de la masa original, el resultado no deberá utilizarse.

La norma ASTM C33:2011 establece los límites granulométricos, donde debe de estar comprendido el agregado grueso con el fin de que sea apto para la elaboración de concretos.

Cuadro N° 2.1 Requisitos granulométricos para el agregado grueso.

Tamaño Nominal	Requisitos granulométricos para el agregado grueso							
	% que pasa por los tamices normalizados							
	37.5mm 1 1/2"	25mm 1"	19mm 3/4"	12.5mm 1/2"	9.5mm 3/8"	4.75mm N°4	2.56mm N°8	1.25 mm N°16
25mm a 12.5 mm 1" a 1/2"	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—
25mm a 9.5 mm 1" a 3/8"	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—
25mm a 4.75 mm 1" a N°4	100	95 a 100	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—
19 mm a 9.5 mm 3/4" a 3/8"	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—
19 mm a 4.75 mm 3/4" a N°4	—	100	90 a 100	—	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—

Fuente: Norma ASTM C33:2011.

Los resultados del análisis granulométrico se encuentran en los cuadros N° 2.2 y N° 2.3, la gráfica de la curva granulométrica se encuentra en la figura N° 2.1.

Cuadro N° 2.2 Muestras granulométricas del agregado grueso.

Malla	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Promedio (g)
1"	347.00	429.00	388.00
3/4"	5019.00	4514.00	4766.50
1/2"	4190.00	4425.00	4307.50
3/8"	394.50	535.50	465.00
N°4	43.50	89.50	66.50
Fondo	6.00	7.00	6.50

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 2.3 Granulometría del agregado grueso.

Malla	Muestra (g)	% retenido	% retenido acumulado	% acumulado que pasa
1"	388.00	3.88	3.88	96.12
3/4"	4766.50	47.67	51.55	48.46
1/2"	4307.50	43.08	94.62	5.38
3/8"	465.00	4.65	99.27	0.73
N°4	66.50	0.67	99.94	0.06
Fondo	6.50	0.07	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

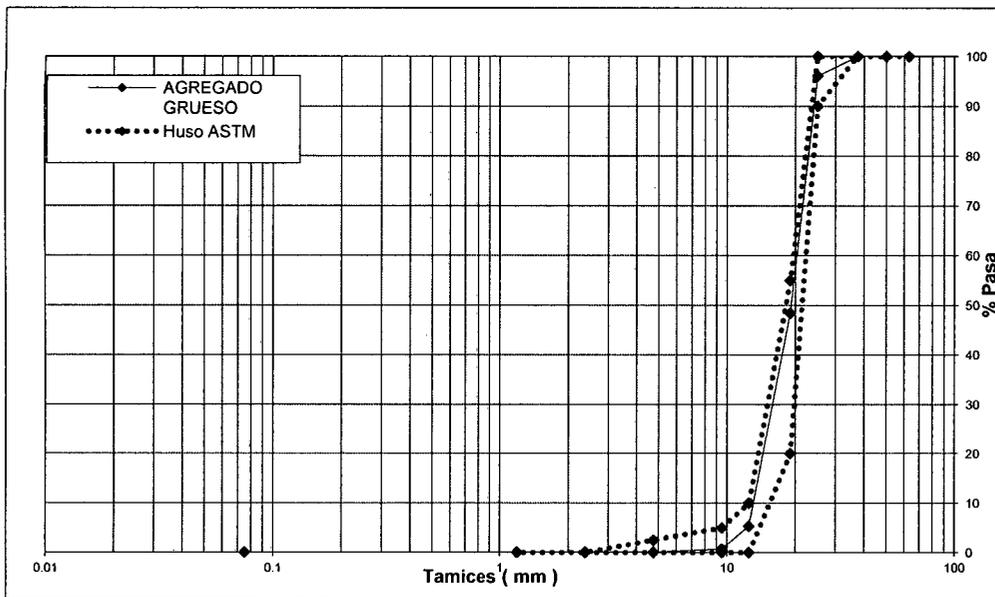


Figura N° 2.1. Curva granulométrica del agregado grueso (huso ASTM N°5).

En la figura N° 2.1, podemos notar que la curva granulométrica se encuentra dentro del huso ASTM N° 5.

### 2.1.1.2 Módulo de Finura (NTP 400.011:2013)

El Módulo de Finura es un factor que se obtiene por la suma de los porcentajes retenidos acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada (Tamices: 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100) y dividido por 100. Este Módulo de Finura es un índice de la finura del agregado, cuanto mayor sea el índice, más grueso será el agregado. El Módulo de Finura se calcula así:

$$MF = \frac{51.55 + 99.27 + 99.94 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100} = 7.51$$

### 2.1.1.3 *Tamaño Máximo (NTP 339.047:2006)*

El Tamaño Máximo del agregado es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

El agregado grueso tiene un tamaño máximo de 1 ½".

### 2.1.1.4 *Tamaño Nominal Máximo (NTP 339.047:2006)*

El Tamaño Nominal Máximo del agregado es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

El agregado grueso tiene un tamaño nominal máximo de 1".

### 2.1.1.5 *Peso Específico (NTP 400.021:2002)*

Peso Específico es la relación, a una temperatura estable, de la masa (O peso en el aire) de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a las temperaturas indicadas. Los valores son adimensionales.

El procedimiento para determinar el Peso Específico del agregado grueso es el siguiente:

- ✓ Se selecciona la muestra siguiendo el método indicado en la NTP 400.010:2011.
- ✓ Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702.
- ✓ Determinar el peso mínimo de la muestra de ensayo, de acuerdo con la Tabla 1 de la norma NTP 400.021:2002.
- ✓ Sumergir la muestra del agregado en agua por 24 horas.
- ✓ Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda la película de agua visible, inmediatamente después de haber secado superficialmente el agregado grueso, pesar el agregado.
- ✓ Colocar de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y determinar su peso en agua a una temperatura de 23 °C ± 1.7 °C.
- ✓ Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura de 100 °C ± 5 °C y dejar enfriar a temperatura ambiente de 1 hora a 3 horas y se pesa.
- ✓ Calcular el Peso Específico (*Pe*):

$$Pe = \frac{\text{(Peso seco)}}{\text{(Peso en agua del agregado ya saturado con superficie seca)}} \quad (2.1)$$

Los resultados del cálculo del Peso Específico se encuentran en los cuadros N° 2.6 y N° 2.7.

En la figura N° 2.2 se puede ver la medición del peso de la canastilla con el agregado grueso (en su estado superficialmente seco) cuando están sumergidos totalmente en el agua.



Figura N° 2.2. Pesado en agua del agregado grueso superficialmente seco.

#### 2.1.1.6 *Peso Unitario Suelto (NTP 400.017:2011)*

Peso Unitario Suelto (También llamado Densidad de Masa Suelta) es la masa por unidad de volumen del agregado, cuando está suelto, sin compactar.

El procedimiento que se usa para determinar la Densidad de Masa Suelta es como sigue:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.
- ✓ Reducir la cantidad de la muestra a tamaño de ensayo de conformidad con la NTP 400.043:2006.

- ✓ Elegir la capacidad del recipiente. Con el dato de Tamaño Nominal Máximo del agregado entrar a la Tabla 1 (NTP 400.017:2011) y elegir el recipiente adecuado. Luego ver los requisitos para los recipientes en Tabla 2 (NTP 400.017:2011).
- ✓ Llenar el recipiente hasta el rebose con una pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm encima del borde superior del mismo.
- ✓ Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
- ✓ Pesar al recipiente con su contenido y al recipiente vacío.
- ✓ Calcular el Peso Unitario Suelto ( $M_1$ ):

$$M_1 = \frac{(\text{Masa del recipiente con agregado}) - (\text{Masa del recipiente vacío})}{\text{Volumen del recipiente}} \quad (2.2)$$

El cálculo para determinar el Peso Unitario Suelto (PUS) del agregado grueso se muestra en el cuadro N° 2.4.

Cuadro N° 2.4 Resultados de Peso Unitario Suelto del A.G.

Datos	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de la muestra más el recipiente	Kg	18.15	18.26	18.21
Peso del recipiente	Kg	4.90	4.90	4.90
Peso de la muestra	Kg	13.25	13.36	13.31
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094	0.0094	0.0094
Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1409.57	1421.28	<b>1415.43</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.1.1.7 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017:2011)

Peso Unitario Compactado (También llamado Densidad de Masa Compactada) es la masa por unidad de volumen del agregado, cuando se utiliza un procedimiento para compactarlo.

El procedimiento que se usa para determinar la Densidad de Masa Compactada es como sigue:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.

- ✓ Reducir la cantidad de la muestra a tamaño de ensayo de conformidad con la NTP 400.043:2006.
- ✓ Elegir la capacidad del recipiente. Con el dato de Tamaño Nominal Máximo del agregado entrar a la Tabla 1 (NTP 400.017:2011) y elegir el recipiente adecuado. Luego ver los requisitos para los recipientes en Tabla 2 (NTP 400.017:2011).
- ✓ Seleccionar el procedimiento de compactación: apisonado o percusión.
- ✓ Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
- ✓ Pesar al recipiente con su contenido y al recipiente vacío.
- ✓ Calcular el Peso Unitario Compactado ( $M_2$ ):

$$M_2 = \frac{(Masa\ del\ recipiente\ con\ agregado) - (Masa\ del\ recipiente\ vacío)}{Volumen\ del\ recipiente} \quad (2.3)$$

El cálculo para determinar el Peso Unitario Compactado (PUC) del agregado grueso se muestra en el cuadro N° 2.5.

Cuadro N° 2.5 Resultados de Peso Unitario Compactado del A.G.

Datos	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de la muestra más el recipiente	Kg	19.98	19.99	19.99
Peso del recipiente	Kg	4.90	4.90	4.90
Peso de la muestra	Kg	15.08	15.09	15.09
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094	0.0094	0.0094
Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1604.26	1605.32	<b>1604.80</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.1.1.8 Porcentaje de Absorción (NTP 400.021:2002)

La Absorción es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en ésta, se expresa como porcentaje del peso seco. El agregado se considera "seco" cuando éste ha sido mantenido a una temperatura de 100°C ± 5°C por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar.

Se sigue el mismo procedimiento que para hallar el Peso Específico y tenemos que el Porcentaje de Absorción ( $Ab$ , (%)) del agregado grueso es:

$$Ab, (\%) = \frac{(Peso\ saturado\ superficialmente\ seco) - (Peso\ seco)}{(Peso\ seco)} \times 100 \quad (2.4)$$

El cálculo para determinar el Porcentaje de Absorción del agregado grueso se muestra en los cuadros N° 2.6 y N° 2.7.

Cuadro N° 2.6 Muestras para determinar el Peso específico y Porcentaje de absorción del A.G.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de muestra secada al horno (A)	g	4372.10	4063.70	4217.90
Peso de muestra saturada superficialmente seca (B)	g	4399.70	4091.50	4245.60
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla	g	3656.30	3466.00	3561.15
Peso de la canastilla	g	874.00	874.00	874.00
Peso de muestra saturada en agua (C)	g	2782.30	2592.00	2687.15

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 2.7 Resultados de peso específico y porcentaje de absorción del A.G.

Descripción	Unidad	Valor
Peso específico de masa = $A/(B-C)$		2.71
Peso específico de masa superficialmente seco = $B/(B-C)$		2.72
Peso específico aparente = $A/(A-C)$		2.76
Porcentaje de absorción = $100[(B-A)/A]$	%	0.66

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 2.3 podemos notar que se está secando al agregado para dejarlo en su estado superficialmente seco, y así calcular el porcentaje de absorción.



Figura N° 2.3. Ensayo de porcentaje de absorción del agregado grueso.

### 2.1.1.9 Contenido de Humedad (NTP 339.185:2013)

Contenido de Humedad es el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado grueso por secado.

El procedimiento que se usa para determinar el Contenido de Humedad es el siguiente:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.
- ✓ Determinar la masa mínima de la muestra de agregado en la Tabla 1 de la norma NTP 339.185:2013 (Se tiene que tener como dato el tamaño nominal máximo del agregado).
- ✓ Secar la muestra completamente en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida.
- ✓ Determinar la masa de la muestra seca, después de que haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.
- ✓ Calcular el Contenido de Humedad ( $P$  (%)):

$$P (\%) = \frac{100 (\text{Masa de la muestra húmeda} - \text{Masa de la muestra seca})}{\text{Masa de la muestra seca}} \quad (2.5)$$

El cálculo para determinar el Contenido de Humedad del agregado grueso se muestra en el cuadro N° 2.8.

Cuadro N° 2.8 Resultados de Contenido de Humedad del A.G.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de la muestra en estado ambiental	g	4092.70	4757.40	4425.05
Peso de la muestra seca al horno	g	4077.00	4738.50	4407.75
Peso de agua perdida	g	15.70	18.90	17.30
Contenido de Humedad	%	0.39	0.40	<b>0.40</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.1.10 Contenido de material que pasa la Malla N°200 (NTP 400.018:2013)

Para determinar la cantidad de material que pasa por la malla N°200, por vía húmeda, en el agregado a emplearse en la elaboración de concretos y morteros, se usa la norma "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N°200) por lavado en agregados".

El procedimiento que se usa para determinar el material que pasa la malla N°200 es el siguiente:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.
- ✓ Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para el ensayo, aplicando la norma NTP 400.043.
- ✓ Determinar la masa mínima de la muestra de agregado en la Tabla 1 de la norma NTP 400.018:2013 (Se tiene que tener como dato el tamaño nominal máximo del agregado).
- ✓ Seleccionar el procedimiento: procedimiento A (Lavado con agua) y procedimiento B (Lavado utilizando un agente dispersante). Se deberá utilizar el procedimiento A, a menos que sea especificado de otro modo por la norma con la que los resultados de ensayo serán comparados, o cuando es dirigido por la obra para la cual el trabajo es realizado.
- ✓ Secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y luego determinar la masa de la muestra.
- ✓ Colocar la muestra de ensayo en un recipiente, que pueda contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin pérdidas de la muestra ni de agua, y luego adicionar agua suficiente para cubrirla.
- ✓ Agitar la muestra vigorosamente con el fin de separar completamente todas las partículas más finas que el tamiz normalizado  $75\text{ }\mu\text{m}$  de las partículas gruesas y llevar el material fino a la suspensión.
- ✓ Verter inmediatamente el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre los tamices.
- ✓ Adicionar una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indica líneas arriba. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado este clara.
- ✓ Retomar todo el material retenido sobre los tamices mediante un chorro de agua.
- ✓ Secar el agregado lavado a peso constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y determinar sus masa.
- ✓ Calcular A (Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de  $75\text{ }\mu\text{m}$  por vía húmeda):

$$A = \frac{(\text{Masa seca de la muestra original} - \text{Masa seca de la muestra lavada}) \times 100}{\text{Masa seca de la muestra original}} \quad (2.6)$$

El cálculo para determinar el Contenido de material que pasa la malla N° 200, del agregado grueso se muestra en el cuadro N° 2.9.

Cuadro N° 2.9 Resultados de porcentaje de material que pasa la malla N°200 del A.G.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso inicial seco	g	5150.50	5001.90	5076.20
Peso seco lavado	g	5139.00	4995.00	5067.00
Pérdida de peso	g	11.50	6.90	9.20
Porcentaje que pasa la malla N°200	%	0.22	0.14	<b>0.18</b>

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N° 2.9, tenemos que el porcentaje promedio de material que pasa la malla N° 200 es 0.18%, éste cumple con la norma ASTM C33:2011, en donde se indica que el porcentaje de finos debe ser menor que 1 %.

## 2.2 AGREGADO FINO

Según la norma NTP 339.047:2006 el agregado fino es el agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa por el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg.) y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C33:2011.

Para la presente investigación se utilizó agregado fino procedente de la cantera de Trapiche.

### 2.2.1 Propiedades Físicas

#### 2.2.1.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012:2013)

El Análisis Granulométrico es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños, el cual consiste en tamizar las partículas por una serie de mallas de aberturas estandarizadas y pesar los materiales refiriéndolos en porcentaje con respecto al peso total. Con este ensayo se busca averiguar la distribución del agregado fino con relación a los diferentes diámetros de sus partículas. Los tamices estándar usados para determinar la gradación de los agregados finos son las N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100, están basadas de acuerdo con sus perforaciones cuadradas; la granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua. El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera. Las variaciones en la gradación puede afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas

muy finas son con frecuencia costosas y las arenas muy gruesas pueden producir mezclas muy ásperas y poco manejables. La granulometría más conveniente para el agregado fino depende del tipo de trabajo, riqueza de la mezcla y tamaño máximo del agregado grueso.

La norma ASTM C33:2011 establece los límites (Cuadro N° 2.10) granulométricos, donde debe de estar comprendido el agregado fino con el fin de que sea apto para la elaboración de concretos.

Cuadro N° 2.10 Límites granulométricos para el agregado fino.

TAMIZ MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
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 µm (N°30)	25 a 60
300 µm (N°50)	05 a 30
150 µm (N°100)	0 a 10

Fuente: ASTM C33:2011.

El análisis granulométrico del agregado fino se muestra en los cuadros N° 2.11 y N° 2.12. La curva granulométrica del agregado fino se muestra en la figura N° 2.4.

Cuadro N° 2.11 Muestras granulométricas del agregado fino.

Malla	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Promedio (g)
N°4	11.90	4.10	8.00
N°8	63.00	69.10	66.05
N°16	125.50	129.10	127.30
N°30	131.70	129.40	130.55
N°50	91.40	91.60	91.50
N°100	47.60	47.30	47.45
Fondo	28.90	29.40	29.15

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 2.12 Granulometría del agregado fino.

Malla	Muestra (g)	% retenido	% retenido acumulado	% acumulado que pasa
N°4	8.00	1.60	1.60	98.40
N°8	66.05	13.21	14.81	85.19
N°16	127.30	25.46	40.27	59.73
N°30	130.55	26.11	66.38	33.62
N°50	91.50	18.30	84.68	15.32
N°100	47.45	9.49	94.17	5.83
Fondo	29.15	5.83	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

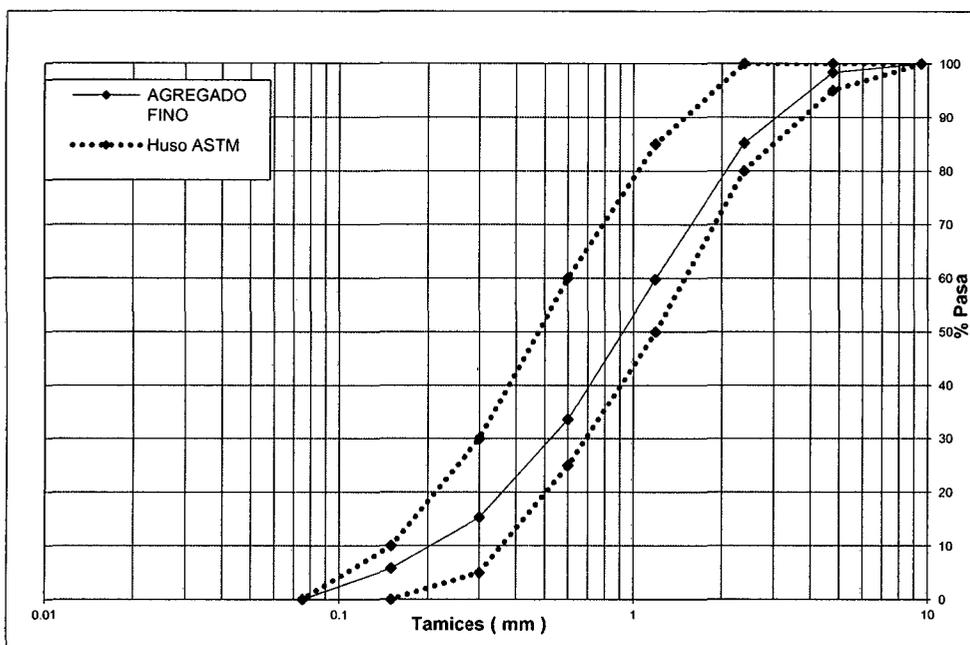


Figura N° 2.4 Curva granulométrica del agregado fino (huso ASTM C33).

De la figura N° 2.3, podemos notar que la curva granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de los límites determinados por la norma ASTM C33.

### 2.2.1.2 Módulo de Finura (NTP 400.011:2013)

Módulo de Finura es un factor que se obtiene por la suma de los porcentajes retenidos acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada (Tamices: 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100) y dividido por 100. Este Módulo de Finura es un índice de la fineza del agregado, cuanto mayor sea el índice, más grueso será el agregado. El Módulo de Finura se calcula así:

$$MF = \frac{1.6 + 14.81 + 40.27 + 66.38 + 84.68 + 94.17}{100} = 3.02$$

### 2.2.1.3 Peso Especifico (NTP 400.022:2013)

El Peso Específico o también llamada Densidad Relativa es la relación de la densidad de un material a la densidad del agua a una temperatura indicada, los valores son adimensionales.

El procedimiento que se usa para determinar la Densidad Relativa es el siguiente:

- ✓ Seleccionar la muestra de agregado
- ✓ Colocar la muestra en un recipiente adecuado, cubrir la muestra con agua y dejar reposar por 24 h  $\pm$  4 h
- ✓ Decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos
- ✓ Extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente y mover la muestra con frecuencia para garantizar el secado homogéneo hasta que la muestra obtenga una condición de flujo libre
- ✓ Hacer la primera prueba de humedad superficial, si no cumple, secar con agitación constante y ensayar a intervalos frecuentes hasta que la prueba indique que la muestra ha alcanzado una condición de superficie seca
- ✓ Determinar el volumen de la muestra con el procedimiento gravimétrico o con el procedimiento volumétrico
- ✓ Calcular el Peso Específico como sigue:

$$P.E = \frac{A_1}{(B + S - C)} \quad (2.7)$$

Donde:

P.E: Peso Específico

A<sub>1</sub>: Masa de la muestra seca al horno, g.

B: Masa de picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g.

C: Masa del picnómetro lleno de la muestra y agua hasta la marca de calibración, g.

S: Masa de la muestra de saturado superficialmente seca.

Los cálculos para determinar el Peso Específico del agregado fino se muestran en los cuadros N° 2.15 y N° 2.16.

En las figuras N° 2.5 y N° 2.6 se muestran dos procesos que nos ayudan a determinar en peso específico del agregado fino.



Figura N° 2.5. Ensayo para determinar si el agregado fino está en su estado saturado superficialmente seco.

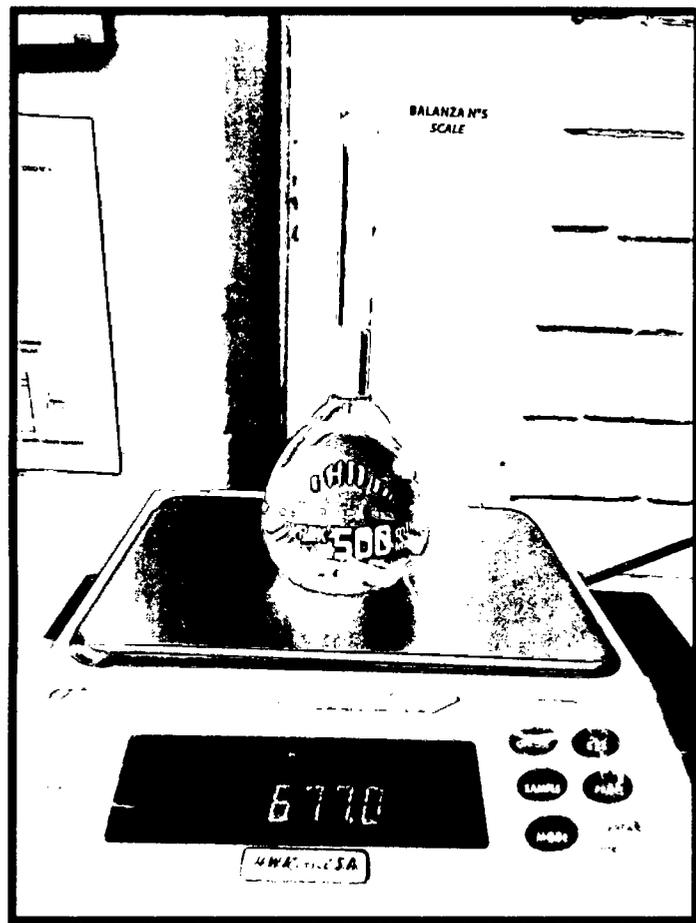


Figura N° 2.6. Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración.

### 2.2.1.4 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017:2011)

Peso Unitario Suelto (También llamado Densidad de Masa Suelta) es la masa por unidad de volumen del agregado, cuando está suelto, sin compactar.

El procedimiento que se usa para determinar la Densidad de Masa Suelta es como sigue:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.
- ✓ Reducir la cantidad de la muestra a tamaño de ensayo de conformidad con la NTP 400.043:2006.
- ✓ Elegir la capacidad del recipiente, Tabla 1 (NTP 400.017:2011), para agregado fino, el recipiente siempre será 1/10 pie<sup>3</sup>, luego ver los requisitos para el recipiente en Tabla 2 (NTP 400.017:2011).
- ✓ Llenar el recipiente hasta el rebose con una pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm encima del borde superior del mismo.
- ✓ Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
- ✓ Pesar al recipiente con su contenido y al recipiente vacío.
- ✓ Calcular el Peso Unitario Suelto ( $M_3$ ):

$$M_3 = \frac{(Masa\ del\ recipiente\ con\ agregado) - (Masa\ del\ recipiente\ vacío)}{Volumen\ del\ recipiente} \quad (2.8)$$

Los cálculos para determinar el Peso Unitario Suelto (PUS) del agregado fino se muestran en el cuadro N° 2.13.

Cuadro N° 2.13 Resultados de Peso Unitario Suelto del A. F.

Datos	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de la muestra más el recipiente	Kg	6.35	6.34	6.35
Peso del recipiente	Kg	1.56	1.56	1.56
Peso de la muestra	Kg	4.79	4.78	4.79
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0028	0.0028	0.0028
<b>Peso Unitario Suelto</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1710.71</b>	<b>1707.14</b>	<b>1708.93</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1.5 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017:2011)

Peso Unitario Compactado (También llamado Densidad de Masa Compactada) es la masa por unidad de volumen del agregado, cuando se utiliza un procedimiento para compactarlo.

El procedimiento que se usa para determinar la Densidad de Masa Compactada es como sigue:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.
- ✓ Reducir la cantidad de la muestra a tamaño de ensayo de conformidad con la NTP 400.043:2006.
- ✓ Elegir la capacidad del recipiente, Tabla 1 (NTP 400.017:2011), para agregado fino, el recipiente siempre será 1/10 pie<sup>3</sup>, luego ver los requisitos para el recipiente en Tabla 2 (NTP 400.017:2011).
- ✓ Seleccionar el procedimiento de compactación: para agregado fino, la compactación siempre será por apisonado.
- ✓ Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
- ✓ Pesarse al recipiente con su contenido y al recipiente vacío.
- ✓ Calcular el Peso Unitario Compactado ( $M_4$ ):

$$M_4 = \frac{(Masa\ del\ recipiente\ con\ agregado) - (Masa\ del\ recipiente\ vacío)}{Volumen\ del\ recipiente} \quad (2.9)$$

Los cálculos para determinar el Peso Unitario Compactado (PUC) del agregado fino se muestran en el cuadro N° 2.14.

Cuadro N° 2.14 Resultados de Peso Unitario Compactado del A.F.

Datos	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de la muestra más el recipiente	Kg	6.96	6.95	6.96
Peso del recipiente	Kg	1.56	1.56	1.56
Peso de la muestra	Kg	5.40	5.39	5.40
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0028	0.0028	0.0028
Peso Unitario Suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1928.57	1925.00	<b>1926.79</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1.6 Porcentaje de absorción (NTP 400.022:2013)

La Absorción es el aumento de la masa del agregado bebido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca.

El procedimiento que se usa para determinar el Porcentaje de Absorción es el siguiente:

- ✓ Seleccionar la muestra de agregado.
- ✓ Colocar la muestra en un recipiente adecuado, cubrir la muestra con agua y dejar reposar por 24 h ± 4 h.
- ✓ Decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos.
- ✓ Extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente y mover la muestra con frecuencia para garantizar el secado homogéneo hasta que la muestra obtenga una condición de flujo libre.
- ✓ Hacer la primera prueba de humedad superficial, si no cumple, secar con agitación constante y ensayar a intervalos frecuentes hasta que la prueba indique que la muestra ha alcanzado una condición de superficie seca.
- ✓ Separar 500 g ± 10 g de la muestra del agregado fino saturada seca superficialmente.
- ✓ Secar la muestra separada hasta masa constante y determinar la masa seca.
- ✓ Calcular el porcentaje de absorción:

$$\text{Absorción (\%)} = 100[(S_1 - A_1)/A_1] \quad (2.10)$$

Donde:

S<sub>1</sub>: masa de la muestra saturada superficialmente seca.

A<sub>1</sub>: Masa de la muestra seca al horno.

Los cálculos para determinar el Porcentaje de Absorción del agregado fino se muestran en los cuadros N° 2.15 y N° 2.16.

Cuadro N° 2.15 Muestras de agregado fino para determinar el Peso específico y Porcentaje de absorción.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Masa de la muestras seca al horno ( $A_1$ )	g	493.50	493.60	493.55
Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (B)	g	677.00	677.00	677.00
Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración (C)	g	990.30	989.80	990.05
Masa de la muestras de saturado superficialmente seca ( $S_1$ )	g	500.00	500.00	500.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 2.16 Resultados de peso específico y porcentaje de absorción del A.F.

Descripción	Unidad	Valor
Peso Específico (Densidad relativa) = $A_1/(B+S_1-C)$	g/ml	2.64
Densidad relativa saturada superficialmente seca = $S_1/(B+S_1-C)$	g/ml	2.67
Densidad relativa aparente = $A_1/(B+A_1-C)$	g/ml	2.73
% Absorción = $100 [(S_1-A_1)/A_1]$	%	1.31

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1.7 Contenido de Humedad (NTP 339.185:2013)

Contenido de Humedad es el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino por secado.

El procedimiento que se usa para determinar el Contenido de Humedad es el siguiente:

- ✓ Obtener la muestra de conformidad con la NTP 400.010:2011.
- ✓ Determinar la masa mínima de la muestra de agregado en la Tabla 1 de la norma NTP 339.185:2013 (Se tiene que tener como dato el tamaño nominal máximo del agregado).
- ✓ Secar la muestra completamente en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida.
- ✓ Determinar la masa de la muestra seca, después de que haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

✓ Calcular el Contenido de Humedad ( $P_1$  (%)):

$$P_1 (\%) = \frac{100 (\text{Masa de la muestra húmeda} - \text{Masa de la muestra seca})}{\text{Masa de la muestra seca}} \quad (2.11)$$

Los cálculos para determinar el Contenido de Humedad del agregado fino se muestran en el cuadro N° 2.17.

Cuadro N° 2.17 Resultados de Contenido de Humedad del A.F.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso de la muestra en estado ambiental	g	1003.50	1195.40	1099.45
Peso de la muestra seca al horno	g	986.50	1178.00	1082.25
Peso de agua perdida	g	17.00	17.40	17.20
Contenido de Humedad	%	1.72	1.48	<b>1.60</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1.8 Contenido de material que pasa la Malla N° 200 (NTP 400.018:2013)

El procedimiento es el mismo que el indicado en ítem 2.1.1.10.

Los cálculos para determinar el Contenido de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino, se muestran en el cuadro N° 2.18.

Cuadro N° 2.18 Resultados de Contenido de material que pasa la malla N°200 del A.F.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Peso inicial seco	g	500.00	500.00	500.00
Peso seco lavado	g	476.40	474.00	475.20
Pérdida de peso	g	23.60	26.00	24.80
Porcentaje que pasa la malla N°200	%	4.72	5.20	<b>4.96</b>

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro N° 2.18, tenemos que el porcentaje promedio de material que pasa la malla N° 200 es 4.96 %, éste cumple con la norma ASTM C33:2011, en donde se indica que el porcentaje de finos debe ser menor que 5 %.

## 2.3 AGREGADO GLOBAL

El Agregado Global es la mezcla de agregado fino y agregado grueso, normalizado por una granulometría.

Muchas veces se ha tenido la experiencia de que las granulometrías de agregado fino y grueso no cumplen con los husos establecidos en la norma ASTM C-33,

pero si mezclamos el agregado fino y el agregado grueso en proporciones adecuadas y nos dará una buena distribución de partículas.

### 2.3.1 Peso Unitario Compactado

Para determinar el Peso Unitario Compactado del agregado global se usará la norma "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados" (NTP 400.017:2011). Se usa esta norma para determinar la máxima densidad del agregado global. Se mezclará agregado grueso y agregado fino en diferentes proporciones y se determinará su peso unitario compactado de cada combinación. La razón por la que se busca la máxima densidad es porque con esta proporción de agregados se obtiene el mínimo volumen de vacíos, por tanto cuando preparemos concreto se necesitará menos cantidad de pasta y por ende menos cantidad de cemento. También se obtendrá un concreto de mayor resistencia a la compresión.

Los resultados del ensayo de compacidad del agregado global, se muestran en los cuadros N° 2.19 y N° 2.20, y en la figura N° 2.7.

Cuadro N° 2.19 Resultados del ensayo de compacidad para el agregado global.

% A. FINO	% A. GRUESO	A. FINO (Kg)	A. GRUESO (Kg)	Muestra 1 (Kg)	Muestra 2 (Kg)	Muestra 3 (Kg)	Promedio (Kg)
53%	47%	26.50	23.50	29.80	29.79	29.83	29.81
50%	50%	25.00	25.00	30.09	30.07	30.06	30.07
<b>47%</b>	<b>53%</b>	<b>23.50</b>	<b>26.50</b>	<b>30.19</b>	<b>30.20</b>	<b>30.16</b>	<b>30.18</b>
44%	56%	22.00	28.00	29.95	29.97	29.95	29.96
41%	59%	20.50	29.50	29.93	29.92	29.89	29.91

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 2.20 Resultados del ensayo de compacidad para el agregado global con el peso de la muestra promedio

% AGREGADO FINO	% AGREGADO GRUESO	PESO MUESTRA PROMEDIO (Kg)	PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )
53.00	47.00	29.81	2099.30
50.00	50.00	30.07	2117.61
<b>47.00</b>	<b>53.00</b>	<b>30.18</b>	<b>2125.35</b>
44.00	56.00	29.96	2109.86
41.00	59.00	29.91	2106.34

Fuente: Elaboración propia.

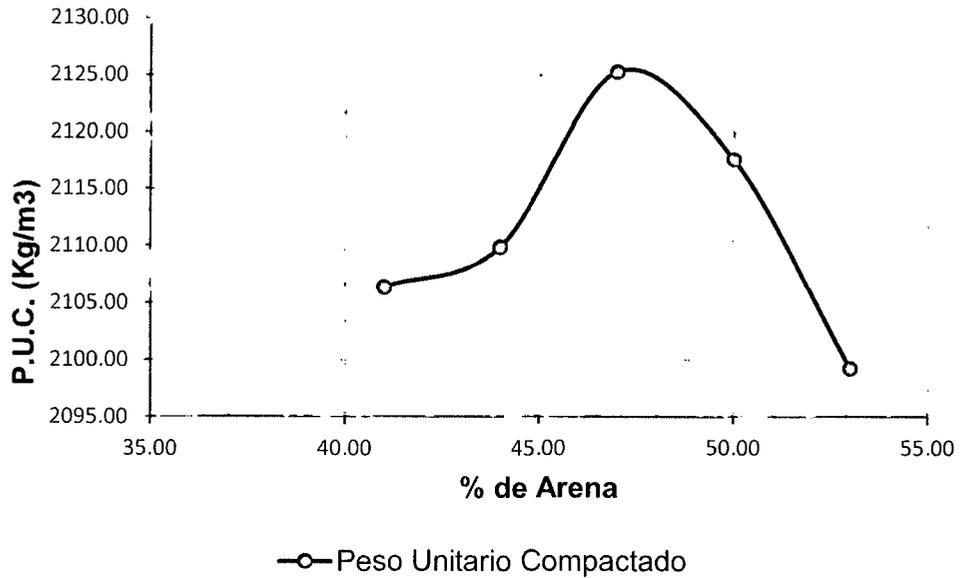


Figura N° 2.7. Curva P.U.C con respecto al porcentaje de arena del agregado global.

En la figura N° 2.8 se muestra el ensayo de compactación del agregado global.



Figura N° 2.8. Ensayo de Peso Unitario Compactado del agregado global.

Con esta proporción de agregados  $A.G / A.F = 53/47$ , se hizo un diseño de mezcla (Ver capítulo III), y al hacer la mezcla de concreto resultó que ésta tenía bastante agregado grueso (visualmente se determinó que la mezcla tenía poca cantidad de

mortero), por tanto se decidió bajar el porcentaje de agregado grueso para obtener la relación A.G / A.F = 52/48.

### 2.3.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.012:2013)

Usando los análisis granulométricos del agregado grueso y del agregado fino, y la proporción de combinación óptima del ensayo de compactación del agregado global se obtiene la granulometría del agregado global como se muestra en el cuadro N° 2.21.

Cuadro N° 2.21 Granulometría del agregado global con una relación de agregado grueso/agregado fino de 52/48.

Malla	% retenido del A.G	% retenido del A.F	A.G (52%)	A.F (48%)	% retenido del A.Gb	% retenido acumulado del A.Gb	% Pasa del A.Gb
1"	3.88		2.02		2.02	2.02	97.98
3/4"	47.67		24.79		24.79	26.80	73.20
1/2"	43.08		22.40		22.40	49.20	50.80
3/8"	4.65		2.42		2.42	51.62	48.38
N°4	0.67	1.60	0.35	0.77	1.11	52.73	47.27
N°8		13.21		6.34	6.34	59.08	40.93
N°16		25.46		12.22	12.22	71.30	28.70
N°30		26.11		12.53	12.53	83.83	16.17
N°50		18.30		8.78	8.78	92.61	7.39
N°100		9.49		4.56	4.56	97.17	2.83
Fondo	0.07	5.83	0.03	2.80	2.83	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro N° 2.21, graficamos la figura N° 2.9, donde se muestra la curva granulométrica del agregado global y el huso granulométrico del agregado global correspondiente a un tamaño máximo nominal de 1 ½ pulg. (Huso que mejor se ajusta a la curva granulométrica). Este huso está especificado en el cuadro N° 2.22, éste se ha tomado de la norma NTP 400.037:2014.

Cuadro N° 2.22 Granulometría del agregado global.

Tamiz	Tamaño máximo nominal		
	37.5 mm (1 ½ pulg.)	19.9 mm (3/4 pulg.)	9.5 mm (3/8 pulg.)
50 mm (2 pulg.)	100		
37.5 mm(1 ½ pulg.)	95 a 100	100	
19.0 mm (3/4 pulg.)	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2 pulg.)			100
9.5 mm (3/8 pulg.)			95 a 100
4.75 mm (N° 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (N° 8)			20 a 50
1.18 mm (N° 16)			15 a 40
600 µm (N° 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (N° 50)			5 a 15
150 µm (N° 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

\*Incrementar 10% para finos de roca triturada.

Fuente: Norma NTP 400.037:2014.

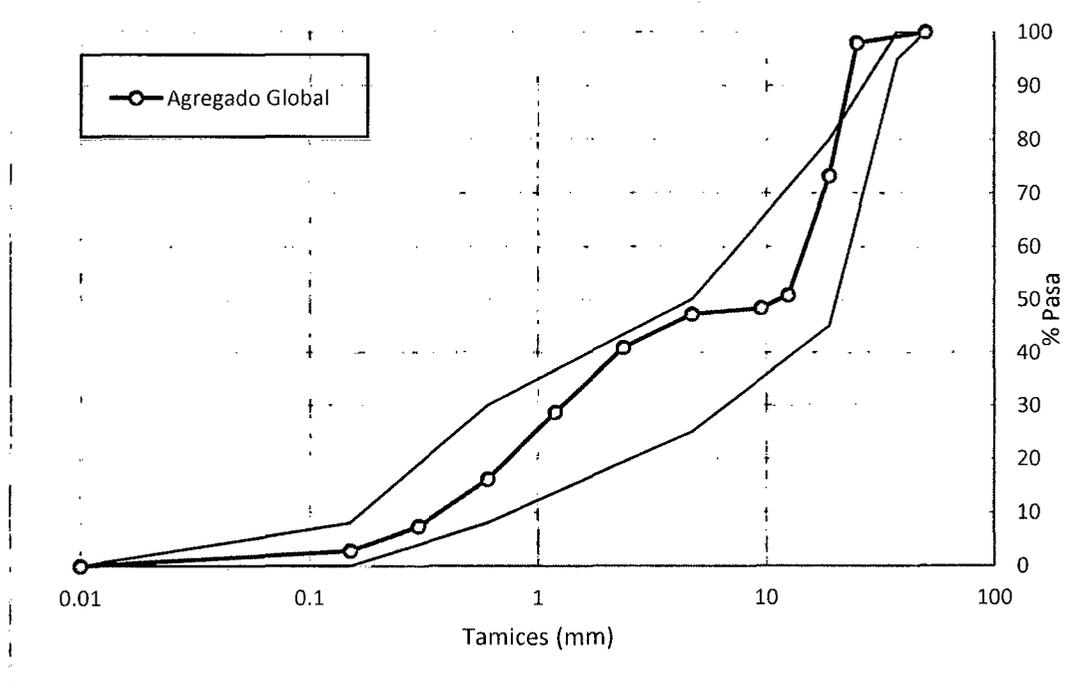


Figura N° 2.9 Cuerva granulométrica del agregado global.

### 2.3.3 Módulo de Finura (NTP 400.011:2013)

En la norma NTP 400.011:2013 se define al Módulo de Finura como un factor que se obtiene por la suma de los porcentajes retenidos acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada (Tamices: 1 ½", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100) y dividido por 100. Este Módulo de Finura es un índice de la fineza del agregado, cuanto mayor sea el índice, más grueso será el agregado. El módulo de finura del agregado global se calcula así:

$$MF = \frac{26.8 + 51.62 + 52.73 + 59.08 + 71.3 + 83.83 + 92.61 + 97.17}{100} = 5.35$$

## 2.4 CEMENTO PORTLAND

### 2.4.1 Generalidades

Se define la palabra Cemento como cualquier material aglomerante y aglutinante capaz de unir materiales de diferentes propiedades físicas.

Cemento Portland es un cemento hidráulico porque fragua y endurece al reaccionar con el agua, a ésta reacción se la conoce como Hidratación, también esta reacción producida libera calor al exterior, el cual se conoce como Calor de Hidratación.

El Cemento Portland es producido industrialmente mediante la pulverización del Clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda, este Clinker es el resultado de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas dosificadas adecuadamente. La calcinación se lleva a cabo en un horno rotatorio a una temperatura aproximada de 1500 °C.

Para el desarrollo de esta Tesis se ha empleado el cemento Tipo I de la marca Sol.

### 2.4.2 Propiedades Físicas

Los valores de las propiedades físicas fueron extraídas de la tesis: "Características de Concretos Elaborados con Aditivo Incorporador de Aire y Cemento Portland Tipo I", en donde se indica que la información fue proporcionada por el fabricante.

#### 2.4.2.1 *Peso Específico*

Para determinar el Peso Específico del cemento se usa la norma NTP 334.005:2011, ésta indica que el Peso específico se debe determinar con el ensayo del Frasco de Le Chatelier.

Peso Específico es la masa de una unidad de volumen de los sólidos de cemento portland, se expresa en gramos por centímetro cúbico, así el Peso Específico del cemento portland tipo I marca SOL es de  $3.15 \text{ g/cm}^3$ .

#### 2.4.2.2 *Finura*

Para determinar la Finura de cemento se usa la norma NTP 334.002:2013, en ésta se indica que el método para hallar la Finura es el del Permeabilímetro de Blaine.

La finura en el cemento se mide en términos de Superficie Específica, la cual está dada por la suma de las áreas en  $\text{cm}^2$  de los granos contenidos en un gramo de cemento.

Al aumentar la Finura del cemento aumenta la rapidez de hidratación del cemento, los efectos de aumentar la Finura del cemento se dan a notar también en la resistencia, principalmente dentro de los 7 días.

La superficie específica del cemento portland tipo I marca SOL es de  $3477 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

#### 2.4.2.3 *Consistencia Normal*

Para la determinación de la Consistencia Normal se usa la norma NTP 334.074:2004.

La pasta de cemento de Consistencia Normal, tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la elaboración de dicha pasta se determina por medio de ensayos de penetración en pastas con diferentes contenidos de agua.

#### 2.4.2.4 *Tiempo de Fraguado*

Para calcular el Tiempo de Fraguado del cemento hidráulico se usa la norma NTP 334.006:2003, en la que se indica que se debe usar el aparato de Vicat ya sea Manual (Método A) o Automático (Método B).

De acuerdo con el Método A, el Tiempo de Fraguado Inicial es determinado como el tiempo transcurrido para alcanzar una penetración de 25 mm de la aguja de

Vicat en la pasta y el Tiempo de Fraguado Final es el tiempo total transcurrido hasta que la aguja no deja marca visible en la pasta. Los tiempos de fraguado inicial y final se muestran en el cuadro N° 2.23.

Cuadro N° 2.23 Tiempo de fraguado del cemento portland.

<b>Método Vicat</b>	
Fraguado	Tiempo (Horas: minutos)
Inicial	01: 49
Final	03: 29

Fuente: Tesis: "Características de Concretos Elaborados con Aditivo Incorporador de Aire y Cemento Portland Tipo I"

#### 2.4.2.5 Contenido de Aire

Para hallar el porcentaje de aire atrapado en la mezcla (Mortero) se usa la norma NTP 334.048:2003.

El cemento portland tipo I marca SOL tiene un contenido de aire de 9.99%.

#### 2.4.2.6 Calor de Hidratación

Para medir el calor de hidratación se usa el procedimiento indicado en la norma NTP 334.064:2009.

El calor de hidratación se produce gracias a la reacción química del cemento con el agua.

El cuadro N° 2.24, muestras los valores de calor de hidratación del cemento portland tipo I marca SOL.

Cuadro N° 2.24 Calor de Hidratación del cemento portland.

<b>Calor de Hidratación</b>	
N° Días	(Calorías / gramo)
7	70.60
28	84.30

Fuente: Tesis: "Características de Concretos Elaborados con Aditivo Incorporador de Aire y Cemento Portland Tipo I"

### 2.4.2.7 Resistencia a la Compresión

La norma NTP 334.051:2013 especifica que la Resistencia a la Compresión se debe de hallar del ensayo de cubos estándar de 2 pulgadas de lado, hechos de mortero.

En el cuadro N° 2.25 se muestra los valores de resistencia a la compresión en  $\text{kg/cm}^2$  de los cubos estándar, para edades de 3, 7 y 28 días.

Cuadro N° 2.25 Resistencia a la compresión del cemento portland.

Edad (Días)	f'c ( $\text{kg/cm}^2$ )
3	254
7	301
28	357

Fuente: Tesis: "Características de Concretos Elaborados con Aditivo Incorporador de Aire y Cemento Portland Tipo I"

### 2.4.2.8 Estabilidad de Volumen

Para determinar la Estabilidad de Volumen se usa la norma NTP 334.004:2013, ésta indica que se debe hacer el ensayo en autoclave. Este ensayo se basa en los cambios volumétricos por la presencia de agentes expansivos.

El cemento portland tipo I, marca SOL presenta una expansión de 0.18 %.

### 2.4.3 Propiedades Químicas

#### 2.4.3.1 Componentes químicos

Las materias primas empleadas en la elaboración del cemento portland son principalmente cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Aparte de estos componentes principales, existen otros óxidos que representan 3% a 5% del total. Así tenemos:

Cuadro N° 2.26.- Límites aproximados de la composición del cemento Portland.

Óxido	Contenido, porcentaje
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Alcalinos	0.2-1.3
SO <sub>3</sub>	1-3

Fuente: Tecnología del concreto (A.M. Neville y J.J. Brooks).

#### 2.4.3.2 Compuestos químicos

Los óxidos mencionados anteriormente actúan entre sí en el horno para formar una serie de compuestos más complejos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente el 95% del cemento son:

Cuadro N° 2.27 Principales compuestos del cemento Portland.

Nombre del Componente	Composición Óxida	Abreviatura
Silicato de tricalcio	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato de bicalcio	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminio de tricalcio	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Aluminoferrato	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Fuente: Tecnología del concreto (A.M. Neville y J.J. Brooks).

#### 2.4.3.3 Propiedades de los compuestos principales

El C<sub>3</sub>S es el más importante de los compuestos del cemento, es el que determina la rapidez o velocidad de fraguado y la resistencia inicial del cemento, contribuye a una buena estabilidad de volumen.

El C<sub>2</sub>S es el segundo en importancia, ayuda a que la pasta endurezca con lentitud y a alcanzar elevada resistencia a la compresión a largo plazo (después de prolongado endurecimiento). Su contribución a la estabilidad de volumen es regular.

El C<sub>3</sub>A es benéfico durante la elaboración del cemento, porque favorece la combinación de cal y sílice. Es el primero en hidratarse (fragua con mucha rapidez). Tiene poca resistencia mecánica y mala estabilidad de volumen.

El  $C_4AF$  está en pequeñas cantidades en el cemento, y en comparación con los otros tres componentes, no influye significativamente en su comportamiento; sin embargo, reacciona con el yeso para formar sulfoferrita de calcio y su presencia puede acelerar la hidratación de los silicatos.

## 2.5 AGUA PARA CONCRETO (NTP 339.088:2014)

La hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades dependen de la cantidad y calidad del agua que se esté empleando en la fabricación del concreto. El agua que se coloca en la mezcla es por razones de trabajabilidad, siempre mayor que aquella que requiere por hidratación del cemento.

El agua empleada para amasar y curar el concreto será de propiedades colorantes nulas, clara, libre de glúcidos y de aceites.

Se estima que con contenidos individuales de cloruros, sulfatos y carbonatos sobre los 5,000 ppm ocasionan reducción de resistencias del orden del 30% con relación a concretos con agua pura.

Los carbonatos y bicarbonatos de Sodio y Potasio pueden acelerar o retardar el fraguado cuando la suma de sales disueltas tiene concentraciones sobre 1,000 ppm, por lo que es recomendable en estos casos hacer pruebas de tiempo de fraguado. La materia orgánica por encima de las 1,000 ppm reduce resistencia e incorpora aire.

El agua utilizada para hacer concreto para este estudio de investigación, es agua potable de la red interna de la Universidad Nacional de Ingeniería, Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM).

**CAPÍTULO III**  
**SELECCIÓN DE PROPORCIONES**

## CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE PROPORCIONES

La determinación de las cantidades de materiales para preparar una mezcla de concreto portland se obtiene siguiendo las recomendaciones de la norma ACI 211.1-91 y las recomendaciones de la metodología del agregado global; para el cual se hace un ensayo de compacidad del agregado global, que tiene como objetivo encontrar la proporción óptima de combinación del agregado grueso y agregado fino, que tenga la máxima densidad.

Para esta tesis se harán tres diseños con relación agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70, los detalles del procedimiento utilizado y los cuadros resumen (Cuadros N° 3.3, N° 3.4 y N° 3.5) de los diseños de mezcla se muestran en las siguientes páginas.

Las propiedades físicas de los agregados, utilizadas para hacer los diseños de mezcla se muestran el cuadro N° 3.1.

Cuadro N° 3.1 Resumen de las propiedades físicas de los agregados.

Propiedades Físicas de los Agregados	Unidad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso específico de masa		2.64	2.71
Contenido de humedad	%	1.60	0.40
Porcentaje de absorción	%	1.31	0.66
Porcentaje que pasa la malla 200	%	4.96	0.18
Peso unitario suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1708.93	1415.43
Peso unitario compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1926.79	1604.80
Tamaño máximo nominal	Pulg.	-	1"
Módulo de finura		3.02	7.51
Combinación	%	47.00	53.00

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1 DISEÑO DE MEZCLA SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DEL ACI

#### 3.1.1 Diseño para un concreto de relación A/C = 0.60

La secuencia de diseño es la siguiente:

a) Elegir la relación agua-cemento (a/c)

Relación a/c = 0.60.

b) Elegir el asentamiento

Para la presente tesis se va a considerar un asentamiento de 3" – 4".

c) Estimar el agua de diseño y contenido de aire atrapado para 1 m<sup>3</sup> de concreto

Con los datos de Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso y el slump requerido vamos al cuadro N° 3.2 y obtenemos: agua = 193 litros/m<sup>3</sup> y aire = 1.50%.

Cuadro N° 3.2 Agua de diseño aproximado y contenido de aire requerido para diferentes slumps y TNM de los agregados.

Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> , para TMN agregados y consistencias indicadas						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160
Cantidad aproximada de aire atrapado, en porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
Concreto con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154

Fuente: Tabla 6.3.3 de la norma ACI 211.1-91

d) Calcular la cantidad de cemento

La cantidad de cemento se va a calcular para  $a/c = 0.60$ .

Cantidad de cemento = agua/(a/c) = 321.67 kg/m<sup>3</sup>.

e) Calcular los volúmenes absolutos del agua, aire y cemento

Volumen absoluto del agua = 0.193 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del aire = 0.015 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del cemento = Peso seco / P.E = 321.67/3150 = 0.10 m<sup>3</sup>.

f) Calcular el volumen total de agregados en un metro cúbico de concreto

Vol. Total de agregados = 1 - (Vol. Agua + Vol. Cemento + Vol. Aire)

Vol. Total de agregados = 0.69 m<sup>3</sup>.

g) Calcular los volúmenes absolutos de los agregados

Los volúmenes absolutos de los agregados se va a calcular con una relación (agregado grueso) / (agregado fino) = 53/47. Ver resultados de compacidad del agregado global en el cuadro N° 2.20.

Volumen absoluto del A. Fino = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Fino)

Volumen absoluto del A. Fino = 0.32 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del A. Grueso = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Grueso).

Volumen absoluto del A. Grueso = 0.37 m<sup>3</sup>

h) Calcular los pesos secos de los agregados

Peso seco del A. Fino = (Volumen absoluto del A. Fino) (P.E) = 856.01 kg.

Peso seco del A. Grueso = (Volumen absoluto del A. Grueso) (P.E) = 990.88 kg.

i) Calcular el aporte de agua de los agregados

Agua del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (C.H del agregado fino – Abs. del agregado fino) = 2.48 kg

Agua del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (C.H del agregado grueso – Abs. del agregado grueso) = -2.58 kg.

j) Corregir la cantidad de agua

Agua corregida = agua inicial - (Agua del A. Fino + Agua del A. Grueso)

Agua corregida = 193.09 kg.

k) Calcular los pesos húmedos de los agregados

Peso húmedo del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (1 + C.H del agregado fino).

Peso húmedo del A. Fino = 869.70 kg.

Peso húmedo del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (1 + C.H del agregado grueso)

Peso húmedo del A. Grueso = 994.84 kg.

El resultado físico de este diseño resultó contener bastante agregado grueso, por lo que se decidió bajar el porcentaje de agregado grueso para obtener una relación (agregado grueso) / (agregado fino) = 52/48.

3.1.1.1 *Diseño para A/C = 0.60, con una relación A.G / A.F = 52/48*

a) Elegir la relación agua-cemento (a/c)

Relación a/c = 0.60.

b) Elegir el asentamiento

Para la presente tesis se va a considerar un asentamiento de 3" – 4".

c) Estimar el agua de diseño y contenido de aire atrapado para 1 m<sup>3</sup> de concreto

Con los datos de Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso y el slump requerido vamos al cuadro N° 3.2 y obtenemos: aire = 1.50%.

Se probó una tanda con una cantidad de agua de 193 litros/m<sup>3</sup>, pero se vio que el slump de la mezcla salía 1.5 cm, por lo tanto decidimos aumentar la cantidad de agua a 220 litros/m<sup>3</sup>. Esta cantidad de agua nos dio un slump de 3.5".

d) Calcular la cantidad de cemento.

Cantidad de cemento = agua/(a/c) = 220/0.60 = 366.67 kg/m<sup>3</sup>.

e) Calcular los volúmenes absolutos del agua, aire y cemento

Volumen absoluto del agua = 0.220 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del aire = 0.015 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del cemento = Peso seco / P.E = 366.67/3150 = 0.116 m<sup>3</sup>.

f) Calcular el volumen total de agregados en un metro cúbico de concreto

Vol. Total de agregados = 1 - (Vol. Agua + Vol. Cemento + Vol. Aire)

Vol. Total de agregados = 0.649 m<sup>3</sup>.

g) Calcular los volúmenes absolutos de los agregados

Volumen absoluto del A. Fino = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Fino)

Volumen absoluto del A. Fino = 0.311 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del A. Grueso = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Grueso).

Volumen absoluto del A. Grueso =  $0.337 \text{ m}^3$

h) Calcular los pesos secos de los agregados

Peso seco del A. Fino = (Volumen absoluto del A. Fino) (P.E) = 821.90 kg.

Peso seco del A. Grueso = (Volumen absoluto del A. Grueso) (P.E) = 914.00 kg.

i) Calcular el aporte de agua de los agregados

Agua del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (C.H del agregado fino – Abs. del agregado fino) = 2.38 kg

Agua del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (C.H del agregado grueso – Abs. del agregado grueso) = -2.38 kg.

j) Corregir la cantidad de agua

Agua corregida = agua inicial - (Agua del A. Fino + Agua del A. Grueso)

Agua corregida = 219.99 kg.

k) Calcular los pesos húmedos de los agregados

Peso húmedo del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (1 + C.H del agregado fino).

Peso húmedo del A. Fino = 835.05 kg.

Peso húmedo del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (1 + C.H del agregado grueso)

Peso húmedo del A. Grueso = 917.66 kg.

El resumen de todo este procedimiento se encuentra en el cuadro N° 3.3, donde se indican también las proporciones en peso y en volumen para preparar un concreto con una relación agua-cemento de 0.60.

Cuadro N° 3.3 Diseño de mezcla para una relación A/C = 0.60 y una relación Agregado grueso / Agregado fino = 52/48.

DISEÑO DE CONCRETO A/C=0.60									
Materiales	Peso seco (kg)	Peso Especifico	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso en obra (kg)	Peso Unitario en Obra	P.U.O X 42.5 (Kg)	Volumen Obra (pie <sup>3</sup> )	Tanda de prueba (54 kg)	
Cemento	366.67	3150.00	0.116	366.67	1.00	42.50	1.00	8.46	
Agua	220.00	1000.00	0.220	219.99	0.60	25.50	25.50	5.08	
Agregado Fino	821.90	2640.00	0.311	835.05	2.28	96.79	2.00	19.28	
Agregado Grueso	914.00	2710.00	0.337	917.66	2.50	106.36	2.65	21.18	
Aire	1.50%	-	0.015	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Diseño para un concreto de relación A/C = 0.65

#### a) Elegir la relación agua-cemento (a/c)

Relación a/c = 0.65.

#### b) Elegir el asentamiento

Para la presente tesis se va a considerar un asentamiento de 3" – 4".

#### c) Estimar el agua de diseño y contenido de aire atrapado para 1 m<sup>3</sup> de concreto

Con los datos de Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso y el slump requerido vamos al cuadro N° 3.2 y obtenemos: aire = 1.50%.

Como referencia, que para un diseño A/C = 0.60, se utiliza una cantidad de agua de 220 litros/m<sup>3</sup>, entonces para un diseño A/C = 0.65, disminuimos la cantidad de agua. Se probó varias cantidades de agua, y con 216 litros/m<sup>3</sup>, llegamos al slump requerido (3.75").

#### d) Calcular la cantidad de cemento.

Cantidad de cemento = agua/(a/c) = 216/0.65 = 332.31 kg/m<sup>3</sup>.

#### e) Calcular los volúmenes absolutos del agua, aire y cemento

Volumen absoluto del agua = 0.216 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del aire = 0.015 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del cemento = Peso seco / P.E = 332.31/3150 = 0.105 m<sup>3</sup>.

#### f) Calcular el volumen total de agregados en un metro cúbico de concreto

Vol. Total de agregados = 1 - (Vol. Agua + Vol. Cemento + Vol. Aire)

Vol. Total de agregados = 0.664 m<sup>3</sup>.

#### g) Calcular los volúmenes absolutos de los agregados

Volumen absoluto del A. Fino = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Fino)

Volumen absoluto del A. Fino = 0.318 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del A. Grueso = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Grueso).

Volumen absoluto del A. Grueso =  $0.345 \text{ m}^3$

h) Calcular los pesos secos de los agregados

Peso seco del A. Fino = (Volumen absoluto del A. Fino) (P.E) = 840.79 kg.

Peso seco del A. Grueso = (Volumen absoluto del A. Grueso) (P.E) = 935.01 kg.

i) Calcular el aporte de agua de los agregados

Agua del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (C.H del agregado fino – Abs. del agregado fino) = 2.44 kg

Agua del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (C.H del agregado grueso – Abs. del agregado grueso) = -2.43 kg.

j) Corregir la cantidad de agua

Agua corregida = agua inicial - (Agua del A. Fino + Agua del A. Grueso)

Agua corregida = 215.99 kg.

k) Calcular los pesos húmedos de los agregados

Peso húmedo del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (1 + C.H del agregado fino).

Peso húmedo del A. Fino = 854.25 kg.

Peso húmedo del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (1 + C.H del agregado grueso)

Peso húmedo del A. Grueso = 938.75 kg.

El resumen de todo este procedimiento se encuentra en el cuadro N° 3.4, donde se indican también las proporciones en peso y en volumen para preparar un concreto con una relación agua-cemento de 0.65.

Cuadro N° 3.4 Diseño de mezcla para un concreto de relación A/C=0.65.

DISEÑO DE CONCRETO A/C=0.65									
Materiales	Peso seco (kg)	Peso Específico	Volumen absoluto (m3)	Peso en obra (kg)	Peso Unitario en Obra	P.U.O X 42.5 (Kg)	Volumen Obra (pie3)	Tanda de prueba (54 kg)	
Cemento	332.31	3150.00	0.105	332.31	1.00	42.50	1.00	7.66	
Agua	216.00	1000.00	0.216	215.99	0.65	27.62	27.62	4.98	
Agregado Fino	840.79	2640.00	0.318	854.25	2.57	109.25	2.26	19.70	
Agregado Grueso	935.01	2710.00	0.345	938.75	2.82	120.06	3.00	21.65	
Aire	1.50%	-	0.015	-	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3 Diseño para un concreto de relación A/C = 0.70

a) Elegir la relación agua-cemento (a/c)

Relación a/c = 0.70.

b) Elegir el asentamiento

Para la presente tesis se va a considerar un asentamiento de 3" – 4".

c) Estimar el agua de diseño y contenido de aire atrapado para 1 m<sup>3</sup> de concreto

Con los datos de Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso y el slump requerido vamos al cuadro N° 3.2 y obtenemos: aire = 1.50%.

Como referencia, que para un diseño A/C = 0.65, se utiliza una cantidad de agua de 216 litros/m<sup>3</sup>, entonces para un diseño A/C = 0.70, disminuimos la cantidad de agua. Se probó varias cantidades de agua, y con 213 litros/m<sup>3</sup>, llegamos al slump requerido (3.5").

d) Calcular la cantidad de cemento.

Cantidad de cemento = agua/(a/c) = 213/0.70 = 304.29 kg/m<sup>3</sup>.

e) Calcular los volúmenes absolutos del agua, aire y cemento

Volumen absoluto del agua = 0.213 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del aire = 0.015 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del cemento = Peso seco / P.E = 332.31/3150 = 0.097 m<sup>3</sup>.

f) Calcular el volumen total de agregados en un metro cúbico de concreto

Vol. Total de agregados = 1 - (Vol. Agua + Vol. Cemento + Vol. Aire)

Vol. Total de agregados = 0.675 m<sup>3</sup>.

g) Calcular los volúmenes absolutos de los agregados

Volumen absoluto del A. Fino = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Fino)

Volumen absoluto del A. Fino = 0.324 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto del A. Grueso = (Vol. Total de agregados) (Porcentaje de A. Grueso).

Volumen absoluto del A. Grueso =  $0.351 \text{ m}^3$

h) Calcular los pesos secos de los agregados

Peso seco del A. Fino = (Volumen absoluto del A. Fino) (P.E) = 855.87 kg.

Peso seco del A. Grueso = (Volumen absoluto del A. Grueso) (P.E) = 951.78 kg.

i) Calcular el aporte de agua de los agregados

Agua del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (C.H del agregado fino – Abs. del agregado fino) = 2.48 kg

Agua del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (C.H del agregado grueso – Abs. del agregado grueso) = -2.47 kg.

j) Corregir la cantidad de agua

Agua corregida = agua inicial - (Agua del A. Fino + Agua del A. Grueso)

Agua corregida = 212.99 kg.

k) Calcular los pesos húmedos de los agregados

Peso húmedo del A. Fino = (Peso seco del A. Fino) (1 + C.H del agregado fino).

Peso húmedo del A. Fino = 869.56 kg.

Peso húmedo del A. Grueso = (Peso seco del A. Grueso) (1 + C.H del agregado grueso)

Peso húmedo del A. Grueso = 955.58 kg.

El resumen de todo este procedimiento se encuentra en el cuadro N° 3.5, donde se indican también las proporciones en peso y en volumen para preparar un concreto con una relación agua-cemento de 0.70.

Cuadro Nº 3.5 Diseño de mezcla para un concreto de relación A/C=0.70.

DISEÑO DE CONCRETO AC=0.70								
Materiales	Peso seco (kg)	Peso Específico	Volumen absoluto (m3)	Peso en obra (kg)	Peso Unitario en Obra	P.U.O X 42.5 (Kg)	Volumen Obra (pie3)	Tanda de prueba (54 kg)
Cemento	304.29	3150.00	0.097	304.29	1.00	42.50	1.00	7.01
Agua	213.00	1000.00	0.213	212.99	0.70	29.75	29.75	4.91
Agregado Fino	855.87	2640.00	0.324	869.56	2.86	121.45	2.51	20.05
Agregado Grueso	951.78	2710.00	0.351	955.58	3.14	133.47	3.33	22.03
Aire	1.50%	-	0.015	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**CAPÍTULO IV**  
**PROPIEDADES DEL CONCRETO AL**  
**ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO**

## CAPÍTULO IV: PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

En este capítulo se describirá el procedimiento de los ensayos y los cálculos que se realizarán para determinar las propiedades físicas del concreto al estado fresco y endurecido, para concretos con relación agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70.

### 4.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

#### 4.1.1 Peso Unitario (NTP 339.046:2013)

El método de ensayo para determinar la densidad o peso unitario del concreto consiste en llenar de concreto un recipiente (capacidad del recipiente de medición, ver cuadro N° 4.1) de una capacidad determinada y compactar el concreto en el recipiente ya sea por el método por vibración o por el método por apisonado. Para concretos con un asentamiento mayor que 75 mm se debe aplicar el método de apisonado. Para concretos con asentamiento entre 25 mm a 75 mm se aplica apisonado o vibrado. Concretos con asentamiento menor de 25 mm se debe aplicar el método de consolidación por vibración.

Cuadro N° 4.1 Capacidad de los recipientes de medición.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente de medición <sup>A</sup>	
Pulgadas	mm	Pie <sup>3</sup>	L
1	25.0	0.2	6
1 ½	37.5	0.4	11
2	50	0.5	14
3	75	1.0	28
4 ½	112	2.5	70
6	150	3.5	100

<sup>A</sup> Tamaños indicados de recipientes de medición que se usarán para ensayar hormigón (concreto) que contiene agregados de tamaño máximo nominal igual o más pequeño que los listados. El volumen real del recipiente será por lo menos 95% del volumen nominal listado.

Fuente: NTP 339.046

#### 4.1.1.1 Consolidación del concreto por apisonado

Colocar el concreto en el recipiente de medición en tres capas de aproximadamente igual volumen. Apisonar cada capa con 25 golpes de la barra compactadora cuando se utilicen recipientes de medida nominal de 14 L o más

pequeños; 50 golpes cuando se utilicen recipientes de medida nominal de 28 L y un golpe por cada 15 cm<sup>2</sup> de superficie para recipientes de medición más grandes. Después de que cada capa ha sido apisonada se debe golpear con el mazo los lados del recipiente, 10 a 15 veces.

#### 4.1.1.2 Consolidación del concreto por vibración

Llenar con concreto el recipiente de medida en dos capas aproximadamente iguales y vibrar. Insertar el vibrador en tres puntos diferentes de cada capa. Al vibrar la primera capa, el vibrador no debe descansar o tocar el fondo o lados del recipiente de medición. En la consolidación de la última capa, el vibrador penetrará en la capa subyacente aproximadamente 25 mm. La duración requerida de vibración dependerá de la trabajabilidad y la efectividad del vibrador.

Según esta norma (NTP 339.046:2013) no corresponde el ensayo de Peso Unitario por vibración para este estudio, porque el concreto utilizado en este estudio tiene un slump de 3" a 4", pero se ha hecho el ensayo con este concreto y se procede a comparar con el Peso Unitario compactado con el método por apisonado.

El cálculo de la Densidad o Peso Unitario es el siguiente:

$$D = (M_c - M_m) / V_m \quad (4.1)$$

Donde:

$M_c$  : masa del recipiente de medida lleno de concreto

$M_m$  : Masa del recipiente de medida

$V_m$  : Volumen del recipiente de medida

Los resultados del ensayo de Peso Unitario del concreto se encuentran en los cuadros N° 4.2, N° 4.3 y N° 4.4, también el resumen de estos tres cuadros lo podemos encontrar en el cuadro N° 4.5 y en la figura N° 4.1.

Cuadro N° 4.2 Cálculo de Peso unitario del concreto con relación A/C=0.60.

<b>A/C = 0.60</b>		
Descripción	Método por apisonado	Método por vibrado
Peso concreto + peso recipiente (kg)	19.40	19.43
Peso recipiente (kg)	2.44	2.44
Volumen recipiente (m3)	0.0070066	0.0070066
Peso concreto (kg)	16.96	16.99
P.U (kg/m3)	<b>2420.57</b>	<b>2424.86</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.3 Cálculo de Peso unitario del concreto con relación A/C=0.65.

<b>A/C = 0.65</b>		
Descripción	Método por apisonado	Método por vibrado
Peso concreto + peso recipiente (kg)	19.48	19.46
Peso recipiente (kg)	2.44	2.44
Volumen recipiente (m3)	0.0070066	0.0070066
Peso concreto (kg)	17.04	17.02
P.U (kg/m3)	<b>2431.99</b>	<b>2429.14</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.4 Cálculo de Peso unitario del concreto con relación A/C=0.70.

<b>A/C = 0.70</b>		
Descripción	Método por apisonado	Método por vibrado
Peso concreto + peso recipiente (kg)	19.47	19.46
Peso recipiente (kg)	2.43	2.43
Volumen recipiente (m3)	0.0070066	0.0070066
Peso concreto (kg)	17.04	17.03
P.U (kg/m3)	<b>2431.99</b>	<b>2430.57</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.5 Resumen de Peso Unitario del concreto para las distintas relaciones agua-cemento.

Relación A/C	P.U (kg/m3)	
	Método por apisonado	Método por vibración
0.60	2420.57	2424.86
0.65	2431.99	2429.14
0.70	2431.99	2430.57

Fuente: Elaboración propia.

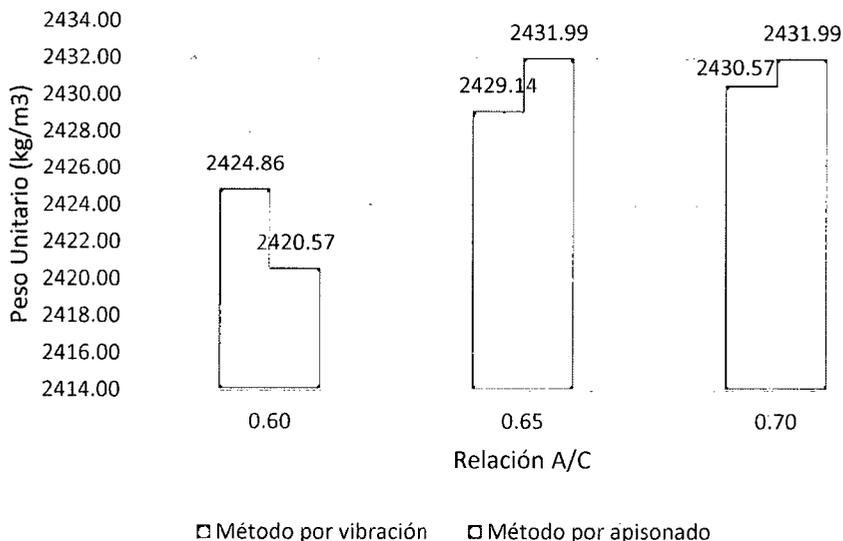


Figura N° 4.1. Gráfica peso Unitario del concreto con respecto a la relación A/C.

En la figura N° 4.2 se muestra la determinación del peso del recipiente más el concreto fresco. Este dato junto con el peso y volumen de recipiente son necesarios para determinar el Peso Unitario del Concreto.



Figura N° 4.2. Ensayo de Peso Unitario del concreto.

#### 4.1.2 Contenido de Aire (NTP 339.083:2003)

Para determinar el contenido de aire de una mezcla de concreto fresco se ha usado el método de presión, para este caso se ha usado el medidor tipo "B".

El principio de operación de este medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire, a una presión conocida, en una cámara de aire sellada, con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto; el indicador del medidor de presión se calibra en términos de porcentaje de aire para la presión observada.

Para realizar el ensayo se debe humedecer el interior del recipiente de medición y colocar el recipiente en una superficie plana, nivelada y firme. Colocar el concreto en el recipiente de medición en el número de capas requerido por el método de consolidación. Los métodos para compactar el concreto para este ensayo son: método por Apisonado y método por Vibración.

Para concretos con un asentamiento mayor que 75 mm se debe aplicar el método de apisonado. Para concretos con asentamiento entre 25 mm a 75 mm se aplica apisonado o vibrado. Concretos con asentamiento menor de 25 mm se debe aplicar el método de consolidación por vibración.

##### 4.1.2.1 Consolidación del concreto por apisonado

Colocar el concreto en el recipiente de medición en tres capas de aproximadamente igual volumen. Apisonar cada capa con 25 golpes de la barra compactadora. Después de que cada capa ha sido apisonada se debe golpear con el mazo los lados del recipiente, 10 a 15 veces.

##### 4.1.2.2 Consolidación del concreto por vibración

Llenar con concreto el recipiente de medida en dos capas aproximadamente iguales y vibrar. Insertar el vibrador en tres puntos diferentes de cada capa. Al vibrar la primera capa, el vibrador no debe descansar o tocar el fondo o lados del recipiente de medición. En la consolidación de la última capa, el vibrador penetrará en la capa subyacente aproximadamente 25 mm. La duración requerida de vibración dependerá de la trabajabilidad y la efectividad del vibrador.

Según esta norma (NTP 339.083:2003) no corresponde el ensayo de contenido de aire por vibración para este estudio, porque el concreto utilizado en este estudio tiene un slump de 3" a 4", pero se ha hecho el ensayo con este concreto y se

procede a comparar con el contenido de aire compactado con el método por apisonado. Los resultados de contenido de aire para ambos métodos de compactación se muestran en el cuadro N° 4.6 y en la figura N°4.3.

Cuadro N° 4.6 Contenido de aire de los concretos utilizados.

Relación A/C	Contenido de aire (%)	
	Método por apisonado	Método por vibración
0.60	0.90%	0.85%
0.65	1.10%	0.90%
0.70	1.30%	1.10%

Fuente: Elaboración propia.

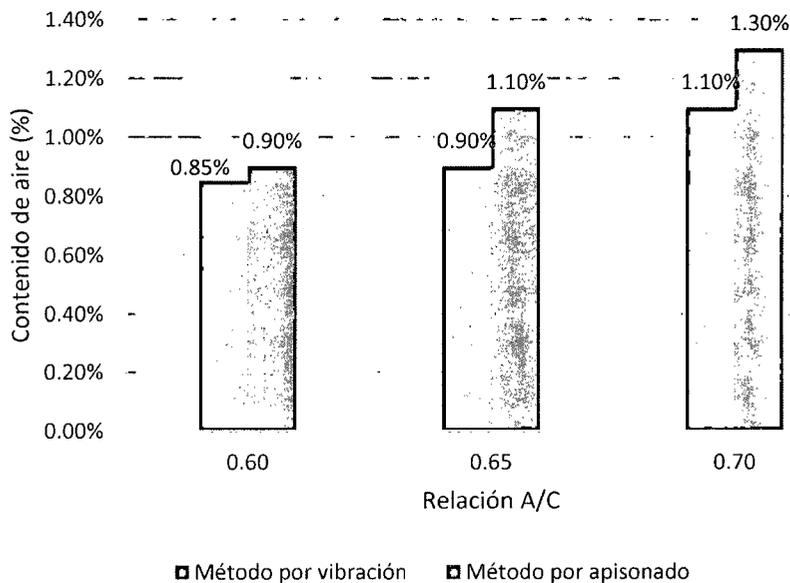


Figura N° 4.3. Gráfica contenido de aire (%) con respecto a la relación A/C.

En la figura N° 4.4 podemos ver que al medidor tipo B (Según la norma NTP 339.083:2003) necesita de agua para que pueda determinar la cantidad de aire atrapado en el concreto.

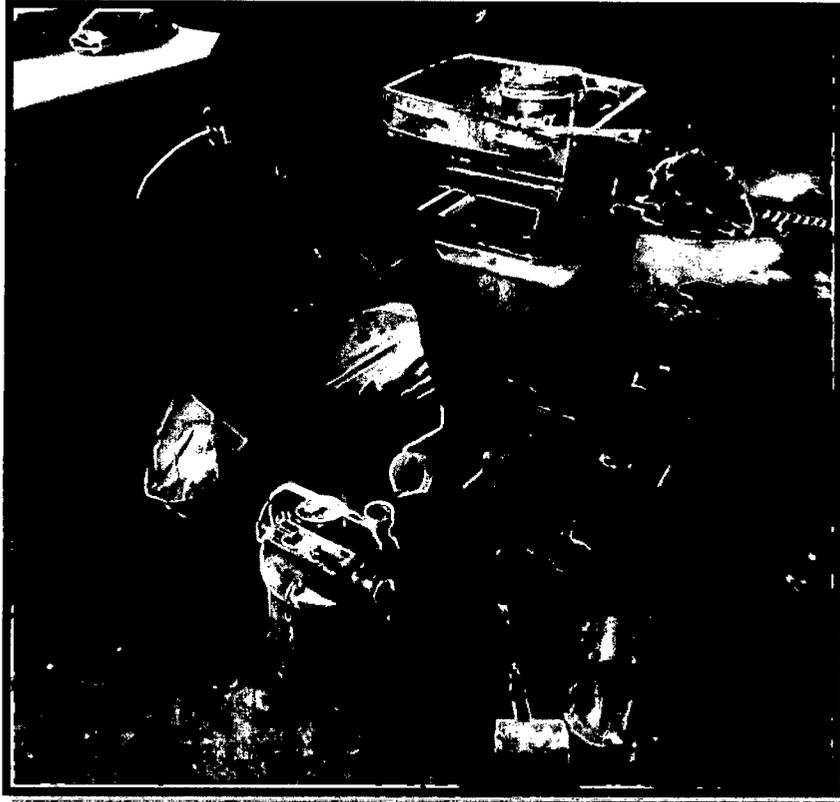


Figura N° 4.4. Ensayo de Contenido de Aire del concreto.

#### 4.1.3 Tiempo de Fraguado (NTP 339.082:2011)

El fraguado del concreto es un proceso gradual, por tanto la definición de tiempo de fraguado necesariamente tendrá que ser arbitraria. Así:

Tiempo de fraguado inicial: es el tiempo en que la resistencia a la penetración es igual a 500 psi.

Tiempo de fraguado final: es el tiempo en que la resistencia a la penetración es igual a 4000 psi.

El ensayo del tiempo de fraguado del concreto por resistencia a la penetración consiste en utilizar la parte más fina del concreto (mortero), que es resultado de tamizar el concreto por el tamiz 4.76 mm. El mortero es llenado en dos moldes cilíndricos de seis pulgadas de diámetro y seis de alto, se llena cada molde en una sola capa hasta una altura de por lo menos 10 mm debajo del borde superior del contenedor, luego aplicar con la varilla compactadora un golpe por cada pulgada cuadrada del área superficial (28 golpes). Después de completar la compactación golpear los lados del contenedor con la varilla compactadora para eliminar el aire y nivelar la superficie.

Se anota la hora de inicio (contacto inicial entre el cemento y el agua) del ensayo. Se dispone de seis agujas, cuyas áreas son: 1 pulg<sup>2</sup>, ½ pulg<sup>2</sup>, ¼ pulg<sup>2</sup>, 1/10 pulg<sup>2</sup>, 1/20 pulg<sup>2</sup>, 1/40 pulg<sup>2</sup>.

Según el estado de endurecimiento del mortero, se debe colocar el aparato con una aguja de tamaño apropiado y se pone ésta en contacto con el mortero. Se aplica una fuerza vertical gradual y uniforme hacia abajo, hasta lograr una penetración de 25 mm, en un tiempo de  $10 \pm 2$  s.

Se registra la fuerza aplicada, el área de la aguja de penetración y la hora de ensayo. En penetraciones posteriores se debe tener cuidado en eludir sitios en los cuales el mortero ha sido alterado por penetraciones previas.

Se debe tener presente la recomendación de la Norma que la distancia libre entre aguja y el lugar de cualquier penetración anterior, debe ser al menos dos veces el diámetro de la aguja que se use, pero en ningún caso inferior de 15 mm, además se debe dejar una distancia libre entre la aguja y la pared del recipiente de por lo menos 25 mm.

Los resultados de los tiempos de fragua y las gráficas de Resistencia a la penetración Vs. Tiempo transcurrido para las distintas relaciones A/C se muestran en los cuadros N° 4.7, N° 4.8 y N° 4.9, y las figuras N° 4.5, N° 4.6 y N° 4.7.

#### 4.1.3.1 Tiempo de fraguado para un concreto de relación A/C = 0.60

Hora de inicio: 09:01

Cuadro N° 4.7 Resultado de la medición de tiempo de fraguado para un concreto de relación agua-cemento 0.60.

HORA	T (min)	Área de las agujas de penetración (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (psi)
12:10	189.00	1.000	92.00	92.00
12:40	219.00	0.500	90.00	180.00
13:10	249.00	0.250	144.00	576.00
13:40	279.00	0.100	100.00	1000.00
14:10	309.00	0.050	102.00	2040.00
14:40	339.00	0.025	80.00	3200.00
15:00	359.00	0.025	106.00	4240.00

Fuente: Elaboración propia.

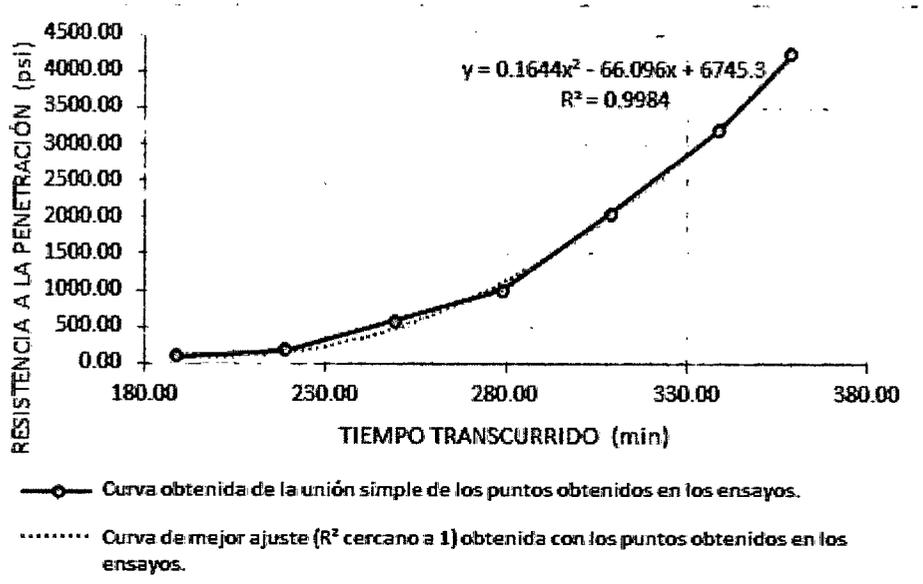


Figura N° 4.5 Gráfica Resistencia a la penetración con respecto al tiempo transcurrido para un concreto de relación A/C = 0.60.

Tiempo de fraguado inicial = 250.23 min.

Tiempo de fraguado final = 355.01 min.

#### 4.1.3.2 Tiempo de fraguado para un concreto de relación A/C = 0.65

Hora de inicio: 9:18

Cuadro N° 4.8 Resultado de la medición de tiempo de fraguado para un concreto de relación agua-cemento 0.65.

HORA	T (min)	Área de las agujas de penetración (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (psi)
12:21	183.00	1.000	94.00	94.00
13:24	246.00	0.250	150.00	600.00
13:54	276.00	0.100	116.00	1160.00
14:24	306.00	0.050	107.00	2140.00
14:39	321.00	0.025	90.00	3600.00
14:54	336.00	0.025	114.00	4560.00

Fuente: Elaboración propia.

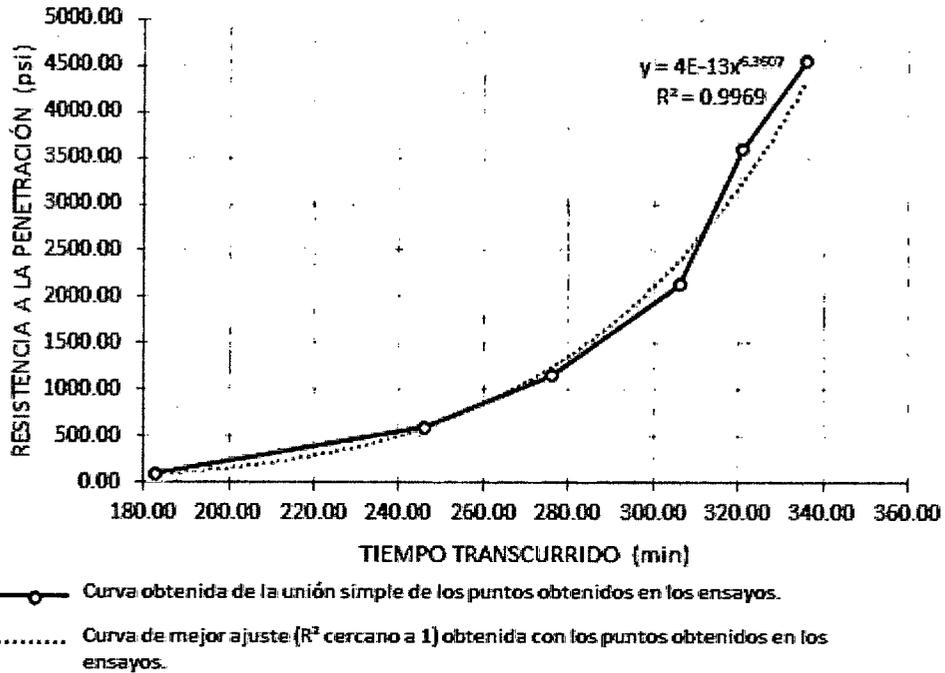


Figura N° 4.6 Gráfica Resistencia a la penetración con respecto al tiempo transcurrido para un concreto de relación A/C = 0.65.

Tiempo de fraguado inicial = 236.31 min.

Tiempo de fraguado final = 327.68 min

#### 4.1.3.3 Tiempo de fraguado para un concreto de relación A/C = 0.70.

Hora de inicio: 10:49

Cuadro N° 4.9 Resultado de la medición de tiempo de fraguado para un concreto de relación agua-cemento 0.70.

HORA	T (min)	Área de las agujas de penetración (pulg <sup>2</sup> )	Fuerza aplicada (lb)	Resistencia a la penetración (psi)
13:33	164.00	1.000	66.00	66.00
14:54	245.00	0.333	194.00	582.00
15:42	253.00	0.100	80.00	800.00
16:11	322.00	0.050	108.00	2160.00
16:49	360.00	0.025	70.00	2800.00
17:32	403.00	0.025	138.00	5520.00

Fuente: Elaboración propia.

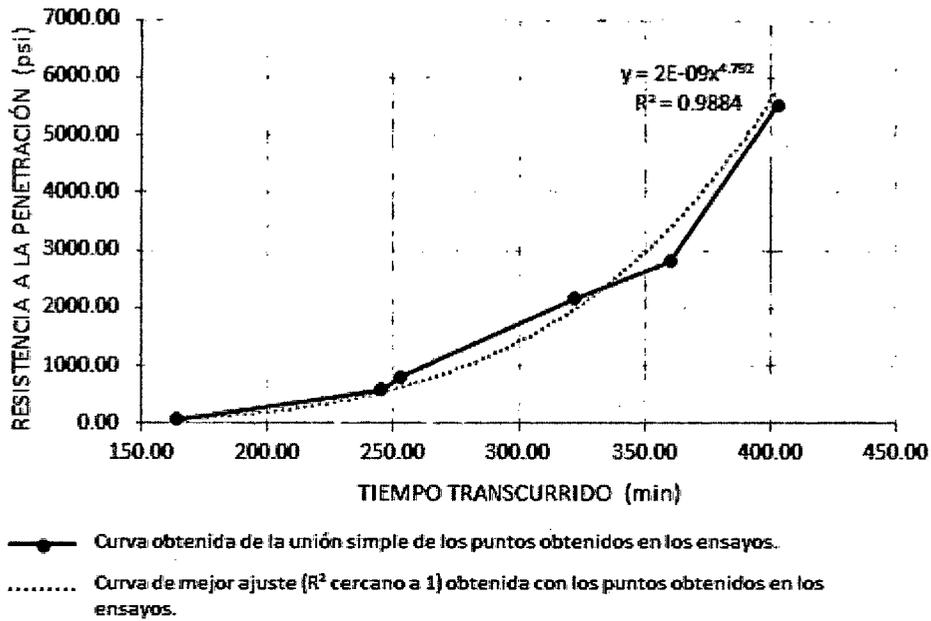


Figura N° 4.7 Gráfica Resistencia a la penetración con respecto al tiempo transcurrido para un concreto de relación A/C = 0.70.

Tiempo de fraguado inicial = 239.08 min.

Tiempo de fraguado final = 368.98 min.

El resumen de los tiempos de fraguado, para las distintas relaciones agua-cemento, se muestran en el cuadro N° 4.10.

Cuadro N° 4.10 Resumen de tiempo de fraguado para las distintas relaciones agua-cemento.

Relación A/C	Tiempo de Fraguado Inicial (min)	Tiempo de fraguado final (min)
0.60	250.23	355.01
0.65	236.31	327.68
0.70	239.08	368.98

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 4.8 podemos ver el equipo necesario para determinar el tiempo de fraguado del concreto por resistencia a la penetración.

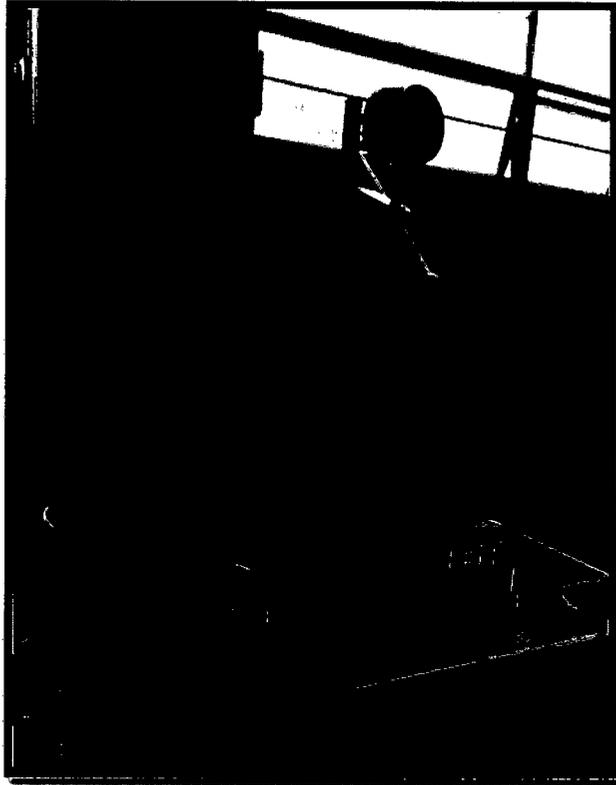


Figura N° 4.8. Equipo para el ensayo de Tiempo de fraguado.

#### 4.1.4 Exudación (NTP 339.077:2013)

En la Norma NTP 339.047:2006 se define a la Exudación como el flujo del agua de la mezcla de concreto fresco, a la superficie causado por el asentamiento de los materiales sólidos de la mezcla.

El procedimiento que se sigue para realizar este ensayo es el siguiente: llenar el recipiente (volumen=  $\frac{1}{2}$  pie<sup>3</sup> y diámetro interno  $10 \pm \frac{1}{4}$  pulg.) hasta una altura de 10 pulg.  $\pm$  1/8 pulg. Nivelar la superficie superior. Inmediatamente después, se registra el tiempo y se determina la masa del recipiente y su contenido. Se coloca el espécimen en su recipiente sobre una plataforma nivelada o sobre un piso libre de cualquier vibración perceptible y se cubre el recipiente para prevenir la evaporación del agua exudada. Se mantiene la tapa del recipiente durante todo el ensayo salvo cuando se extrae el agua exudada. El agua que se ha acumulado en la superficie se extrae (con una pipeta o instrumento similar) a intervalos de 10 min durante los primeros 40 min y luego a intervalos de 30 min hasta que se termina la exudación, anotando el tiempo de la última observación. Para facilitar la colección del agua exudada, se procede a inclinar el espécimen cuidadosamente, colocando una pieza de 50 mm de espesor bajo uno de los lados

del recipiente, unos 2 min antes de la extracción del agua, y después que se ha extraído el agua, se regresa al recipiente a su posición original sin agitarlo. Después de cada extracción, se transfiere el agua a una probeta graduada de 100 ml. Se registra la cantidad acumulada de agua después de cada transferencia. Cuando solo se necesita determinar la cantidad total de agua de exudación se puede omitir el procedimiento de extracción periódica descrito y remover la cantidad total de agua de exudada en una sola operación.

La exudación se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Exudación (\%)} = (D_1/C_1) \times 100 \quad (4.2)$$

$$C_1 = (w/W) \times S_2 \quad (4.3)$$

Donde:

C<sub>1</sub>: Masa de agua en el espécimen de ensayo, g

W: Masa total de la mezcla, kg

w: Masa neta de agua agregada a la mezcla, kg

S<sub>2</sub>: Masa de la muestra de ensayo, g

D<sub>1</sub>: Masa de agua de exudación, g

Los resultados de Exudación del concreto para las relaciones agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70 se muestran en los cuadros N° 4.11, N° 4.12, N° 4.13, N° 4.14, N° 4.15 y N° 4.16.

#### 4.1.4.1 Exudación para un concreto de relación A/C = 0.60.

Hora de inicio: 9:25

Cuadro N° 4.11 Cantidad de agua exudada con respecto al tiempo, para un concreto de relación A/C = 0.60.

Hora	Tiempo (min)	Volumen de agua acumulada (ml)
10:05	40	20.70
10:15	50	24.40
10:25	60	28.00
10:55	90	44.40
11:25	120	59.40
11:55	150	62.50

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.12 Cálculo de Exudación (%), para un concreto de relación A/C = 0.60.

Peso recipiente (kg)	5.09
Peso recipiente+peso concreto (kg)	34.21
Masa total de la mezcla, W(Kg)	67.00
Masa neta del agua de mezcla, w(Kg)	6.37
Masa de la muestra de ensayo, S <sub>2</sub> (g)	29120.00
Masa del agua en la muestra de ensayo, C <sub>1</sub> (g)	2768.57
Masa de agua de exudación, D <sub>1</sub> (g)	62.50
<b>Exudación, %</b>	<b>2.26</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4.2 Exudación para un concreto de relación A/C = 0.65.

Hora de inicio: 9.34

Cuadro N° 4.13 Cantidad de agua exudada con respecto al tiempo, para un concreto de relación A/C = 0.65.

Hora	Tiempo (min)	Volumen de agua acumulada (ml)
09:54	20	9.00
10:04	30	14.00
10:14	40	21.00
10:44	70	39.00
11:14	100	60.00
11:44	130	69.00
12:14	160	70.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.14 Cálculo de Exudación (%), para un concreto de relación A/C = 0.65.

Peso recipiente (kg)	5.06
Peso recipiente+peso concreto (kg)	33.97
Masa total de la mezcla, W(Kg)	65.00
Masa neta del agua de mezcla, w(Kg)	6.07
Masa de la muestra de ensayo, S <sub>2</sub> (g)	28910.00
Masa del agua en la muestra de ensayo, C <sub>1</sub> (g)	2699.74
Masa de agua de exudación, D <sub>1</sub> (g)	70.00
<b>Exudación, %</b>	<b>2.59</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4.3 Exudación para un concreto de relación A/C = 0.70.

Hora de inicio: 11.49

Cuadro N° 4.15 Cantidad de agua exudada con respecto al tiempo, para un concreto de relación A/C = 0.70.

Hora	Tiempo (min)	Volumen de agua acumulada (ml)
11:59	10	3.00
12:09	20	11.00
12:19	30	19.00
12:29	40	25.00
12:59	70	45.00
13:29	100	70.00
13:59	130	85.00
14:29	160	88.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.16 Cálculo de Exudación (%), para un concreto de relación A/C = 0.70.

Peso recipiente (kg)	5.08
Peso recipiente+peso concreto (kg)	33.28
Masa total de la mezcla, W(Kg)	54.00
Masa neta del agua de mezcla, w(Kg)	4.97
Masa de la muestra de ensayo, S <sub>2</sub> (g)	28200.00
Masa del agua en la muestra de ensayo, C <sub>1</sub> (g)	2595.44
Masa de agua de exudación, D <sub>1</sub> (g)	88.00
<b>Exudación, %</b>	<b>3.39</b>

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los resultados de Exudación, se muestran en el cuadro N° 4.17 y en la figura N° 4.9.

Cuadro N° 4.17 Resumen de Exudación para las distintas relaciones agua-cemento.

Relación A/C	Exudación (%)
0.60	2.26%
0.65	2.59%
0.70	3.39%

Fuente: Elaboración propia

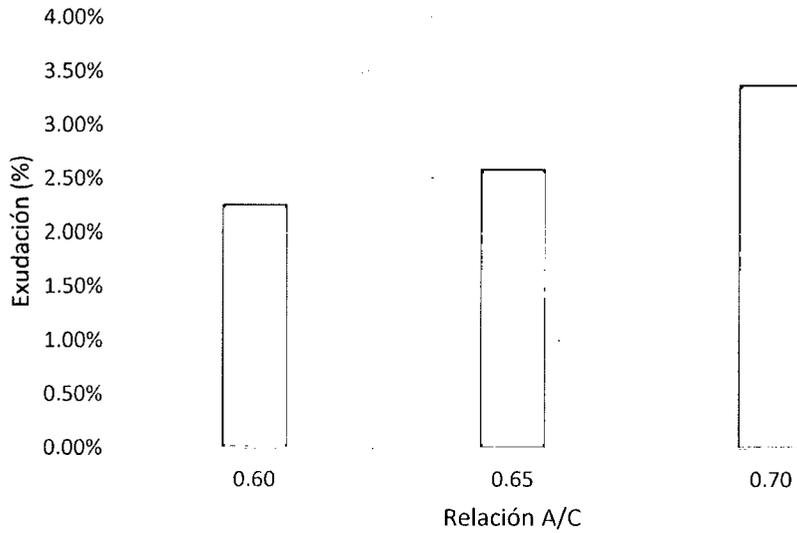


Figura N° 4.9 Gráfica Exudación (%) con respecto a la relación A/C.

En la figura N° 4.10 podemos ver la extracción del agua de exudación del concreto.



Figura N° 4.10. Ensayo de Porcentaje de Exudación del concreto.

#### 4.1.5 Asentamiento (NTP 339.035:2009)

Este ensayo se utiliza para medir la trabajabilidad de un concreto y se puede resumir así: una muestra de concreto fresco mezclado, se coloca en un molde con forma de cono, y se compacta por varillado, en tres capas de igual volumen, cada capa se compacta aplicando 25 golpes con la barra compactadora distribuidos y aplicados uniformemente en toda la sección de la capa. En la capa inferior es necesario inclinar un poco la barra y dar la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección. La capa inferior se compacta en todo su espesor. La segunda capa y la capa superior se compactan a través de todo su espesor, procurando que la barra penetre ligeramente en la capa inmediata inferior. Luego se procede a enrasar rodando la barra compactadora sobre el borde superior del molde. Se elimina el concreto sobrante alrededor del molde para evitar interferencias con el movimiento del concreto que se asienta. Se retira inmediatamente el molde del concreto levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Se levanta el molde una altura de 300 mm en  $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$  con un movimiento ascendente firme. La distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada, medida en el centro de la superficie superior del concreto, se informa como el asentamiento del concreto.

Para hacer los diferentes moldes cilíndricos y moldes viga, se hicieron 66 tandas en total y para cada tanda se midió el asentamiento del concreto.

En la figura N° 4.11 podemos ver la medición del asentamiento del concreto.



Figura N° 4.11. Ensayo de asentamiento del concreto.

## 4.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

Las propiedades físicas medidas al concreto en su estado endurecido, para este estudio de investigación, son: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción simple y resistencia a la flexión. Para determinar estas propiedades físicas del concreto al estado endurecido, las probetas y vigas tuvieron que llevar un proceso de curado hasta su edad de ensayo, en las siguientes líneas se describirá este proceso.

### 4.2.1 Curado del Concreto (ASTM C192:2011)

#### 4.2.1.1 Curado Inicial

Para evitar la evaporación de agua del concreto no endurecido, cubra los especímenes inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una placa o lámina no reactiva, no absorbente, de plástico resistente, impermeable y durable. Los especímenes deben ser almacenados inmediatamente después de ser acabados hasta que se retiren los moldes para prevenir pérdida de humedad de los especímenes. Seleccione un procedimiento o una combinación apropiada de procedimientos que prevengan la pérdida de humedad y sean no absorbentes y no reactivos con el concreto. En la figura N° 4.12 podemos ver el recubrimiento de la parte superior de las probetas con una lámina plástica.

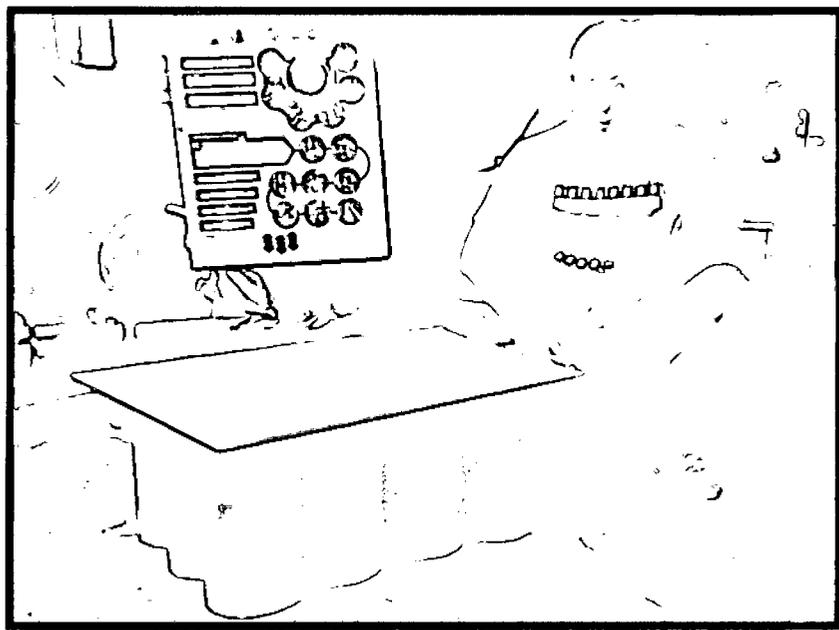


Figura N° 4.12. Recubrimiento de las probetas con una lámina plástica.

#### 4.2.1.2 Retiro de los Moldes

Retire los especímenes de los moldes  $24 \pm 8$  horas después de moldeados. Para concretos con tiempo de fraguado prolongado, los moldes no deben ser retirados hasta  $20 \pm 4$  horas después del fraguado final.



Figura N° 4.13. Retiro de los moldes de los especímenes cilíndricos.

#### 4.2.1.3 Ambiente de Curado

A menos que sea especificado de otra forma, todos los especímenes deben ser curados en húmedo a  $23.0 \pm 2.0$  °C desde el tiempo de moldeo hasta el momento del ensayo. El curado húmedo significa que los especímenes de ensayo deben mantener agua libre sobre su superficie completa en todo momento. Esta condición se cumple usando tanques de agua de almacenamiento o un cuarto húmedo de acuerdo con los requisitos de la Especificación C 511.

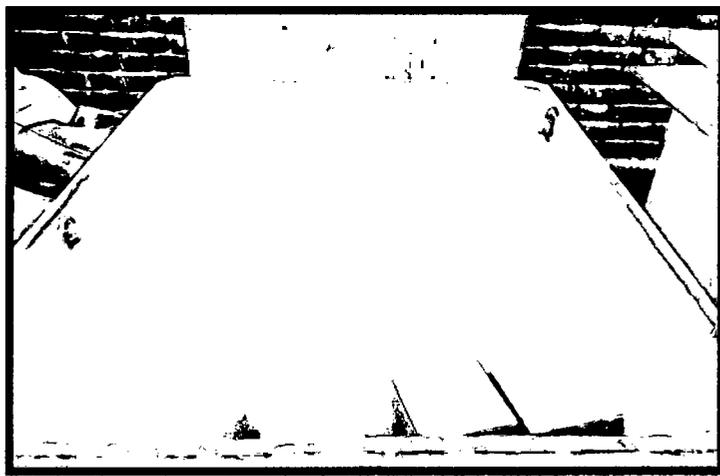


Figura N° 4.14. Curado de los especímenes en agua con cal.

#### 4.2.2 Resistencia a la Compresión (NTP 339.034:2013)

Este ensayo consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la fractura. En la figura N° 4.15 se presentan los tipos de fracturas y las características de cada una de ellas.

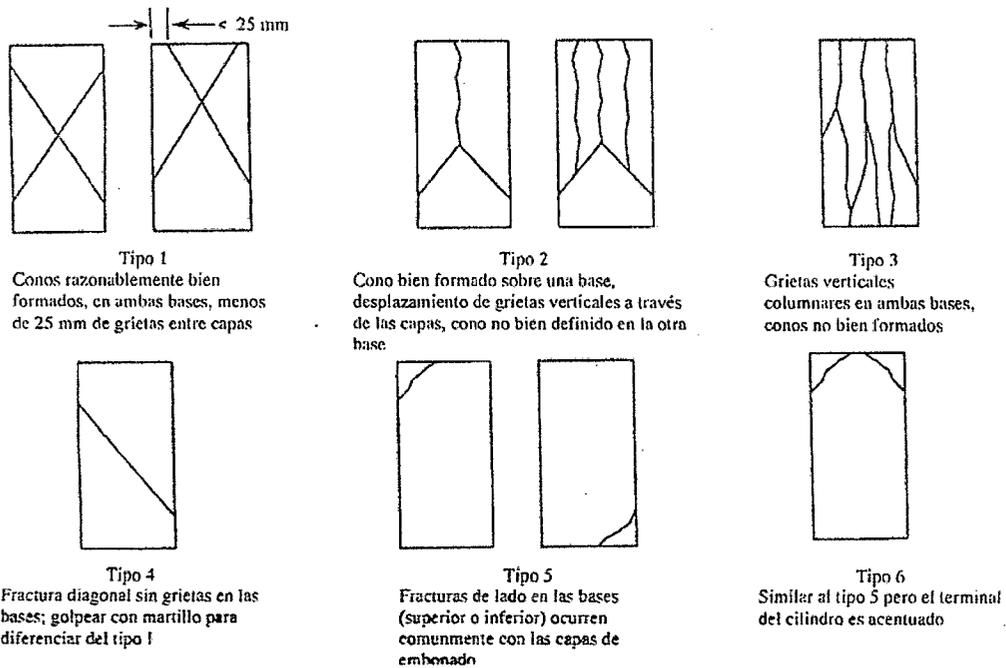


Figura N° 4.15 Esquema de los patrones de tipo de fracturas en probetas.

La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta. Así:

$$f'c = \frac{4xG}{\pi x D_2^2} \quad (4.4)$$

Donde:

$f'c$ : Resistencia a la compresión del concreto ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

G: Carga de rotura (kg)

$D_2$ : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

En la figura N° 4.16 podemos ver el ensayo de una probeta cilíndrica a compresión axial.



Figura N° 4.16. Ensayo de probetas cilíndricas a compresión axial.

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión se muestran en los cuadros N° 4.18, N° 19, N° 20, N° 21, N° 22 y N° 23. También en estos cuadros se calcula la desviación estándar y el coeficiente de variación para los resultados de resistencia a la compresión para 7, 14, 21, 28 y 45 días de edad del concreto.

La desviación estándar se calcula así:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'c - f'cp)^2}{N - 1}} \quad (4.5)$$

Donde:

$\sigma$  : Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>).

$f'c$  : Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).

$f'cp$  : Resistencia a la compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>).

N: Número de datos.

El coeficiente de variación se calcula sí:

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{f'_{cp}} * 100\% \quad (4.6)$$

Donde:

CV (%): Coeficiente de variación en porcentaje.

Cuadro N° 4.18 Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.60 - MÉTODO POR VIBRACIÓN													
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (kg)	Tipo de fractura	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo												
20/01/2015	27/01/2015	7	1	13539.1	15.29	15.31	30.90	46800		254.22	241.69	18.44	7.63
					15.33								
20/01/2015	27/01/2015		2	13465.1	15.32	15.31	30.79	47000		255.30			
					15.30								
20/01/2015	27/01/2015		3	13533.7	15.27	15.29	30.91	45000		245.24			
					15.30								
20/01/2015	27/01/2015	4	13517.6	15.30	15.33	30.92	47600		258.06				
				15.35									
20/01/2015	27/01/2015	5	13405.1	15.36	15.32	30.73	40800		221.48				
				15.27									
20/01/2015	27/01/2015	6	13473.5	15.22	15.29	30.80	39600		215.81				
				15.35									
22/12/2014	05/01/2015	14	1	13446.5	15.40	15.30	30.70	46600		253.46	265.10	14.81	5.59
					15.20								
22/12/2014	05/01/2015		2	13551.0	15.30	15.30	30.40	49600		269.78			
					15.30								
22/12/2014	05/01/2015		3	13527.0	15.40	15.35	30.80	54000		291.80			
					15.30								
22/12/2014	05/01/2015	4	13430.5	15.30	15.35	30.70	47000		253.98				
				15.40									
22/12/2014	05/01/2015	5	13426.5	15.30	15.35	30.70	47200		255.06				
				15.40									
22/12/2014	05/01/2015	6	13511.0	15.30	15.30	30.60	49000		266.52				
				15.30									
22/12/2014	12/01/2015	21	1	13428.6	15.20	15.20	30.80	47200		260.11	280.04	16.38	5.85
					15.20								
22/12/2014	12/01/2015		2	13400.5	15.30	15.20	30.70	50400		277.75			
					15.10								
22/12/2014	12/01/2015		3	13513.3	15.10	15.15	30.80	52400		290.68			
					15.20								
22/12/2014	12/01/2015	4	13572.5	15.20	15.25	30.80	48000		262.79				
				15.30									
22/12/2014	12/01/2015	5	13445.0	15.20	15.25	30.80	52400		286.88				
				15.30									
22/12/2014	12/01/2015	6	13443.3	15.10	15.20	30.70	54800		302.00				
				15.30									
17/12/2014	14/01/2015	28	1	13457.0	15.20	15.25	30.70	54500		298.38	286.28	14.20	4.96
					15.30								
17/12/2014	14/01/2015		2	13497.4	15.20	15.25	30.80	56200		307.69			
					15.30								
17/12/2014	14/01/2015		3	13452.5	15.20	15.20	30.70	56000		308.61			
					15.20								
17/12/2014	14/01/2015		4	13457.7	15.30	15.30	30.60	51600		280.66			
					15.30								
18/12/2014	15/01/2015		5	13524.5	15.21	15.30	30.87	49800		271.04			
					15.38								
18/12/2014	15/01/2015		6	13568.3	15.36	15.35	30.90	54600		295.24			
					15.33								
18/12/2014	15/01/2015	7	13529.8	15.38	15.34	30.85	49400		267.47				
				15.29									
18/12/2014	15/01/2015	8	13494.6	15.40	15.35	30.85	50000		270.19				
				15.30									
18/12/2014	15/01/2015	9	13443.4	15.34	15.33	30.77	52000		281.91				
				15.31									
18/12/2014	15/01/2015	10	13456.5	15.31	15.35	30.85	53200		287.67				
				15.38									
18/12/2014	15/01/2015	11	13561.2	15.32	15.35	30.86	51000		275.59				
				15.38									
18/12/2014	15/01/2015	12	13521.5	15.32	15.35	30.84	53800		290.91				
				15.37									
17/12/2014	02/02/2015	45	1	13421.0	15.35	15.31	30.73	55200	5	299.85	293.42	5.91	2.01
					15.27								
17/12/2014	02/02/2015		2	13432.2	15.24	15.34	30.70	54000	5	292.18			
		15.44											
17/12/2014	02/02/2015	3	13398.2	15.33	15.33	30.70	53200	5	288.23				
				15.33									

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.19 Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.65 - MÉTODO POR VIBRACIÓN														
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	Tipo de fractura	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo													
21/01/2015	28/01/2015	7	1	13457.1	15.35	15.35	30.76	30.81	39600		214.13	209.69	10.14	4.84
					15.34		30.86							
21/01/2015	28/01/2015		2	13496.7	15.20	15.22	30.74	30.77	40000		220.00			
					15.23		30.80							
21/01/2015	28/01/2015		3	13509.3	15.26	15.31	30.78	30.81	39000		211.85			
					15.36		30.83							
21/01/2015	28/01/2015		4	13474.8	15.29	15.30	30.72	30.71	40000		217.71			
					15.30		30.70							
21/01/2015	28/01/2015		5	13507.3	15.27	15.30	30.72	30.75	36600		199.20			
					15.32		30.77							
21/01/2015	28/01/2015		6	13536.9	15.38	15.28	30.70	30.75	35800		195.23			
					15.18		30.80							
14/01/2015	28/01/2015	14	1	13474.3	15.16	15.28	30.76	30.73	41000		223.59			
					15.40		30.70							
14/01/2015	28/01/2015		2	13546.7	15.28	15.32	30.75	30.78	43200		234.51			
					15.35		30.80							
14/01/2015	28/01/2015		3	13538.7	15.36	15.29	30.72	30.72	45000		245.24			
					15.21		30.71							
14/01/2015	04/02/2015		1	13565.6	15.27	15.32	30.80	30.81	46200	2	250.63			
					15.37		30.82							
14/01/2015	04/02/2015		2	13466.6	15.28	15.29	30.68	30.73	46000	5	250.53			
					15.30		30.77							
14/01/2015	04/02/2015		3	13532.3	15.42	15.33	30.86	30.85	46000	5	249.22			
					15.24		30.83							
08/01/2015	05/02/2015	1	13568.0	15.27	15.29	30.70	30.72	49800	5	271.22				
				15.31		30.73								
13/01/2015	10/02/2015	2	13634.0	15.23	15.27	30.91	30.99	42833	5	234.04				
				15.30		31.07								
13/01/2015	10/02/2015	3	13575.0	15.30	15.31	30.89	30.88	50958	5	276.80				
				15.32		30.86								
13/01/2015	10/02/2015	4	13524.0	15.27	15.30	30.85	30.81	45982	3	250.10				
				15.33		30.77								
13/01/2015	10/02/2015	5	13544.0	15.26	15.28	30.70	30.70	43876	3	239.27				
				15.30		30.69								
13/01/2015	10/02/2015	6	13599.0	15.35	15.29	30.72	30.68	43190	3	235.22				
				15.23		30.63								
13/01/2015	10/02/2015	7	13593.0	15.36	15.32	30.96	30.98	49979	3	271.31				
				15.27		31.00								
14/01/2015	11/02/2015	8	13595.5	15.23	15.30	30.83	30.87	47800	5	259.99				
				15.37		30.90								
14/01/2015	11/02/2015	9	13544.5	15.32	15.33	30.76	30.79	48600	5	263.31				
				15.34		30.81								
14/01/2015	11/02/2015	10	13552.2	15.32	15.34	30.80	30.81	45800	3	247.98				
				15.35		30.81								
14/01/2015	11/02/2015	11	13495.6	15.33	15.33	30.82	30.79	48200	5	261.31				
				15.32		30.75								
14/01/2015	11/02/2015	12	13520.4	15.35	15.34	30.80	30.76	48600	3	263.14				
				15.32		30.71								
06/01/2015	19/02/2015	1	13495.0	15.35	15.35	30.66	30.68	46400	5	250.73				
				15.35		30.69								
06/01/2015	19/02/2015	2	13590.0	15.28	15.33	30.75	30.80	48200	5	261.14				
				15.38		30.85								
06/01/2015	19/02/2015	3	13598.0	15.34	15.36	30.83	30.81	50600	5	273.25				
				15.37		30.78								

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.20 Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.70 para probetas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.70 - MÉTODO POR VIBRACIÓN														
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	Tipo de fractura	F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo													
19/01/2015	26/01/2015	7	1	13451.9	15.29	15.26	-	30.76	35200		192.59	197.40	12.00	6.08
					15.22		-							
20/01/2015	27/01/2015		2	13542.7	15.27	15.27	30.80	30.83	32400		176.92			
					15.27		30.86							
20/01/2015	27/01/2015		3	13469.2	15.30	15.33	30.77	30.75	36000		195.17			
					15.35		30.72							
20/01/2015	27/01/2015		4	13512.4	15.24	15.26	30.75	30.78	37600		205.72			
					15.27		30.80							
20/01/2015	27/01/2015		5	13407.0	15.30	15.34	30.74	30.75	38800		210.07			
					15.37		30.75							
20/01/2015	27/01/2015		6	13444.0	15.34	15.28	30.87	30.84	37400		203.96			
					15.22		30.80							
19/01/2015	02/02/2015	14	1	13447.9	15.27	15.29	30.64	30.67	40600	5	221.26	221.24	1.19	0.54
					15.30		30.69							
19/01/2015	02/02/2015		2	13522.6	15.38	15.37	30.78	30.79	40800	5	220.04			
					15.35		30.80							
19/01/2015	02/02/2015		3	13526.1	15.40	15.32	30.78	30.77	41000	5	222.42			
					15.24		30.75							
19/01/2015	09/02/2015		1	13493.5	15.25	15.33	30.78	30.79	43600	5	236.37			
					15.40		30.80							
19/01/2015	09/02/2015		2	13456.0	15.25	15.28	30.76	30.78	43200	3	235.74			
					15.30		30.80							
19/01/2015	09/02/2015		3	13515.0	15.25	15.28	30.77	30.79	43400	5	236.83			
					15.30		30.81							
12/01/2015	09/02/2015	1	13581.5	15.21	15.27	30.86	30.86	44200	5	241.35				
				15.33		30.85								
12/01/2015	09/02/2015	2	13499.5	15.36	15.38	30.90	30.90	44400	5	238.99				
				15.40		30.90								
12/01/2015	09/02/2015	3	13559.5	15.31	15.30	30.77	30.74	44200	5	240.57				
				15.28		30.70								
12/01/2015	09/02/2015	4	13554.0	15.24	15.22	30.75	30.78	43600	5	239.64				
				15.20		30.81								
12/01/2015	09/02/2015	5	13528.5	15.30	15.35	30.77	30.80	45200	5	244.25				
				15.40		30.83								
12/01/2015	09/02/2015	6	13606.0	15.36	15.38	30.81	30.87	45600	5	245.61				
				15.39		30.93								
12/01/2015	09/02/2015	7	13553.0	15.30	15.30	30.75	30.81	44400	2	241.50				
				15.30		30.86								
12/01/2015	09/02/2015	8	13558.5	15.34	15.30	30.64	30.71	43800	5	238.23				
				15.26		30.77								
12/01/2015	09/02/2015	9	13439.0	15.35	15.35	30.88	30.89	44200	5	238.84				
				15.35		30.90								
12/01/2015	09/02/2015	10	13521.0	15.30	15.31	30.81	30.83	44800	3	243.35				
				15.32		30.84								
12/01/2015	09/02/2015	11	13512.0	15.36	15.34	30.90	30.88	44200	5	239.31				
				15.31		30.85								
12/01/2015	09/02/2015	12	13495.6	15.34	15.37	30.82	30.81	44000	3	237.15				
				15.40		30.79								
08/01/2015	23/02/2015	45	1	13548.5	15.33	15.34	30.71	30.71	47000	5	254.31	244.26	9.16	3.75
					15.35		30.71							
12/01/2015	26/02/2015		2	13570.0	15.32	15.32	30.83	30.87	44600	2	242.11			
					15.31		30.90							
12/01/2015	26/02/2015		3	13510.0	15.36	15.33	30.83	30.85	43600	5	236.37			
					15.29		30.86							

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.21 Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.60 - MÉTODO POR APISONADO													
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (kg)	Tipo de fractura	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo												
20/01/2015	27/01/2015	7	1	13494.8	15.25	15.29	30.84	47400		258.15	240.16	10.32	4.30
					15.33								
20/01/2015	27/01/2015		2	13442.1	15.21	15.28	30.77	45000		245.56			
					15.34								
20/01/2015	27/01/2015		3	13433.0	15.38	15.30	30.79	43000		234.03			
					15.21								
20/01/2015	27/01/2015		4	13461.6	15.27	15.33	30.88	42400		229.87			
					15.38								
20/01/2015	27/01/2015		5	13447.4	15.24	15.29	30.78	43000		234.19			
					15.34								
20/01/2015	27/01/2015		6	13403.8	15.38	15.27	30.74	43800		239.17			
					15.16								
22/12/2014	05/01/2015	14	1	13493.0	15.30	15.35	30.70	48000		259.38	261.52	6.79	2.60
					15.40								
22/12/2014	05/01/2015		2	13520.5	15.30	15.35	30.70	47000		253.98			
					15.40								
22/12/2014	05/01/2015		3	13521.5	15.20	15.30	30.80	48200		262.16			
					15.40								
22/12/2014	05/01/2015		4	13411.0	15.30	15.30	30.80	50400		274.13			
					15.30								
22/12/2014	05/01/2015		5	13361.5	15.30	15.30	30.70	48000		261.08			
					15.30								
22/12/2014	05/01/2015		6	13493.0	15.20	15.25	30.60	47200		258.41			
					15.30								
22/12/2014	12/01/2015	21	1	13411.9	15.30	15.30	30.80	48800		265.43	279.29	12.06	4.32
					15.30								
22/12/2014	12/01/2015		2	13360.3	15.20	15.25	30.80	48200		263.89			
					15.30								
22/12/2014	12/01/2015		3	13519.9	15.20	15.25	30.70	52400		286.88			
					15.30								
22/12/2014	12/01/2015		4	13452.7	15.20	15.20	30.70	52400		288.77			
					15.20								
22/12/2014	12/01/2015		5	13464.6	15.30	15.30	30.80	53600		291.54			
					15.30								
22/12/2014	12/01/2015		6	13432.9	15.20	15.25	30.70	51000		279.22			
					15.30								
17/12/2014	14/01/2015	28	1	13495.7	15.10	15.20	30.70	55400		305.30	289.45	10.51	3.63
					15.30								
17/12/2014	14/01/2015		2	13495.8	15.30	15.20	30.90	55600		306.41			
					15.10								
17/12/2014	14/01/2015		3	13464.0	15.20	15.20	30.60	53600		295.38			
					15.20								
17/12/2014	14/01/2015		4	13506.2	15.30	15.30	30.70	51200		278.48			
					15.30								
18/12/2014	15/01/2015		5	13543.7	15.36	15.34	30.80	50200		271.62			
					15.32								
18/12/2014	15/01/2015		6	13596.0	15.33	15.33	30.90	52000		281.91			
					15.32								
18/12/2014	15/01/2015	7	13505.1	15.18	15.21	30.88	52400		288.39				
				15.24									
18/12/2014	15/01/2015	8	13458.1	15.30	15.26	30.75	53000		289.98				
				15.21									
18/12/2014	15/01/2015	9	13508.2	15.38	15.35	30.90	55000		297.40				
				15.31									
18/12/2014	15/01/2015	10	13456.5	15.32	15.35	30.85	53000		286.58				
				15.37									
18/12/2014	15/01/2015	11	13521.2	15.34	15.35	30.84	52000		280.99				
				15.36									
18/12/2014	15/01/2015	12	13511.4	15.35	15.35	30.82	53800		290.91				
				15.34									
17/12/2014	02/02/2015	45	1	13536.2	15.38	15.35	30.70	57000	3	308.01	297.13	9.46	3.18
					15.32								
17/12/2014	02/02/2015		2	13528.4	15.28	15.33	30.78	54000	5	292.56			
					15.38								
17/12/2014	02/02/2015		3	13483.2	15.26	15.29	30.64	53400	5	290.83			
					15.32								

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.22 Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.65 - MÉTODO POR APISONADO														
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	Tipo de fractura	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo													
21/01/2015	28/01/2015	7	1	13409.4	15.30	15.34	30.82	30.82	38000		205.61	205.41	9.34	4.55
					15.38		30.81							
21/01/2015	28/01/2015		2	13347.7	15.29	15.30	30.79	30.74	37400		203.56			
					15.30		30.66							
21/01/2015	28/01/2015		3	13468.1	15.30	15.34	30.87	30.89	38800		210.07			
					15.37		30.91							
21/01/2015	28/01/2015	4	13417.5	15.37	15.37	30.81	30.80	39400		212.35				
				15.37		30.79								
21/01/2015	28/01/2015	5	13469.8	15.32	15.31	30.88	30.88	39200		212.93				
				15.30		30.88								
21/01/2015	28/01/2015	6	13477.0	15.40	15.40	30.78	30.83	35000		187.90				
				15.40		30.87								
14/01/2015	28/01/2015	14	1	13290.7	15.30	15.30	30.69	30.68	42400		230.62	230.79	2.70	1.17
					15.30		30.67							
14/01/2015	28/01/2015		2	13479.4	15.27	15.35	30.73	30.81	42200		228.19			
					15.42		30.88							
14/01/2015	28/01/2015		3	13487.7	15.26	15.31	30.70	30.70	43000		233.58			
					15.36		30.69							
14/01/2015	04/02/2015	21	1	13496.2	15.28	15.31	30.86	30.87	46000	3	250.04	247.50	3.16	1.28
					15.33		30.87							
14/01/2015	04/02/2015		2	13479.7	15.30	15.39	30.71	30.75	46200	5	248.52			
					15.47		30.79							
14/01/2015	04/02/2015		3	13363.4	15.44	15.33	30.70	30.72	45000	5	243.96			
					15.21		30.74							
08/01/2015	05/02/2015	28	1	13553.5	15.29	15.30	30.81	30.82	49000	2	266.69	258.08	11.25	4.36
					15.30		30.83							
13/01/2015	10/02/2015		2	13554.0	13.34	14.31	30.93	30.94	45086	5	280.53			
					15.27		30.94							
13/01/2015	10/02/2015		3	13595.0	15.40	15.28	31.10	31.05	45274	3	246.89			
					15.16		31.00							
13/01/2015	10/02/2015		4	13439.0	15.24	15.30	30.72	30.71	45033	5	244.94			
					15.36		30.70							
13/01/2015	10/02/2015		5	13460.0	15.24	15.28	30.66	30.65	45394	3	247.55			
					15.32		30.64							
13/01/2015	10/02/2015		6	13469.0	15.33	15.29	30.71	30.72	46351	3	252.60			
					15.24		30.72							
13/01/2015	10/02/2015		7	13539.0	15.27	15.29	30.80	30.75	49765	3	271.21			
					15.30		30.70							
14/01/2015	11/02/2015		8	13532.5	15.31	15.31	30.83	30.79	48600	3	264.17			
					15.30		30.75							
14/01/2015	11/02/2015		9	13534.5	15.38	15.33	30.80	30.80	47800	3	259.14			
					15.27		30.80							
14/01/2015	11/02/2015		10	13512.3	15.31	15.33	30.72	30.76	46200	5	250.47			
					15.34		30.80							
14/01/2015	11/02/2015		11	13513.6	15.36	15.36	30.74	30.72	48800	3	263.53			
					15.35		30.69							
14/01/2015	11/02/2015		12	13511.7	15.35	15.33	30.81	30.77	46000	3	249.22			
					15.31		30.72							
06/01/2015	19/02/2015	45	1	13562.5	15.10	15.13	30.72	30.72	47800	5	265.86	268.65	11.83	4.40
					15.16		30.71							
06/01/2015	19/02/2015		2	13539.5	15.12	15.14	30.68	30.71	46500	5	258.46			
					15.15		30.73							
06/01/2015	19/02/2015		3	13570.0	15.05	15.10	30.76	30.78	50400	5	281.63			
					15.14		30.80							

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.23 Resultados de resistencia a la compresión de un concreto de relación A/C=0.70 para probetas compactadas por apisonado.

CONCRETO AC=0.70 - MÉTODO POR APISONADO														
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	Tipo de fractura	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Oblención	Ensayo													
19/01/2015	26/01/2015	7	1	13424.6	15.39	15.35	-	30.80	35000	5	189.25	194.29	10.37	5.34
					15.30		-							
20/01/2015	27/01/2015		2	13498.7	15.37	15.38	30.89	30.92	32800	5	176.55			
					15.39		30.94							
20/01/2015	27/01/2015		3	13482.0	15.20	15.26	30.76	30.76	37600	5	205.58			
					15.32		30.76							
20/01/2015	27/01/2015	4	13451.8	15.20	15.31	30.86	30.83	37200	5	202.07				
				15.42		30.80								
20/01/2015	27/01/2015	5	13493.3	15.36	15.33	30.81	30.83	36400	5	197.21				
				15.30		30.84								
20/01/2015	27/01/2015	6	13467.4	15.30	15.33	30.76	30.78	36000	5	195.04				
				15.36		30.79								
19/01/2015	02/02/2015	14	1	13390.0	15.30	15.35	30.77	30.76	39000	5	210.75	218.55	7.51	3.44
					15.40		30.75							
19/01/2015	02/02/2015		2	13452.9	15.31	15.32	30.80	30.75	40400	5	219.17			
					15.33		30.70							
19/01/2015	02/02/2015		3	13445.7	15.28	15.36	30.76	30.74	41800	5	225.73			
					15.43		30.71							
19/01/2015	09/02/2015	21	1	13378.5	15.32	15.31	30.88	30.80	44000	2	239.01	235.45	6.99	2.97
					15.30		30.72							
19/01/2015	09/02/2015		2	13426.5	15.38	15.32	30.80	30.86	44200	5	239.94			
					15.25		30.92							
19/01/2015	09/02/2015		3	13427.0	15.31	15.34	30.74	30.78	42000	3	227.40			
					15.36		30.81							
12/01/2015	09/02/2015	28	1	13491.5	15.30	15.33	30.88	30.87	44800	5	242.88	242.03	3.28	1.36
					15.35		30.86							
12/01/2015	09/02/2015		2	13427.0	15.25	15.31	30.75	30.75	44800	5	243.35			
					15.37		30.75							
12/01/2015	09/02/2015		3	13479.0	15.30	15.33	30.66	30.73	44600	5	241.64			
					15.36		30.80							
12/01/2015	09/02/2015		4	13556.0	15.30	15.32	30.90	30.90	44000	5	238.85			
					15.33		30.90							
12/01/2015	09/02/2015		5	13461.0	15.30	15.32	30.70	30.71	44600	5	241.95			
					15.34		30.71							
12/01/2015	09/02/2015		6	13515.0	15.33	15.34	30.80	30.81	44800	5	242.56			
					15.34		30.81							
12/01/2015	09/02/2015		7	13505.0	15.27	15.31	30.85	30.89	44400	5	241.34			
					15.34		30.92							
12/01/2015	09/02/2015		8	13429.5	15.24	15.31	30.66	30.71	43600	5	236.99			
					15.37		30.75							
12/01/2015	09/02/2015		9	13358.0	15.43	15.32	30.89	30.85	43600	5	236.68			
					15.20		30.80							
12/01/2015	09/02/2015		10	13495.0	15.34	15.33	30.85	30.86	45200	3	244.89			
					15.32		30.86							
12/01/2015	09/02/2015		11	13524.0	15.36	15.34	30.91	30.89	45400	5	245.81			
					15.31		30.86							
12/01/2015	09/02/2015		12	13501.6	15.32	15.32	30.84	30.86	45600	3	247.38			
					15.32		30.87							
08/01/2015	23/02/2015	45	1	13528.0	15.24	15.32	30.68	30.69	45600	5	247.38	246.23	3.55	1.44
					15.40		30.69							
12/01/2015	26/02/2015		2	13620.0	15.35	15.35	31.00	31.00	44800	2	242.24			
					15.34		31.00							
12/01/2015	26/02/2015		3	13600.0	15.27	15.34	30.95	30.98	46000	3	249.06			
					15.40		31.00							

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión para las distintas relaciones A/C se da en la tabla N° 4.24:

Cuadro N° 4.24 Resumen de resistencias a la compresión promedio.

N° días	Resistencia a la compresión promedio $f'_{cp}$ (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Relación A/C					
	0.60		0.65		0.70	
	Método por vibración	Método por apisonado	Método por vibración	Método por apisonado	Método por vibración	Método por apisonado
7	241.69	240.16	209.69	203.12	197.40	194.29
14	265.10	261.52	234.45	230.79	221.24	218.55
21	280.04	279.29	250.13	244.99	236.31	235.45
28	286.28	289.45	256.14	259.30	240.73	242.03
45	293.42	297.13	261.71	268.65	244.26	246.23

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Resistencia a la Compresión Diametral (NTP 339.084:2012)

Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a toda la longitud del espécimen cilíndrico de concreto, a una velocidad prescrita, hasta que ocurra la falla. Esta carga induce un esfuerzo de tracción en el plano bajo la carga y un relativamente elevado esfuerzo de compresión en el área inmediata alrededor de la carga aplicada. La falla por tracción ocurre antes que la de compresión porque las áreas de aplicación de la carga están en un estado de compresión triaxial, lo que permite soportar esfuerzo de compresión mucho mayor que el resultado conseguido con un ensayo de compresión uniaxial.

Se utilizarán listones delgados (3.0 mm de espesor) de madera terciada, de tal modo que la carga sea repartida uniformemente a toda la longitud de la generatriz de la probeta cilíndrica.

Las probetas usadas para el ensayo de la resistencia a la compresión diametral son de igual fabricación que las probetas usadas para el ensayo de resistencia a la compresión.

Para obtener la resistencia a la tracción por compresión diametral, la máxima carga soportada por el espécimen es dividida por un factor geométrico apropiado, así:

$$T = \frac{2P_1}{\pi ld} \quad (4.7)$$

Donde:

T: Resistencia a la tracción indirecta, kg/cm<sup>2</sup>

P<sub>1</sub>: Máxima carga aplicada por la máquina de ensayo, kg

l: Longitud, cm

d: Diámetro, cm

En la figura N° 4.17 podemos ver el ensayo de una probeta cilíndrica a compresión diametral.

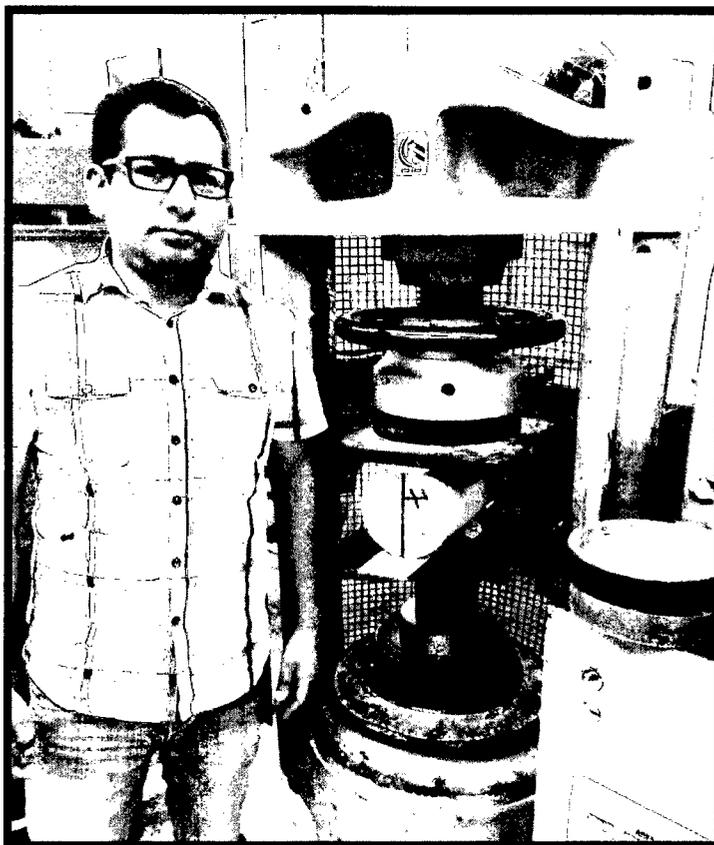


Figura N° 4.17. Ensayo de probetas cilíndricas a compresión diametral.

Los resultados de resistencia a la compresión diametral, se muestran en los cuadros N° 4.25, N° 4.26, N° 4.27, N° 4.28, N° 4.29 y N° 4.30. También en estos cuadros se calcula la desviación estándar y el coeficiente de variación para los resultados de resistencia a la compresión diametral para 7, 14, 21, 28 y 45 días de edad del concreto.

La desviación estándar se calcula así:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(T - T_p)^2}{N - 1}} \quad (4.8)$$

Donde:

$\sigma$  : Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>).

T : Resistencia a la compresión diametral (kg/cm<sup>2</sup>).

T<sub>p</sub> : Resistencia a la compresión diametral promedio (kg/cm<sup>2</sup>).

N: Número de datos.

El coeficiente de variación se calcula sí:

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{T_p} * 100\% \quad (4.9)$$

Donde:

CV (%): Coeficiente de variación en porcentaje.

Cuadro N° 4.25 Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.60 - MÉTODO POR VIBRACIÓN												
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	T <sub>p</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo											
29/12/2014	05/01/2015	7	1	13520.0	15.20	15.30	30.80	21100	28.50	28.50	0.39	1.38
					15.40							
					15.30							
29/12/2014	05/01/2015	7	2	13565.5	15.30	15.35	30.80	21450	28.88	28.50	0.39	1.38
					15.40							
					15.30							
29/12/2014	05/01/2015	7	3	13457.5	15.30	15.35	30.70	20800	28.10	28.50	0.39	1.38
					15.40							
					15.30							
18/12/2014	15/01/2015	28	1	13531.7	15.23	15.30	30.90	25000	33.68	34.14	0.42	1.22
					15.36							
					15.26							
18/12/2014	15/01/2015	28	2	13511.7	15.26	15.33	30.83	25600	34.48	34.14	0.42	1.22
					15.40							
					15.38							
18/12/2014	15/01/2015	28	3	13503.8	15.38	15.33	30.80	25400	34.26	34.14	0.42	1.22
					15.27							
					15.38							

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.26 Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.65 - MÉTODO POR VIBRACIÓN													
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo												
21/01/2015	28/01/2015	7	1	13478.3	15.20	15.33	30.76	30.73	18800	25.41	25.35	0.55	2.15
					15.34		30.70						
					15.44								
21/01/2015	28/01/2015		2	13503.0	15.19	15.11	30.78	30.80	18900	25.85			
					15.14		30.82						
					15.00								
21/01/2015	28/01/2015		3	13447.7	15.32	15.30	30.80	30.83	18350	24.77			
					15.33		30.85						
					15.25								
08/01/2015	05/02/2015	28	1	13525.5	15.42	15.33	30.80	30.74	23000	31.08	31.09	0.15	0.50
					15.34		30.68						
					15.22								
08/01/2015	05/02/2015		2	13586.0	15.24	15.27	30.80	30.82	23100	31.25			
					15.36		30.84						
					15.20								
08/01/2015	05/02/2015		3	13548.5	15.18	15.26	30.72	30.74	22800	30.95			
					15.30		30.75						
					15.30								

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.27 Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.70 para probetas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.70 - MÉTODO POR VIBRACIÓN													
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo												
19/01/2015	26/01/2015	7	1	13512.5	15.26	15.30	30.70	30.73	15600	21.12	21.92	0.69	3.15
					15.32		30.76						
					15.32								
19/01/2015	26/01/2015		2	13526.7	15.21	15.30	30.80	30.80	16500	22.29			
					15.34		30.79						
					15.36								
19/01/2015	26/01/2015		3	13447.2	15.22	15.19	30.74	30.76	16400	22.34			
					15.21		30.78						
					15.14								
12/01/2015	09/02/2015	28	1	13481.0	15.14	15.19	30.94	30.95	21250	28.79	28.02	0.83	2.96
					15.33		30.95						
					15.09								
15/01/2015	12/02/2015		2	13447.5	15.25	15.23	30.74	30.73	19950	27.14			
					15.23		30.71						
					15.21								
15/01/2015	12/02/2015		3	13416.5	15.14	15.31	30.68	30.66	20750	28.14			
					15.36		30.64						
					15.43								

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.28 Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.60 para probetas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.60 - MÉTODO POR APISONADO												
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo											
29/12/2014	05/01/2015	7	1	13480.0	15.20	15.35	30.90	20000	26.84	27.41	0.54	1.97
					15.50							
29/12/2014	05/01/2015		2	13440.5	15.40	15.35	30.80	20400	27.47			
					15.30							
29/12/2014	05/01/2015		3	13449.5	15.10	15.25	30.80	20600	27.92			
					15.40							
18/12/2014	15/01/2015	28	1	13553.8	15.40	15.33	30.85	25800	34.73	35.05	0.28	0.79
					15.26							
18/12/2014	15/01/2015		2	13508.7	15.21	15.23	30.88	26000	35.19			
					15.25							
18/12/2014	15/01/2015		3	13537.5	15.44	15.44	30.90	26400	35.23			
					15.44							

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.29 Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.65 para probetas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.65 - MÉTODO POR APISONADO													
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo												
21/01/2015	28/01/2015	7	1	13479.8	15.41	15.34	30.83	30.85	18500	24.88	25.01	0.31	1.25
					15.38		30.87						
					15.24								
21/01/2015	28/01/2015		2	13433.4	15.24	15.30	30.77	30.76	18750	25.36			
					15.33		30.74						
					15.34								
21/01/2015	28/01/2015		3	13389.0	15.14	15.19	30.93	30.87	18250	24.78			
					15.22		30.80						
					15.22								
08/01/2015	05/02/2015	28	1	13566.0	15.16	15.21	30.89	30.85	23450	31.81	31.57	0.32	1.02
					15.21		30.81						
					15.27								
08/01/2015	05/02/2015		2	13548.0	15.40	15.30	30.83	30.81	23100	31.20			
					15.30		30.78						
					15.20								
08/01/2015	05/02/2015		3	13548.0	15.01	15.08	30.74	30.77	23100	31.70			
					15.15		30.80						
					15.07								

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.30 Resultados de resistencia a la compresión diametral de un concreto de relación A/C=0.70 para probetas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.70 - MÉTODO POR APISONADO													
Fecha		Edad (Días)	N° Probetas	Masa (g)	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (kg)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
Obtención	Ensayo												
19/01/2015	26/01/2015	7	1	13475.0	15.20	15.23	30.74	30.74	15800	21.49	20.82	0.58	2.79
					15.30		30.73						
					15.19								
19/01/2015	26/01/2015		2	13464.1	15.25	15.35	30.74	30.76	15250	20.56			
					15.35		30.78						
					15.46								
19/01/2015	26/01/2015	3	13472.8	15.21	15.30	30.86	30.77	15100	20.42				
				15.32		30.68							
				15.37									
12/01/2015	09/02/2015	28	1	13398.5	15.16	15.17	30.76	30.75	20600	28.11			
					15.15		30.73						
					15.21								
15/01/2015	12/02/2015		2	13497.5	15.16	15.25	30.80	30.81	20550	27.84			
					15.26		30.82						
					15.34								
15/01/2015	12/02/2015	3	13474.5	15.32	15.25	30.72	30.74	21000	28.52				
				15.27		30.75							
				15.16									

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión diametral para las distintas relaciones A/C, se da en cuadro N° 4.31:

Cuadro N° 4.31 Resumen de resistencias a la compresión diametral promedio.

N° días	Resistencia a la compresión diametral promedio Tp (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Relación A/C					
	0.60		0.65		0.70	
	Método por vibración	Método por apisonado	Método por vibración	Método por apisonado	Método por vibración	Método por apisonado
7	28.50	27.41	25.35	25.01	21.92	20.82
28	34.14	35.05	31.09	31.57	28.02	28.16

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 Resistencia a la flexión (NTP 339.078:2012)

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla.

Para ensayar las vigas se debe tener presente que cuando se usan vigas moldeadas, se gira sobre uno de los lados con respecto a la posición de moldeado y se centra sobre las placas de apoyo, y la viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura con una tolerancia de 2%.

El módulo de rotura se calculará, según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio o a una distancia de éste no mayor del 5% de la luz libre.

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

$$M_r = \frac{P_2 L}{bh^2} \quad (4.10)$$

Donde:

$M_r$ : Módulo de rotura, kg/cm<sup>2</sup>

$P_2$ : Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, kg

$L$ : Luz libre entre apoyos

$b$ : Ancho promedio de la viga en la sección de falla, cm

$h$ : Altura promedio de la viga en la sección de falla, cm

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

$$M_r = \frac{3P_2 a}{bh^2} \quad (4.11)$$

Donde:

a: Es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, cm.

En la figura N° 4.18 se muestra el ensayo de resistencia a la flexión de una viga de concreto en la máquina de ensayo.

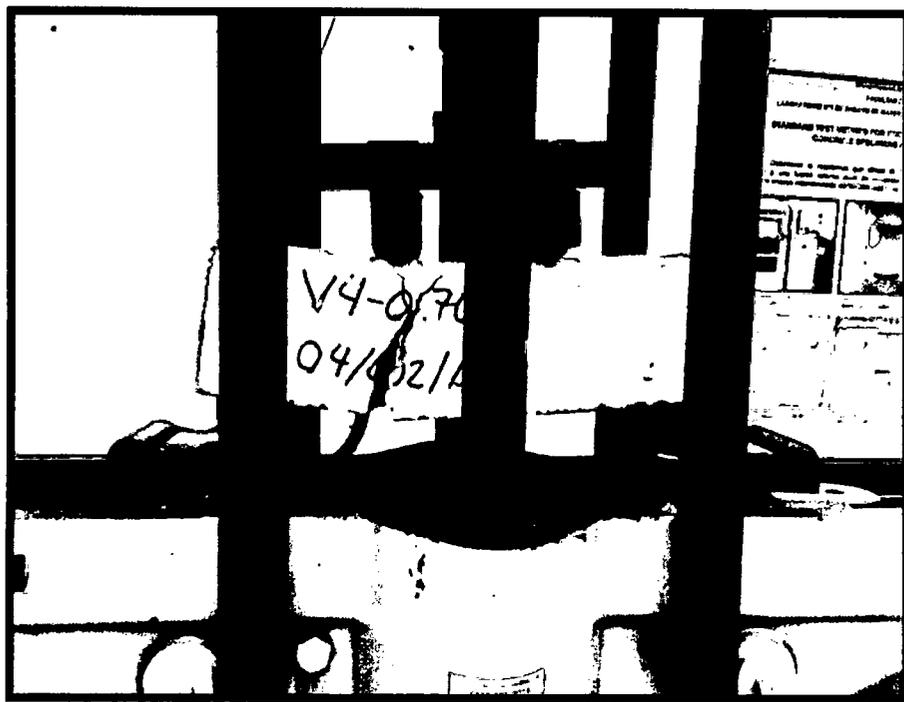


Figura N° 4.18. Ensayo de una viga a flexión.

Los resultados obtenidos al ensayar las vigas a flexión, se muestran en los cuadros N° 4.32, N° 4.33, N° 4.34, N° 4.35, N° 4.36 y N° 4.37. También en estos cuadros se calcula la desviación estándar y el coeficiente de variación para los resultados de resistencia a la compresión diametral para 7, 14, 21, 28 y 45 días de edad del concreto.

La desviación estándar se calcula así:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Mr - Mrp)^2}{N - 1}} \quad (4.12)$$

Donde:

$\sigma$  : Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>).

$Mr$  : Módulo de rotura (kg/cm<sup>2</sup>).

$Mrp$  : Módulo de rotura promedio (kg/cm<sup>2</sup>).

$N$ : Número de datos.

El coeficiente de variación se calcula sí:

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{M_{rp}} * 100\% \quad (4.13)$$

Donde:

CV (%): Coeficiente de variación en porcentaje.

Cuadro N° 4.32 Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación A/C=0.60 para vigas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.60 - MÉTODO POR VIBRACIÓN																
Fecha		Edad (Días)	N° Vigas	Medidas antes del ensayo			Medidas después del ensayo				Carga máxima (kg)	k (cm)	Mr (kg/cm2)	Mrp (kg/cm2)	$\sigma$ (kg/cm2)	CV (%)
Obtención	Ensayo			Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)						
24/02/2015	03/03/2015	7	1	15.50	15.50	47.00	15.50	15.60	15.50	15.50	3750	8.00	47.03	47.32	0.48	1.01
				15.50			15.50									
				15.50			15.50									
25/02/2015	04/03/2015		2	15.50	15.50	47.00	15.80	15.80	15.50	15.50						
				15.50			15.80									
				15.50			15.50									
25/02/2015	04/03/2015		3	15.60	15.53	47.00	15.70	15.67	15.50	15.53						
				15.50			15.60									
				15.50			15.60									
26/01/2015	23/02/2015	28	1	15.40	15.37	47.00	15.50	15.50	15.40	15.37						
				15.30			15.50									
				15.40			15.30									
26/01/2015	23/02/2015		2	15.40	15.47	47.00	15.40	15.40	15.50	15.57						
				15.50			15.60									
				15.50			15.60									
28/01/2015	25/02/2015		3	15.50	15.47	47.00	15.70	15.70	15.30	15.30						
				15.50			15.70									
				15.40			15.30									

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.33 Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación A/C=0.65 para vigas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.65 - MÉTODO POR VIBRACIÓN																												
Fecha		Edad (Días)	N° Vigas	Medidas antes del ensayo			Medidas después del ensayo				Carga máxima (kg)	k (cm)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)												
Obtención	Ensayo			Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)																		
23/02/2015	02/03/2015	7	1	15.40	15.40	47.00	15.60	15.63	15.50	15.50	3400	8.00	42.55															
				15.40			15.60		15.50																			
				15.40			15.70		15.50																			
23/02/2015	02/03/2015		2	15.50	15.50	47.00	15.50	15.53	15.50	15.47							3600	8.00	45.53	43.18	2.11	4.87						
				15.50			15.60		15.50																			
				15.50			15.60		15.50																			
24/02/2015	03/03/2015		3	15.50	15.47	47.00	15.60	15.57	15.50	15.50													3300	7.50	41.47			
				15.40			15.60		15.50																			
				15.50			15.50		15.50																			
28/01/2015	25/02/2015	28	1	15.70	15.63	47.00	15.70	15.70	15.80	15.83	3950	4.00	47.17															
				15.70			15.70		15.80																			
				15.50			15.70		15.90																			
29/01/2015	26/02/2015		2	15.50	15.47	47.00	15.50	15.57	15.50	15.50							3500	6.00	43.99	46.51	2.27	4.88						
				15.40			15.60		15.50																			
				15.50			15.60		15.50																			
29/01/2015	26/02/2015		3	15.60	15.57	47.00	15.60	15.57	15.50	15.50													3850	6.00	48.38			
				15.50			15.50		15.50																			
				15.60			15.60		15.50																			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.34 Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación A/C=0.70 para vigas compactadas por vibración.

CONCRETO A/C=0.70 - MÉTODO POR VIBRACIÓN																						
Fecha		Edad (Días)	N° Vigas	Medidas antes del ensayo			Medidas después del ensayo				Carga máxima (kg)	k (cm)	Mr (kg/cm2)	Mrp (kg/cm2)	$\sigma$ (kg/cm2)	CV (%)						
Obtención	Ensayo			Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)												
04/02/2015	11/02/2015	7	1	15.70	15.67	47.01	15.60	15.70	15.70	15.63	3000	6.00	36.75	37.86	1.05	2.77						
				15.60			15.60															
				15.60			15.60															
05/02/2015	12/02/2015		2	15.60	15.70	47.10	15.60	15.67	15.60	15.67							3100	8.00	37.97			
				15.80			15.80															
				15.80			15.80															
05/02/2015	12/02/2015		3	15.40	15.47	46.41	15.80	15.80	15.40	15.43										3150	4.00	38.85
				15.50			15.40															
				15.50			15.50															
02/02/2015	02/03/2015	28	1	15.20	15.13	47.00	15.70	15.67	15.50	15.50	3550	7.00	44.33									
				15.10			15.70															
				15.10			15.50															
02/02/2015	02/03/2015		2	15.40	15.50	47.00	15.70	15.67	15.50	15.57				3350	2.00	41.47						
				15.50			15.60															
				15.60			15.60															
04/02/2015	04/03/2015		3	15.50	15.50	47.00	15.60	15.63	15.50	15.50							3400	9.00	42.55			
				15.50			15.60															
				15.50			15.50															

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.35 Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación A/C=0.60 para vigas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.60 - MÉTODO POR APISONADO																												
Fecha		Edad (Días)	N° Vigas	Medidas antes del ensayo			Medidas después del ensayo				Carga máxima (kg)	k (cm)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)												
Obtención	Ensayo			Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)																		
24/02/2015	03/03/2015	7	1	15.40	15.40	47.00	15.50	15.53	15.50	15.50	3600	8.00	45.34	46.30	0.91	1.96												
				15.40			15.50		15.50																			
				15.40			15.50		15.50																			
25/02/2015	04/03/2015		2	15.50	15.50	47.00	15.70	15.77	15.50	15.50							3800	1.00	47.15	46.30	0.91	1.96						
				15.50			15.80		15.50																			
				15.50			15.80		15.50																			
25/02/2015	04/03/2015		3	15.50	15.50	47.00	15.70	15.60	15.50	15.50													3700	4.00	46.40	46.30	0.91	1.96
				15.50			15.60		15.50																			
				15.50			15.50		15.50																			
26/01/2015	23/02/2015	28	1	15.50	15.50	47.00	15.30	15.30	15.30	15.30	3870	4.00	50.78	51.93	1.47	2.83												
				15.50			15.30		15.30																			
				15.50			15.30		15.30																			
26/01/2015	23/02/2015		2	15.70	15.73	47.00	15.30	15.37	15.70	15.67							4300	1.50	53.58	51.93	1.47	2.83						
				15.70			15.30		15.70																			
				15.80			15.50		15.60																			
28/01/2015	25/02/2015		3	15.50	15.53	47.00	15.60	15.53	15.50	15.53													4100	3.50	51.41	51.93	1.47	2.83
				15.50			15.50		15.50																			
				15.60			15.50		15.60																			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.36 Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación A/C=0.65 para vigas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.65 - MÉTODO POR APISONADO																		
Fecha		Edad (Días)	N° Vigas	Medidas antes del ensayo			Medidas después del ensayo				Carga máxima (kg)	k (cm)	Mr (kg/cm2)	Mrp (kg/cm2)	$\sigma$ (kg/cm2)	CV (%)		
Obtención	Ensayo			Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)								
23/02/2015	02/03/2015	7	1	15.40	15.47	47.00	15.70	15.67	15.50	15.47	3400	5.00	42.64					
				15.40			15.60		15.50									
				15.60			15.70		15.40									
23/02/2015	02/03/2015		7	2	15.40	15.43	47.00	15.70	15.73	15.50	15.50	3400	7.00	42.28	42.37	0.24	0.57	
					15.40			15.80		15.50								
					15.50			15.70		15.50								
24/02/2015	03/03/2015			7	3	15.40	15.47	47.00	15.70	15.70	15.50	15.53	3400	8.50	42.18			
						15.50			15.70		15.50							
						15.50			15.70		15.60							
28/01/2015	25/02/2015	28			1	15.50	15.50	47.00	15.60	15.53	15.50	15.50	3800	4.50	47.86			
						15.50			15.50		15.50							
						15.50			15.50		15.50							
29/01/2015	26/02/2015		28		2	15.50	15.50	47.00	15.70	15.67	15.40	15.43	3800	4.00	47.86	47.37	0.84	1.78
						15.50			15.60		15.40							
						15.50			15.70		15.50							
29/01/2015	26/02/2015			28	3	15.50	15.53	47.00	15.50	15.53	15.50	15.53	3700	3.50	46.40			
						15.50			15.50		15.50							
						15.60			15.60		15.60							

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.37 Resultados de resistencia a la flexión de un concreto de relación A/C=0.70 para vigas compactadas por apisonado.

CONCRETO A/C=0.70 - MÉTODO POR APISONADO																									
Fecha		Edad (Días)	N° Vigas	Medidas antes del ensayo			Medidas después del ensayo				Carga máxima (kg)	k (cm)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)									
Obtención	Ensayo			Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)															
04/02/2015	11/02/2015	7	1	16.00	15.90	47.70	15.70	15.77	16.00	15.87	3200	3.00	38.46	0.74	1.97										
				15.90			15.80		15.80																
				15.80			15.80		15.80																
05/02/2015	12/02/2015		2	15.50	15.57	46.71	15.60	15.83	15.50	15.53						3100	7.50	37.90	0.74	1.97					
				15.60			15.90		15.60																
				15.60			15.90		15.60																
05/02/2015	12/02/2015		3	15.50	15.50	46.50	15.50	15.70	15.50	15.50											3000	4.50	36.98	0.74	1.97
				15.40			16.00		15.60																
				15.60			15.60		15.60																
02/02/2015	02/03/2015	28	1	15.50	15.47	47.00	15.50	15.60	15.50	15.50	3400	4.00	42.64	1.73	3.97										
				15.50			15.70		15.50																
				15.40			15.70		15.50																
02/02/2015	02/03/2015		2	15.60	15.53	47.00	15.50	15.50	15.50	15.60						3400	7.50	42.36	1.73	3.97					
				15.50			15.50		15.60																
				15.50			15.50		15.70																
04/02/2015	04/03/2015		3	15.50	15.50	47.00	15.60	15.70	15.50	15.50											3650	5.00	45.48	1.73	3.97
				15.50			15.70		15.50																
				15.50			15.80		15.50																

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de los resultados obtenidos de resistencia a la flexión del concreto en vigas (Módulo de Rotura) para las distintas relaciones agua-cemento se da en el cuadro N° 4.38:

Cuadro N° 4.38 Resumen de módulos de rotura promedio.

N° días	Módulo de rotura promedio $M_r$ (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Relación A/C					
	0.60		0.65		0.70	
	Método por vibración	Método por apisonado	Método por vibración	Método por apisonado	Método por vibración	Método por apisonado
7	47.32	46.30	43.18	42.37	37.86	37.78
28	51.60	51.93	46.51	47.37	42.78	43.49

Fuente: Elaboración propia.

# **CAPÍTULO V**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizará los resultados obtenidos de los ensayos de compresión axial, compresión diametral y flexión en especímenes de concreto, cuyos resultados se presentan en cuadros y gráficos.

El objetivo del estudio de investigación es encontrar un factor de correlación entre la resistencia a la compresión obtenida de una probeta compactada con el método por apisonado y una probeta compactada con el método por vibración. Para la determinación de las propiedades mecánicas del concreto, para los dos métodos de compactación, se realizaron tres diseños de mezcla de concreto para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70.

Para el ensayo de compresión axial, las probetas fueron ensayadas respecto a la fecha de elaboración, en los días de 7, 14, 21, 28 y 45.

Para el ensayo de compresión diametral, las probetas fueron ensayadas respecto a la fecha de elaboración, en los días de 7 y 28.

Para el ensayo de flexión en vigas, éstas fueron ensayadas respecto a la fecha de elaboración, en los días de 7 y 28.

La totalidad de los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

### 5.1 ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO

A continuación se analizarán los resultados obtenidos de los ensayos realizados al concreto endurecido de resistencia a compresión axial, resistencia a la compresión diametral y resistencia a la flexión, para concretos con relación agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70.

Para analizar la calidad de los resultados de los tres tipos de ensayos mecánicos realizados al concreto, se va a determinar la desviación estándar y el coeficiente de variación, éste será comparado con un coeficiente de variación máximo establecido. Si el coeficiente de variación obtenido, es menor que el coeficiente de variación máximo, entonces los resultados obtenidos son de buena calidad, en caso contrario son de mala calidad.

También, para el ensayo de resistencia a la compresión, se determina un factor de correlación F.C (%) para 7, 14, 21, 28 y 45 días, gráficas de resistencia a la

compresión y resistencia a la compresión respecto a la relación A/C, y el análisis estadístico de prueba de hipótesis entre los datos obtenidos de la rotura de probetas compactadas por dos métodos de compactación utilizados.

Para los ensayos de resistencia a la compresión diametral y resistencia a la flexión, se hace también el análisis de los resultados.

### 5.1.1 Resistencia a la Compresión

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a analizar se encuentran detallados en los cuadros del ítem 4.2.2.

Para analizar la calidad de los resultados de resistencia a la compresión, se ha tomado un coeficiente de variación máximo de la norma NTP 339.034:2013, página 16, indicado en el cuadro N° 5.1. De este cuadro hemos tomado como coeficiente de variación máximo a 7.8 % para todos los análisis de los ensayos de resistencia a la compresión.

Cuadro N° 5.1 Coeficientes de variaciones máximos aceptables, para el ensayo de resistencia a la compresión.

Descripción	Coeficiente de variación	Rango aceptable de	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindro de 150 mm x 300mm			
Condiciones de laboratorio	2.4 %	6.6 %	7.8 %
Condiciones de obra	2.9 %	8.0 %	9.5 %
Cilindro de 100 mm x 200 mm			
Condiciones de laboratorio	3.2 %	9.0 %	10.6%

Fuente: NTP 339.034:2013.

#### 5.1.1.1 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.60

##### a. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.2 tenemos las resistencias a la compresión promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.18. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.2 Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60.

Relación A/C = 0.60					
N° DÍAS	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (σ)	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	241.69	18.44	7.63	7.80	Aceptable
14	265.10	14.81	5.59	7.80	Aceptable
21	280.04	16.38	5.85	7.80	Aceptable
28	286.28	14.20	4.96	7.80	Aceptable
45	293.42	5.91	2.01	7.80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

b. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.3 tenemos las resistencias a la compresión promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.21. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.3 Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.60.

Relación A/C = 0.60					
N° DÍAS	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (σ)	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	240.16	10.32	4.30	7.80	Aceptable
14	261.52	6.79	2.60	7.80	Aceptable
21	279.29	12.06	4.32	7.80	Aceptable
28	289.45	10.51	3.63	7.80	Aceptable
45	297.13	9.46	3.18	7.80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.4 hacemos una comparación entre resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por

apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (%) así:

$$F.C. (\%) = \frac{f'_{cp} (\text{Método por vibración})}{f'_{cp} (\text{Método por apisonado})} * 100 \quad (5.1)$$

Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna  $\Delta\%$ , éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.4 Factor de correlación de la resistencia a la compresión, para un concreto de relación A/C = 0.60.

A/C = 0.60				
Nº DÍAS	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	$\Delta\%$
7	241.69	240.16	100.6%	0.6%
14	265.10	261.52	101.4%	1.4%
21	280.04	279.29	100.3%	0.3%
28	286.28	289.45	98.9%	-1.1%
45	293.42	297.13	98.7%	-1.3%

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de resistencia a la compresión promedio (f'cp) del cuadro N° 5.3, obtenemos la siguiente figura (N° 5.1); de resistencia a la compresión con respecto a la edad del concreto, en donde podemos notar que para una relación agua-cemento de 0.60, la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración es mayor que la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para edades iniciales del concreto menores o iguales a 21 días, y para edades mayores a 21 días la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración es menor que la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado.

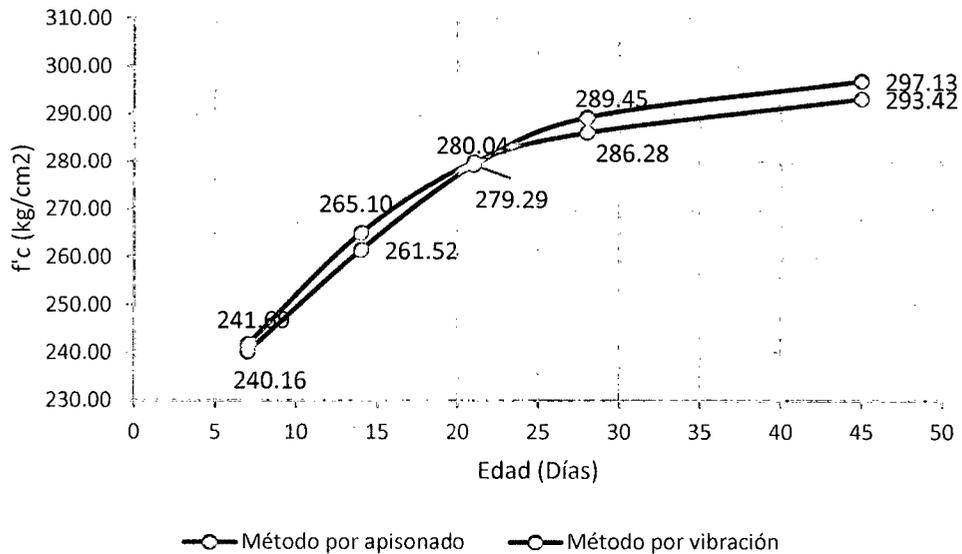


Figura N° 5.1. Evolución de la resistencia a la compresión de probetas compactadas por los dos métodos, para un concreto de relación A/C = 0.60.

### 5.1.1.2 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.65

#### a. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.5 tenemos las resistencias a la compresión promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.19. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.5 Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.65.

Relación A/C = 0.65					
N° DÍAS	f'cp (kg/cm²)	Desviación Estándar (σ)	Coficiente de Variación (%)	Máximo Coficiente de Variación (%)	Resultado
7	209.69	10.14	4.84	7.80	Aceptable
14	234.45	10.83	4.62	7.80	Aceptable
21	250.13	0.79	0.31	7.80	Aceptable
28	256.14	14.58	5.69	7.80	Aceptable
45	261.71	11.27	4.31	7.80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

b. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.6 tenemos las resistencias a la compresión promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.22. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.6 Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.65.

Relación A/C = 0.65					
N° DÍAS	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (σ)	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	205.41	9.34	4.55	7.80	Aceptable
14	230.79	2.70	1.17	7.80	Aceptable
21	247.51	3.16	1.28	7.80	Aceptable
28	258.08	11.25	4.36	7.80	Aceptable
45	268.65	11.83	4.40	7.80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.7 hacemos una comparación entre resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (La ecuación 5.1 muestra como calcular el F.C). Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna Δ%, éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.7 Factor de correlación de la resistencia a la compresión, para un concreto de relación  $A/C = 0.65$ .

<b>A/C = 0.65</b>				
<b>N° DÍAS</b>	<b>f'cp (kg/cm<sup>2</sup>) Método por vibración</b>	<b>f'cp (kg/cm<sup>2</sup>) Método por apisonado</b>	<b>F.C (%)</b>	<b>Δ%</b>
7	209.69	205.41	102.1%	2.1%
14	234.45	230.79	101.6%	1.6%
21	250.13	247.51	101.1%	1.1%
28	256.14	258.08	99.2%	-0.8%
45	261.71	268.65	97.4%	-2.6%

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de resistencia a la compresión promedio ( $f'_{cp}$ ) del cuadro N° 5.7, obtenemos la siguiente figura (N° 5.2); de resistencia a la compresión con respecto a la edad del concreto, en donde podemos notar que para una relación agua-cemento de 0.65, la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración es mayor que la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para edades iniciales del concreto menores o iguales a 21 días, y para edades mayores a 21 días la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración es menor que la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado.

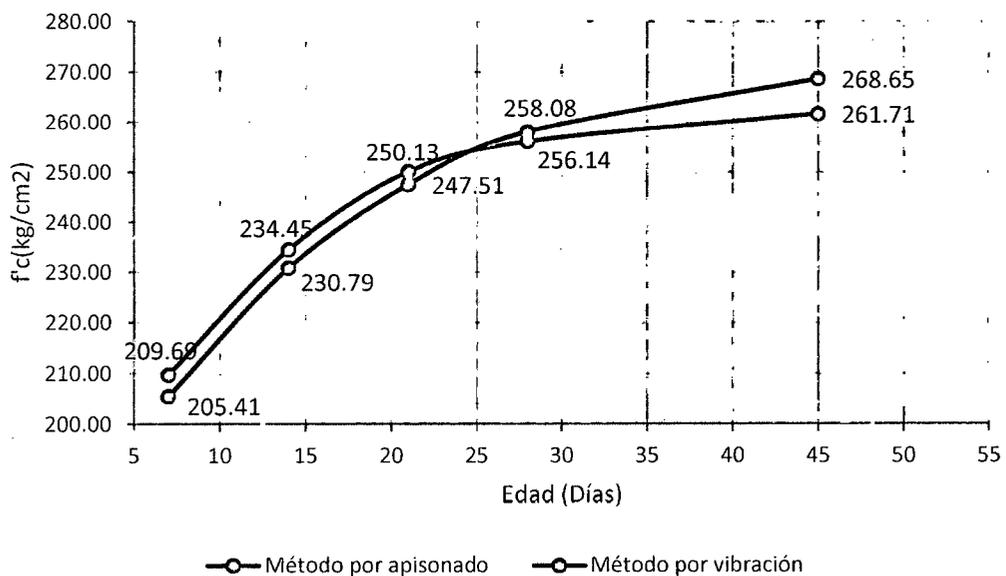


Figura N° 5.2. Evolución de la resistencia a la compresión de probetas compactadas por los dos métodos, para un concreto de relación  $A/C = 0.65$ .

### 5.1.1.3 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.70

#### a. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.8 tenemos las resistencias a la compresión promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.20. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.8 Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.70.

Relación A/C = 0.70					
N° DÍAS	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (σ)	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	197.40	12.00	6.08	7.80	Aceptable
14	221.24	1.19	0.54	7.80	Aceptable
21	236.31	0.55	0.23	7.80	Aceptable
28	240.73	2.57	1.07	7.80	Aceptable
45	244.26	9.16	3.75	7.80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

#### b. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.9 tenemos las resistencias a la compresión promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.23. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.9 Análisis de resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.70.

Relación A/C = 0.70					
N° DÍAS	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (σ)	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	194.29	10.37	5.34	7.80	Aceptable
14	218.55	7.51	3.44	7.80	Aceptable
21	235.45	6.99	2.97	7.80	Aceptable
28	242.03	3.28	1.36	7.80	Aceptable
45	246.23	3.55	1.44	7.80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.10 hacemos una comparación entre resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (La ecuación 5.1 muestra como calcular el F.C). Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna Δ%, éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.10 Factor de correlación de la resistencia a la compresión, para un concreto de relación A/C = 0.70.

A/C = 0.70				
N° DÍAS	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	Δ%
7	197.40	194.29	101.6%	1.6%
14	221.24	218.55	101.2%	1.2%
21	236.31	235.45	100.4%	0.4%
28	240.73	242.03	99.5%	-0.5%
45	244.26	246.23	99.2%	-0.8%

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de resistencia a la compresión promedio (f'cp) del cuadro N° 5.10, obtenemos la siguiente figura (N° 5.3); de resistencia a la compresión con respecto a la edad del concreto, en donde podemos notar que para una relación agua-cemento de 0.70, la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración es mayor que la resistencia a la compresión de probetas

compactadas con el método por apisonado para edades iniciales del concreto menores o iguales a 21 días, y para edades mayores a 21 días la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por vibración es menor que la resistencia a la compresión de probetas compactadas con el método por apisonado.

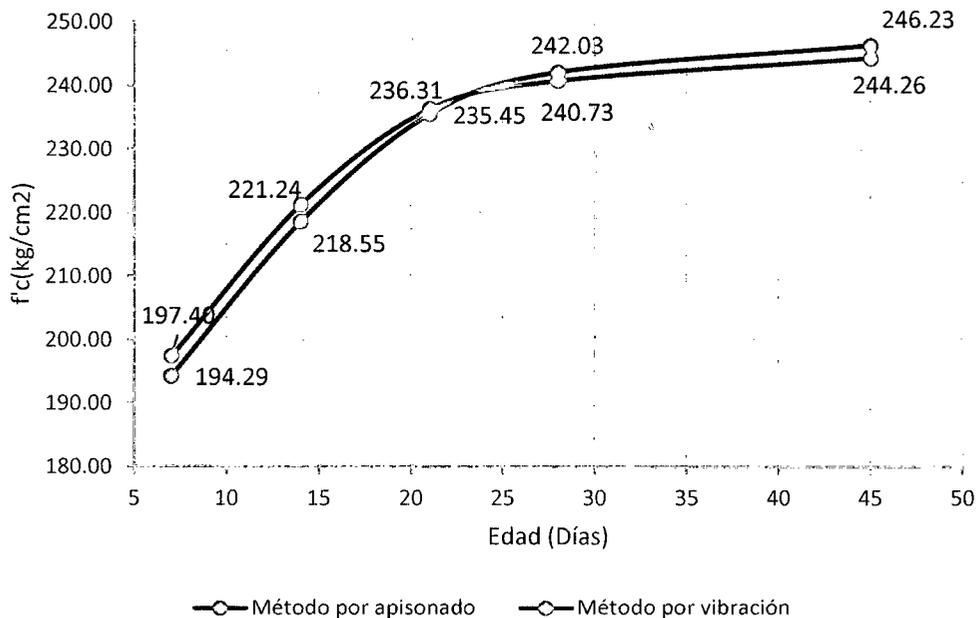


Figura N° 5.3. Evolución de la resistencia a la compresión de probetas compactadas por los dos métodos, para un concreto de relación A/C = 0.70.

#### 5.1.1.4 Gráficas de resistencia a la compresión promedio ( $f'_{cp}$ ) respecto a la relación A/C

En las siguientes gráficas que se presentan, hacemos una comparación entre resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, con respecto a las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Cada gráfica que se presente se hará para una edad determinada del concreto.

##### a. Gráfica para los 7 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.11 tenemos las resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 7 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.24.

Cuadro N° 5.11 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.

Tiempo de curado: 7 días		
Relación A/C	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	241.69	240.16
0.65	209.69	203.12
0.70	197.40	194.29

Fuente: Elaboración propia

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.4. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión para una edad del concreto de 7 días es mayor para probetas compactadas por el método por vibración que para probetas compactadas por el método por apisonado.

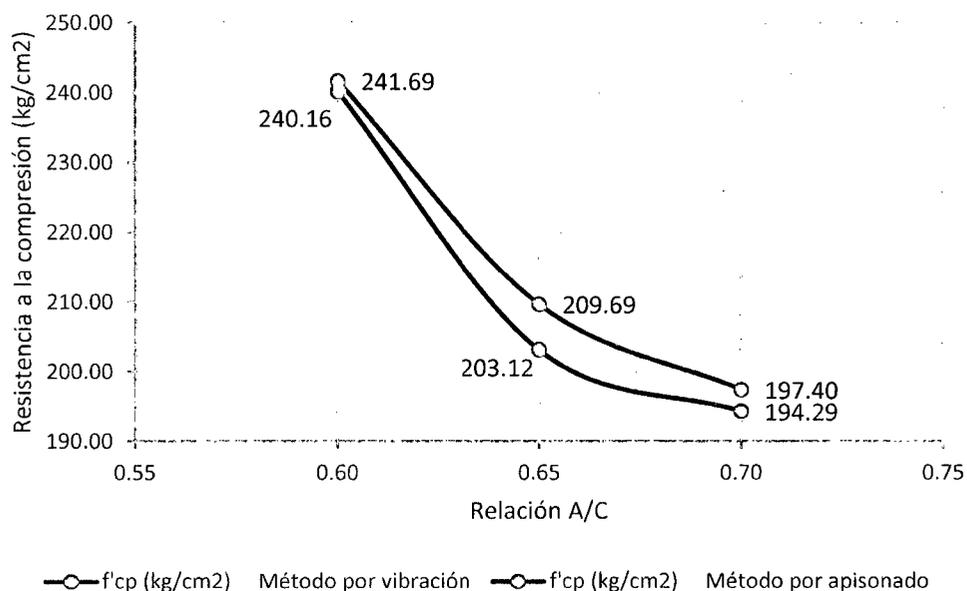


Figura N° 5.4. Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.

#### b. Gráfica para los 14 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.12 tenemos las resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 14 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.24.

Cuadro N° 5.12 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 14 días.

Tiempo de curado: 14 días		
Relación A/C	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	265.10	261.52
0.65	234.45	230.79
0.70	221.24	218.55

Fuente: Elaboración propia

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.5. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión para una edad del concreto de 14 días es mayor para probetas compactadas por el método por vibración que para probetas compactadas por el método por apisonado.

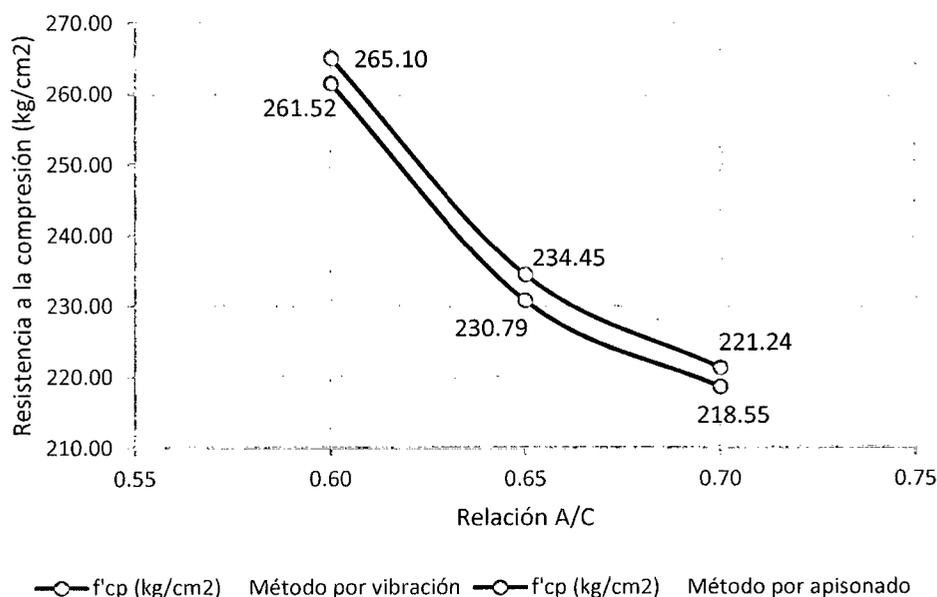


Figura N° 5.5. Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 14 días.

### c. Gráfica para los 21 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.13 tenemos las resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 21 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.24.

Cuadro N° 5.13 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 21 días.

Tiempo de curado: 21 días		
Relación A/C	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	280.04	279.29
0.65	250.13	244.99
0.70	236.31	235.45

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.6. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión para una edad del concreto de 21 días es mayor para probetas compactadas por el método por vibración que para probetas compactadas por el método por apisonado.

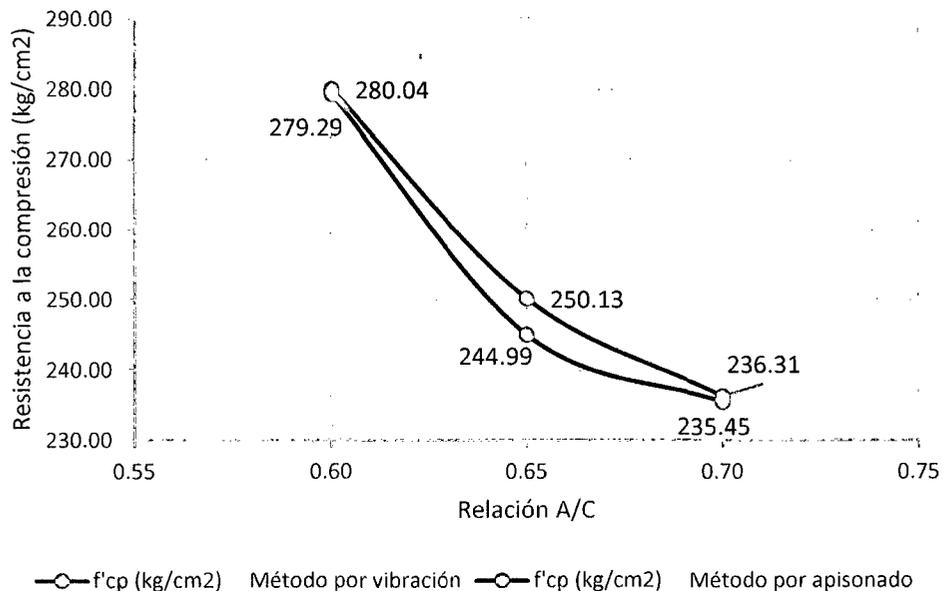


Figura N° 5.6. Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 21 días.

#### d. Gráfica para los 28 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.14 tenemos las resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 28 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.24.

Cuadro N° 5.14 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.

Tiempo de curado: 28 días		
Relación A/C	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	286.28	289.45
0.65	256.14	259.30
0.70	240.73	242.03

Fuente: Elaboración propia

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.7. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión para una edad del concreto de 28 días es mayor para probetas compactadas por el método por apisonado que para probetas compactadas por el método por vibración.

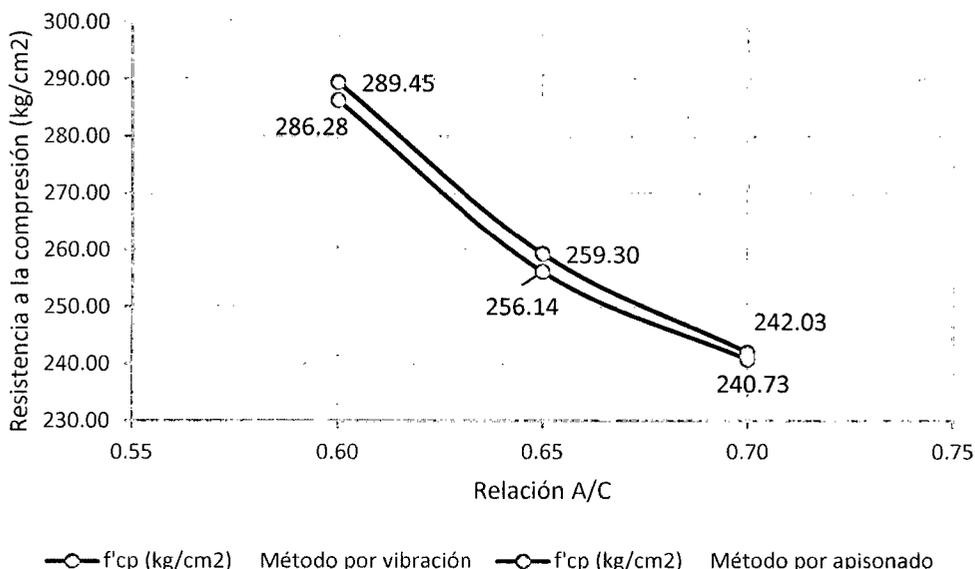


Figura N° 5.7. Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.

#### e. Gráfica para los 45 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.15 tenemos las resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 45 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.24.

Cuadro N° 5.15 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 45 días.

Tiempo de curado: 45 días		
Relación A/C	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	f'cp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	293.42	297.13
0.65	261.71	268.65
0.70	244.26	246.23

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.8. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión para una edad del concreto de 45 días es mayor para probetas compactadas por el método por apisonado que para probetas compactadas por el método por vibración.

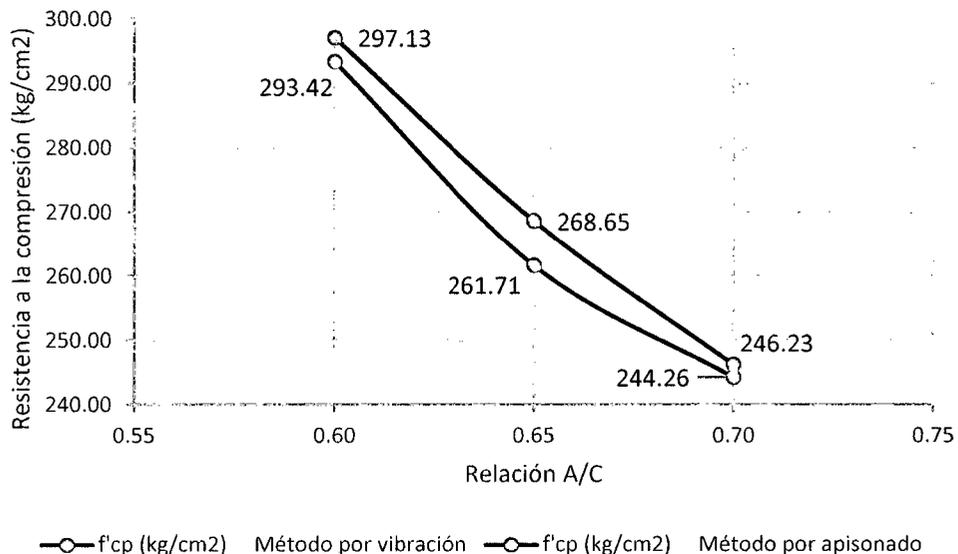


Figura N° 5.8. Gráfica comparativa de resistencia a la compresión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 45 días.

### 5.1.2 Resistencia a la Compresión Diametral

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión diametral a analizar se encuentran detallados en los cuadros del ítem 4.2.3.

Para analizar la calidad de los resultados de resistencia a la compresión diametral, se ha tomado un coeficiente de variación máximo de la norma NTP 339.084:2012, página 8, en donde se indica: "No se ha realizado un estudio interlaboratorio sobre este método de ensayo. Se dispone de datos sobre investigaciones que sugieren

que el coeficiente de variación en la tanda es de 5% para especímenes cilíndricos de 150 mm x 300 mm con un promedio de resistencia a la tracción indirecta de 2.8 MPa”.

#### 5.1.2.1 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.60

##### a. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.16 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.25. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión diametral son de buena calidad.

Cuadro N° 5.16 Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60.

Relación A/C = 0.60					
N° DÍAS	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	28.50	0.39	1.38	5.00	Aceptable
28	34.14	0.42	1.22	5.00	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

##### b. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.17 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.28. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión diametral son de buena calidad.

Cuadro N° 5.17 Análisis de resultados de resistencia a compresión diametral de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.60.

Relación A/C = 0.60					
N° DÍAS	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (σ)	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	27.41	0.54	1.97	5.00	Aceptable
28	35.05	0.28	0.79	5.00	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.18 hacemos una comparación entre resistencias a la compresión diametral promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (%) así:

$$F.C (%) = \frac{T_p (\text{Método por vibración})}{T_p (\text{Método por apisonado})} * 100 \quad (5.2)$$

Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna Δ%, éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.18 Factor de correlación de la resistencia a la compresión diametral, para un concreto de relación agua-cemento 0.60.

Relación A/C = 0.60				
N° DÍAS	T (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	T (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	Δ%
7	28.50	27.41	104.0%	4.0%
28	34.14	35.05	97.4%	-2.6%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.65

a. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.19 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.26. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los

coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión diametral son de buena calidad.

Cuadro N° 5.19 Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.65.

Relación A/C = 0.65					
Nº DÍAS	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	25.35	0.55	2.15	5.00	Aceptable
28	31.09	0.15	0.50	5.00	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

b. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.20 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.29. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión diametral son de buena calidad.

Cuadro N° 5.20 Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.65.

Relación A/C = 0.65					
Nº DÍAS	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	25.01	0.31	1.25	5.00	Aceptable
28	31.57	0.32	1.02	5.00	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.21 hacemos una comparación entre resistencias a la compresión diametral promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se

calcula un factor de correlación F.C (La ecuación 5.2 muestra como calcular el F.C). Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna  $\Delta\%$ , éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado

Cuadro N° 5.21 Factor de correlación de la resistencia a la compresión diametral, para un concreto de relación agua-cemento 0.65.

Relación A/C = 0.65				
N° DÍAS	T (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	T (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	$\Delta\%$
7	25.35	25.01	101.4%	1.4%
28	31.09	31.57	98.5%	-1.5%

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2.3 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C =0.70

#### a. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.22 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.27. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión diametral son de buena calidad.

Cuadro N° 5.22 Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.70.

Relación A/C = 0.70					
N° DÍAS	Tp (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coficiente de Variación (%)	Máximo Coficiente de Variación (%)	Resultado
7	21.92	0.69	3.15	5.00	Aceptable
28	28.02	0.83	2.96	5.00	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

#### b. Análisis de resultados de probetas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.23 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en

el cuadro N° 4.30. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión diametral son de buena calidad.

Cuadro N° 5.23 Análisis de resultados de resistencia a la compresión diametral de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto A/C = 0.70.

Relación A/C = 0.70					
N° DÍAS	Tp (kg/cm2)	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	20.82	0.58	2.79	5.00	Aceptable
28	28.16	0.34	1.22	5.00	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.24 hacemos una comparación entre resistencias a la compresión diametral promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (La ecuación 5.2 muestra como calcular el F.C). Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna  $\Delta\%$ , éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.24 Factor de correlación de la resistencia a la compresión diametral, para un concreto de relación agua-cemento 0.70.

A/C = 0.70				
N° DÍAS	T (kg/cm2) Método por vibración	T (kg/cm2) Método por apisonado	F.C (%)	$\Delta\%$
7	21.92	20.82	105.3%	5.3%
28	28.02	28.16	99.5%	-0.5%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.4 Gráficas de resistencia a la compresión diametral promedio ( $T_p$ ) con respecto a la relación A/C.

En las siguientes gráficas que se presentan, hacemos una comparación entre resistencias a la compresión diametral promedio de probetas compactadas por los

métodos: por vibración y por apisonado, con respecto a las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Cada gráfica que se presente se hará para una edad determinada del concreto.

a. Gráfica para los 7 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.25 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 7 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.31.

Cuadro N° 5.25 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.

Tiempo de curado: 7 días		
Relación A/C	Tp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	Tp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	28.50	27.41
0.65	25.35	25.01
0.70	21.92	20.82

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.9. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión diametral para una edad del concreto de 7 días es mayor para probetas compactadas por el método por vibración que para probetas compactadas por el método por apisonado.

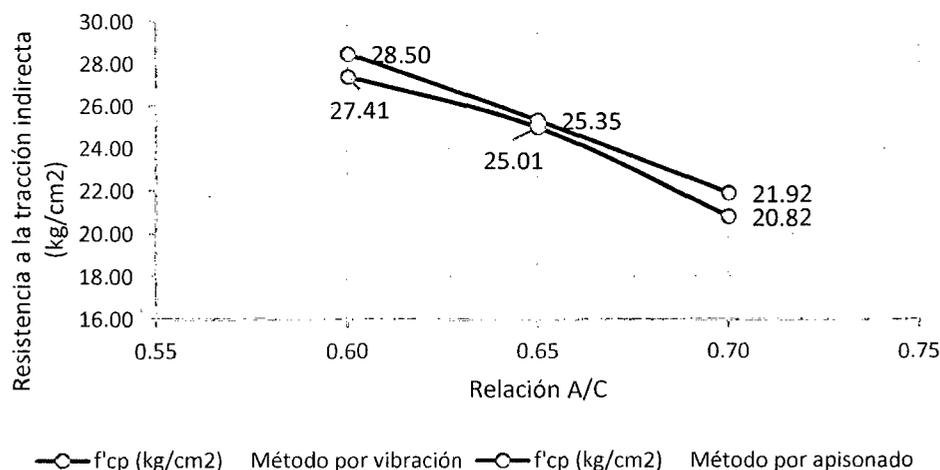


Figura N° 5.9 Gráfica comparativa de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.

b. Gráfica para los 28 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.26 tenemos las resistencias a la compresión diametral promedio de probetas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 28 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.31.

Cuadro N° 5.26 Cuadro comparativo de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.

Tiempo de curado: 28 días		
Relación A/C	Tp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	Tp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	34.14	35.05
0.65	31.09	31.57
0.70	28.02	28.16

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.10. En esta figura podemos ver que la resistencia a la compresión diametral para una edad del concreto de 28 días es mayor para probetas compactadas por el método por apisonado que para probetas compactadas por el método por vibración.

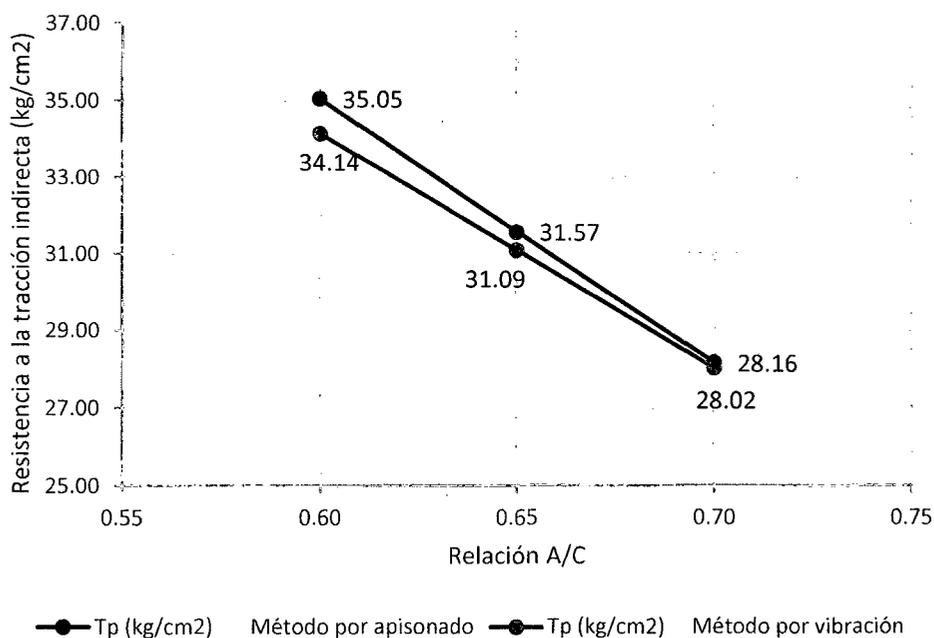


Figura N° 5.10 Gráfica comparativa de resistencia a la compresión diametral promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.

### 5.1.3 Resistencia a la Flexión

Los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a analizar se encuentran detallados en los cuadros del ítem 4.2.4.

Para analizar la calidad de los resultados de resistencia a la flexión, se ha tomado un coeficiente de variación máximo de la norma NTP 339.078:2012, página 9, en donde se indica: "Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados de la prueba depende del nivel de resistencia de las vigas. Para un operador simple, el coeficiente de variación se ha establecido en 5.7%".

#### 5.1.3.1 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.60

##### a. Análisis de resultados de vigas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.27 tenemos los módulos de rotura promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.32. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.27 Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60.

Relación A/C = 0.60					
N° DÍAS	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coficiente de Variación (%)	Máximo Coficiente de Variación (%)	Resultado
7	47.32	0.48	1.01	5.70	Aceptable
28	51.60	1.71	3.31	5.70	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

##### b. Análisis de resultados de vigas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.28 tenemos los módulos de rotura promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.35. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes

de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.28 Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.60.

Relación A/C = 0.60					
Nº DÍAS	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	46.30	0.91	1.96	5.70	Aceptable
28	51.93	1.47	2.83	5.70	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de probetas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.29 hacemos una comparación entre módulos de rotura promedio de vigas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (%) así:

$$F.C (%) = \frac{Mrp (\text{Método por vibración})}{Mrp(\text{Método por apisonado})} * 100 \quad (5.3)$$

Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna  $\Delta\%$ , éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.29 Factor de correlación de la resistencia a la flexión, para un concreto de relación agua-cemento 0.60.

A/C = 0.60				
Nº DÍAS	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	$\Delta\%$
7	47.32	46.30	102.2%	2.2%
28	51.60	51.93	99.4%	-0.6%

Fuente: Elaboración propia

## 5.1.3.2 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.65

## a. Análisis de resultados de vigas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.30 tenemos los módulos de rotura promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.33. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.30 Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.65.

Relación A/C = 0.65					
Nº DÍAS	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	43.18	2.11	4.87	5.70	Aceptable
28	46.51	2.27	4.88	5.70	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

## b. Análisis de resultados de vigas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.31 tenemos los módulos de rotura promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.36. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.31 Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.65.

Relación A/C = 0.65					
N° DÍAS	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	42.37	0.24	0.57	5.70	Aceptable
28	47.37	0.84	1.78	5.70	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de vigas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.32 hacemos una comparación entre módulos de rotura promedio de vigas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación F.C (La ecuación 5.3 muestra como calcular el F.C). Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna  $\Delta\%$ , éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.32 Factor de correlación de la resistencia a la flexión, para un concreto de relación agua-cemento 0.65.

A/C = 0.65				
N° DÍAS	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	$\Delta\%$
7	43.18	42.37	101.9%	1.9%
28	46.51	47.37	98.2%	-1.8%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.3 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.70

a. Análisis de resultados de vigas compactadas por el método por vibración

En el cuadro N° 5.33 tenemos los módulos de rotura promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.34. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto

los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.33 Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.70.

Relación A/C = 0.70					
Nº DÍAS	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	37.86	1.05	2.77	5.70	Aceptable
28	42.78	1.44	3.37	5.70	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

b. Análisis de resultados de vigas compactadas por el método por apisonado

En el cuadro N° 5.34 tenemos los módulos de rotura promedio, desviaciones estándares y coeficientes de variación, calculadas anteriormente en el cuadro N° 4.37. Además en el siguiente cuadro comparamos los coeficientes de variación obtenidos con un coeficiente de variación máximo, y notamos que los coeficientes de variación obtenidos son menores al coeficiente de variación máximo, por tanto los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión son de buena calidad.

Cuadro N° 5.34 Análisis de resultados de resistencia a la flexión de probetas compactadas con el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.70.

Relación A/C = 0.70					
Nº DÍAS	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variación (%)	Máximo Coeficiente de Variación (%)	Resultado
7	37.78	0.74	1.97	5.70	Aceptable
28	43.49	1.73	3.97	5.70	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de resultados de vigas compactadas por ambos métodos

En el cuadro N° 5.35 hacemos una comparación entre módulos de rotura promedio de vigas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado. Para determinar cuánto varía un promedio del otro se calcula un factor de correlación

F.C (La ecuación 5.3 muestra como calcular el F.C). Para notar mejor el porcentaje de variación entre los dos promedios, podemos ver la columna  $\Delta\%$ , éste es la diferencia del F.C menos el 100%. El cien por ciento se considera al patrón, en este caso al método por apisonado.

Cuadro N° 5.35 Factor de correlación de la resistencia a la flexión, para un concreto de relación agua-cemento 0.70.

A/C = 0.70				
N° DÍAS	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado	F.C (%)	$\Delta\%$
7	37.86	37.78	100.2%	0.2%
28	42.78	43.49	98.4%	-1.6%

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.3.4 Gráficas de Módulo de rotura promedio (Mrp) vs. relación A/C

En las siguientes gráficas que se presentan, hacemos una comparación entre módulos de rotura promedio de vigas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, con respecto a las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Cada gráfica que se presente se hará para una edad determinada del concreto.

##### a. Gráfica para los 7 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.36 tenemos los módulos de rotura promedio de vigas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 7 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de módulo de rotura promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.38.

Cuadro N° 5.36 Cuadro comparativo de módulo de rotura promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.

Tiempo de curado: 7 días		
Relación A/C	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por vibración	Mrp (kg/cm <sup>2</sup> ) Método por apisonado
0.60	47.32	46.30
0.65	43.18	42.37
0.70	37.86	37.78

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.11. En esta figura podemos ver que el módulo de rotura para una edad del concreto de 7 días es

mayor para vigas compactadas por el método por vibración que para probetas compactadas por el método por apisonado.

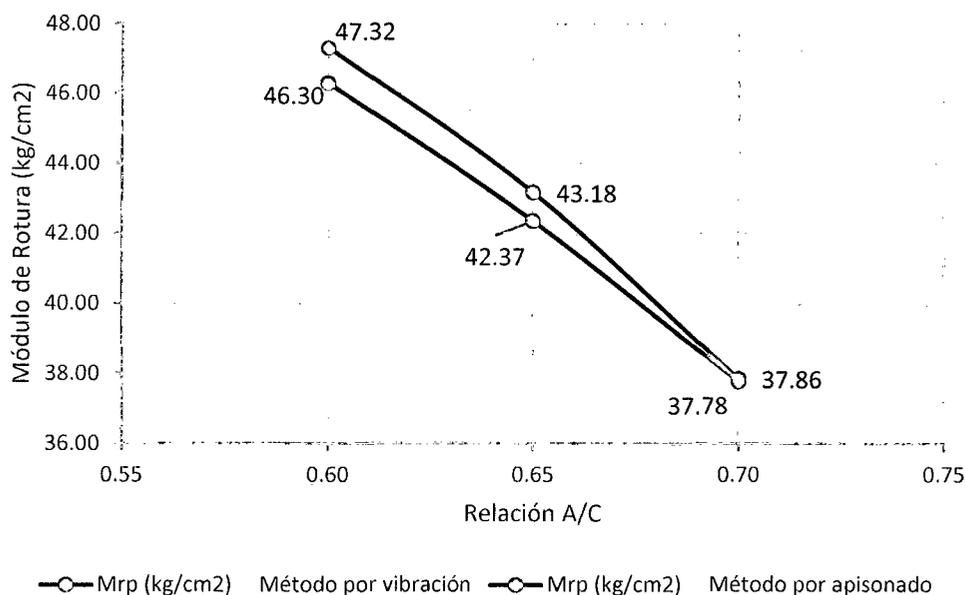


Figura N° 5.11 Gráfica comparativa de resistencia a la flexión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 7 días.

b. Gráfica para los 28 días de edad del concreto

En el cuadro N° 5.37 tenemos los módulos de rotura promedio de vigas compactadas por los métodos: por vibración y por apisonado, para un tiempo de curado del concreto de 28 días y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70. Estos resultados de resistencias a la compresión promedio han sido extraídos del cuadro resumen N° 4.38.

Cuadro N° 5.37 Cuadro comparativo de módulo de rotura promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.

Tiempo de curado: 28 días		
Relación A/C	Mrp (kg/cm²) Método por vibración	Mrp (kg/cm²) Método por apisonado
0.60	51.60	51.93
0.65	46.51	47.37
0.70	42.78	43.49

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro anterior obtenemos la figura N° 5.12. En esta figura podemos ver que el módulo de rotura para una edad del concreto de 28 días es

mayor para vigas compactadas por el método por apisonado que para probetas compactadas por el método por vibración.

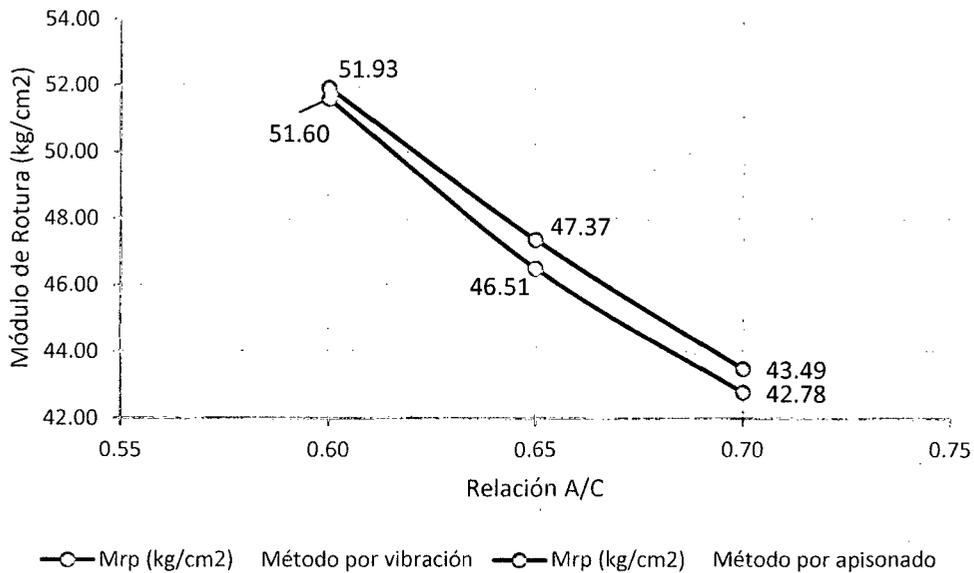


Figura N° 5.12 Gráfica comparativa de resistencia a la flexión promedio con respecto a la relación A/C, para un tiempo de curado del concreto de 28 días.

#### 5.1.4 Análisis estadístico de prueba de hipótesis.

Con los resultados obtenidos de resistencia a la compresión en probetas compactadas por los métodos por apisonado y por vibración se hará un análisis estadístico de prueba de hipótesis para 7 y 28 días de edad del concreto y para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70.

##### 5.1.4.1 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.60

a) Análisis estadístico de prueba de hipótesis a los 7 días de edad del concreto

i) Gráficas de probabilidad

En las figuras (N° 5.13 y N° 5.14) se muestran curvas de probabilidad normal generadas por el programa MINITAB. El patrón lineal de cada gráfica confirma la suposición de que las dos distribuciones de resistencia a la compresión en ambas condiciones son normales.

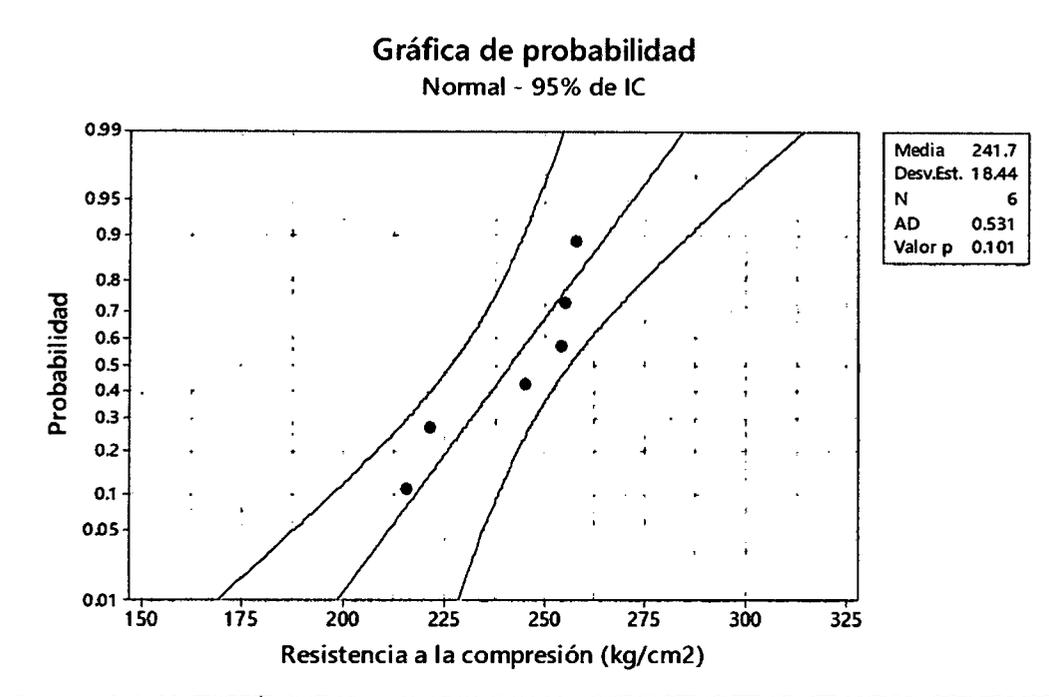


Figura N° 5.13. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60, para 7 días de edad del concreto.

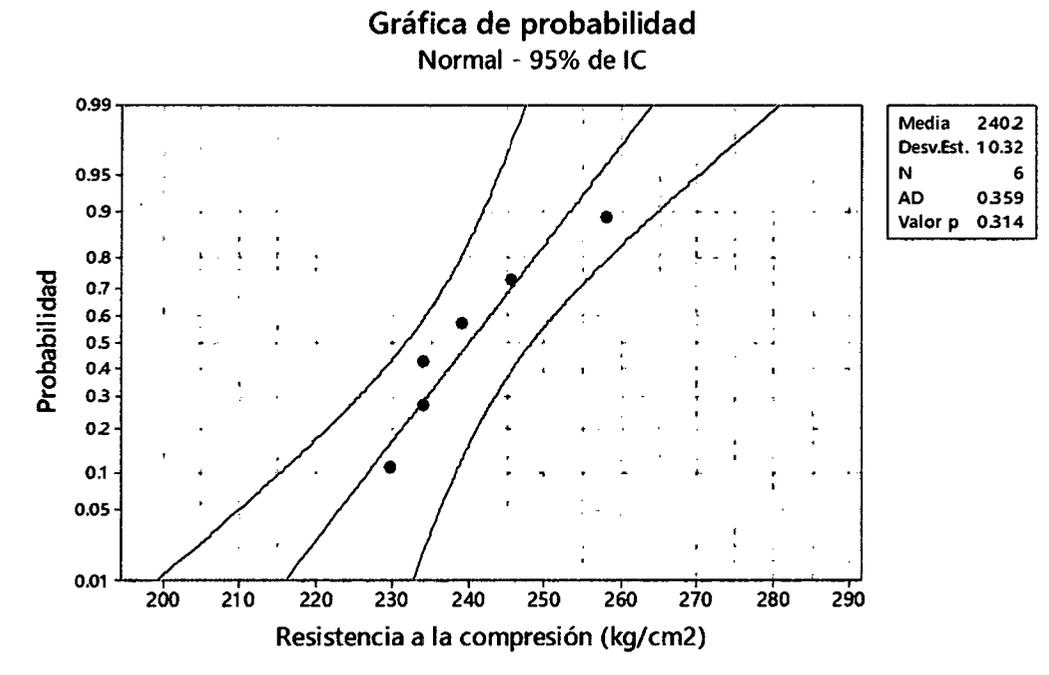


Figura N° 5.14. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.60 para 7 días de edad del concreto.

ii) Sea  $\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración, y  $\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

iii)  $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos).

iv)  $H_a: \mu_v - \mu_a > 0$  (La resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por vibración es mayor que la resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por apisonado).

v) El valor nulo es  $\Delta_0 = 0$ , de modo que el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{x}_v - \bar{x}_a}{\sqrt{\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}}}$$

vi) A continuación se calcula tanto el valor estadístico de prueba como el número de grados de libertad para la prueba:

$$t = \frac{241.69 - 240.16}{\sqrt{\frac{18.44^2}{6} + \frac{10.32^2}{6}}} = 0.18$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_v^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n}\right)^2}{n-1}} = \frac{\left(\frac{18.44^2}{6} + \frac{10.32^2}{6}\right)^2}{\frac{(18.44^2)^2}{5} + \frac{(10.32^2)^2}{5}} = 7.85$$

Así, la prueba se basará en 7 grados de libertad (se redondea el valor de v hacia abajo).

vii) Con los valores de t y v, entramos a la tabla A.8 (anexo A.2) para determinar el P, para lo cual tenemos que interpolar:

0.10-----0.462

0.18----- P

0.20-----0.424, entonces P = 0.432

viii) Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ,  $P > \alpha$ , entonces aceptamos  $H_0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

b) Análisis estadístico de prueba de hipótesis a los 28 días

i) Gráficas de probabilidad

En las figuras (Nº 5.15 y Nº 5.16) se muestran curvas de probabilidad normal generadas por el programa MINITAB. El patrón lineal de cada gráfica confirma la suposición de que las dos distribuciones de resistencia a la compresión en ambas condiciones son normales.

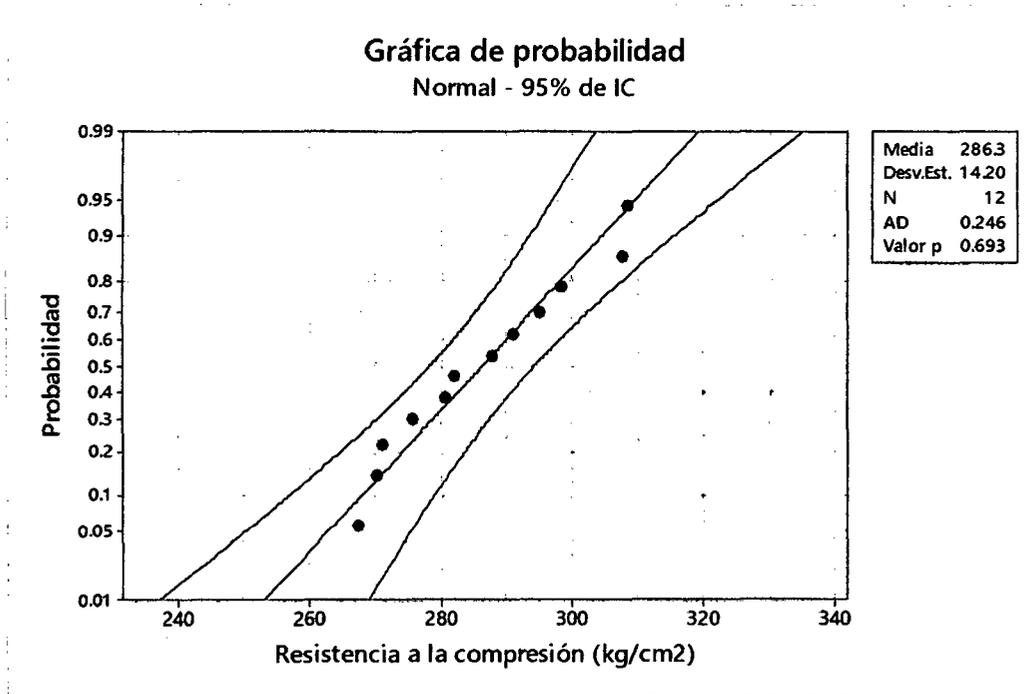


Figura Nº 5.15. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.60 para 28 días de edad del concreto.

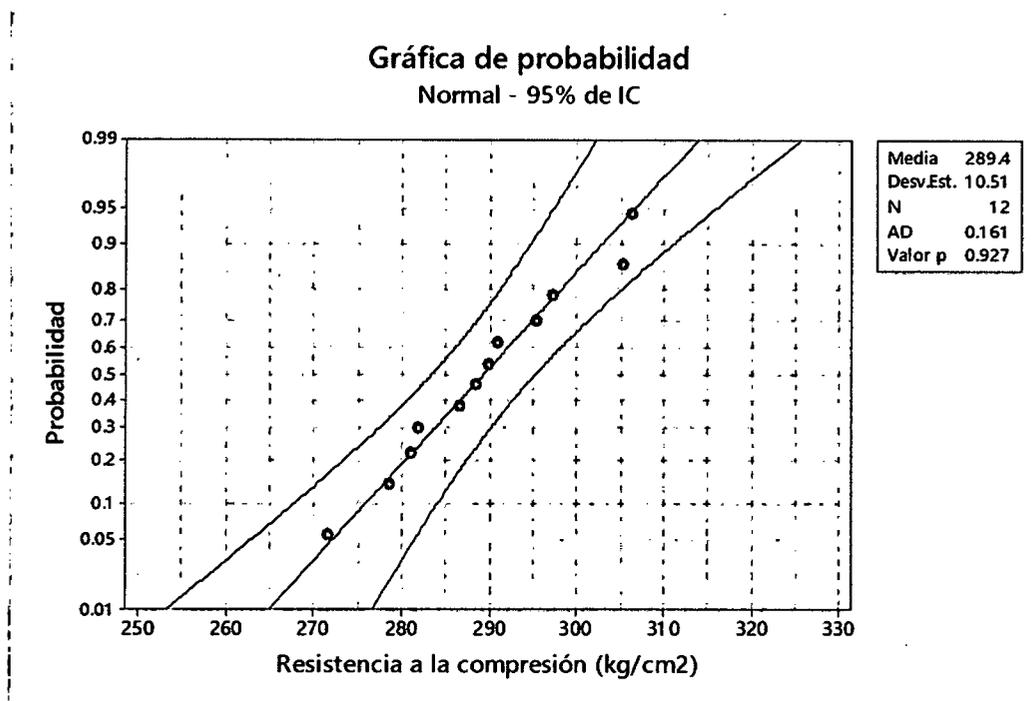


Figura N° 5.16. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.60 para 28 días de edad del concreto.

ii) Sea  $\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración, y  $\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

iii)  $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos).

iv)  $H_a: \mu_v - \mu_a < 0$  (La resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por vibración es menor que la resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por apisonado).

v) El valor nulo es  $\Delta_0 = 0$ , de modo que el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{x}_v - \bar{x}_a}{\sqrt{\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}}}$$

vi) A continuación se calcula tanto el valor estadístico de prueba como el número de grados de libertad para la prueba:

$$t = \frac{286.28 - 289.45}{\sqrt{\frac{14.20^2}{12} + \frac{10.51^2}{9}}} = -0.62$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_v^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n}\right)^2}{n-1}} = \frac{\left(\frac{14.20^2}{9} + \frac{10.51^2}{9}\right)^2}{\frac{\left(\frac{14.20^2}{12}\right)^2}{11} + \frac{\left(\frac{10.51^2}{12}\right)^2}{11}} = 20.27$$

Así, la prueba se basará en 20 grados de libertad (se redondea el valor de v hacia abajo).

vii) Con los valores de t y v, entramos a la tabla A.8 (anexo A.2) para determinar el P, para lo cual tenemos que interpolar:

0.60-----0.278

0.62----- P

0.70-----0.246, entonces P = 0.272

viii) Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ,  $P > \alpha$ , entonces aceptamos  $H_0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

#### 5.1.4.2 Análisis de resultados para un concreto de relación A/C = 0.65

a) Análisis estadístico de prueba de hipótesis a los 7 días

i) Gráficas de probabilidad

En las figuras (Nº 5.17 y Nº 5.18) se muestran curvas de probabilidad normal generadas por el programa MINITAB. El patrón lineal de cada gráfica confirma la suposición de que las dos distribuciones de resistencia a la compresión en ambas condiciones son normales.

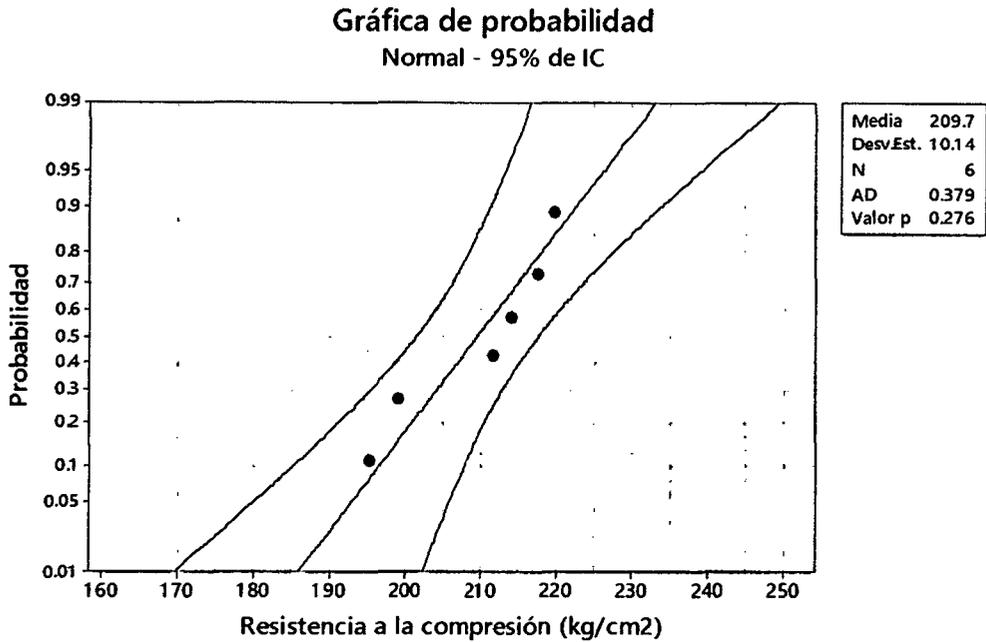


Figura N° 5.17. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.65 para 7 días de edad del concreto.

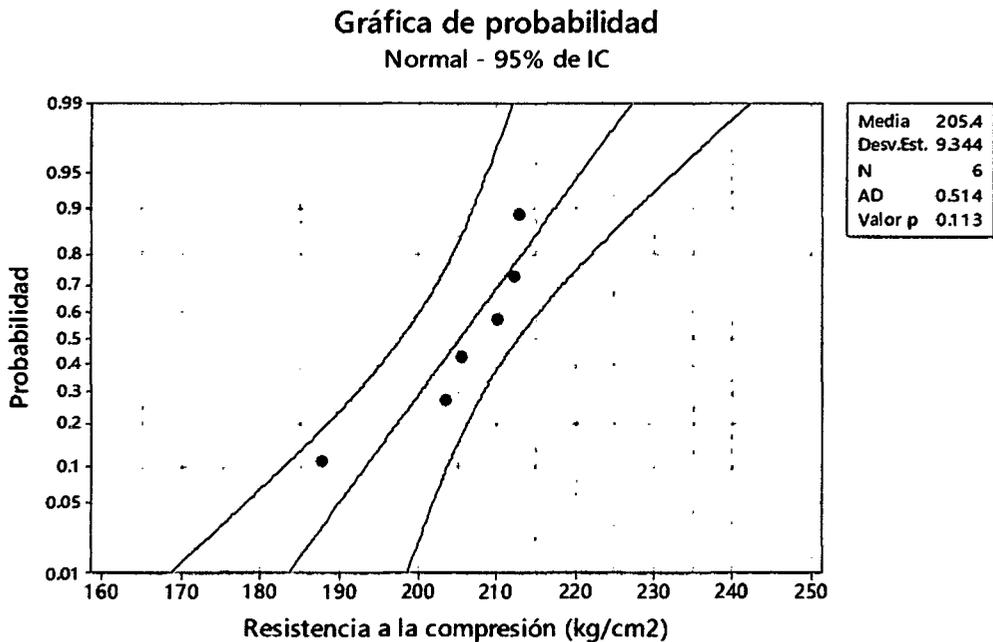


Figura N° 5.18. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.65 para 7 días de edad del concreto.

ii) Sea  $\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración, y  $\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

iii)  $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos).

iv)  $H_a: \mu_v - \mu_a > 0$  (La resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por vibración es mayor que la resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por apisonado).

v) El valor nulo es  $\Delta_0 = 0$ , de modo que el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{x}_v - \bar{x}_a}{\sqrt{\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}}}$$

vi) A continuación se calcula tanto el valor estadístico de prueba como el número de grados de libertad para la prueba:

$$t = \frac{209.69 - 205.41}{\sqrt{\frac{10.14^2}{6} + \frac{9.34^2}{6}}} = 0.76$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_v^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n}\right)^2}{n-1}} = \frac{\left(\frac{10.14^2}{6} + \frac{9.34^2}{6}\right)^2}{\frac{\left(\frac{10.14^2}{6}\right)^2}{5} + \frac{\left(\frac{9.34^2}{6}\right)^2}{5}} = 9.93$$

Así, la prueba se basará en 9 grados de libertad (se redondea el valor de v hacia abajo).

vii) Con los valores de t y v, entramos a la tabla A.8 (anexo A.2) para determinar el P, para lo cual tenemos que interpolar:

0.70-----0.251

0.76----- P

0.80-----0.222, entonces P = 0.234

viii) Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ,  $P > \alpha$ , entonces aceptamos  $H_0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

b) Análisis estadístico de prueba de hipótesis a los 28 días

i) Gráficas de probabilidad

En las figuras (Nº 5.19 y Nº 5.20) se muestran curvas de probabilidad normal generadas por el programa MINITAB. El patrón lineal de cada gráfica confirma la suposición de que las dos distribuciones de resistencia a la compresión en ambas condiciones son normales.

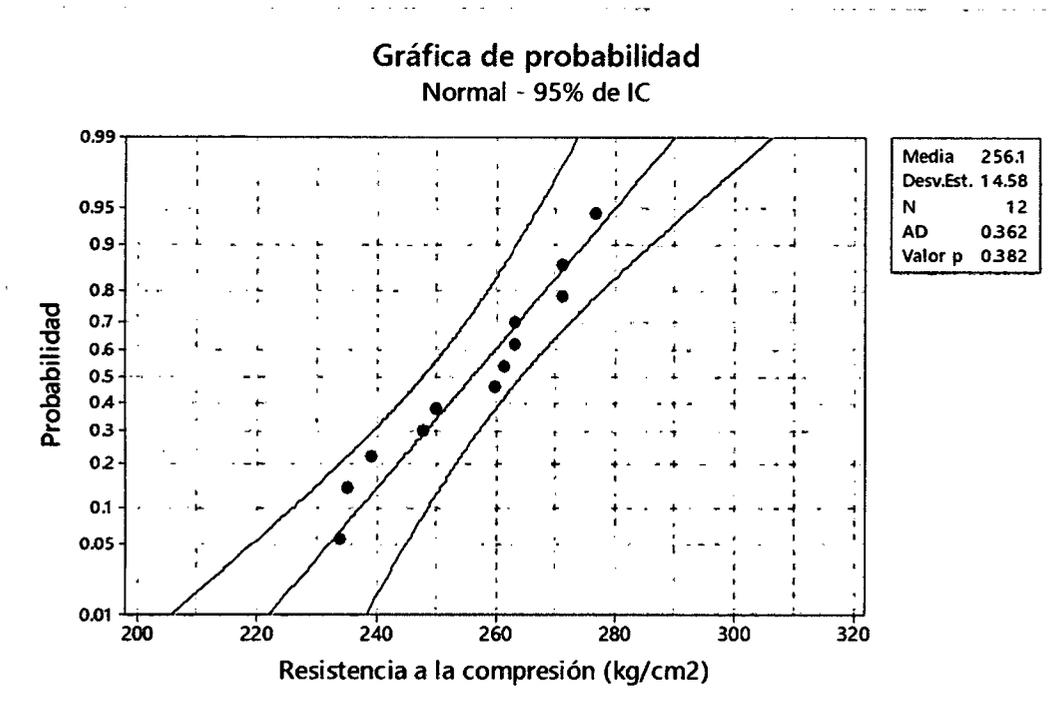


Figura Nº 5.19. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.65 para 28 días de edad del concreto.

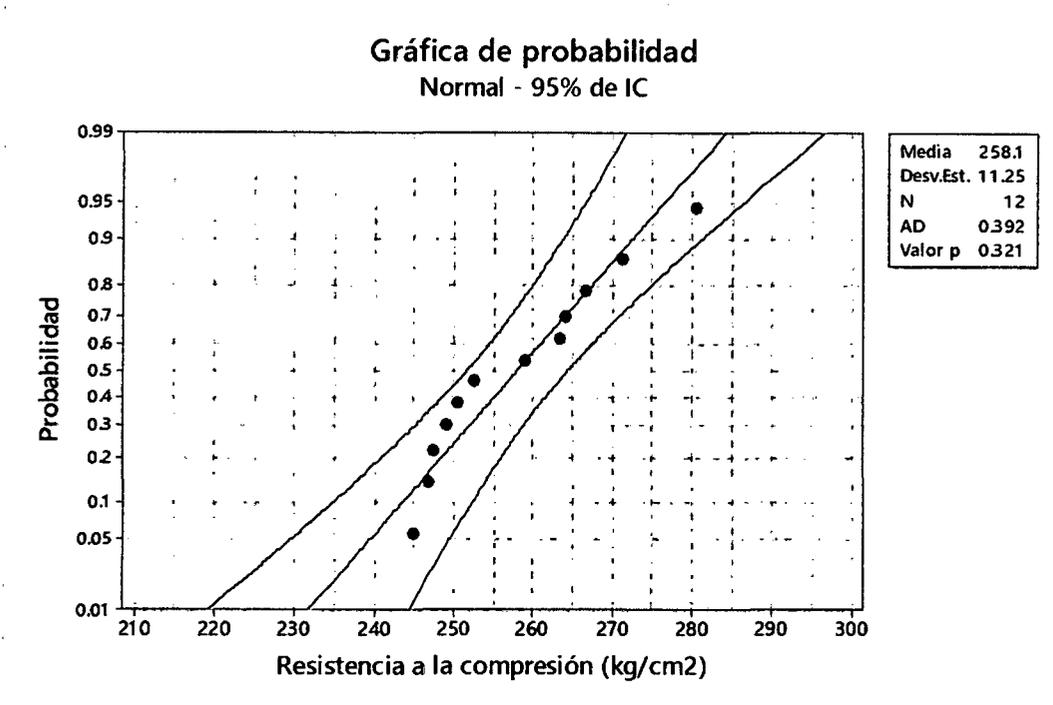


Figura N° 5.20. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.65 para 28 días de edad del concreto.

- ii) Sea  $\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración, y  $\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.
- iii)  $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos).
- iv)  $H_a: \mu_v - \mu_a < 0$  (La resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por vibración es menor que la resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por apisonado).
- v) El valor nulo es  $\Delta_0 = 0$ , de modo que el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{x}_v - \bar{x}_a}{\sqrt{\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}}}$$

- vi) A continuación se calcula tanto el valor estadístico de prueba como el número de grados de libertad para la prueba:

$$t = \frac{256.14 - 258.08}{\sqrt{\frac{14.58^2}{12} + \frac{11.25^2}{12}}} = -0.36$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_v^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n}\right)^2}{n-1}} = \frac{\left(\frac{14.58^2}{12} + \frac{11.25^2}{12}\right)^2}{\frac{\left(\frac{14.58^2}{12}\right)^2}{11} + \frac{\left(\frac{11.25^2}{12}\right)^2}{11}} = 20.67$$

Así, la prueba se basará en 20 grados de libertad (se redondea el valor de  $v$  hacia abajo).

vii) Con los valores de  $t$  y  $v$ , entramos a la tabla A.8 (anexo A.2) para determinar el  $P$ , para lo cual tenemos que interpolar:

0.30-----0.384

0.36-----  $P$

0.40-----0.347, entonces  $P = 0.362$ .

viii) Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ,  $P > \alpha$ , entonces aceptamos  $H_0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

#### 5.1.4.2 Análisis de resultados para un concreto de relación $A/C = 0.70$

a) Análisis estadístico de prueba de hipótesis a los 7 días

i) Gráficas de probabilidad

En las figuras (Nº 5.21 y Nº 5.22) se muestran curvas de probabilidad normal generadas por el programa MINITAB. El patrón lineal de cada gráfica confirma la suposición de que las dos distribuciones de resistencia a la compresión en ambas condiciones son normales.

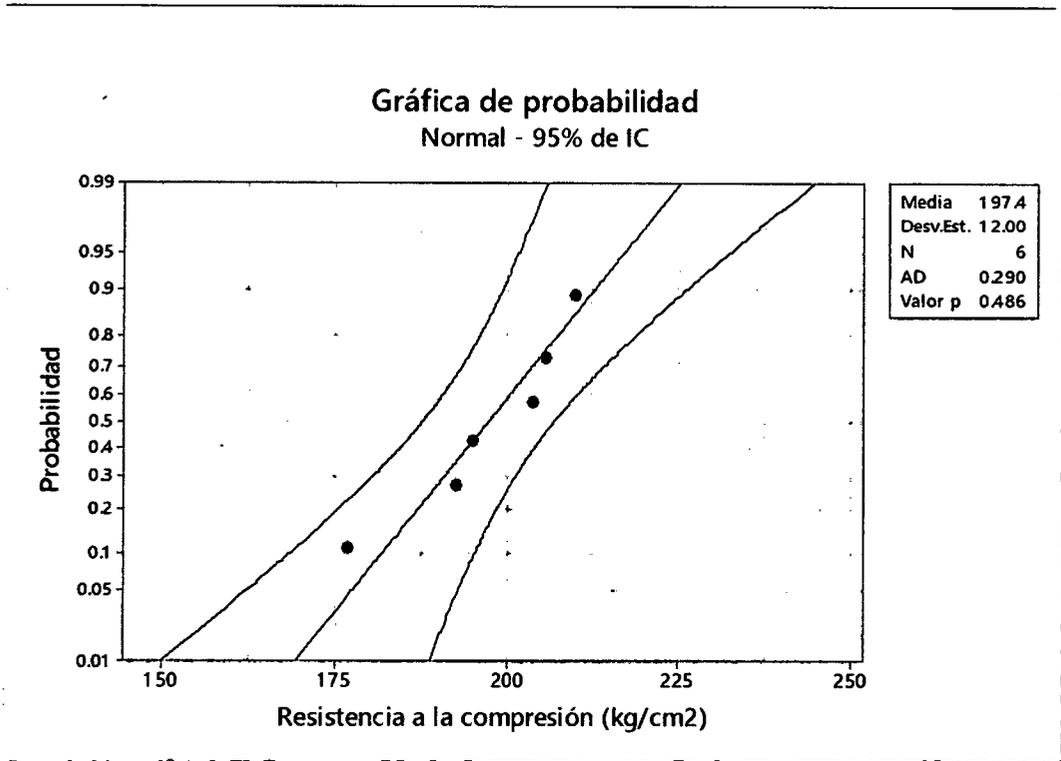


Figura N° 5.21. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.70 para 7 días de edad del concreto.

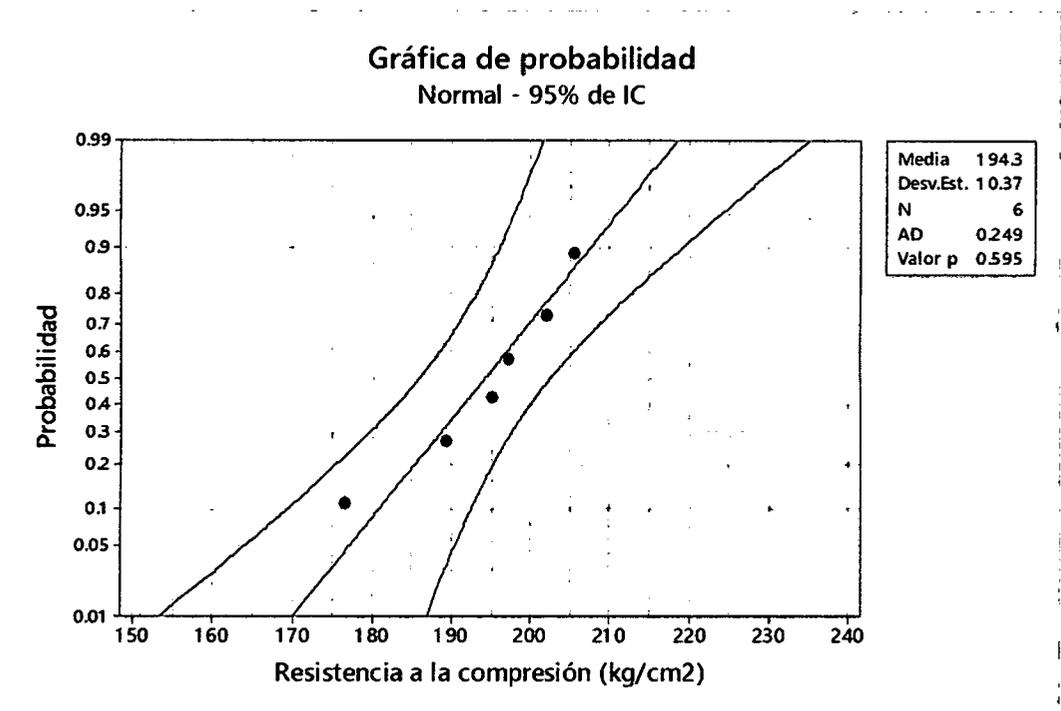


Figura N° 5.22. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.70 para 7 días de edad del concreto.

ii) Sea  $\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración, y  $\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

iii)  $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos).

iv)  $H_a: \mu_v - \mu_a > 0$  (La resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por vibración es mayor que la resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por apisonado).

v) El valor nulo es  $\Delta_0 = 0$ , de modo que el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{x}_v - \bar{x}_a}{\sqrt{\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}}}$$

vi) A continuación se calcula tanto el valor estadístico de prueba como el número de grados de libertad para la prueba:

$$t = \frac{197.40 - 194.29}{\sqrt{\frac{12.00^2}{6} + \frac{10.37^2}{6}}} = 0.48$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_v^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n}\right)^2}{n-1}} = \frac{\left(\frac{12.00^2}{6} + \frac{10.37^2}{6}\right)^2}{\frac{(12.00^2)^2}{5} + \frac{(10.37^2)^2}{5}} = 9.79$$

Así, la prueba se basará en 9 grados de libertad (se redondea el valor de v hacia abajo).

vii) Con los valores de t y v, entramos a la tabla A.8 (anexo A.2) para determinar el P, para lo cual tenemos que interpolar:

0.40-----0.349

0.48----- P

0.50-----0.315, entonces  $P = 0.322$ .

viii) Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ,  $P > \alpha$ , entonces aceptamos  $H_0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

b) Análisis estadístico de prueba de hipótesis a los 28 días

i) Gráficas de probabilidad

En las figuras (Nº 5.23 y Nº 5.24) se muestran curvas de probabilidad normal generadas por el programa MINITAB. El patrón lineal de cada gráfica confirma la suposición de que las dos distribuciones de resistencia a la compresión en ambas condiciones son normales.

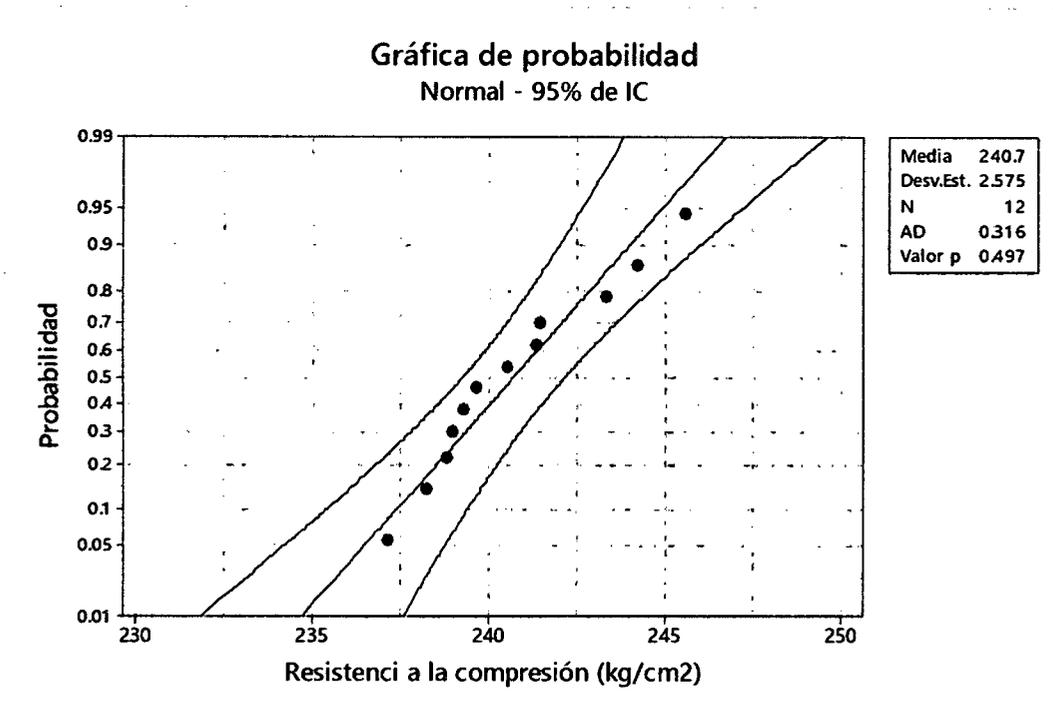


Figura Nº 5.23. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración para un concreto de relación A/C = 0.70 para 28 días de edad del concreto.

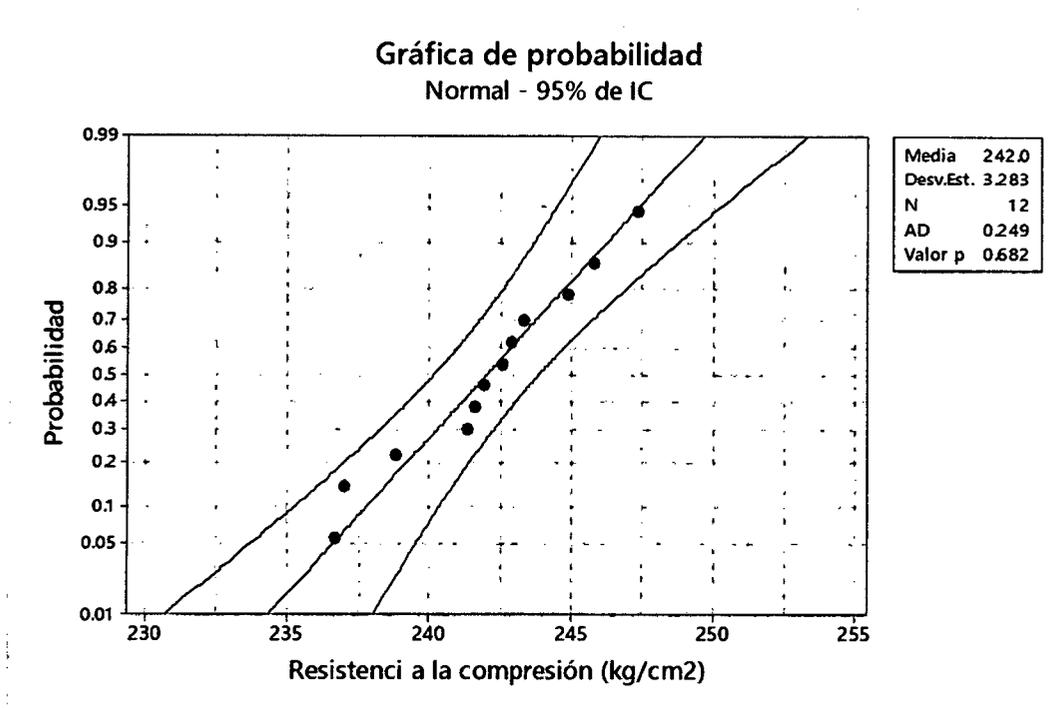


Figura N° 5.24. Gráfica de probabilidad de los resultados de resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado para un concreto de relación A/C = 0.70 para 28 días de edad del concreto.

ii) Sea  $\mu_v$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por vibración, y  $\mu_a$ : promedio de resistencia a la compresión de las probetas compactadas por el método por apisonado.

iii)  $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos).

iv)  $H_a: \mu_v - \mu_a < 0$  (La resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por vibración es menor que la resistencia a la compresión promedio de una probeta compactada por el método por apisonado).

v) El valor nulo es  $\Delta_0 = 0$ , de modo que el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{x}_v - \bar{x}_a}{\sqrt{\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}}}$$

vi) A continuación se calcula tanto el valor estadístico de prueba como el número de grados de libertad para la prueba:

$$t = \frac{240.73 - 242.03}{\sqrt{\frac{2.57^2}{12} + \frac{3.28^2}{12}}} = -1.08$$

$$v = \frac{\left(\frac{S_v^2}{m} + \frac{S_a^2}{n}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_v^2}{m}\right)^2}{m-1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n}\right)^2}{n-1}} = \frac{\left(\frac{2.57^2}{12} + \frac{3.28^2}{12}\right)^2}{\frac{\left(\frac{2.57^2}{12}\right)^2}{11} + \frac{\left(\frac{3.28^2}{12}\right)^2}{11}} = 20.81$$

Así, la prueba se basará en 20 grados de libertad (se redondea el valor de  $v$  hacia abajo).

vii) Con los valores de  $t$  y  $v$ , entramos a la tabla A.8 (anexo A.2) para determinar el  $P$ , para lo cual tenemos que interpolar:

1.00-----0.165

1.08-----  $P$

1.10-----0.142, entonces  $P = 0.147$ .

viii) Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ,  $P > \alpha$ , entonces aceptamos  $H_0$  (Ninguna diferencia en las resistencias a la compresión promedio de probetas compactas con los dos métodos) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

1. La resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración es mayor que por método por apisonado, para 7 días de edad del concreto. Para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 los factores de correlación son 100.6%, 102.1% y 101.6% respectivamente. También para la misma edad del concreto los resultados de resistencia a la compresión diametral y resistencia a la flexión son mayores para los especímenes compactados por el método por vibración que por el método por apisonado.

2. La resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración es mayor que por método por apisonado, para 14 días de edad del concreto. Para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 los factores de correlación son 101.4%, 101.6% y 101.2% respectivamente.

3. La resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por vibración es mayor que por método por apisonado, para 21 días de edad del concreto. Para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 los factores de correlación son 100.3%, 101.1% y 100.4% respectivamente.

4. La resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado es mayor que por método por vibración, para 28 días de edad del concreto. Para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 los factores de correlación son 98.9%, 99.2% y 99.5% respectivamente. También para la misma edad del concreto los resultados de resistencia a la compresión diametral y resistencia a la flexión son mayores para los especímenes compactados por el método por apisonado que por el método por vibración.

5. La resistencia a la compresión de probetas compactadas por el método por apisonado es mayor que por método por vibración, para 45 días de edad del concreto. Para las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 los factores de correlación son 98.7%, 97.4% y 99.2% respectivamente.

7. Para el análisis estadístico de prueba de hipótesis para los 7 y 28 días de edad del concreto, para los concretos de relación agua-cemento 0.60, 0.65 y 0.70, se llegó a la conclusión, que la hipótesis nula ( $H_0: \mu_v - \mu_a = 0$ ) es verdadera, ya que el valor de  $P > \alpha$ , esto quiere decir que no hay ninguna diferencia entre las

resistencias a la compresión promedio de probetas compactadas con los dos métodos utilizados a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

8. Para compactar una probeta, el método de compactación por vibración es más rápido en aproximadamente la mitad del tiempo utilizado con el método por apisonado.

9. Para compactar una probeta con el método por vibración se requiere menor esfuerzo físico que con el método por apisonado.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. El tiempo de vibrado, según la norma ASTM-C31-C31M-08b debe de ser de 5 segundos para nuestro caso, se recomienda que se empiece a contar los 5 segundos una vez que el cabezal se ha sumergido en el concreto una altura estimada por la misma norma.

2. Si el agregado fino está almacenado en bolsas plásticas, cada vez que se haga mezcla de concreto, se debe mezclar todo el agregado que se va a utilizar en el día y calcular su contenido de humedad (%), ya que la humedad del agregado de cada bolsa plástica es diferente, y esto altera el diseño de mezcla y se puede notar cuando se hace el ensayo de asentamiento del concreto.

3. No alertarse, si notamos que la superficie de un espécimen compactado por el método por vibración tiene mayor cantidad de vacíos en su superficie que otro espécimen compactado por el método por apisonado.

4. Verificar la frecuencia de vibración del vibrador de concreto constantemente por lo menos una vez cada bimestre, para verificar que el motor del vibrador de concreto esté funcionando de acuerdo a nuestros requerimientos.

5. Para compactar probetas o vigas, se recomienda el método por vibración cuando se tiene un gran número de especímenes por compactar, ya que este método es más rápido y requiere menor esfuerzo físico.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFIA

American Concrete Institute (ACI), "Guide for Consolidation of Concrete (ACI 309R-05)", 2005, Lima 2005.

American Concrete Institute (ACI), "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)", 2009, Lima 2009.

A. M. Neville y J. J. Brooks. "Tecnología del Concreto", Primera edición, México 1998.

ASTM, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field (ASTM C31/C31M-08b)", 2008, US 2008.

ASTM, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory (ASTM C192/C192M-07)", 2011, US 2011.

ASTM, "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method. (C231/C231M-10)", 2010, US 2010.

ASTM, "Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. (C138/C138M-10b)", 2010, US 2010.

Chuquivilca Lopez Pavel, "Características y comportamiento del concreto utilizando cemento quisquilla", Tesis de grado para obtener el título profesional, FIC-UNI, Lima 2008.

Huarhua Rodríguez Miguel Ángel, "Características de Concretos Elaborados con Aditivo Incorporador de Aire y Cemento Portland Tipo I", Tesis de grado para obtener el título profesional, FIC-UNI, Lima 1995.

INDECOPI, "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017)", 2011, Lima 2011.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N°200) por lavado en agregados. (NTP 400.018)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021)", 2002, Lima 2002.

INDECOPI, "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para exudación del concreto. (NTP 339.077)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. (NTP 339.047)", 2006, Lima 2006.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. (NTP 339.034)", 2013, Lima 2013.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (NTP 339.084)", 2012, Lima 2012.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. (NTP 339.078)", 2012, Lima 2012.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. (NTP 339.082)", 2011, Lima 2011.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035)", 2009, Lima 2009.

INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. (NTP 339.033)", 2009, Lima 2009.

Jay L. Devore. "Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias", Séptima edición, México 2008.

Mejía Sánchez Hebert, "Correlación entre la Relación Agua-Cemento y la Resistencia a la Compresión del Concreto con Cemento Tipo IP Atlas Para

Resistencias Medianas y Bajas”, Tesis de grado para obtener el título profesional, FIC-UNI, Lima 1998.

Palomares Carmona Jaime Paul, “Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango: Superplastificante y cemento portland tipo I”, Tesis de grado para obtener el título profesional, FIC-UNI, Lima 2009.

Ponce Portocarrero Cesar Paulino, “ESTUDIO DEL CONCRETO RECICLADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I”, Tesis de grado para obtener el título profesional, FIC-UNI, Lima 2014.

Yngaroca Jiménez Fernando Luis, “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA, UTILIZANDO RECUBRIMIENTO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS DE COMPRESIÓN EN LAS PROBETAS”, Tesis de grado para obtener el título profesional, FIC-UNI, Lima 2005.

# **ANEXOS**

## ANEXOS

### A.1 DESCRIPCIÓN FOTOGRÁFICA



Foto 1. Almacenamiento de agregados.



Foto 2. Cuarteo del agregado grueso.



Foto 3. Cuarteo del agregado fino.

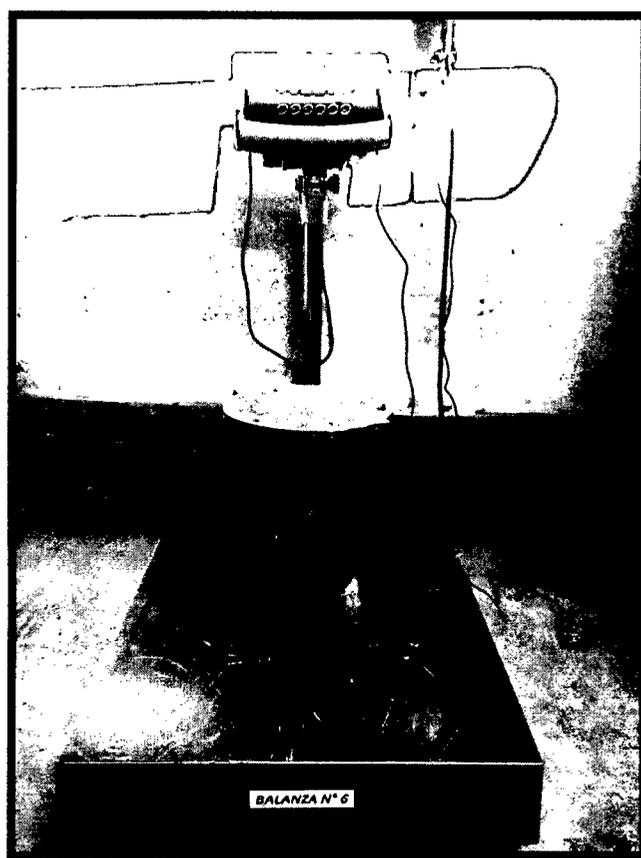


Foto 4. Peso unitario compactado del agregado global.

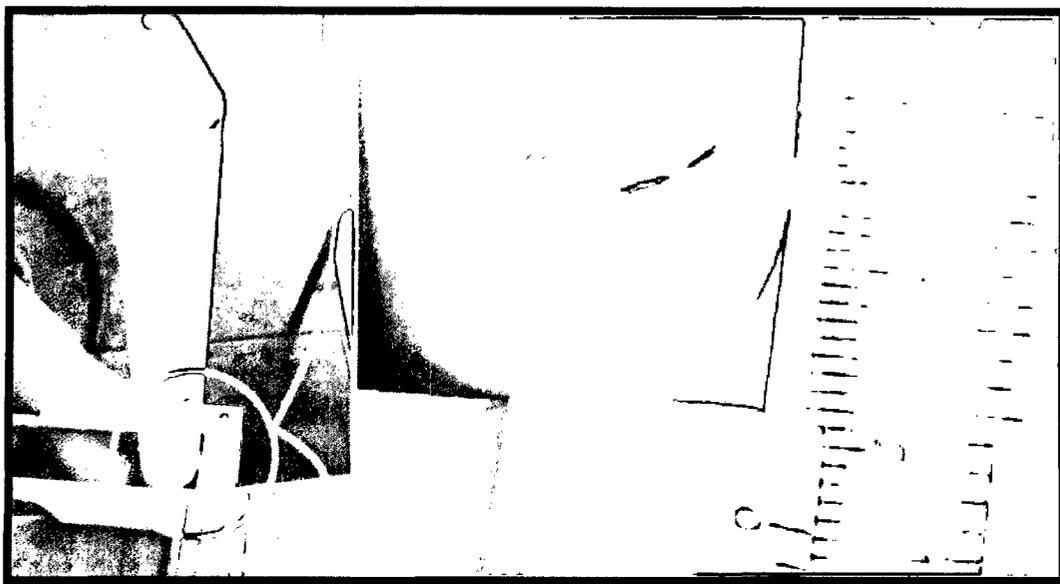


Foto 5. Diámetro del cabezal de la vibradora usada para compactar el concreto.

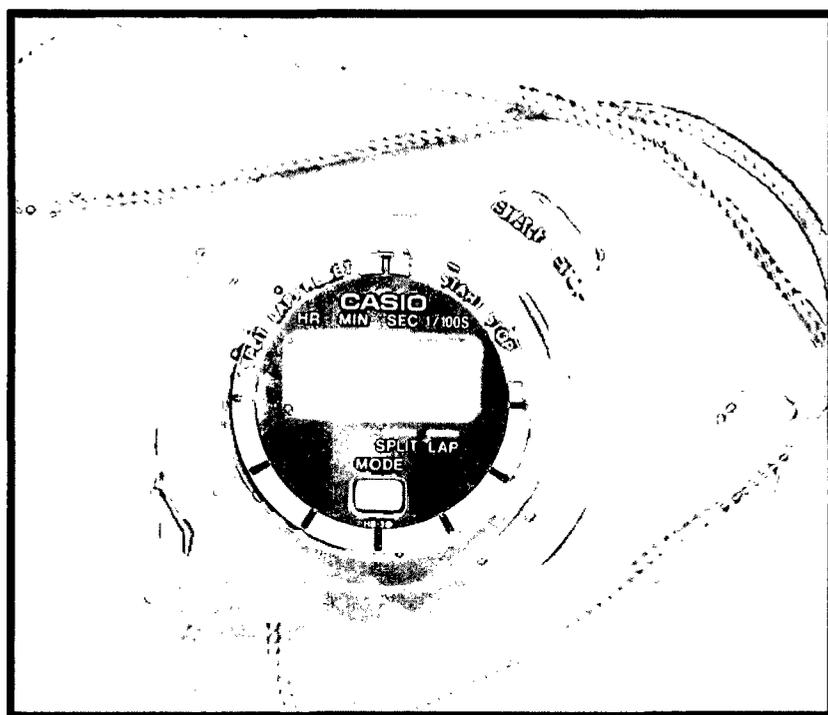


Foto 6. Cronómetro utilizado para medir el tiempo de vibrado.



Foto 7. Comparación de la superficie de dos probetas compactadas por los dos métodos. A la izquierda, probeta compactada por el método por apisonado y a la derecha, probeta compactada por el método por vibración.



Foto 8. Toma de medidas de las probetas.

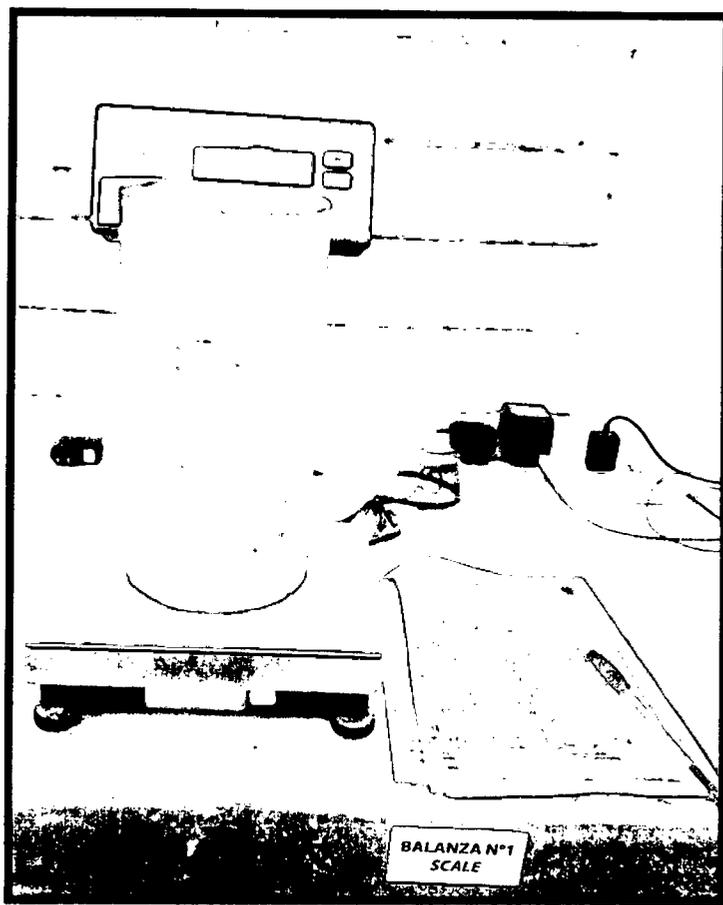


Foto 9. Pesado de probetas.



Foto 10. Medida de la luz entre apoyos, para el ensayo de los especímenes viga.



Foto 11. Toma de medidas de las vigas después del ensayo a flexión.



Foto 12. Ensayo de Porcentaje de Exudación, cantidad de agua exudada.

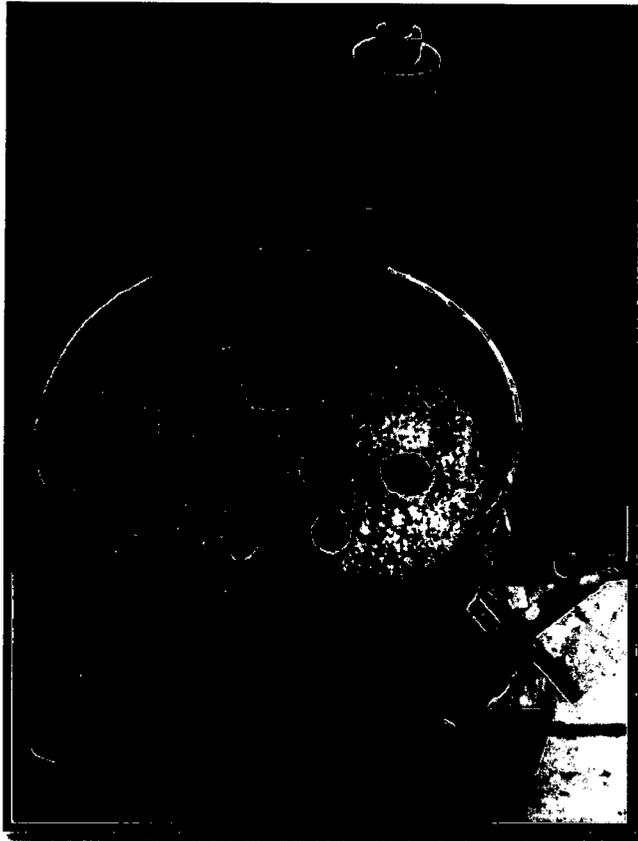


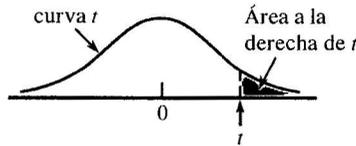
Foto 13. Ensayo de Tiempo de fraguado.

## A.2 DOCUMENTACIÓN

En este ítem se adjunta documentación requerida para la mejor comprensión del estudio de investigación. La secuencia de la documentación adjunta es la siguiente:

- i. Tabla estadística A.8 Curva t para áreas de cola. Con los valores de “t” y “v” entramos a la tabla A.8, para determinar el valor de “P”.
- ii. Informes de Servicio – Monitoreo de Condición, realizados por la empresa TECNIFAJAS S.A. También se adjunta el certificado de calibración del equipo de medición.

**Tabla A.8 Curva t para áreas de cola**



<i>t</i>	<i>v</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0.0		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.1		0.468	0.465	0.463	0.463	0.462	0.462	0.462	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461
0.2		0.437	0.430	0.427	0.426	0.425	0.424	0.424	0.423	0.423	0.423	0.423	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422
0.3		0.407	0.396	0.392	0.390	0.388	0.387	0.386	0.386	0.386	0.385	0.385	0.385	0.384	0.384	0.384	0.384	0.384	0.384
0.4		0.379	0.364	0.358	0.355	0.353	0.352	0.351	0.350	0.349	0.349	0.348	0.348	0.348	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347
0.5		0.352	0.333	0.326	0.322	0.319	0.317	0.316	0.315	0.315	0.314	0.313	0.313	0.313	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312
0.6		0.328	0.305	0.295	0.290	0.287	0.285	0.284	0.283	0.282	0.281	0.280	0.280	0.279	0.279	0.279	0.278	0.278	0.278
0.7		0.306	0.278	0.267	0.261	0.258	0.255	0.253	0.252	0.251	0.250	0.249	0.249	0.248	0.247	0.247	0.247	0.247	0.246
0.8		0.285	0.254	0.241	0.234	0.230	0.227	0.225	0.223	0.222	0.221	0.220	0.220	0.219	0.218	0.218	0.218	0.217	0.217
0.9		0.267	0.232	0.217	0.210	0.205	0.201	0.199	0.197	0.196	0.195	0.194	0.193	0.192	0.191	0.191	0.191	0.190	0.190
1.0		0.250	0.211	0.196	0.187	0.182	0.178	0.175	0.173	0.172	0.170	0.169	0.169	0.168	0.167	0.167	0.166	0.166	0.165
1.1		0.235	0.193	0.176	0.167	0.162	0.157	0.154	0.152	0.150	0.149	0.147	0.146	0.146	0.144	0.144	0.144	0.143	0.143
1.2		0.221	0.177	0.158	0.148	0.142	0.138	0.135	0.132	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.124	0.124	0.124	0.123	0.123
1.3		0.209	0.162	0.142	0.132	0.125	0.121	0.117	0.115	0.113	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107	0.107	0.106	0.105	0.105
1.4		0.197	0.148	0.128	0.117	0.110	0.106	0.102	0.100	0.098	0.096	0.095	0.093	0.092	0.091	0.091	0.090	0.090	0.089
1.5		0.187	0.136	0.115	0.104	0.097	0.092	0.089	0.086	0.084	0.082	0.081	0.080	0.079	0.077	0.077	0.077	0.076	0.075
1.6		0.178	0.125	0.104	0.092	0.085	0.080	0.077	0.074	0.072	0.070	0.069	0.068	0.067	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064
1.7		0.169	0.116	0.094	0.082	0.075	0.070	0.065	0.064	0.062	0.060	0.059	0.057	0.056	0.055	0.055	0.054	0.054	0.053
1.8		0.161	0.107	0.085	0.073	0.066	0.061	0.057	0.055	0.053	0.051	0.050	0.049	0.048	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044
1.9		0.154	0.099	0.077	0.065	0.058	0.053	0.050	0.047	0.045	0.043	0.042	0.041	0.040	0.038	0.038	0.038	0.037	0.037
2.0		0.148	0.092	0.070	0.058	0.051	0.046	0.043	0.040	0.038	0.037	0.035	0.034	0.033	0.032	0.032	0.031	0.031	0.030
2.1		0.141	0.085	0.063	0.052	0.045	0.040	0.037	0.034	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.025	0.025
2.2		0.136	0.079	0.058	0.046	0.040	0.035	0.032	0.029	0.028	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021
2.3		0.131	0.074	0.052	0.041	0.035	0.031	0.027	0.025	0.023	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017
2.4		0.126	0.069	0.048	0.037	0.031	0.027	0.024	0.022	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015	0.015	0.014	0.014	0.014
2.5		0.121	0.065	0.044	0.033	0.027	0.023	0.020	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011
2.6		0.117	0.061	0.040	0.030	0.024	0.020	0.018	0.016	0.014	0.013	0.012	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.009	0.009
2.7		0.113	0.057	0.037	0.027	0.021	0.018	0.015	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007
2.8		0.109	0.054	0.034	0.024	0.019	0.016	0.013	0.012	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006
2.9		0.106	0.051	0.031	0.022	0.017	0.014	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
3.0		0.102	0.048	0.029	0.020	0.015	0.012	0.010	0.009	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
3.1		0.099	0.045	0.027	0.018	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
3.2		0.096	0.043	0.025	0.016	0.012	0.009	0.008	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
3.3		0.094	0.040	0.023	0.015	0.011	0.008	0.007	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3.4		0.091	0.038	0.021	0.014	0.010	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
3.5		0.089	0.036	0.020	0.012	0.009	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
3.6		0.086	0.035	0.018	0.011	0.008	0.006	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3.7		0.084	0.033	0.017	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3.8		0.082	0.031	0.016	0.010	0.006	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3.9		0.080	0.030	0.015	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4.0		0.078	0.029	0.014	0.008	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000

(continúa)





**TECNIFAJAS**

División  
Servicios



N°: 20141216-05

# INFORME DE SERVICIO

## MONITOREO DE CONDICION

**Cliente** : **LAB.DE ENSAYO DE MATERIALES**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Universidad Nacional De Ingeniería**

**Dirigido a** : **Bach. Ricardo Barahona S.**

**Realizado** : **16/12/2014**



**TECNIFAJAS S.A.**

División  
Servicios



Lima, viernes, 20 de febrero de 2015

Señores,

Presente.-

Atención:

**Bachiller Ricardo Barahona Sanchez.**

Referencia:

**Informe del Servicio de Monitoreo de Vibraciones**

De mi mayor estima:

Es grato dirigirme a Ud. con la finalidad de saludarle y presentar el Informe Técnico DE LOS VALORES obtenidos en las pruebas realizadas en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Av. Túpac Amaru s/n Rímac - Lima

Sin otro particular por el momento y agradeciendo su preferencia, quedo de Ud.

Atentamente.

**Cesar Silva Aguilar**  
Jefe de División de Servicios & Ingeniería  
TECNIFAJAS S.A.



**Tec. Jesus Puma Cerón**  
División de Servicios & Ingeniería  
TECNIFAJAS S.A.

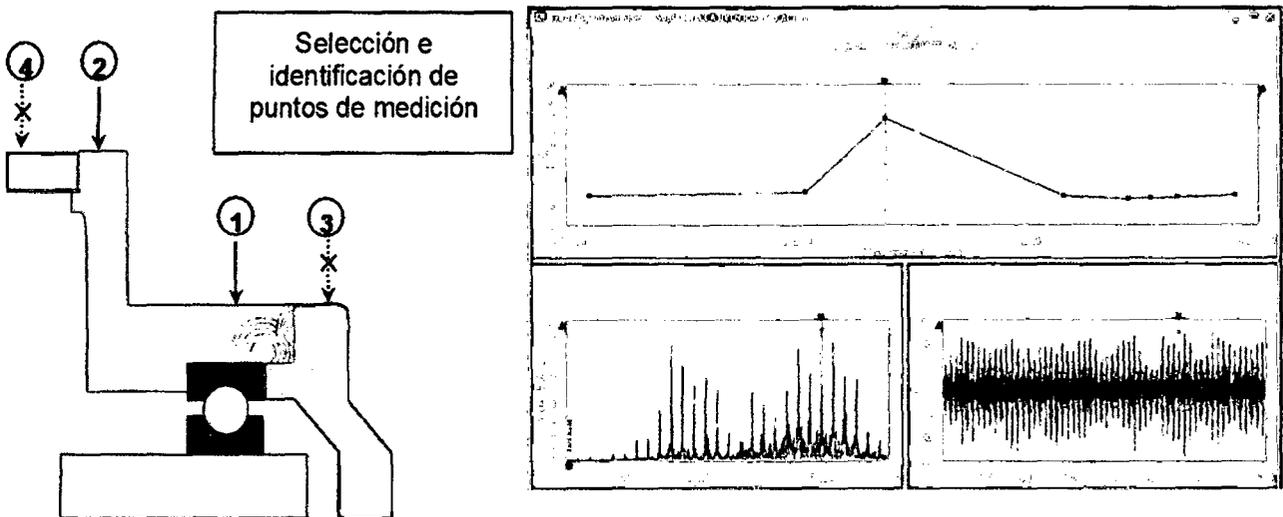
## SERVICIO DE MONITOREO DE CONDICION (Vibraciones)

### 1. Equipo monitoreado

Vibradora de concreto de la marca MINNICH de motor con serie 109-488

### 2. Fundamentos del Procedimiento

- **Análisis de Espectros de Vibraciones:** Debido a que diversas máquinas producen señales de vibración en gamas de frecuencias específicas, los espectros FFT proporcionan información valiosa al momento de determinar la ubicación y causa del problema. La tendencia vibracional, permitirá la evaluación a través del tiempo para establecer los niveles de alerta y alarma respectivos con referencia a la norma ISO 10816-1. Se analiza el espectro FFT mediante la búsqueda de cambios de amplitud en los rangos de interés.
- **Análisis de Fase:** Proporciona una indicación de movimiento con respecto a una referencia conocida, como un eje de rotación en una máquina. Cuando la fase se mide en dos o más ubicaciones en un equipo, el análisis de las relaciones de ángulo de fase entre las mediciones proporcionan una perspectiva valiosa sobre cómo la máquina está vibrando o en movimiento.





### 3. Instrumentación Utilizada

- **Equipo utilizado:** Microlog CMXA 75 marca SKF  
Instrumento portátil para recoger datos de vibración: aceleración, envolvente, velocidad y desplazamiento.

#### Características:

- Permite realizar rutas de colección.
- Análisis de espectros de vibraciones y análisis de fase.
- Balanceo dinámico con accesorio optical phase.

#### Accesorios:

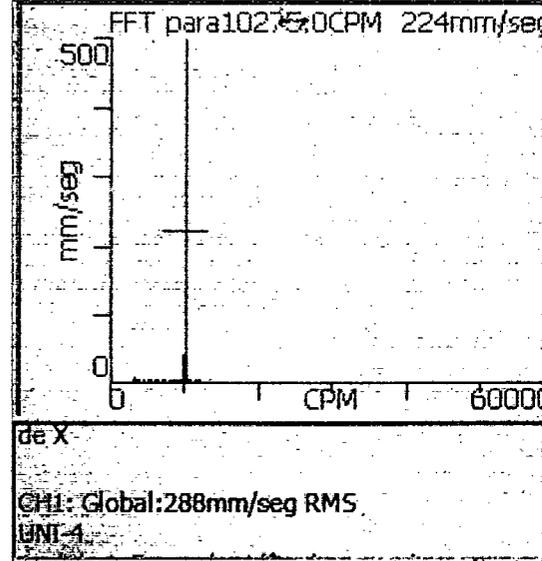
- Tacómetro Optical phase para balanceo dinámico.
- Dos acelerómetros
- Software @ptitude analyst



- **Certificaciones:** El personal técnico a realizar el trabajo cuenta con acreditación internacional del BINDT (British Institute of Non Destructive Test) de Inglaterra.

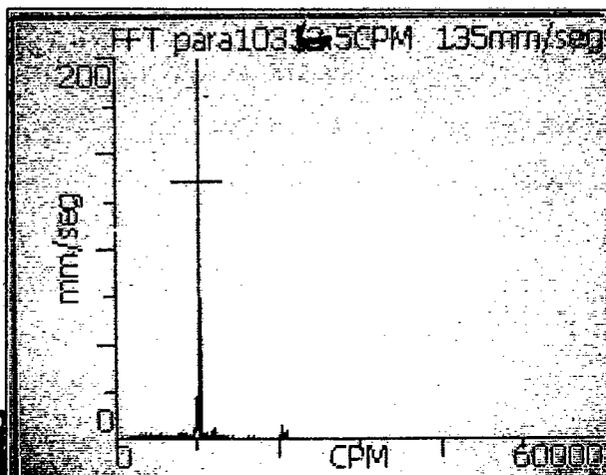
### 4. Valor de vibración y frecuencia durante primer ensayo

Durante la primera parte del monitoreo se colocó el acelerómetro del equipo en la extensión, la particularidad de este primer ensayo es que se dejó al aire el componente al momento de tomar los datos, se registra una amplitud de vibración de 224 mm/s a una frecuencia de 10,275.0 CPM (Ciclos por Minuto o RPM) lo cual lo ubica en una frecuencia en Hertz de 171.25.



**5. Valor de vibración y frecuencia durante Segundo ensayo**

Continuando con el procedimiento de la operación, se sumerge la extensión vibratoria en una mezcla fresca de cemento (12.5 cm) con la cual se vuelve a tomar el dato de vibración para conocer el comportamiento del movimiento mecánico durante la prueba. Se registra una amplitud de 135 mm/s a una frecuencia de 10,313.5 CPM (171.98 Hertz) durante la toma de datos.

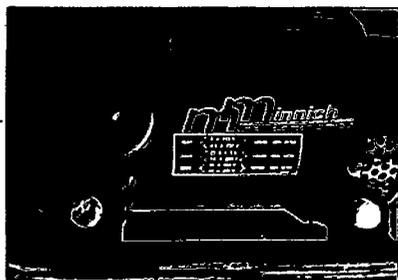


CH1: Global: 239mm/seg RMS  
 UNI-2  
 Arr/Abaj: Zoom de Y (finaliza escala automática para máx)

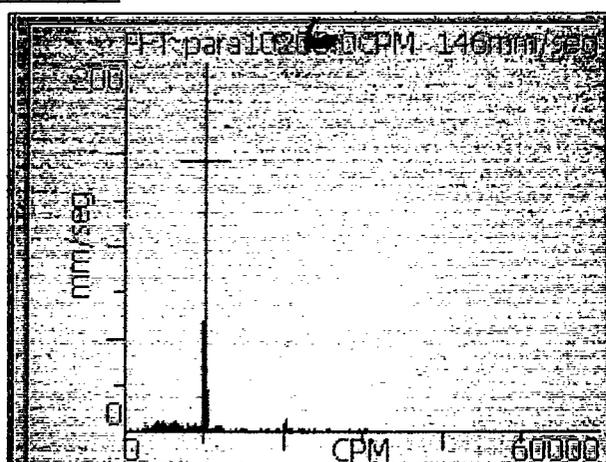
**6. Valor de vibración y frecuencia durante Tercer ensayo**

Posterior a ello se procede a sumergir la extensión vibratoria en otra una mezcla fresca de cemento pero esta vez a 17.5 cm, nuevamente colocamos el acelerómetro en el mismo punto de referencia para conocer los valores del ensayo.

Se registra una amplitud de 146 mm/s a una frecuencia de 10,200.0 CPM (171.98 Hertz) durante la toma de datos.



Equipo Generador De Vibración.



CH1: Global: 245mm/seg RMS  
 UNI-3



**TECNIFAJAS S.A.**

División  
Servicios



Nº: 20150121-01

# INFORME DE SERVICIO

## MONITOREO DE CONDICION

**Cliente** : **LAB.DE ENSAYO DE MATERIALES**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Universidad Nacional De Ingeniería**

**Dirigido a** : **Bach. Ricardo Barahona**

**Realizado** : **21/01/2015**

Lima, viernes, 20 de febrero de 2015

Señores,

Presente.-

Universidad Nacional de Ingeniería.

Atención:

Bachiller Ricardo Barahona Sanchez

Referencia:

Informe del Servicio de Monitoreo de Vibraciones

De mi mayor estima:

Es grato dirigirme a Ud. con la finalidad de saludarle y presentar el Informe Técnico DE LOS VALORES obtenidos en las pruebas realizadas en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Av. Túpac Amaru s/n Rímac - Lima

Sin otro particular por el momento y agradeciendo su preferencia, quedo de Ud.

Atentamente.



Cesar Silva Aguilar  
División de Servicios de Ingeniería  
TECNIFAJAS S.A.



Tec Jesus Puma Cerón  
División de Servicios de Ingeniería  
TECNIFAJAS S.A.

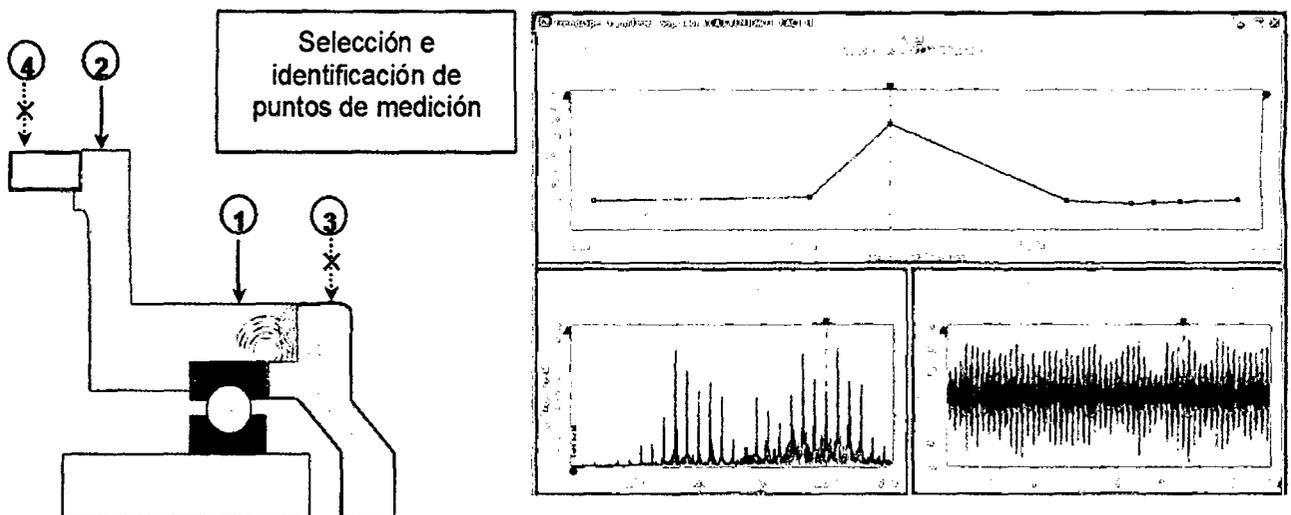
## SERVICIO DE MONITOREO DE CONDICION (Vibraciones)

### 1. Equipo monitoreado

Vibradora de concreto de la marca MINNICH de motor con serie 109-488

### 2. Fundamentos del Procedimiento

- **Análisis de Espectros de Vibraciones:** Debido a que diversas máquinas producen señales de vibración en gamas de frecuencias específicas, los espectros FFT proporcionan información valiosa al momento de determinar la ubicación y causa del problema. La tendencia vibracional, permitirá la evaluación a través del tiempo para establecer los niveles de alerta y alarma respectivos con referencia a la norma ISO 10816-1. Se analiza el espectro FFT mediante la búsqueda de cambios de amplitud en los rangos de interés.
- **Análisis de Fase:** Proporciona una indicación de movimiento con respecto a una referencia conocida, como un eje de rotación en una máquina. Cuando la fase se mide en dos o más ubicaciones en un equipo, el análisis de las relaciones de ángulo de fase entre las mediciones proporcionan una perspectiva valiosa sobre cómo la máquina está vibrando o en movimiento.



### 3. Instrumentación Utilizada

- **Equipo utilizado:** Microlog CMXA 75 marca SKF

Instrumento portátil para recoger datos de vibración: aceleración, envolvente, velocidad y desplazamiento.

#### Características:

- Permite realizar rutas de colección.
- Análisis de espectros de vibraciones y análisis de fase.
- Balanceo dinámico con accesorio optical phase.

#### Accesorios:

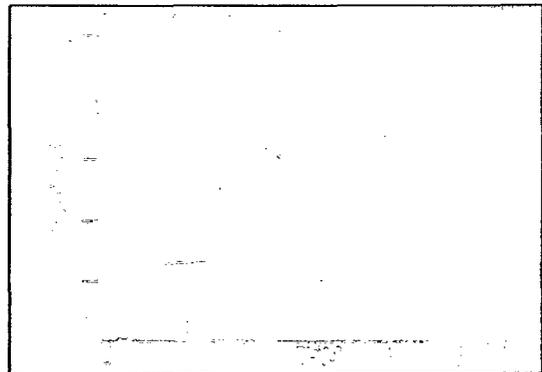
- Tacómetro Optical phase para balanceo dinámico.
- Dos acelerómetros
- Software @ptitude analyst



- **Certificaciones:** El personal técnico a realizar el trabajo cuenta con acreditación internacional del BINDT (British Institute of Non Destructive Test) de Inglaterra.

### 4. Valor de vibración y frecuencia durante primer ensayo

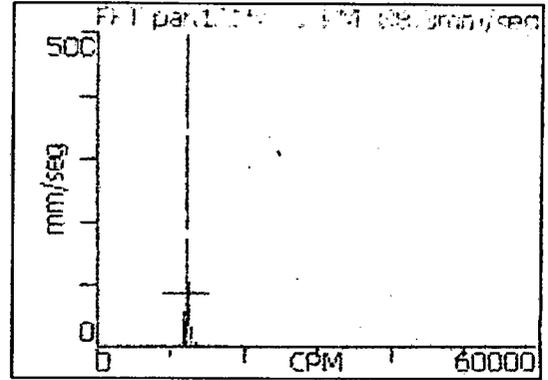
Durante la primera parte del monitoreo se colocó el acelerómetro del equipo en la extensión, la particularidad de este primer ensayo es que se dejó al aire el componente al momento de tomar los datos, se registra una amplitud de vibración de 131 mm/s a una frecuencia de 11,812.5 CPM (Ciclos por Minuto o RPM) lo cual lo ubica en una frecuencia en Hertz de 196.88.



**5. Valor de vibración y frecuencia durante Segundo ensayo**

Continuando con el procedimiento de la operación, se sumerge la extensión vibratoria en una mezcla fresca de cemento (12.5 cm) con la cual se vuelve a tomar el dato de vibración para conocer el comportamiento del movimiento mecánico durante la prueba.

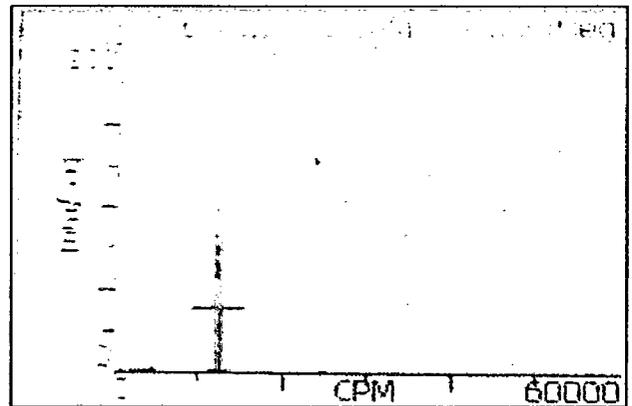
Se registra una amplitud de 88.3 mm/s a una frecuencia de 12,150.0 CPM (202.5 Hertz) durante la toma de datos.



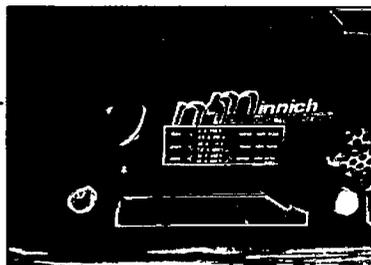
**6. Valor de vibración y frecuencia durante Tercer ensayo**

Posterior a ello se procede a sumergir la extensión vibratoria en otra una mezcla fresca de cemento pero esta vez a 17.5 cm, nuevamente colocamos el acelerómetro en el mismo punto de referencia para conocer los valores del ensayo.

Se registra una amplitud de 39.1 mm/s a una frecuencia de 12,675.0 CPM (211.25 Hertz) durante la toma de datos.



Equipo Generador De Vibración.







## Verification / Calibration Record

Customer Name:  Date:

Location:  Department:

Equipment Name:  Manufacturer:

Model Number:  Serial Number:

### Calibration Information

Interval (in days):  30  60  90  180  360

Procedure Number:

Type:  NIST Only  NBS Mil-Std  ISO 10012-1

Date Calibrated:

Next Calibration Date:

Calibrated By:

### Reason for Service

Calibration Due  Inoperative  Other:

### Condition Received

Operative  Inoperative  Damaged

Relative Humidity %:  Temperature F:

### Calibration Equipment (List all standards and equipment used)

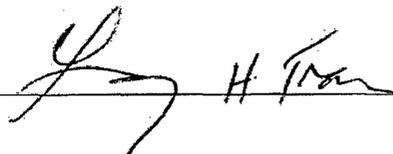
Asset No. / Equipment Name	Last Calibration Date	Calibration Due Date
TE1004 / Function Generator	Feb 13, 2014	Feb 13, 2015
TE3028 / Universal Counter	Feb 13, 2014	Feb 13, 2015
TXP681 / Fluke True RMS Meter	Dec 3, 2013	Dec 3, 2014



### Calibration Data

Parameter Measured	Source Applied	As Found Reading	Tolerance	Adjustment Required	Final Reading	Service required to restore calibration
Unity Gain	1.00 Vrms	1.42	1.35-1.47	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	1.42	
HP Filter	1.00 Vrms	0.91	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	0.91	
LP Filter	1.00 Vrms	0.9	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	0.9	
LP Filter 0-200HZ	1.00 Vrms	0.86	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	0.86	
LP Filter 0-2KHZ	1.00 Vrms	0.87	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	0.87	
LP Filter 0-20KHZ	1.00 Vrms	0.93	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	0.93	
HFD RMS	1.00 Vrms	0.91	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	0.91	
HFD Peak	1.00 Vrms	1.06	$\geq .707V$	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	1.06	
Single Integration	100 mVrms	1	.95-1.05	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	1	
Double Integration	100 mVrms	1	.95-1.05	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	1	
Low DC Volt	-10 VDC	9.95	-9.5/-10.5	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	- 9.95	
High DC Volt	10 VDC	9.95	9.5-10.5	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	9.95	
Transducer	1 IPS@80HZ	1	0.92-1.08	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	1	

Bich Le 3/26/2014



Calibration Tech Signature:

Reviewed by: