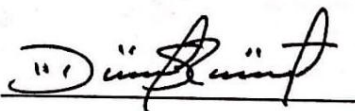


**PROYECTO DE GRADO  
EVALUACIÓN DE PANELES DE MORTERO ALIGERADOS CON  
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) MEDIANTE ENSAYOS A COMPRESIÓN Y  
FLEXION**

**MARY ALEXANDRA GONZALEZ BARRERA ID 000280383  
ALEJANDRO FONSECA CACERES ID 000229675**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero(a) Civil

Director de proyecto:  
**LUDWING PEREZ BUSTOS**  
MSc. Ingeriero Civil

VISTO BUENO DIRECTOR: 

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
SECCIONAL BUCARAMANGA – SANTANDER**

**2019**

**PROYECTO DE GRADO**  
**EVALUACIÓN DE PANELES DE MORTERO ALIGERADOS CON**  
**POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) MEDIANTE ENSAYOS A COMPRESIÓN Y**  
**FLEXION**

**MARY ALEXANDRA GONZALEZ BARRERA ID 000280383**  
**ALEJANDRO FONSECA CACERES ID 000229675**

**DIRECTOR DE PROYECTO**  
**MSc. Ing. LUDWING PEREZ BUSTOS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**BUCARAMANGA – SANTANDER**

**2019**

## *Dedicatoria*

*Este proyecto de grado está dedicado primeramente a Dios por permitirnos obtener este logro, a nuestros padres los cuales depositaron en nosotros toda su confianza y apoyo ya que con eso han contribuido a que todo este proceso se hiciera realidad, a nuestro director de proyecto el Ing. Ludwing Perez Bustos por estar siempre presente brindándonos todo su apoyo y conocimiento. A nuestros demás familiares, compañeros y amigos por todo el apoyo brindado directa e indirectamente.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al MSc Ing. Ludwing Perez Bustos por el acompañamiento e ideas aportadas durante todas las etapas del proyecto de grado.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirnos aprovechar tanto los recursos humanos como la planta física de la misma.

A Johanna Díaz Osorio y María Paula González por el tiempo, apoyo y amistad brindados.

A Don Ramiro, laboratorista por ofrecer su servicio y disposición aportados durante el proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	18
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
3	JUSTIFICACIÓN .....	22
4	OBJETIVOS .....	23
4.1	OBJETIVO GENERAL .....	23
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
5	MARCO TEÓRICO.....	24
5.1	MORTERO.....	24
5.2	POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	25
5.2.1.	Proceso de transformación del poliestireno expandido .....	26
5.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	27
5.3.1	Medidas de tendencia.....	27
5.3.2	Medidas de variación.....	28
5.3.3	Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	29
5.3.4	Teorema de Chebyshev .....	29
5.3.5	Análisis de la varianza (ANOVA) .....	30
6	ESTADO DEL ARTE .....	32
7	METODOLOGÍA.....	45
8	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLA .....	47
8.1	Análisis granulométrico del agregado fino.....	47
8.2	Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.....	48
8.3	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.....	51
8.4	Densidad del cemento hidráulico. ....	53
8.5	Diseño de mezcla.....	55
8.6	Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Mesa de Flujo). ....	61
8.7	Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. ....	64
8.8	Resistencia a la flexión del concreto Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz. ....	67
8.9	Absorción del mortero. ....	68
8.10	Perdida de humedad del mortero. ....	70

9	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	72
9.1	Resultados y análisis cubos a compresión.....	72
9.1.1	Cubos 40% de reemplazo de arena en 7 días de curado .....	73
9.1.2	Cubos 40% de reemplazo de arena en 28 días de curado .....	76
9.1.3	Cubos 40% de reemplazo de arena en 14 días de curado .....	78
9.1.4	Resumen resultados de cubos filtrados a los 7 días de curado .....	80
9.1.5	Resumen resultados filtrados a los 14 días de curado.....	81
9.1.6	Resumen resultados filtrados a los 28 días de curado.....	82
9.2	Resultados paneles de 15cmx45cm sometidos a flexión .....	83
9.2.1	Paneles de Control ensayados a los 28 días de edad .....	83
9.2.2	Paneles de 40% reemplazo de arena, ensayados a los 28 días de edad	86
9.2.3	Resumen resultados filtrados Módulo de Rotura Paneles a los 28 días de curado .....	89
9.3	Resultados paneles ensayados a compresión .....	90
9.3.1	Paneles de control ensayados a 28 días de curado.....	90
9.3.2	Paneles de 40% reemplazo ensayados a 28 días de curado.....	92
9.4	Análisis de varianza (ANNOVA) .....	94
9.4.1	Análisis de varianza en cubos .....	94
9.4.2	Análisis de varianza en paneles de 15cmx45cm.....	95
9.4.3	Análisis de varianza en paneles de 14,5cmx14,5cm.....	95
9.5	Análisis económico. ....	129
10	CONCLUSIONES.....	97
11	RECOMENDACIONES.....	99
12	REFERENCIAS .....	100
13	ANEXO A .....	102
14	ANEXO B .....	127
15	ANEXO C .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## TABLA DE ECUACIONES

(1) Media.....	28
(2) Desviación estándar .....	29
(3) Módulo de finura .....	48
(4) Volumen interno del molde .....	49
(5) Masa unitaria .....	50
(6) Densidad relativa (gravedad específica) SH .....	52
(7) Densidad relativa (gravedad específica)SSS .....	52
(8) Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) .....	52
(9) Absorción.....	52
(10) Volumen desplazado .....	54
(11) Densidad cemento.....	54
(12) Resistencia del mortero .....	56
(13) Contenido de agua .....	57
(14) Volumen arena .....	58
(15) Peso de la arena.....	58
(16) Porcentaje de fluidez .....	59
(17) Contenido de cemento.....	60
(18) Volumen arena .....	61
(19) Peso de la arena.....	61
(20) Resistencia a la compresión .....	64

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema de transformación del poliestireno expandido EPS [4].....	27
Ilustración 2: Ejemplo de aplicación de ANOVA en Minitab .....	30
Ilustración 3: Ejemplo de aplicación de ANOVA en Excel .....	31
Ilustración 4: Serie de tamices.....	47
Ilustración 5: Masa unitaria suelta.....	49
Ilustración 6: Masa unitaria compacta .....	49
Ilustración 7: Nivelado del molde .....	50
Ilustración 8: Secado de la arena.....	52
Ilustración 9: Vertido de la arena en el picnómetro .....	52
Ilustración 10: Picnómetro con la muestra de arena y agua .....	53
Ilustración 11: Frasco de Le Chatelier .....	54
Ilustración 12: Especificaciones poliestireno expandido .....	55
Ilustración 13: Mesa de flujo [21].....	61
Ilustración 14: Fluidez control .....	63
Ilustración 15: Fluidez 30% reemplazo.....	63
Ilustración 16: Fluidez 40% reemplazo.....	63
Ilustración 17: Fluidez 50% reemplazo.....	63
Ilustración 18: Fluidez plus.....	63
Ilustración 19: Compactación de los cubos [20].....	64
Ilustración 20: Engrasado de formaletas.....	65
Ilustración 21: Mezclado de materiales .....	65
Ilustración 22: Fluidez de la mezcla.....	65
Ilustración 23: Diseño y fraguado de especímenes.....	66
Ilustración 24: Curado de especímenes.....	66
Ilustración 25: Especímenes ensayados a compresión .....	66
Ilustración 26: Mezcla y panel 40% reemplazo arena .....	67
Ilustración 27: Mezcla y panel 40% reemplazo mezcla.....	67
Ilustración 28: Corte de los paneles.....	68
Ilustración 29: Espécimen listo para ensayo a flexión.....	68
Ilustración 30: Cubos dentro del vaso de precipitado con agua .....	69
Ilustración 31: Cubos expuestos al ambiente.....	70





## TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Metodología .....	46
Gráfica 2: Curva granulométrica .....	48
Gráfica 3: Relación agua/cemento [2] .....	57
Gráfica 4: Contenido de cemento para fluidez 102% a 113% [2].....	57
Gráfica 5: Absorción en cubos de mortero de 5cm x 5cm x 5cm .....	70
Gráfica 6: Pérdida de humedad en cubos de 5cm x 5cm x 5cm.....	71
Gráfica 7: Estadística resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 7 días de curado.....	73
Gráfica 8: Estadística peso cubos 40% reemplazo de arena en 7 días de curado	74
Gráfica 9: Probabilidad 40% reemplazo 7 días (Resistencia (Mpa)) .....	74
Gráfica 10: Probabilidad 40% reemplazo 7 días (Peso (gr)).....	75
Gráfica 11: Resultados resistencia filtrados cubos de 40% reemplazo en 7 días de curado.....	75
Gráfica 12: Estadística Resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 28 días de curado.....	76
Gráfica 13: Estadística Peso cubos 40% reemplazo de arena en 28 días de curado .....	76
Gráfica 14: Probabilidad 40% reemplazo 28 días (Resistencia (Mpa)) .....	77
Gráfica 15: Probabilidad 40% reemplazo 28 días (Peso (gr)) .....	77
Gráfica 16: Resultados filtrados cubos de 40% reemplazo en 28 días .....	77
Gráfica 17: Estadística resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 14 días de curado.....	78
Gráfica 18: Estadística peso cubos 40% reemplazo de arena en 14 días de curado .....	78
Gráfica 19: Probabilidad 40% reemplazo 14 días (Resistencia (Mpa)) .....	79
Gráfica 20: Probabilidad 40% reemplazo 14 días (Peso (gr)) .....	79
Gráfica 21: Resultados resistencia filtrados cubos de 40% reemplazo en 14 días de curado.....	79
Gráfica 22: Resumen de datos resistencia cubos filtrados a los 7 días de curado .....	80
Gráfica 23: Resumen de datos resistencia cubos filtrados a los 14 días de curado .....	81
Gráfica 24: Resumen de datos resistencia cubos filtrados a los 28 días de curado .....	82
Gráfica 25: Estadística resistencia paneles de Control 28 días de curado .....	84
Gráfica 26: Estadística Resistencia Paneles de Control 28 días de curado.....	84
Gráfica 27: Probabilidad Paneles de Control a los 28 días de edad (Módulo de Rotura (Kpa)) .....	84
Gráfica 28: Probabilidad Paneles de Control a los 28 días de curado (Peso).....	85
Gráfica 29: Resultados Filtrados Paneles de Control con 28 días de curado .....	85

Gráfica 30: Estadística módulo de rotura Paneles con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado .....	86
Gráfica 31: Estadística Paneles con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado (Peso).....	87
Gráfica 32: Probabilidad Paneles 40% reemplazo arena por EPS a los 28 días de edad (Módulo de Rotura (Kpa)).....	87
Gráfica 33: Probabilidad Paneles 40% reemplazo arena por EPS a los 28 días de edad (Peso) .....	87
Gráfica 34: Resultados módulo de rotura Filtrados Paneles de 40% reemplazo arena por EPS con 28 días de curado .....	88
Gráfica 35: Resumen Resultados Resistencia Filtrados Paneles con 28 días de curado.....	89
Gráfica 36: Estadística resistencia compresión Paneles control a 28 días de curado.....	90
Gráfica 37: Estadística peso Paneles 14.5cmx14.5cm con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado .....	91
Gráfica 38: Probabilidad resistencia compresión Paneles control a los 28 días de curado.....	91
Gráfica 39: Probabilidad peso Paneles 14.5cmx14.5cm control a los 28 días de curado.....	91
Gráfica 40: Resultados Filtrados Paneles de Control de 14.5cm x 14.5cm con 28 días de curado .....	92
Gráfica 41: Estadística resistencia a compresión Paneles con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado .....	92
Gráfica 42: Estadística peso Paneles de 14.5cm x 14.5cm con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado .....	93
Gráfica 43: Probabilidad resistencia compresión Paneles de 40% de reemplazo arena a los 28 días de curado.....	93
Gráfica 44: Probabilidad peso Paneles de 14.5cm x 14.5cm con 40% de reemplazo arena a los 28 días de curado .....	93
Gráfica 45: Resultados Filtrados compresión Paneles de 40% reemplazo arena de 14.5cm x 14.5cm con 28 días de curado.....	94
Gráfica 46: Estadística resistencia cubos de control en 7 días de curado .....	102
Gráfica 47: Estadística peso cubos de control en 7 días de curado .....	103
Gráfica 48: Probabilidad Control 7 días (Resistencia (Mpa)) .....	103
Gráfica 49: Probabilidad Control 7 días (Peso (gr)) .....	104
Gráfica 50: Resultados resistencia filtrados cubos de Control en 7 días de curado .....	104
Gráfica 51: Estadística resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 7 días de curado.....	105
Gráfica 52: Estadística peso cubos 30% reemplazo de arena en 7 días de curado .....	105
Gráfica 53: Probabilidad 30% reemplazo 7 días (Resistencia (Mpa)).....	106

Gráfica 54: Probabilidad 30% reemplazo 7 días (Peso (gr)).....	106
Gráfica 55: Resultados filtrados cubos de 30% reemplazo en 7 días .....	106
Gráfica 56: Estadística resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 7 días de curado.....	107
Gráfica 57: Estadística peso cubos 50% reemplazo de arena en 7 días de curado .....	107
Gráfica 58: Probabilidad 50% reemplazo 7 días (Resistencia (Mpa)).....	108
Gráfica 59: Probabilidad 50% reemplazo 7 días (Peso (gr)).....	108
Gráfica 60: Resultados resistencia filtrados cubos de 50% reemplazo en 7 días de curado.....	108
Gráfica 61: Estadística Resistencia cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 7 días de curado .....	109
Gráfica 62: Estadística peso cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 7 días de curado.....	109
Gráfica 63: Probabilidad "PLUS" 7 días (Resistencia (Mpa)).....	110
Gráfica 64: Probabilidad "PLUS" 7 días (Peso (gr)).....	110
Gráfica 65: Resultados filtrados cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 7 días.....	110
Gráfica 66: Estadística Resistencia cubos de control en 14 días de curado .....	111
Gráfica 67: Estadística cubos de control en 14 días (Peso) .....	111
Gráfica 68: Probabilidad Control 14 días (Resistencia (Mpa)) .....	112
Gráfica 69: Probabilidad Control 14 días (Peso (gr)).....	112
Gráfica 70: Resultados filtrados cubos de Control en 14 días .....	112
Gráfica 71: Estadística Resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 14 días de curado.....	113
Gráfica 72: Estadística Peso cubos 30% reemplazo de arena en 14 días de curado .....	113
Gráfica 73: Probabilidad 30% reemplazo 14 días (Resistencia (Mpa)) .....	114
Gráfica 74: Probabilidad 30% reemplazo 14 días (Peso (gr)).....	114
Gráfica 75: Resultados filtrados cubos de 30% reemplazo en 14 días .....	114
Gráfica 76: Estadística resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 14 días de curado.....	115
Gráfica 77: Estadística Peso cubos 50% reemplazo de arena en 14 días de curado .....	115
Gráfica 78: Probabilidad 50% reemplazo 14 días (Resistencia (Mpa)) .....	116
Gráfica 79: Probabilidad 50% reemplazo 14 días (Peso (gr)).....	116
Gráfica 80: Resultados filtrados cubos de 50% reemplazo en 14 días .....	116
Gráfica 81: Estadística Resistencia cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 14 días de curado .....	117
Gráfica 82: Estadística Peso cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 14 días de curado.....	117
Gráfica 83: Probabilidad "PLUS" 14 días (Resistencia (Mpa)).....	118
Gráfica 84: Probabilidad "PLUS" 14 días (Peso (gr)).....	118

Gráfica 85: Resultados resistencia filtrados cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 14 días de curado .....	118
Gráfica 86: Estadística Resistencia cubos de control en 28 días de curado .....	119
Gráfica 87: Estadística Peso cubos de control en 28 días de curado .....	119
Gráfica 88: Probabilidad Control 28 días (Resistencia (Mpa)) .....	120
Gráfica 89: Probabilidad Control 28 días (Peso (gr)) .....	120
Gráfica 90: Resultados resistencia filtrados cubos de Control en 28 días de curado .....	120
Gráfica 91: Estadística resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 28 días de curado.....	121
Gráfica 92: Estadística peso cubos 30% reemplazo de arena en 28 días de curado .....	121
Gráfica 93: Probabilidad 30% reemplazo 28 días (Resistencia (Mpa)) .....	122
Gráfica 94: Probabilidad 30% reemplazo 28 días (Peso (gr)) .....	122
Gráfica 95: Resultados resistencia filtrados cubos de 30% reemplazo en 28 días de curado.....	122
Gráfica 96: Estadística Resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 28 días de curado.....	123
Gráfica 97: Estadística Peso cubos 50% reemplazo de arena en 28 días de curado .....	123
Gráfica 98: Probabilidad 50% reemplazo 28 días (Resistencia (Mpa)) .....	124
Gráfica 99: Probabilidad 50% reemplazo 28 días (Peso (gr)) .....	124
Gráfica 100: Resultados resistencia filtrados cubos de 50% reemplazo en 28 días de curado.....	124
Gráfica 101: Estadística resistencia cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 28 días de curado .....	125
Gráfica 102: Estadística peso cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 28 días de curado.....	125
Gráfica 103: Probabilidad "PLUS" 28 días (Resistencia (Mpa)).....	126
Gráfica 104: Probabilidad "PLUS" 28 días (Peso (gr)).....	126
Gráfica 105: Resultados resistencia filtrados cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 28 días de curado .....	126
Gráfica 106: Estadística Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Resistencia).....	127
Gráfica 107: Estadística Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Peso).....	127
Gráfica 108: Probabilidad Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Módulo de Rotura (Kpa)) .....	128
Gráfica 109: Probabilidad Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Peso).....	128
Gráfica 110: Resultados Filtrados Paneles material docente 40% reemplazo mezcla con 28 días de edad .....	128

## TABLAS

Tabla 1: Datos granulometría .....	47
Tabla 2: Dimensiones molde .....	49
Tabla 3: Datos de masas unitarias.....	50
Tabla 4: Datos ensayo.....	53
Tabla 5: Resultados ensayo .....	53
Tabla 6: Datos densidad cemento .....	54
Tabla 7: Datos de materiales .....	56
Tabla 8: Cantidades sin ajuste para 1m <sup>3</sup> de mezcla.....	58
Tabla 9: Fluidez de mortero sin ajuste de humedad.....	58
Tabla 10: Cantidades sin ajuste para 1m <sup>3</sup> de mezcla .....	60
Tabla 11: Cantidades finales para 1m <sup>3</sup> de mezcla.....	61
Tabla 12: Datos y resultados de fluidez .....	62
Tabla 13: Cantidades mezclas .....	65
Tabla 14: Resultados de ensayos de compresión .....	66
Tabla 15: Resultados paneles a flexión .....	68
Tabla 16: Datos absorción cubos.....	69
Tabla 17: Datos perdida de humedad .....	71
Tabla 18: Resultados cubos 40% reemplazo de arena en 7 días de curado.....	73
Tabla 19: Resultados resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 28 días de curado..	76
Tabla 20: Resultados resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 14 días de curado..	78
Tabla 21: Resultados resistencia paneles de Control a 28 días de curado .....	83
Tabla 22: Resultados paneles con 40% reemplazo de arena por EPS .....	86
Tabla 23: Resultados compresión paneles control de 14.5cmx14.5cm a 28 días de curado .....	90
Tabla 24: Resultados compresión paneles de control 14.5cmx14.5cm a 28 días de curado .....	92
Tabla 25: Análisis de varianza resistencia en cubos.....	94
Tabla 26: Análisis de varianza peso en cubos .....	95
Tabla 27: Análisis de varianza módulo de rotura paneles .....	95
Tabla 28: Análisis de varianza peso paneles .....	95
Tabla 29: Análisis de varianza compresión en paneles de 14,5cmx14,5cm.....	96
Tabla 30: Análisis de varianza peso paneles de 14,5cmx14,5cm .....	96
Tabla 31: Resultados resistencia cubos de control en 7 días de curado .....	102
Tabla 32: Resultados resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 7 días de curado..	105
Tabla 33: Resultados resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 7 días de curado..	107
Tabla 34: Resultados resistencia cubos "PLUS" reemplazo 40% de mezcla en 7 días de curado .....	109
Tabla 35: Resultados resistencia cubos de control en 14 días de curado .....	111
Tabla 36: Resultados resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 14 días de curado	113
Tabla 37: Resultados resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 14 días de curado	115
Tabla 38: Resultados cubos "PLUS" reemplazo 40% de mezcla en 14 días de curado ...	117
Tabla 39: Resultados resistencia cubos de control en 28 días de curado .....	119

Tabla 40: Resultados resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 28 días de curado	121
Tabla 41: Resultados cubos 50% reemplazo de arena en 28 días de curado .....	123
Tabla 42: Resultados resistencia cubos "PLUS" reemplazo 40% de mezcla en 28 días de curado .....	125
Tabla 43: Resultados paneles material donado por el docente director 40% reemplazo mezcla.....	127
Tabla 44:Análisis de precios .....	129

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** EVALUACIÓN DE PANELES DE MORTERO ALIGERADOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) MEDIANTE ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

**AUTOR(ES):** MARY ALEXANDRA GONZÁLEZ BARRERA  
ALEJANDRO FONSECA CÁCERES

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** LUDWING PEREZ BUSTOS

**RESUMEN**

La propuesta del proyecto de grado surge del interés de mejorar las características en paneles macizos no estructurales pre-fabricados con mortero, buscando principalmente beneficios en la reducción de peso afectando de forma mínima su resistencia; por este motivo se buscó observar el comportamiento del mortero con distintas proporciones de micro-perlas de poliestireno expandido (EPS) con diámetros de 1mm, con el fin de medir la afectación de su resistencia y reducción de peso con respecto al mortero sin aditivos, aprovechando de esta forma las características del poliestireno, siendo algunas: su poca densidad, larga vida útil y fácil implementación en la mezcla. Para establecer las proporciones de la mezcla y ajustes de la misma, se caracterizaron los materiales con los procedimientos descritos en las normativas del INVIAS y las normas técnicas colombianas (NTC); estableciéndose la mezcla adecuada de los materiales para una resistencia a la compresión mínima de 17Mpa en dicho mortero. Las proporciones usadas fueron 30%, 40% y 50% en reemplazo del volumen de arena por EPS, evaluando su resistencia a compresión por medio de cubos de 5cmx5cmx5cm comparándolos con cubos de igual tamaño compuestos por mortero sin ningún tipo de aditivo y analizando su resistencia a flexión a través de paneles de 45cmx60cmx4cm; con una cantidad total de 252 cubos y 6 paneles permitiendo evaluar estadísticamente los resultados obteniendo medias, desviaciones, varianzas y excluyendo los datos atípicos. Durante las pruebas de compresión realizadas a los cubos en los 7, 14 y 28 días de curado se observaron pérdidas de resistencia entre 31% a 38%, 23% a 38% y 27% a 40% y de peso entre 8% a 15%, 9% a 16% y 9% a 16% respectivamente mientras que en los paneles se observa una reducción de resistencia a la flexión de 15.7% y a su peso en 11.7%.

**PALABRAS CLAVE:**

EPS, MORTERO, ALIGERADO, POLIESTIRENO, PANELES

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** EVALUATION OF MORTAR PANELS LIGHTWEIGHT WITH EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) THROUGH COMPRESSION AND FLEXION TESTS

**AUTHOR(S):** MARY ALEXANDRA GONZÁLEZ BARRERA  
ALEJANDRO FONSECA CÁCERES

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** LUDWING PEREZ BUSTOS

**ABSTRACT**

The proposal of the degree project arises in the interest of improving the characteristics in solid non-structural mortar panels pre-fabricated with mortar, mainly seeking benefits in weight reduction, minimally affecting its resistance; For this reason, we sought to observe the behavior of the mortar with different proportions of micro beads of expanded polystyrene (EPS) with diameters of 1mm, in order to measure the impact of its resistance and weight reduction with respect to the mortar without additives, taking advantage of This form the characteristics of polystyrene which are its low density, long service life and easy implementation in the mixture. To establish the proportions of the mixture and its adjustments, the materials were characterized with the procedures described in the INVIAS regulations and the Colombian technical standards (NTC); the appropriate mixture of materials being established for a minimum compressive strength of 17Mpa in said mortar. The proportions used were 30%, 40% and 50% in replacement of the volume of the sand by EPS, evaluating its resistance to compression by means of cubes of 5cmx5cmx5cm comparing them with cubes of equal size composed of mortar without any additive and analyzing its flexural strength through 45cmx60cmx4cm panels; with a total amount of 252 cubes and 6 panels allowing statistically evaluate the results obtaining means, deviations, variances and excluding outliers. During compression tests performed on the cubes on (7, 14 and 28 days), resistance losses were observed between 31% to 38%, 23% to 38% and 27% to 40% and weight between 8% to 15 %, 9% to 16% and 9% to 16% respectively while the panels show a reduction in flexural strength of 15.7% and its weight in 11.7%.

**KEYWORDS:**

LIGHTWEIGHT, MORTAR, POLYSTYRENE, EPS, PANELS

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como fin evaluar mezclas de mortero aligerado con poliestireno expandido (EPS) mediante ensayos a compresión y flexión para estudiar la influencia de este material en las mezclas de mortero con diferentes proporciones determinadas en reemplazo de volumen de arena por EPS, a fin de aumentar la información existente y analizar las ventajas o desventajas que se podrían generar al utilizar este material.

El interés en la realización de esta investigación es aportar al sector constructivo un mortero más ligero en comparación con el convencional hecho de arena, agua y cemento y que este no sufra una disminución muy significativa en la resistencia. Para esto se hace uso del poliestireno expandido (EPS), material liviano debido al aire concentrado en el interior de su estructura, igualmente el EPS aporta algunas otras propiedades a los morteros tales como la mejora en su capacidad de aislamiento térmico y acústico que son tratados y mencionados en otras investigaciones, por ejemplo: ver [6, 10]. Otras de las propiedades físico-mecánicas de estos morteros son evaluadas en este documento como lo son su absorción, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión obteniendo resultados a los cuales se les hace una comparación con la mezcla de mortero sin este material para determinar que mezcla es la que genera mejores resultados en donde se evidencie una reducción del peso sin afectar demasiado la resistencia de este.

La estructura del proyecto está dividida por 15 capítulos distribuidos de la siguiente manera:

En los capítulos 2, 3 y 4 se encuentran el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos respectivamente en donde se da una descripción de las razones y motivos por los cuales se realiza la presente investigación.

En los capítulos 5 y 6 está el marco teórico y el estado del arte en donde básicamente se hace una revisión bibliográfica de los conceptos manejados en el

proyecto y de igual forma se resume información de investigaciones existentes relacionadas al tema en cuestión.

El capítulo 7 se describe la metodología usada en el proyecto haciendo especificando las actividades realizadas con el fin de cumplir cada objetivo propuesto, igualmente se menciona la normativa utilizada en el desarrollo del proyecto.

El capítulo 8 contiene el resumen de los procedimientos estipulados en las normas para la caracterización de materiales y ensayos de los especímenes realizados, del mismo modo contiene los resultados de los procedimientos mencionados anteriormente.

En los capítulos 9, 10 y 11 están los análisis de las pruebas de resistencia a la compresión y flexión de la mezcla escogida como la mejor opción entre las demás, también se encuentran las conclusiones y recomendaciones finales.

Para finalizar, en los últimos 4 capítulos se encuentran las referencias y los anexos de las pruebas realizadas a los especímenes de las otras mezclas realizadas.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los enfoques básicos del avance en la construcción es la optimización de los recursos económicos en las obras, existe una nueva tendencia que está dirigida hacia las construcciones de menor costo, para esto se ha ido dejando a un lado el concepto de elementos rígidos, que muchas veces resultan mucho más pesados de lo necesario, para reemplazarlo con el uso de piezas ligeras en las cuales se pueden emplear diversos tipos de materiales livianos que le brinden a elementos estructurales una disminución en el peso.

Un claro ejemplo de esto son las piezas prefabricadas que en la mayoría de los casos generan sobrecostos de transporte debido a su peso, la clara solución a esto es la disminución en el peso de las piezas que si bien se puede disminuir el costo de transporte de "X" cantidad de material se podría transportar una cantidad mayor a "X" por el mismo precio. Del mismo modo, al haber piezas de gran peso se hace necesario el uso de maquinaria para el cargue, descargue e incluso la instalación de las mismas, mientras que la disminución de peso podría brindar facilidades para las actividades mencionadas anteriormente ya que no se vería necesario el uso de maquinaria sino por el contrario los obreros se podrían encargar de estas actividades sin generar un sobrecosto en la obra. Para cerrar la idea, la disminución de peso en piezas prefabricadas puede brindar otro beneficio en las obras y este se trata de la carga muerta en las edificaciones que se vería reducida considerablemente gracias al uso de materiales livianos en la construcción de estos elementos.

Entre los diferentes materiales ligeros que se emplean en la construcción el poliestireno expandido ha venido tomando un papel importante en las obras civiles aportando negativos en las estructuras donde es utilizado, sin embargo, los negativos pueden no ser beneficiosos en ciertas circunstancias donde se necesite de un elemento rígido. Por este motivo el uso del poliestireno dentro de las mezclas de morteros o concretos brindaría una reducción en el peso del elemento sin necesidad de contener vacíos. Varias investigaciones se han encargado de analizar diferentes tipos de mezclas con agregados de poliestireno expandido ver:

[6-15], cada una de estas con resultados diferentes, de aquello resulta necesario una mayor investigación para poder analizar las propiedades y sentar unas bases que abran camino a un mayor uso de estos elementos.

### 3 JUSTIFICACIÓN

El poliestireno expandido se ha utilizado en el sector de la construcción desde décadas atrás, gracias a su variedad de presentaciones es utilizado de muchas formas en el ámbito de la construcción tales como: aislamiento termo-acústico, aligeramiento y juntas de dilatación. En este proyecto se busca utilizar su cualidad de aligerante aplicándolo en un material muy común en la construcción como lo es el mortero, con la aplicación se busca que este material no interfiera en el volumen o forma del elemento a elaborar en dicho material (paneles no estructurales) intentando afectar lo menos posible su resistencia y priorizando su efecto aligerante.

Este trabajo de grado busca complementar las investigaciones existentes sobre la combinación de estos materiales al resaltar diferentes combinaciones con un tamaño establecido para el EPS, sirviendo como aporte al estudio de materiales para usos constructivos, evaluando su resistencia a compresión y a flexión por medio de cubos de 5cmX5cmX5cm y paneles de 45cmx60cmx4cm respectivamente. Adicionalmente, los resultados pretenden ser un aporte para los ingenieros civiles como una referencia de posibles resistencias a alcanzar utilizando las dosificaciones establecidas en el proyecto de grado.

De igual forma, el uso de los paneles de mortero aligerados con EPS utilizados en función de paneles prefabricados permiten la reducción de: costos de transporte, tiempo empleado para su instalación, maquinaria necesaria para su instalación y carga muerta en la estructura. Permitiendo una posible utilización tanto en grandes edificaciones, como en proyectos de viviendas de interés social con un alto índice de durabilidad debido a la gran vida útil tanto del mortero como del poliestireno expandido.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar paneles de mortero aligerados con poliestireno expandido (EPS) mediante ensayos a compresión y flexión.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los materiales para la elaboración de las mezclas de mortero.
- Diseñar las mezclas de mortero de control y mezclas de mortero con diferentes proporciones de poliestireno expandido (30%, 40% y 50%).
- Evaluar la influencia del poliestireno expandido en paneles aligerados frente a ensayos de compresión y flexión.

## 5 MARCO TEÓRICO

### 5.1 MORTERO

Tras el pasar de los años la utilización del mortero se ha enfocado más que todo al trabajo de mampostería en las edificaciones, a este material se le ha dado tres diferentes usos los cuales son: mortero utilizado para pega, para relleno y para el recubrimiento; la fluidez de este material es determinante para la actividad a realizar ya que esta característica brinda al mortero una mejor distribución y adherencia dentro de los espacios a ocupar en su lugar de instalación, la fluidez depende de una relación directamente proporcional entre el agua y el cemento de la mezcla, lo cual significa que una mezcla que contenga una mayor cantidad de agua tendrá una mayor fluidez.

Los materiales incluidos en una mezcla de mortero son principalmente tres: cemento, arena y agua. El cemento normalmente utilizado “para pegar fragmentos de mineral para producir un conjunto compacto. Los tipos más comunes de cemento son el resultado de la reacción de la cal y sílice”. [1] Por otra parte, la arena aporta a la mezcla resistencia y flexibilidad siendo recomendado el usar arena fina sin impurezas y que no contenga material de origen arcilloso; al juntar estos materiales con el agua y mezclarlos se produce la formación de pasta al hidratarse el cemento con la misma.

Para mejorar la resistencia del mortero es necesario tener en cuenta la cantidad de cada uno de los materiales que lo componen, siendo este el diseño de mezcla; para realizar este diseño es necesario haber caracterizado los materiales para obtener los siguientes datos: Finura de la arena, relación agua/cemento, fluidez establecida, mínimo contenido de cemento, densidad de la arena y el cemento, densidad aparente y porcentaje de absorción de la arena y la resistencia deseada.

Las definiciones de algunas de las anteriores menciones se explican en la normativa correspondiente de cada una, pero un resumen de estas se realiza para la densidad, absorción y fluidez. Se conoce como densidad de un material a la relación entre masa por unidad de volumen y se expresa comúnmente en  $\text{kg/m}^3$ .



La absorción es el aumento de la masa de un material causado por la introducción de agua dentro de sus poros durante un tiempo específico sin incluir el agua adherida en la parte exterior de las partículas. La fluidez de un mortero es el incremento del diámetro de una muestra expresado como porcentaje del diámetro de la base del molde.

Con los resultados de la primera mezcla se procede a ajustar las proporciones para que cumpla con la fluidez deseada, posteriormente se prepara una segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas; las propiedades de esta segunda mezcla se comparan con las exigidas y si difieren se reajustan nuevamente. Se prepara una tercera mezcla de prueba que debe cumplir con la fluidez y la resistencia deseada. [2].

Al mortero se le han agregado diferentes aditivos que cumplen diversas funciones como, por ejemplo: mejorar su reacción al fuego, insonorizar, auto compactar o aligerar. Esta última acción está siendo utilizada en gran proporción para construir estructuras livianas, y se consigue añadiendo en materiales con una menor densidad a la del mortero y/o espacios negativos.

## **5.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO**

El poliestireno expandido (EPS), se define como un material rígido de celda cerrada rellena de aire, proveniente del polímero poliestireno con un agente expansor diferente a los compuestos fluorados de carbono, por tanto no representa ningún tipo de peligro para el medio ambiente especialmente la capa de ozono [3].

Debido a que es un material plástico, este es elaborado con base a derivados del petróleo y de distintas densidades dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar. Algunas ventajas que presenta este material, aparte de la ya mencionada amabilidad con el medio ambiente destacan también su impermeabilidad ya que este material no absorbe ni acumula agua, presenta un buen comportamiento contra el fuego ya que al quemarse no propaga llama, igualmente respecto a la propiedad acústica representa un buen absorbente al ruido de impacto.

Dentro de otras características se encuentra su estabilidad dimensional ya que no se deforma con el transcurrir del tiempo, presenta una resistencia a hongos, parásitos y bacterias que pueden generar putrefacción en el material. No es alimento de roedores, ni de insectos. Además, es flexible para trabajar, de fácil manipulación, es reciclable y no tóxico. En el campo de la construcción se usa principalmente como aislante térmico y acústico y como aligerante de piezas prefabricadas.

### **5.2.1. Proceso de transformación del poliestireno expandido**

Como lo expresa la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido ANAPE en su página web [4]. Para que la materia prima (poliestireno expandible) se pueda convertir en partes de poliestireno expandido esta debe pasar por tres etapas:

- 1) Pre-expansión: En este proceso la materia prima se calienta en unos pre-expandidores con vapor de agua a temperaturas de entre 80°C y 100°C. En este proceso las perlas compactadas de la materia prima se transforman en perlas ligeras y su densidad disminuye de entre 630 kg/m<sup>3</sup> hasta 10 – 30 kg/m<sup>3</sup> esto a razón de la temperatura a la que sea expuesta.
- 2) Reposo intermedio y estabilización: Después de que las perlas salen del pre-expandidor estas quedan con vacíos, después, se procede a aplicarles aire por difusión mediante silos ventilados para que las perlas alcancen una mejor estabilidad mecánica y así mismo mejore su capacidad de expansión.
- 3) Expansión y moldeo final: En esta última etapa las perlas pre-expandidas se introducen en diferentes moldes a los cuales se le adiciona vapor de agua que permite que las perlas se unan entre ellas mismas.

En la siguiente imagen tomada de la página web de ANAPE se muestra el procedimiento de la transformación de poliestireno:

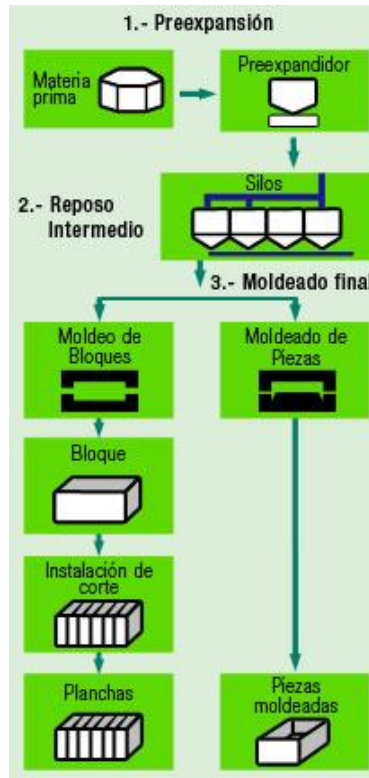


Ilustración 1: Esquema de transformación del poliestireno expandido EPS [4]

### 5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los datos obtenidos en el proyecto se necesitará el uso de estadística, por lo tanto es necesario definir las medidas de tendencia, medidas de variación y teoremas utilizados en la misma, con lo principios fundamentados en el libro de Mario F. Triola [5] entre los cuales se encuentran:

#### 5.3.1 Medidas de tendencia

- **Media:** También conocida como “promedio” de un conjunto de valores, siendo en general la medida numérica más importante, aunque posee desventaja debido a la sensibilidad de los valores de la muestra (números extremos en los datos). Se calcula sumando los valores y dividiendo en la cantidad total de valores.

$$Media (\bar{x}) = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

X: valores de la muestra

N: cantidad de valores muestrales

- **Mediana:** Es el “valor intermedio”, debido a que se encuentra justo en la mitad de la muestra de los valores estando de forma ordenada (creciente o decreciente). Para calcularse se deben ordenar los valores y se procede a verificar si la cantidad de valores (muestra) son impar o par; en el caso de ser impar, el valor de la mediana se encuentra en la mitad de la muestra ordenada; de lo contrario se debe obtener calculando la media de los dos valores que se encuentran en la mitad de la muestra.
- **Moda:** Es el “valor que más se repite” o el valor que se presenta con mayor frecuencia. Cuando en la muestra se presentan dos o más valores con la misma frecuencia este conjunto de datos es considerado como bimodal o multimodal respectivamente, en caso de que ninguno de los valores se repita se considera que no hay moda.

### 5.3.2 Medidas de variación

- **Rango:** Es la diferencia entre valores extremos (valor máximo y valor mínimo).
- **Desviación estándar:** Es la medida de variación más importante, siendo el promedio de la variación de los valores con respecto a la media, este valor normalmente es positivo y solo es igual a cero cuando todos los valores son iguales; es bastante propenso a aumentar debido a la inclusión de valores extremos; su medida será siempre igual a la de los datos originales; la ecuación para calcularla es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

x: Dato (valor) de la muestra

$\bar{x}$ : Media de la muestra

n: cantidad de datos (valores) en la muestra

- **Varianza:** Es la descripción del cuanto varían los valores respecto a la media; siendo la desviación estándar al cuadrado se muestra en unidades elevadas al cuadrado de la unidad inicial, básicamente esta medida muestra de manera superficial cuanto varían los valores ya que su unidad no es igual a la unidad de la muestra; pero ella nos permite obtener la medida de la desviación la cual nos da de forma más entendible la variación de dicha muestra. Por lo tanto, la varianza es  $s^2$ .

### 5.3.3 Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

Es utilizado en las regresiones para predecir futuros resultados debido a que representa la variación en forma porcentual encontrándose en un rango de 0 a 100%; siendo que entre mayor sea el  $R^2$  mejor es el ajuste del modelo (regresión) a sus datos.

### 5.3.4 Teorema de Chebyshev

Dicho teorema establece que independientemente de la forma de distribución, por lo menos el 75% de la muestra (valores) están dentro de más o menos 2 desviaciones estándar a partir de la media de la muestra, y al menos 89% de la muestra están dentro de más o menos 3 desviaciones estándar a partir de la media de la muestra.

Dicho teorema nos sirve para establecer un intervalo de confianza el cual nos elimina los datos extremos que afectan la proporción más representativa de la muestra.

### 5.3.5 Análisis de la varianza (ANOVA)

Este método nos permite ver la igualdad de entre diversas medias poblacionales con una distribución del factor estadístico de prueba del ANOVA “F” el cual debe contar con las siguientes propiedades: No ser simétrica, valores 0 o positivos, distribución diferente para cada par de grados de libertad (numerador y denominador). Para aplicar este método las poblaciones deben tener distribuciones aproximadamente normales, las varianzas no deben diferir en gran manera, muestras independientes entre sí, muestras provenientes de una población categorizada de una sola forma; se sugiere utilizar algún programa como STATDISK, Excel o Minitab para obtener los resultados debido a su complejidad:

#### ANOVA de un solo factor: Peso Paneles Control; Peso ... 0% reemplazo

##### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

##### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	2	Peso Paneles Control; Peso Paneles 40% reemplazo

##### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	2251085	2251085	139,72	0,000
Error	20	322234	16112		
Total	21	2573320			

*Ilustración 2: Ejemplo de aplicación de ANOVA en Minitab  
Fuente: Propia*

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	8	45594	5699,25	23567,9286
Columna 2	14	70480	5034,28571	12096,8352

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de la variación	Suma de cuadrados	Libertad de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico para F	
Entre grupos	2251085,46	1	2251085,46	139,717284	1,7744E-10	4,3512435
Dentro de los grupos	322234,357	20	16111,7179			
Total	2573319,82	21				

Ilustración 3: Ejemplo de aplicación de ANOVA en Excel  
Fuente: Propia

Donde, si  $F$  es mayor a  $F$  crítico expresa que las medias de las muestras tienen valores diferentes por lo tal se rechazaría la hipótesis nula de que las medias respecto a la variable dependiente son iguales y por lo tanto la variable (factor) produce un efecto significativo en la variable (dependiente); de lo contrario se aceptaría la hipótesis nula y se consideraría que la variable (factor) no hace que la variable (dependiente) se comporte de otra manera.

De igual manera, si el valor de la probabilidad es menor al "Alfa" (0.05) nos indica que la variable independiente está creando un efecto significativo en la variable dependiente por lo tanto hace que se deba rechazar la hipótesis nula de que las medias de cada una de las categorías son iguales y se concluye que al menos una de las medias poblacionales es diferente a las otras; de lo contrario no se rechaza la hipótesis y se puede considerar que las medias son iguales.

## 6 ESTADO DEL ARTE

**The utilization of recycled masonry aggregate and recycled eps for concrete blocks for mortarless masonry (La utilización de agregados de mampostería reciclada y EPS reciclado para bloques de concreto para mampostería sin mortero) [6].**

Busca brindar una ayuda al medio ambiente ya que estuvo centrada en el uso de materiales de mampostería reciclada y poliestireno expandido reciclado para la construcción de bloques de concreto para mampostería y evaluar las propiedades térmicas y mecánicas de este concreto. Fueron diseñadas diez mezclas con diferentes proporciones de residuos de construcción y poliestireno expandido reciclados, entre estas diez mezclas están: una de control en la cual se usó únicamente agregado natural (NA), cinco con agregado de mampostería reciclada (RMA) y cuatro con poliestireno expandido reciclado (EPS) y RMA. Gracias a que las propiedades físicas del agregado de mampostería reciclado diferían en comparación a las de los agregados naturales se realizaron pruebas que arrojaron datos de absorción mayores en el RMA y densidad seca mayores en los NA.

La relación de reemplazo del agregado en las diez mezclas fue el siguiente: para la mezcla con NA 0%, para las cinco mezclas con RMA 66%, 75%, 95%, 98% y 100% y para las cuatro mezclas con EPS y RMA 76%, 76%, 83% y 98%. Las propiedades físicas y térmicas de las mezclas se realizaron con probetas de 10x10x40 cm, 15x15x15 cm y 10x10x10 cm según los estándares checos válidos.

Con respecto a la metodología los especímenes se dejaron almacenados y curados durante 28 días y después se determinaron sus propiedades físicas, mecánicas, de deformación y térmicas obteniendo resultados de densidad, absorción, resistencia a la compresión y a la tracción, módulo de elasticidad, capacidad térmica en volumen y conductividad térmica.

Las propiedades físicas que se midieron fueron las de absorción y densidad, la primera se midió en probetas que fueron previamente sometidos a la prueba de tracción, estas se cortaron con medidas de aproximadamente 10x10x15cm y la



segunda prueba se realizó en las probetas de 10x10x10cm. Los resultados de densidad de las mezclas fueron menores con el aumento de RMA y EPS en donde el valor más bajo de densidad se obtuvo en la mezcla que contenía 30% de EPS que en comparación con la mezcla de referencia disminuyó un 33%, los resultados de absorción de la mezcla con RMA fue el doble de la absorción de la mezcla de referencia, pero esta última fue mucho mayor que la de la mezcla con EPS.

Las propiedades mecánicas se realizaron de acuerdo a lo especificado en la normativa europea y checa. Después de realizados todos los ensayos de resistencia a la compresión se obtuvo como resultado una disminución de la resistencia para todos los especímenes en referencia a la mezcla de control; exceptuando la mezcla de referencia, la muestra que obtuvo una mayor resistencia fue a la que se le reemplazó el total del agregado por RMA y por el contrario, las que menos resistencia obtuvieron fueron las mezclas que contenían RMA Y EPS, la disminución de la resistencia a la compresión estuvo entre el 30% y 75% dependiendo de las tasas de reemplazo. En el caso de la resistencia a la tracción, los resultados, al igual que en la resistencia a compresión, fueron menores para las otras mezclas evidenciando una mayor disminución en las mezclas que contienen RMA Y EPS.

En cuanto a las propiedades térmicas se efectuaron en muestras de 10x10x10 cm mediante el sistema portátil de mano ISOMET 2114 en cual mide las propiedades de transferencia de calor de los materiales. Los resultados de estas pruebas comprobaron que la utilización de RMA Y EPS contribuye a que ocurra una conductividad térmica más baja ya que en las mezclas con RMA y EPS se obtuvieron resultados tres veces menores a los de las mezclas con NA.

En conclusión, se determinó que la mezcla con mejores resultados tanto físicos como mecánicos y térmicos fue en la que hubo un reemplazo del 100% de RMA.

## **Properties of mortars containing tire rubber waste and expanded polystyrene (EPS) (Propiedades de morteros con goma de neumaticos residuos y poliestireno expandido (EPS)) [7].**

La reutilización del caucho de neumático y poliestireno expandido en mezclas de mortero en donde se reemplaza el agregado fino de la mezcla por el 10, 20 y 30% polvo de caucho de neumático en relación a su masa y el 7.5 y 15% de poliestireno expandido en volumen. Para obtener la caracterización de los materiales se guiaron de las Normas Técnicas Brasileñas, gracias a ellas se obtuvieron los datos de densidad, módulo de finura, la curva de gradación y el diámetro máximo del agregado fino, la densidad del polvo de neumático y del EPS. Los especímenes realizados para el análisis de los morteros fueron 6 de dimensiones 40x40x160 mm para cada mezcla los cuales fueron ensayados a compresión a los 7 y 28 días de antigüedad, también se les ha calculado la absorción, relación de vacíos y gravedad específica, todo esto como se mencionó anteriormente, guiados de las Normas Técnicas Brasileñas.

Se encontró que tanto los morteros con agregado de caucho y los de agregado de poliestireno mostraron una mayor consistencia que la mezcla de referencia, esto debido a que los dos materiales son casi impermeables; otro dato obtenido fue que, a medida que se aumenta la cantidad caucho y EPS a la mezcla se va reduciendo la gravedad específica de este. Los resultados de la resistencia a la compresión oscilan entre 1.04 y 2.61Mpa siendo la mezcla con adición del 7.5% de EPS la que más soporto, pero igualmente la resistencia se redujo en comparación a la mezcla de referencia que soporto 3.53Mpa; lo mismo sucedió con la resistencia a la flexión que también se redujo en comparación con la de control. Por otra parte, se evidenció un aumento en la cantidad de vacío de los morteros que contienen caucho y EPS lo que genera que se presente una mayor absorción en estos.

En conclusión, la adición de estos dos materiales caucho y EPS favoreció al aumento en el contenido de vacíos y disminuyó la gravedad específica de los morteros, igualmente el uso de estos desechos provocó una disminución en el

peso del material y una mayor permeabilidad, las mezclas que presentaron mejores resultados fueron las que contenían el 10% de caucho y el 7.5% de EPS.

### **Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural - Cajamarca [8].**

La investigación se centra en estudiar las propiedades físicas y mecánicas de concreto con agregados de poliestireno en reemplazo del agregado grueso de la mezcla, esto para usarlo en la fabricación de bloques de concreto liviano. Antes de comenzar a elaborar los bloques se hacen cubos de 100x100x100mm, ya que los cilindros no brindarían una óptima estimación del comportamiento del concreto ligero y por ese motivo se escogen los cubos para poder analizar cómo sería el comportamiento de los bloques, igualmente al concreto se le realizan pruebas, como por ejemplo, consistencia, fluidez, resistencia a la compresión, densidad, absorción, entre otros para determinar la dosificación que brinde los mejores resultados para ser usada en los bloques. En total se hicieron 3 diferentes mezclas cada una de estas con un tipo de arena diferentes y por consiguiente diferentes cantidades de cada uno de los materiales necesarios para hacer la mezcla, a parte para cada mezcla se realizaron 30 cubos, después de realizados los ensayos pertinentes a cada mezcla se escogió la mezcla diseñada para una densidad de  $1600 \text{ kg/m}^3$  la cual arrojó mejores resultados tanto del módulo de elasticidad con  $69099,93 \text{ kg/m}^2$ , absorción de  $169.42 \text{ kg/m}^3$  y resistencia a la compresión con un valor promedio de  $61.75 \text{ kg/cm}^2$  cumpliendo con la resistencia mínima requerida en la Norma Técnica Peruana (NTP) para bloques de concreto de uso estructural y no estructural.

Seguido de esto, se procedió a elaborar 45 bloques de concreto liviano con dimensiones de 9x19x39cm según lo estipulado en la NTP, a estos bloques se les sometió a ensayos de peso específico, absorción, compresión y flexión los cuales arrojaron los resultados requeridos en la normativa para ser comercializados como bloques de concreto para uso estructural. Además, se hace un análisis económico de la construcción de los bloques de concreto ligero y se compara con el costo de la fabricación de bloques de concreto convencional, lo cual arroja como resultado

el aumento del 40% en la construcción de bloques de concreto ligero. Sin embargo, este incremento se contrarresta con la reducción del peso en los muros y la disminución por valores de acarreo.

### **INFLUENCIA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EL PESO Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON [9].**

El objeto de esta investigación se enfoca en la determinación de la variación en los parámetros de peso y resistencia del concreto con agregado de poliestireno expandido en comparación con un concreto convencional, para esto es indispensable obtener una serie de datos estadísticos que muestren las diferencias significativas entre estos dos tipos de concreto. Por tal motivo se establece realizar una estadística inferencial por medio de la experimentación en donde se tendrá el control de cada una de las variables a luego analizar de los materiales.

La parte experimental se centra la caracterización de los materiales a usar y en la realización de diferentes tipos de concreto en donde uno de estos se dejará como referencia, esto quiere decir que será un concreto tradicional en donde los materiales a usar son los convencionales: arena, grava cemento y agua; y otras mezclas en donde se hará el reemplazo de porcentajes de volumen de arena por EPS. Al comienzo se realiza una prueba piloto en la que se establecen 4 porcentajes de ESP a usar en reemplazo de la arena: 0%, 20%, 40% y 60% y el concreto de control, se realizan 3 probetas por cada mezcla y se ensayan a los 7 días, los resultados arrojados comprenden una mayor pérdida de resistencia en las probetas que contenían un reemplazo del 60% de EPS y una desviación estándar de  $6 \text{ kg/cm}^2$  entre probetas de una misma mezcla. Después se los resultados obtenidos en la prueba piloto se decide realizar un mayor número de mezclas con reemplazo para así obtener mayores diferencias entre cada una de estas, por tanto, los valores de a reemplazar quedaron definidos en: 0%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90% y 100% a los cuales se les da una nomenclatura de A, B, C, D, E, F, y G respectivamente para las cuales se realizaron 4 probetas por cada mezcla.

La caracterización de los materiales usados en las mezclas se realizó según lo especificado en las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), la cuales arrojaron los siguientes valores para el agregado fino: módulo de finura 2.30, peso volumétrico 1308 kg/cm<sup>3</sup>, densidad aparente 2.44 g/cm<sup>3</sup>, densidad absoluta 2.60 g/cm<sup>3</sup> y absorción 2.55%; para las perlas de EPS se manejaron una densidad de 12 kg/cm<sup>3</sup> y diámetro 3mm; el agregado grueso se trabajó con un tamaño máximo de 3/8", peso volumétrico compactado de 1319 kg/m<sup>3</sup>, peso volumétrico suelto de 1230 kg/m<sup>3</sup>, densidad aparente 2.37 g/cm<sup>3</sup>, densidad absoluta 2.58 g/cm<sup>3</sup> y absorción de 3.53%. El diseño del concreto como lo indica el American Concrete Institute (ACI) para concretos de 250 kg/cm<sup>2</sup>, después de calculadas las cantidades de material necesario en cada mezcla se procedió a elaborar los cubos de 15cm de diámetro y 30cm de altura, a parte de los 4 cubos por cada mezcla se hicieron 3 más para ensayarse a los 7 y 14 días. Los resultado de densidad de los especímenes demostraron una disminución notable sobre todo en los especímenes que superaban el 60% de reemplazo llegando a un valor mínimo de 1836 kg/m<sup>3</sup>, respecto a la resistencia a la compresión los valores también disminuyeron para cada una de las mezclas de 30%, 45%, 60%, 75%, 90% y 100% con respecto a la de control en 2.84%, 4.28%, 7.52%, 14.73%, 17.58% y 19.08% respectivamente, el valor mínimo de resistencia a la compresión obtenido fue de 205 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con el 100% de reemplazo. según la ACI un concreto se considera ligero cuando su resistencia a la compresión es superior a 172 kg/cm<sup>2</sup> y la densidad es menor a 1840 kg/m<sup>3</sup>, sin embargo, la UNI expresa que un concreto se considera ligero cuando su densidad oscila entre 1200 y 2000 kg/m<sup>3</sup>.

La conclusión que deja la investigación es que todos los concretos diseñados cumplen con los valores de resistencia a la compresión y densidad para ser usados como concreto estructural teniendo en cuenta que los que contienen un reemplazo mayor al 60% presentan un grado de confiabilidad menor al 95%.

## **PROPIEDADES MECÁNICAS, TÉRMICAS Y ACÚSTICAS DE UN MORTERO ALIGERADO CON PARTICULAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) DE RECICLAJE PARA RECUBRIMIENTOS EN MUROS Y TECHOS [10].**

El reciclaje y reutilización del poliestireno expandido EPS contribuye con el cuidado del medio ambiente y además en la utilización de mezclas de mortero aporta a éste ciertas propiedades que pueden brindar beneficios si se le da el debido uso. El enfoque de la investigación va dirigido al análisis de las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de un mortero liviano que contiene partículas de poliestireno reciclado. El EPS usado en el mortero fue reciclado y triturado en un molino el cual poseía cuchillas que trozaban el material y este después era clasificado por tamaños con la ayuda de los tamices #2, #4 y #10, la dosificación de las mezclas se escogió una relación 1:1 de cemento y polvo fino ya que este último aporta diferentes características al mortero y además ayuda a rellenar los posibles huecos que se generen a causa del uso del poliestireno, se diseñaron 4 mezclas con relación volumétrica, 2 de relación 1:1:1 (cemento, polvo fino, EPS) esta relación corresponde a 0.8% de EPS una para la granulometría del EPS grueso(#4) y otra para el EPS fino (#10), y otras dos con relación 1:1:2 con 1.6% de EPS igualmente una para el EPS fino y otra para el grueso.

Los especímenes realizados para las pruebas mecánicas fueron cubos de 5x5x5 como lo estipula la ASTM C109, los destinados a las pruebas térmicas fueron placas de 25x25x3.8 cm y los de las pruebas acústicas fueron de forma circular con diámetro y espesor de 11cm y 3.8cm respectivamente.

Las pruebas mecánicas realizadas arrojaron valores de fluidez de 130% para la mezcla que no contenía EPS y una disminución del 20% y 70% con la adición del 0.8% y 1.6% de EPS respectivamente. La densidad también se ve afectada con la adición del EPS esta disminuye en todos los casos llegando a la reducción del 30% de la densidad en el mortero que contiene 1.6% de EPS grueso, 25% con la de igual proporción, pero de EPS fino, respecto a las que contienen el 0.8% de EPS fino y grueso la reducción de la densidad disminuye un 17 y 19% en orden. En lo que respecta a las pruebas de resistencia a la compresión se notó una baja en

las resistencias de los morteros con EPS de casi el 70% en relación a la mezcla de referencia, la mezcla de referencia alcanzo los 50Mpa de resistencia esto gracias a que la mezcla se diseñó con una gran cantidad de cemento para que al momento de agregar el poliestireno la resistencia no se viese tan afectada, aun considerando que la norma ASTM C270 permite morteros de hasta 0.5Mpa para ser usado en recubrimientos.

### **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO SUSTITUTO DEL ALIVEN PARA LA FABRICACION DE BLOQUES DE CONCRETO USADOS EN LA CONSTRUCCION DE LOSAS DE TECHO Y PAREDES [11].**

El proyecto fue dividido en diferentes etapas las cuales estaban dirigidas a examinar la sustitución del aliven por poliestireno expandido para determinar el comportamiento de estos materiales en bloques de concreto. Primero, se definieron las características de cada uno de los materiales a usar en la mezcla para así analizar cómo se ven afectadas las propiedades de una mezcla de concreto con agregado de poliestireno, una vez evaluado lo anteriormente mencionado se procede a hacer el diseño de la mezcla con una resistencia a la compresión de 50 kg/m<sup>2</sup> y así fabricar un modelo de bloque de concreto con poliestireno para usar en losas para techos y paredes. También, se hace una comparación tanto de las propiedades físicas de los bloques con poliestireno y los bloques con aliven como una comparación económica de los dos tipos de bloques mencionados.

Se elaboran 5 bloques de concreto con poliestireno de dimensiones 18x38.5x10.1cm para comparar su resistencia con los bloques convencionales con agregado de aliven de iguales dimensiones a los 7 días de curado. Los resultados de estas pruebas constatan una pérdida de resistencia de los bloques con poliestireno en comparación con los bloques de aliven, por otro lado, los pesos de los bloques que contienen poliestireno son mayores a los bloques con el aliven. Respecto a la parte económica si se presenta una disminución al trabajar con

poliestireno en vez de trabajar con aliven ya que disminuye el aproximadamente el 14%.

### **ANÁLISIS DEL CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO ADITIVO PARA ALIGERAR ELEMENTOS ESTRUCTURALES [12].**

Esta investigación está enfocada a hacer un análisis del comportamiento de una mezcla de concreto con agregado de poliestireno expandido a fin de alivianar el material resultante en comparación con un concreto convencional. El inicio de la investigación se basó en la obtención y caracterización de los materiales a usar en la mezcla del concreto, seguido de esto se procedió a la realización del diseño de la mezcla para así poder elaborar los diferentes especímenes a estudiar. Del mismo modo, se inicia con los ensayos a los agregados finos y gruesos, a cada uno se le hacen las diferentes pruebas necesarias para conocer cada una de sus propiedades, estas pruebas se realizan según lo establecido en la norma INVIAS y la NTC, una vez caracterizados los materiales, se realiza una prueba piloto en la que se realizan dos mezcla con un reemplazo del 5% y 10% del volumen de la mezcla por poliestireno en donde se concluye trabajar con 4 proporciones de poliestireno 0%, 3%, 6% y 9%.

La mezcla estándar se diseña con una resistencia de 21Mpa en relación 1:2.65:3.66, los especímenes a diseñar son cilindros de 15cm de diámetro y 30cm de altura, para cada mezcla se construyen 6 especímenes que después de 7, 14 y 28 días de antigüedad se someten al ensayo de compresión. Una vez ensayados los especímenes se hace una proporción de la perdida de resistencia de cada mezcla con respecto a la mezcla de referencia. Los resultados son de 4.16%, 22.8% y 33.3% para las mezclas con reemplazo de 3%, 6% y 9% respectivamente. Lo cual impide que se cumplan los parámetros de resistencia estipulados en la NTC para concretos estructurales.

### **EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO ALIVIANADO CON PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO [13].**



El uso del poliestireno expandido brinda a la construcción diferentes beneficios en los que están incluidos la ligereza del material, el fácil transporte y fabricación de partes prefabricadas, el objetivo de la siguiente investigación está centrado en la evaluación de las propiedades mecánicas del concreto aligerado con perlas de poliestireno expandido reciclado. Los materiales fueron caracterizados para poder diseñar cada una de las mezclas, en total se realizan 4 mezcla con agregado de poliestireno en proporciones de 30%, 31%, 32% y 37% en relación al volumen total del concreto, el número de probetas a realizar para cada mezcla es de 6 probetas de 150x300mm para los ensayos de compresión, 6 vigas de 150x150x500mm y 3 prismas de 100x100x285mm para las pruebas de contracción cada una de estas probetas se diseñaron según las especificaciones de la norma ASTM, al concreto se le realizan pruebas en estado fresco y en estado endurecido para conocer su comportamiento.

Las pruebas en estado fresco del asentamiento del concreto demostraron que en los primeros concretos 30% y 31% de poliestireno se presentó una falla por corte lo que causo el desprendimiento de la parte superior del concreto mostrando un slump de 3", en el concreto 3 de 32% de poliestireno se presentó igualmente una falla por corte con un slump de 4" y para el concreto 4 con 37% de poliestireno el slump presentado fue de 6" y por consiguiente el resultado fue un concreto mucho más fluido; El contenido de aire de las mezclas se determinó según la norma ASTM C231, la cual suministró resultados con promedios entre 7% y 10.9% de contenido de aire lo cual se debe a la adición de poliestireno a la mezcla aunque no se descarta que el aumento se deba a un mal procedimiento a la hora de compactar, respecto al peso unitario como era de esperarse mostró un resultado entre 1100 y 1500 kg/m<sup>3</sup> los cuales son bastante bajos en comparación a un concreto convencional que rodea los 2250 kg/m<sup>3</sup>.

En cuanto al concreto endurecido se les realizaron pruebas de compresión y flexión a cada probeta diseñada, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión arrojaron valores de entre 80 a 140kg/cm<sup>2</sup> los cuales se ajustan a la resistencia estipulada en la norma para concreto ligero estructural, en lo que

concierno a las pruebas de flexión el módulo de rotura varían entre 23 y 32 kg/cm<sup>2</sup> siendo estos resultados favorables debido a que los valores del módulo de rotura para concretos convencionales oscilan los 41 y 50 kg/cm<sup>2</sup>.

### **CELLULAR CONCRETE BRICKS WITH RECYCLED EXPANDED POLYSTYRENE AGGREGATE (Ladrillos de hormigón celular con agregado de poliestireno expandido reciclado) [14]**

Se realizaron bloques con una mezcla de hormigón que contenía poliestireno expandido reciclado en lugar de arena, a estos bloques se le realizaron diferentes ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. El poliestireno fue reciclado y seguido de esto se trituró obteniendo 1200g de material formado por partículas de entre 2 y 4mm para la adicionarlas a las mezclas con las cuales se diseñarían los especímenes, estos bloques fueron construidos en dos tandas llamada A y B. Para la primera tanda se elaboraron 5 bloques de 100x200x60mm con un concreto convencional más la inclusión de 600g de poliestireno expandido reciclado, cabe aclarar que el poliestireno usado en esta tanda se dejó secar después del triturado durante 7 días a temperatura ambiente por tal razón se considera que el material estaba semi húmedo; 28 días después se realizó la tanda B de bloques, al momento de adicionar el poliestireno a la mezcla el peso de esta había disminuido en 80g por lo cual ya no se contaban con 600g de poliestireno sino 520g, pese a esto se realizaron otros 5 bloque de iguales dimensiones a los anteriores hechos.

Pasados 27 días de realizados los bloques A y 13 los bloques B, se les hizo la prueba de absorción guiados por los parámetros establecidos en la norma ASTM C67-03. Los resultados de la prueba concluyeron que los bloques de la tanda B tuvieron una absorción de 9.3% y por su parte los de la tanda A 4.3%, debido a que el material de los bloques A estaba húmedo en comparación al de los bloques B que estaban casi secos da a pensar que el poliestireno ayuda a estos bloques proporcionar un mayor control de humedad que los bloques convencionales. Por otra parte, los resultados de la resistencia a la compresión fueron proporcionales a la antigüedad de los especímenes, en donde los bloques tipo A soportaron en

promedio 9.69Mpa mientras que los tipos B soportaron 6.92Mpa en promedio, cabe señalar que se nota una tendencia en el aumento de la resistencia de los bloques B y esto puede ser a causa de que el poliestireno estaba más seco y esto generó mayor adherencia entre las partículas de la mezcla.

En los resultados obtenidos se concluyó que los bloques cumplen con los requisitos exigidos en la normativa mexicana. Por otra parte, el material resultante es mucho más liviano que el convencional, la adherencia del poliestireno le brinda una menor permeabilidad, aumenta la flexibilidad del material ayudando a la disminución de grietas y por ultimo brinda una disminución económica ya que se trabaja con material reciclado.

**Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete (Propiedades mecánicas y de contracción por secado del concreto agregado de poliestireno con clasificación estructural) [15].**

El Concreto con Agregado de Poli estireno (CAP) es un material liviano con un buen nivel de deformación con uso en sistemas no estructurales a causa de su baja resistencia, pese a su baja resistencia, pero su ya mencionada buena capacidad de deformación a este material se le ha dado uso en la fabricación de prefabricados como paneles de revestimiento, pavimentos, estructuras flotantes marinas, entre otros.

El CAP fabricado con cemento, arena y esferas de poliestireno expandido de diámetros intermedios entre 1 y 6 mm permite la obtención de concretos con densidades superiores a  $600 \text{ kg/m}^3$ , para este estudio se realizaron 5 mezclas diferentes, una de control y otras cuatro en donde se realizó un reemplazo del 20, 40, 60 y 80% del agregado grueso por poliestireno a estas mezclas les fueron analizadas sus propiedades mecánicas y su contracción por secado. Las perlas de poliestireno utilizado fueron de aproximadamente 4mm de diámetro y  $24 \text{ kg/m}^3$  de densidad los otros materiales fueron cemento Portland convencional, arena de rio con módulo de finura 2.75 y grava con tamaño nominal de 10mm. Se realizaron especímenes de diferentes dimensiones para cada una de las pruebas a realizar, para la prueba de resistencia a la compresión se realizaron cubos de 100mm que

fueron ensayados a los 1, 3, 7, 14, 28, 90, 180, 270 y 360 días, para la resistencia a la tracción hicieron cilindros de 100mm y 200mm de diámetro y largo respectivamente y para la contracción fueron realizados prismas de 75x75x285mm los cuales se separaron en dos grupos los cuales se dejaron en curado unos durante 7 días y los otros durante 28, después de almacenaron a una temperatura constante de  $25 \pm 2$  °C por 540 días para medir su deformación por contracción.

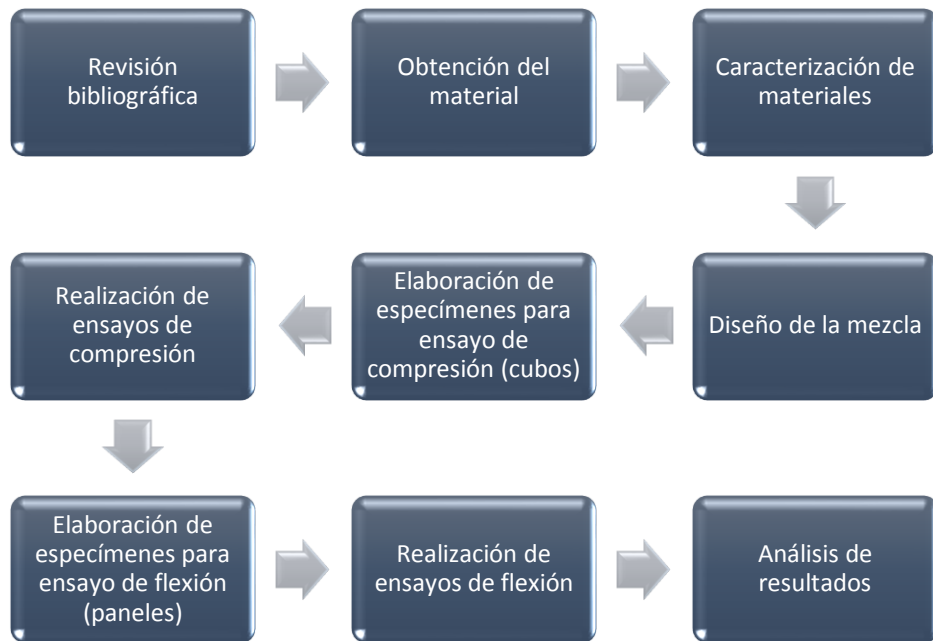
Los resultados arrojaron que las densidades de los CAP varían entre 1400 y 2100 kg/m<sup>3</sup> y la resistencia a la compresión entre 13 y 40Mpa esta varían dependiendo de la cantidad de poliestireno presente en la mezcla, en comparación a la mezcla de control, los resultados tanto de compresión como la densidad y el modulo elástico se redujeron a medida que aumentaba la presencia de poliestireno en la mezcla y por ultimo con respecto a los resultados de contracción de los CAP se notó que los niveles de contracción aumentaron en comparación a los de la mezcla de control a causa de que el poliestireno cuenta con bajo nivel de absorción.

## 7 METODOLOGÍA

El inicio del proyecto se apoyó en una revisión bibliográfica de los proyectos o investigaciones que se han realizado en torno al objetivo general del proyecto, posteriormente a esto se procedió a la compra del cemento y la arena obteniéndolos de la ferretería ARDISA ubicada en la carrera. 17C con calle 61 en Bucaramanga, Santander y a la compra de poliestireno expandido (EPS) en ICOPOHER SANTANDER S.A.S ubicada en la carrera 11 # 1a 52 Bucaramanga, Santander; este cuenta con una ficha técnica que se incluye en el capítulo 8. A estos materiales se les caracterizó con sus respectivos ensayos, guiados por la normativa existente, algunos de los ensayos realizados al agregado fueron: granulometría según la NTC 174 [16], masa unitaria suelta y compacta NTC 92 [17], densidad y absorción NTC 237 [18]; al cemento se le realizó densidad NTC 221 [19]; al EPS no se le realiza caracterización ya que se cuenta con la ficha técnica proporcionada por la empresa fabricante. Estos ensayos brindaron los datos necesarios para realizar el diseño de la mezcla basado en el capítulo 9 “dosificación de morteros” de concreto simple del Ing. Gerardo A. Rivera L. [2] en el cual se utiliza el módulo de finura de la arena y la densidad de los materiales.

Después de diseñada la mezcla se fundieron 252 probetas para ensayo en cuatro tandas cada una de 63 especímenes. La construcción de estos especímenes se hizo bajo lo indicado en la norma INV E - 323 - 07 [20]. Las proporciones de poliestireno escogidas fueron del 30%, 40% y 50% de reemplazo de arena. Los especímenes se realizaron con un día de diferencia y se ensayaron a compresión a los 7, 14 y 28 días. Con los resultados de compresión obtenidos se escogió la mezcla que representaba una mejor relación entre el peso y la resistencia para con esta mezcla hacer 4 paneles con dimensiones de 60mx45cmx4cm además de 2 paneles de “control” con las mismas dimensiones, los cuales fueron elaborados con solo el diseño de mortero sin EPS para comparar los paneles aligerados con paneles sin aligerante. Cada panel se cortó en 4 porciones iguales de más o menos 14.5cmx45cmx4cm para luego ser sometido a ensayos de flexión y realizar el respectivo análisis de los resultados.

En la gráfica 1 se aprecia la metodología usada:



Gráfica 1: Metodología  
Fuente: Propia

## 8 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLA

### 8.1 Análisis granulométrico del agregado fino.

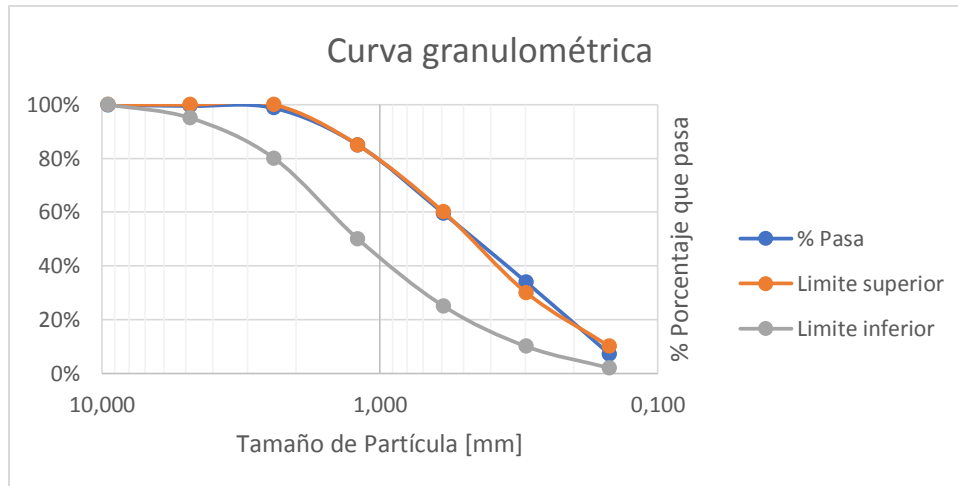
Para este análisis se hizo necesario el uso de una serie de tamices (ilustración 4) de aperturas entre 4.8mm y 74 micrones (#4 y #200). El método consiste en pesar 1000g del agregado fino y pasarlo a través de los tamices tomando apuntes de la cantidad de material retenido en cada uno de estos [16]. Los resultados se muestran en la tabla 1:



Ilustración 4: Serie de tamices  
Fuente: Propia

DATOS GRANULOMÉTRIA					
Tamiz	Abertura [mm]	Masa retenida [g]	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
3/8"	9,500	0	0%	0%	100%
#4	4,800	3	0%	0%	100%
#8	2,400	8	1%	1%	99%
#16	1,200	137	14%	15%	85%
#30	0,590	255	26%	40%	60%
#50	0,297	256	26%	66%	34%
#100	0,149	268	27%	93%	7%
Fondo		70	7%	100%	0%

Tabla 1: Datos granulométria  
Fuente: Propia



Gráfica 2: Curva granulométrica  
Fuente: Propia

Para calcular el módulo de finura de la arena se utiliza la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\text{Sumatoria de \% retenidos acumulados hasta el tamiz \#100}}{100} \quad (3)$$

Reemplazando los valores obtenidos en la formula tipo se obtiene módulo de finura de 2.15.

## 8.2 Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.

Para el ensayo se necesitaron elementos de laboratorio tales como: Balanza (con precisión de 1gr), varilla apisonamiento (de 1.6cm de diámetro y 60cm de largo con punta semiesférica), molde (metálico cilíndrico con manijas) [17]. En el inicio se procede a separar 5kg de agregado fino secándose en el horno durante 24h y se determina el volumen del molde; para la masa unitaria compacta se utiliza este material secado para llenar la tercera parte del molde nivelándolo con los dedos y apisonando esta capa con 25 golpes con la varilla de apisonamiento haciendo que se distribuyan uniformemente; se repite el mismo procedimiento en la capa de 2/3 del molde y en el molde totalmente lleno y se nivela al finalizar el llenado del molde, se obtiene la masa del molde con su contenido y se registra, igualmente con la masa del molde sin contenido; para la masa unitaria suelta se procede a llenar el molde completamente con el material en estado seco y se registran la



masa del molde con el material enrasado y la masa del molde sin contenido; de esta forma y seguidas las formulas tipo se obtienen los siguientes resultados:

Datos del molde	
Ø interno (cm)	18.3
h interna (cm)	18.5
Masa (g)	3068

Tabla 2: Dimensiones molde  
Fuente: Propia

$$Volumen\ interno = \pi * \left(\frac{\varnothing_{interno}}{2}\right)^2 * h_{interna} \quad (4)$$

Reemplazando los valores en la ecuación tipo resulta:

$$Volumen\ interno = 3.1416 * \left(\frac{18.3}{2}\right)^2 * 18.5 = 4865.9cm^3 = 0.0048659m^3$$



Ilustración 5: Masa unitaria suelta  
Fuente: Propia



Ilustración 6: Masa unitaria compacta  
Fuente: Propia



Ilustración 7: Nivelado del molde  
Fuente: Propia

El ensayo de masa unitaria suelta y compacta se realizó 4 veces cada una, tomando 4 veces la masa del molde más la arena siendo los resultados:

Masa unitaria suelta		Masa unitaria compacta	
Masa (g)	9762	Masa (g)	10471
	9807		10457
	9806		10469
	9817		10479
<b>Promedio</b>	<b>9798</b>	<b>Promedio</b>	<b>10469</b>

Tabla 3: Datos de masas unitarias  
Fuente: Propia

Para hallar la masa unitaria se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (5)$$

Donde:

M: masa unitaria del agregado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

G: masa del agregado más el molde (kg)

T: masa del molde (kg)

V: volumen del molde ( $\text{m}^3$ )

Obteniéndose la masa unitaria suelta

$$M_{suelta} = \frac{9.798 - 3.068}{0.0048659} = 1383.09 \text{ kg/m}^3$$

Obteniéndose la masa unitaria compacta

$$M_{compacta} = \frac{10.469 - 3.068}{0.0048659} = 1520.99 \text{ kg/m}^3$$

### **8.3 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.**

Para la realización de este ensayo era necesario conocer las definiciones de densidad que se presentan a continuación, igualmente al final se presentan las ecuaciones usadas para calcular estos valores.

La densidad se puede clasificar en: Densidad en condición seca al horno (SH), densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) y densidad aparente, la diferencia entre las dos primeras es que, como lo dice su nombre, las partículas en el primer estado (SH) se encuentran totalmente secas y por el contrario en la condición (SSS) las partículas se encuentran saturadas. El procedimiento para calcular las densidades es el mismo y consiste en sumergir en agua una muestra del agregado durante 24 horas, después las partículas se secan superficialmente y se calcula su masa. Luego, se introduce la muestra en un picnómetro graduado para calcular su volumen y, para terminar, se seca la muestra al horno y se determina su masa seca [18].

Los siguientes símbolos y las ecuaciones son los necesarios para calcular los diferentes valores de densidad y absorción:

A: Masa al aire de la muestra seca al horno

B: Masa del picnómetro aforado lleno de agua

C: Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) } SH = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (6)$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) } SSS = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (7)$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (8)$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad (9)$$

Se realiza el procedimiento descrito en la norma del cual se obtienen las siguientes imágenes, datos y resultados



Ilustración 8: Secado de la arena  
Fuente: Propia

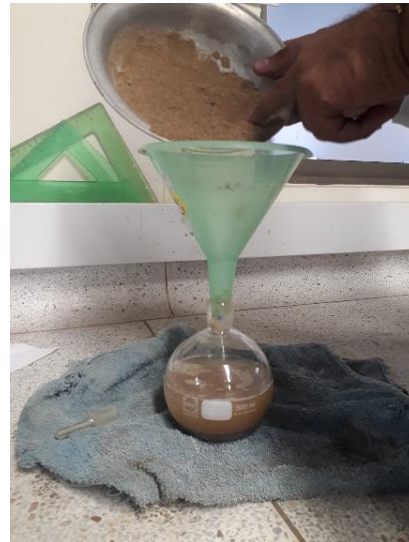


Ilustración 9: Vertido de la arena en el picnómetro  
Fuente: Propia

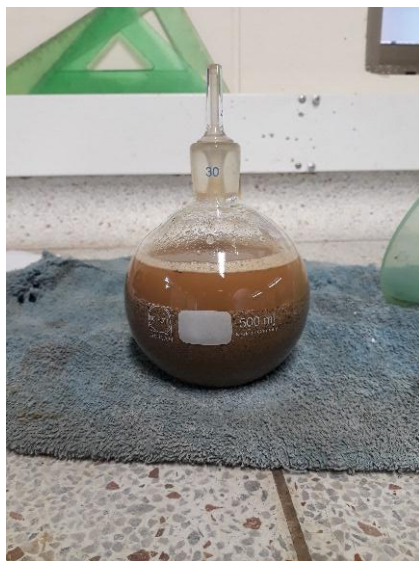


Ilustración 10: Picnómetro con la muestra de arena y agua  
Fuente: Propia

Los datos obtenidos durante el ensayo fueron los presentados en la tabla 4, del mismo modo, siguiendo las ecuaciones tipo se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5.

DATOS ENSAYO	
Peso arena SSS (g)	500
Peso picno (g)	162
Peso picno+agua (g)	698
Peso picno+agua+arena (g)	1002
Peso arena seca (g)	487

Tabla 4: Datos ensayo  
Fuente: Propia

Resultados	
Densidad relativa SH (g/cm <sup>3</sup> )	2,485
Densidad relativa SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2,551
Densidad relativa aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,661
Absorción (%)	2,669

Tabla 5: Resultados ensayo  
Fuente: Propia

#### 8.4 Densidad del cemento hidráulico.

Para la realización de este ensayo es necesario el uso del frasco de Le Chatelier, kerosene y cemento hidráulico, estos deben cumplir con las indicaciones descritas en la NTC 221 [19]. se deposita kerosene hasta las marcas entre 0 - 1 ml en el

frasco de Le Chatelier, se registra la primera lectura después de someter el frasco a un baño de agua y limpiar excedentes del líquido en el cuello del frasco, seguido de esto agregan aproximadamente 64g de cemento con la precaución de no permitir la adherencia del cemento en las paredes del frasco de Le Chatelier, se instala el tapón del frasco para la extracción del aire atrapado entre sus partículas [19]. Se toma una lectura final después de dejar el frasco en un baño de agua. Los cálculos se realizan según las siguientes ecuaciones:

$$Vol_{desplazado} = Vol_{final} - Vol_{inicial} \quad (10)$$

$$Densidad = \frac{Masa\ del\ cemento}{Vol_{desplazado}} \quad (11)$$

Los datos obtenidos al realizar el ensayo en el laboratorio se presentan en la tabla 6:

Densidad del cemento	
Temperatura inicial (°C)	23
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	0,3
Temperatura final (°C)	20
Volumen final (cm <sup>3</sup> )	22,1
Masa cemento (g)	64
Volumen desplazado (cm <sup>3</sup> )	21,8
Densidad cemento (g/cm <sup>3</sup> )	2,94

Tabla 6: Datos densidad cemento  
Fuente: Propia



Ilustración 11: Frasco de Le Chatelier  
Fuente: Propia

## 8.5 Propiedades del poliestireno expandido EPS

El poliestireno expandido utilizado para la realización del proyecto se adquirió en ICOPOHER SANTANDER S.A.S empresa en la cual facilitaron directamente la ficha técnica del fabricante que se muestra a continuación:



### EPS- Self Extinguishing Grade(Non-HBCD)

#### A. Characteristic

<b>Pre-expansion :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Comment steam pressure</li> <li>● Shorter intermediate aging time in silo</li> <li>● Wide processing window (suitable for both low and high density application)</li> </ul>	<b>Molding :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Excellent fusion and surface finish</li> <li>● Versatile- suitable for wide range of products</li> </ul>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### B. Properties of beads

	SB-FR	S1-FR	S2-FR	S3-FR	M-FR	S-FR
Beads Size	1.2-1.8mm	0.9-1.3mm	0.7-1.0mm	0.5-0.8mm	0.9-1.8mm	0.5-1.0mm
Density	15-20 g/l	16-22 g/l	17-25 g/l	17-30 g/l	15-22 g/l	17-30 g/l
Application	Construction / Block					
Humidity	< 2.0%					
Specific Gravity	Approx. 1.03					
Pentane Level	5.5 - 7.0%					
Fire Rating	UL 94, HF-1					

#### C. Processing conditions

No	Item	Self Extinguishing Grade
1	Pre-expansion Steam Pressures	0.1 - 0.3 Bar
2	Chamber Temperature	95 - 105 °C
3	Aging Time (Low Density)	6 - 12 Hours
	Aging Time (Mid Density)	10 - 16 Hours
	Aging Time (High Density)	14 - 26 Hours
4	Molding Steam Pressure (Short Aging)	1.0 - 1.3 Bar
	Molding Steam Pressure (Mid Aging)	1.1 - 1.4 Bar
	Molding Steam Pressure (Long Aging)	1.2 - 1.5 Bar

Ming Dih Industry Co., Ltd.  
 OFFICE: NO.94, CHI-HSIEN FIRST ROAD, SHIN SHING AREA, KAOHSIUNG, TAIWAN R.O.C.  
 Tel : +886-7-7872411 Fax : +886-7-7872414 / 7876411

*Ilustración 12: Especificaciones poliestireno expandido*  
*Fuente: ICOPOHER SANTANDER S.A.S*

De la anterior ficha técnica se obtiene la densidad utilizada en el diseño de mezcla de 30kg/m<sup>3</sup>

## 8.6 Diseño de mezcla

El diseño de la mezcla se realiza según lo explicado en el libro Concreto de Gerardo Riviera [2] el cual está basado en la normativa colombiana. Se cuenta con los siguientes datos de los materiales a utilizar

Datos de materiales		
<b>Cemento</b>	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2940
<b>Agua</b>	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1000
<b>Arena</b>	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2485
	Módulo de finura	2,15
	Masa unitaria suelta (Kg/m <sup>3</sup> )	1383,09
	Absorción (%)	2,67

Tabla 7: Datos de materiales  
Fuente: Propia

- **Resistencia del mortero**

Se selecciona la resistencia de diseño a la compresión mínima: 17Mpa = 178kg/cm<sup>2</sup>

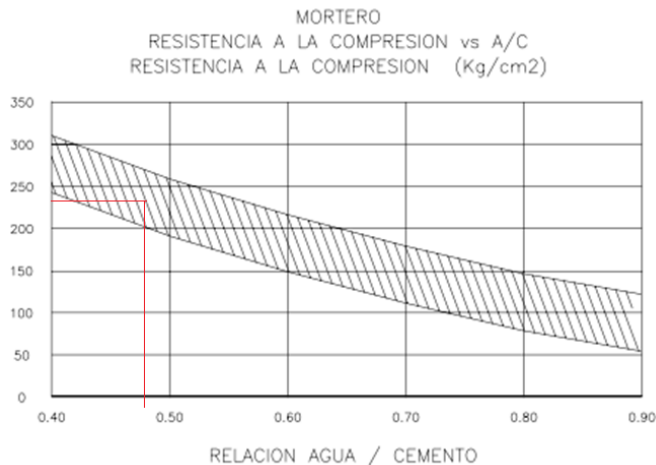
Resistencia a la compresión del mortero:

$$R'_{mm} = 1.35 * R_{min} \quad (12)$$

$$R'_{mm} = 1,35 * 17,5 = 23,625 \text{ Mpa} = 241 \text{ kg/cm}^2$$

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

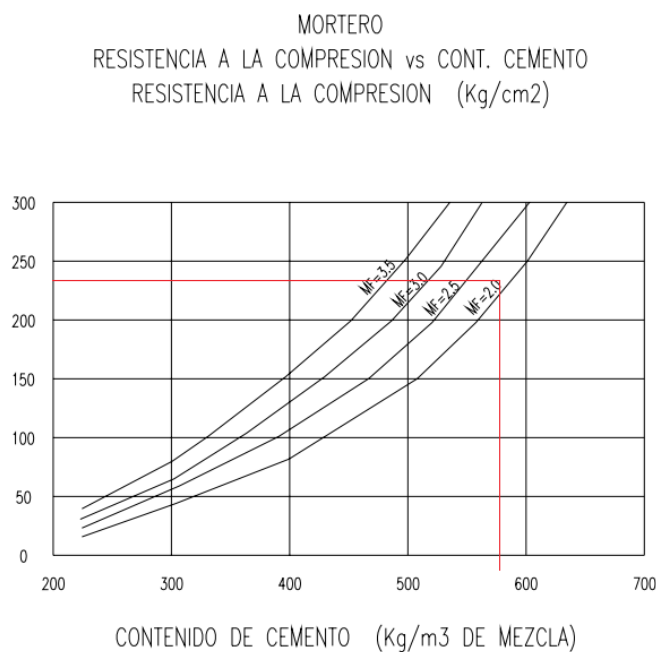




Gráfica 3: Relación agua/cemento [2]

Relación Agua/cemento = 0,48

- **Estimación del contenido de cemento**



Gráfica 4: Contenido de cemento para fluidez 102% a 113% [2]

Contenido de Cemento = 580Kg/m<sup>3</sup>

- **Calculo de la cantidad de Agua:**

$$\text{Contenido de agua} = \text{Contenido de cemento} * \text{Relacion agua cemento} \quad (13)$$

$$Agua = 580 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0,48 = 278,4 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

- **Calculo del contenido de arena:**

Volumen absoluto de la arena (dm3)

$$Volumen arena (dm3) = 1000 - \frac{Contenido de cemento}{Densidad del cemento} - \frac{Contenido de Agua}{Densidad del agua} * 1000 \quad (14)$$

$$Varena = 1000(dm3) - \frac{580(kg)}{2,94 \left( \frac{kg}{dm^3} \right)} - \frac{278,4(kg)}{1 \left( \frac{kg}{dm^3} \right)} = 524,32 = 524dm3$$

$$Peso de la arena = Volumen de la arena * Densidad de la arena \quad (15)$$

$$Warena = 524 * 2,485 = 1302,14 = 1302kg$$

- **Fluidez para ajuste de agua**

Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup>

<b>Cantidades para 1m<sup>3</sup> mezcla</b>	
Cemento (Kg)	580
Arena (Kg)	1302
Agua (lt)	278,4

Tabla 8: Cantidades sin ajuste para 1m<sup>3</sup> de mezcla  
Fuente: Propia

Medidas de la fluidez del mortero con adición de 30ml de agua

Medida	L (cm)	L x 2	Diametro torta mortero
#1	2,925	5,85	19,55
#2	3,218	6,436	18,964
#3	2,874	5,748	19,652
#4	3,666	7,332	18,068
#5	3,281	6,562	18,838
#6	3,195	6,39	19,01
		∅ Promedio	19,01366667

Tabla 9: Fluidez de mortero sin ajuste de humedad  
Fuente: Propia

$$\%Fluidez = \frac{\text{Diametro promedio de la muestra} - \text{Diametro base del molde}(10.6\text{cm})}{\text{Diametro base del molde}(10.6\text{cm})} * 100 \quad (16)$$

$$Fluidez = \frac{19.013 - 10.6}{10.6} * 100$$

$$Fluidez = 79.36\%$$

- **Ajuste por humedad**

Diseño inicial

<b>Cantidades para 1m<sup>3</sup> mezcla</b>	
Cemento (Kg)	580
Arena (Kg)	1302
Agua (lt)	278,4

Tabla 10: Cantidades sin ajuste para 1m<sup>3</sup> de mezcla  
Fuente: Propia

Se adicionaron 30ml de agua para la mezcla de 0.000375m<sup>3</sup> para obtener la fluidez de la tabla 9, entonces las nuevas cantidades son:

Cemento: 0.2175 kg

Agua: 0.1344 lt

Arena: 0.48825 kg

Corrigiendo para una mezcla de 1m<sup>3</sup>

0.1344 lt -----> 0.000375 m<sup>3</sup>

X -----> 1 m<sup>3</sup>

$$X = \frac{1 * 0.1344}{0.000375} = 358.4 \text{ lt}$$

- **Contenido de cemento corregido**

$$\text{Contenido de agua} = \text{Contenido de cemento} * \text{Relacion agua cemento} \quad (13)$$

De esta ecuación se despeja el contenido de cemento

$$\frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Relacion agua cemento}} = \text{Contenido de cemento} \quad (17)$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{358.4}{0.48} = 746.7 \text{ kg}$$

- **Contenido de arena**

$$\text{Volumen arena (dm}^3\text{)} = 1000 - \frac{\text{Contenido de cemento}}{\text{Densidad del cemento}} - \frac{\text{Contenido de Agua}}{\text{Densidad del agua}} * 1000 \quad (18)$$

$$\text{Volumen abosulo de la arena (m}^3\text{)} = 1 - \frac{746.7}{2940} - \frac{358.4}{1000} = 0.03$$

$$\text{Volumen abosulo de la arena (m}^3\text{)} = 0.35762$$

$$\text{Peso de la arena} = \text{Volumen de la arena} * \text{Densidad de la arena} \quad (19)$$

$$\text{Peso de la arena kg} = 0.35762 * 2485 = 888.687\text{kg}$$

- **Diseño corregido para 1 m<sup>3</sup>**

Cantidades para 1m <sup>3</sup> mezcla		
Cemento (Kg)	746,70	Relación con cemento: 1
Arena (Kg)	888,69	Relación con cemento: 1,19
Agua (Lt)	358,40	Relación con cemento: 0,479

Tabla 11: Cantidades finales para 1m<sup>3</sup> de mezcla  
Fuente: Propia

## 8.7 Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Mesa de Flujo).

Este ensayo consiste en la determinación de la fluidez de morteros usando la mesa de flujo (Ilustración 12), este aparato consta de un soporte, un árbol, una plataforma circular y un molde [21].

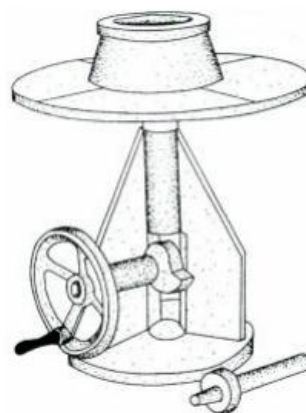


Ilustración 13: Mesa de flujo [21]

El procedimiento de este ensayo se dividió en tres fases: Llenado del molde, ensayo y resultados. La primera inició con la limpieza de la plataforma, se engrasó

el molde y se colocó en el centro de la plataforma, para después ser llenado con una primera capa de mortero de aproximadamente 25mm de espesor y se compacta con 20 golpes, luego, con una segunda capa se llena el molde en su totalidad y se procede a repetir la compactación con los mismo 20 golpes, al final se limpia el exceso de mortero y se nivela.

En la segunda fase se vuelve a limpiar la plataforma alrededor del molde. Un minuto después de llenado el molde, este se retira y se comienza a dejar caer la mesa de flujo 25 veces en 15 segundos. Después, se mide el diámetro de la muestra en cuatro puntos equidistantes. La última fase es el cálculo de la fluidez

La fluidez se calcula con la siguiente formula:

$$\%Fluidez = \frac{\text{Diametro promedio de la muestra} - \text{Diametro base del molde}(10.6\text{cm})}{\text{Diametro base del molde}(10.6\text{cm})} * 100 \quad (16)$$

Debido a que en el proyecto se realizaron 5 diferentes mezclas de mortero las cuales fueron la mezcla de control, las de 30%, 40% y 50% de reemplazo de arena por EPS y otra más que no se contempló en el proyecto en la cual se reemplazaba el 40% de la mezcla por EPS denominada "PLUS". Por tal razón, también se hicieron 5 diferentes ensayos de fluidez, la tabla 12 contiene los valores obtenidos para cada mezcla y seguido de esta se muestran las imágenes de los ensayos correspondientes.

Mezcla	Control	30% reemplazo arena	40% reemplazo arena	50% reemplazo arena	Plus 40% reemplazo mezcla
Ø1 pasta (cm)	18,11	20,60	20,63	21,07	15,70
Ø2 pasta (cm)	18,27	21,13	20,93	20,54	16,30
Ø3 pasta (cm)	18,01	20,34	20,26	21,53	15,00
Ø4 pasta (cm)	18,12	20,76	19,38	21,43	15,60
Øpromedio pasta (cm)	18,13	20,71	20,30	21,14	15,70
Fluidez (%)	71	95	92	99	47,64

Tabla 12: Datos y resultados de fluidez  
Fuente: Propia



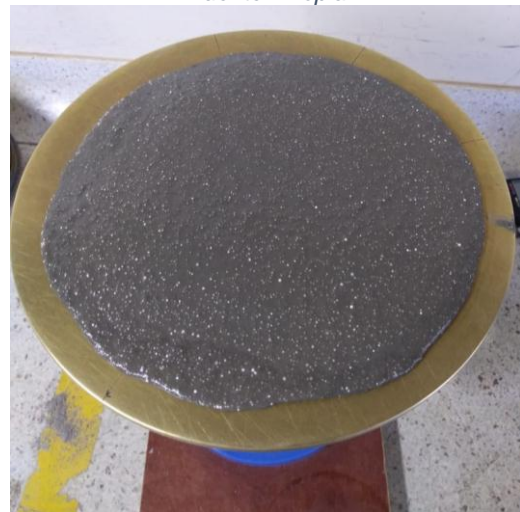
*Ilustración 14: Fluides control  
Fuente: Propia*



*Ilustración 16: Fluides 40% reemplazo  
Fuente: Propia*



*Ilustración 15: Fluides 30% reemplazo  
Fuente: Propia*



*Ilustración 17: Fluides 50% reemplazo  
Fuente: Propia*



*Ilustración 18: Fluides plus  
Fuente: Propia*

## 8.8 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.

Para el desarrollo de este ensayo es necesaria la construcción de cubos de 5x5x5cm según lo indica la norma INV E - 323 - 07 [20]. Se engrasan las formaletas para que los especímenes tengan un fácil desencofrado, después de esto, se procede a realizar la mezcla y realizarse su prueba de fluidez esta última se realiza como lo indica la NTC 111 [21]. Después, se procede al molde de los especímenes el cual se realiza a dos capas cada una compactada con 32 golpes en 10 segundos, estos golpes se distribuyen de la manera en que indica la ilustración 18 al final de la compactación se nivela la superficie del cubo con ayuda de cualquier elemento liso, después de esto se dejan en la formaleta y en un sitio húmedo durante 20 a 72 horas pasado este tiempo los cubos se retiran de las formaletas y se introducen en un depósito con agua-cal hasta antes de ser sometidos al ensayo de compresión. Para el ensayo de compresión, cada cubo se debe introducir cuidadosamente en la máquina y aplicándosele una carga entre 900N/s a 1800N/s.

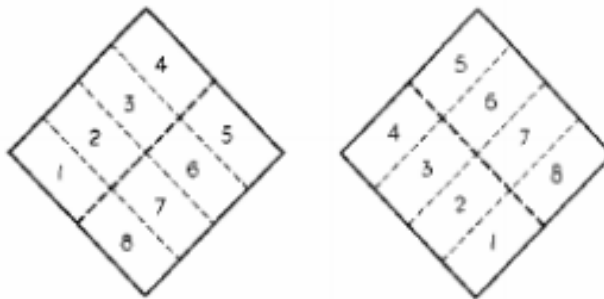


Ilustración 19: Compactación de los cubos [20]

Para conocer la resistencia a la compresión con que cuentan los cubos se tienen en cuenta la carga máxima que soporta el cubo antes de fallar y se aplica la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (200)$$

Donde:

$f_m$ : resistencia a la compresión en Mpa



P: carga máxima total en N

A: área de la cara cargada en mm<sup>2</sup>

Se elaboraron en total 315 especímenes, de a 63 unidades por fundida. Cada tanda se realizó con una mezcla diferente según la proporción de poliestireno expandido añadido. Las cantidades de las mezclas se muestran en la tabla 13, también se incluyen fotografías de la realización de algunos de estos especímenes.

<b>Cantidades de mezcla para 63 cubos con 30% de desperdicio (0.0102375 m<sup>3</sup>)</b>					
<b>Materiales</b>	<b>Mezcla control</b>	<b>Mezcla 30% reemplazo arena</b>	<b>Mezcla 40% reemplazo arena</b>	<b>Mezcla 50% reemplazo arena</b>	<b>Plus 40% reemplazo mezcla</b>
Cemento (Kg)	7.64	7.64	7.64	7.64	4.59
Agua (Lt)	3.67	3.67	3.67	3.67	2.20
Arena (kg)	9.10	6.37	5.46	4.55	5.46
EPS (g)	0	32.95	43.93	54.92	122.85

Tabla 13: Cantidades mezclas  
Fuente: Propia



Ilustración 20: Engrasado de formaletas  
Fuente: Propia

Ilustración 21: Mezclado de materiales  
Fuente: Propia



Ilustración 22: Fluidez de la mezcla  
Fuente: Propia





Ilustración 23: Diseño y fraguado de especímenes  
Fuente: Propia



Ilustración 24: Curado de especímenes  
Fuente: Propia



Ilustración 25: Especímenes ensayados a compresión  
Fuente: Propia

Los promedios de los ensayos a compresión realizados a los especímenes a los 7, 14 y 28 días se pueden observar en la tabla 14.

Resultados ensayo a la compresión de cubos				
Mezcla	Tiempo (días)	Peso (g)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
Control	7	263,4	53,43	21,37
	14	264,6	58,37	23,33
	28	264,7	66,73	26,70
30% reemplazo arena	7	242,6	36,76	14,71
	14	241,8	41,85	17,40
	28	241,0	48,70	19,47
40% reemplazo arena	7	230,6	36,04	14,43
	14	231,8	44,96	17,97
	28	232,9	45,04	18,09
50% reemplazo arena	7	223,6	32,92	13,17
	14	221,9	36,04	14,41
	28	222,1	40,07	16,02
Plus 40% reemplazo mezcla	7	184,6	10,32	4,13
	14	185,9	10,72	4,29
	28	186,1	11,35	4,54

Tabla 14: Resultados de ensayos de compresión  
Fuente: Propia

## 8.9 Resistencia a la flexión del concreto Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz.

Para el análisis de flexión se necesitó marcos de madera de 60x45x4cm los cuales brindaron el servicio de formaletas para los paneles que se construyeron para ensayarlos a flexión. En total se construyeron 4 paneles con la mezcla del 40% de reemplazo de arena por poliestireno expandido, 2 paneles con la mezcla de control y un panel más con una mezcla que contenía 40% de poliestireno expandido de mayor tamaño y menor densidad que el trabajado en las mezclas anteriores.



*Ilustración 26: Mezcla y panel 40% reemplazo arena  
Fuente: Propia*



*Ilustración 27: Mezcla y panel 40% reemplazo mezcla*

Fuente: Propia

Los paneles se dejaron 24 horas en fraguado antes de desencofrar y se dejaron en curado 28 días hasta que obtuvieran su resistencia de diseño. Pasados los 28 días se sacaron de los depósitos de curado y se procedió a cortarlos en 4 secciones de aproximadamente 14.5x45x4cm con ayuda de la maquina cortadora para concreto y del laboratorista encargado para así proceder a introducirlos en la máquina y ensayarlos a flexión [22].



Ilustración 28: Corte de los paneles  
Fuente: Propia



Ilustración 29: Espécimen listo para ensayo a flexión  
Fuente: Propia

La tabla 15 muestra los resultados promediados de los análisis de flexión realizados a los especímenes, la información completa se muestra en el capítulo 8.

Resultados de paneles a flexión			
Paneles	Peso (g)	Carga (Kn)	Módulo de rotura (Kpa)
Paneles control	5699	1,708	2,956
Paneles 40% reemplazo arena	5034	1,441	2,492
Paneles 40% reemplazo mezcla	4065	0,988	1,705

Tabla 15: Resultados paneles a flexión  
Fuente: Propia

### 8.10 Absorción del mortero.

Para este ensayo se secaron 4 cubos en el horno a temperatura constante de 100 °C  $\pm$  5°C durante 24 horas. Se procedió llenando 4 vasos de precipitado hasta un volumen de 250ml, después de procedió a introducir los cubos dentro de los vasos de precipitado cada cubo en un respectivo vaso, los cubos ensayados fueron uno

de la mezcla de control, otro de la mezcla con el 30%, otro con la del 40% y otro con el 50% de reemplazo de arena por poliestireno.



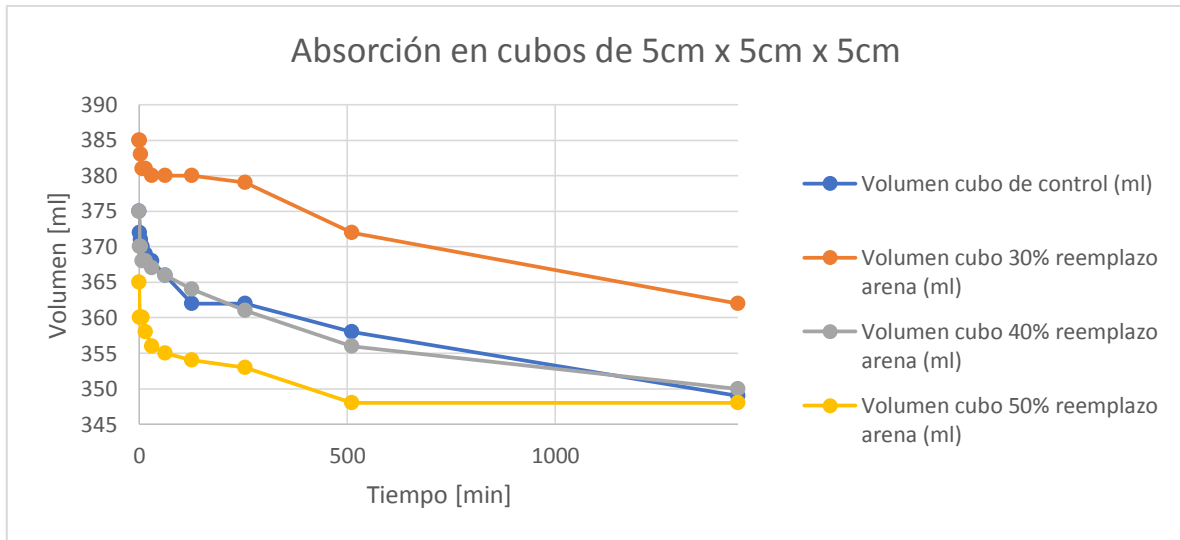
Ilustración 30: Cubos dentro del vaso de precipitado con agua  
Fuente: Propia

Los datos registrados se tomaron un minuto después de introducido el cubo en el vaso de precipitado con agua y después se tomaron medidas duplicando el tiempo. El ensayo se finalizó pasadas 24 horas de introducido los cubos en el agua y los datos obtenidos se registran en la tabla 16.

Ensayo de absorción en cubos de 5cm x 5cm x 5cm				
Tiempo	Volumen cubo de control (ml)	Volumen cubo 30% reemplazo arena (ml)	Volumen cubo 40% reemplazo arena (ml)	Volumen cubo 50% reemplazo arena (ml)
*	250	250	250	250
0 min	375	385	375	365
1 min	372	385	370	360
3 min	371	383	370	360
7 min	370	381	368	360
15 min	369	381	368	358
31 min	368	380	367	356
63 min	366	380	366	355
127 min	362	380	364	354
255 min	362	379	361	353
511 min	358	372	356	348
1440 min	349	362	350	348
<b>Absorción Total</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>17</b>

Tabla 16: Datos absorción cubos  
Fuente: Propia

De los datos de la tabla 16 se obtiene la gráfica 5:



*Gráfica 5: Absorción en cubos de mortero de 5cm x 5cm x 5cm  
Fuente: Propia*

### 8.11 Pérdida de humedad del mortero.

Con este ensayo se buscó analizar cuál era la pérdida de agua si los cubos se exponían al medio ambiente. Para esto, se dejaron sumergidos en agua cuatro cubos durante 24 horas hasta que quedaran totalmente saturados y con peso constante. Después, se procedió a buscar un lugar de ambiente controlado donde no hubiese presencia de corrientes de aire, en este sitio se dejaron los cubos expuestos al ambiente y se fueron tomando sus pesos.



*Ilustración 31: Cubos expuestos al ambiente  
Fuente: Propia*

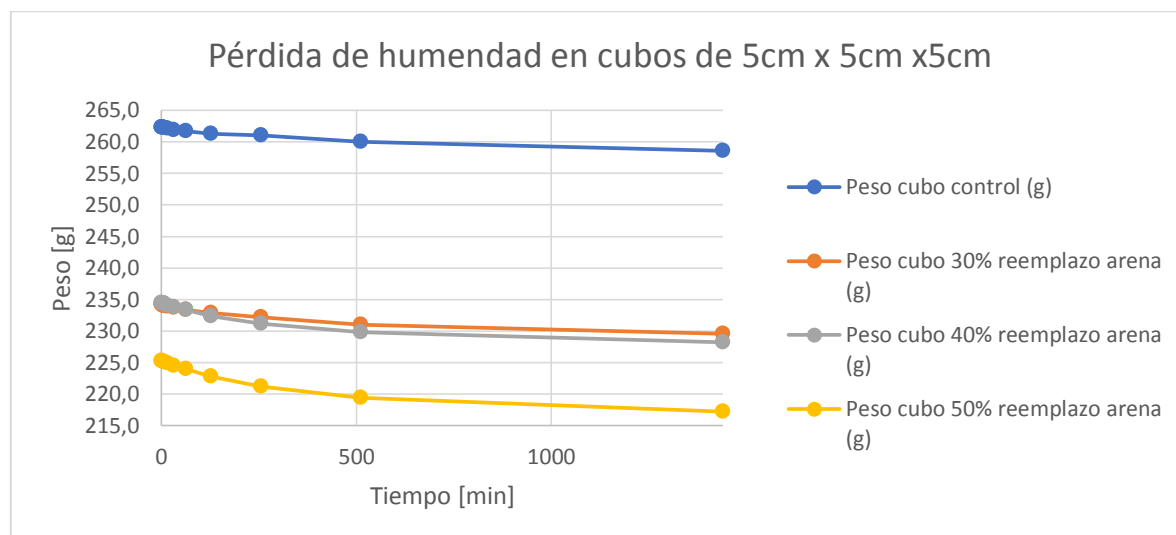
La primera medida se registró al momento de sacar los cubos del agua y secarlos superficialmente, la segunda se tomó pasado un minuto de estar expuestos al

ambiente, y las siguientes medidas se tomaron duplicando el tiempo anterior. La temperatura ambiente en el lugar donde se tomaron las medidas era de 29°C y se mantuvo constante. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 17.

Registro datos pérdida de humedad en cubos de 5cm x 5cm x 5cm				
Tiempo (min)	Peso cubo control (g)	Peso cubo 30% reemplazo arena (g)	Peso cubo 40% reemplazo arena (g)	Peso cubo 50% reemplazo arena (g)
0 min	262,3	234,2	234,5	225,3
1 min	262,3	234,2	234,4	225,3
3 min	262,3	234,1	234,4	225,2
7 min	262,2	234,0	234,4	225,1
15 min	262,1	233,9	234,1	224,9
31 min	261,9	233,7	233,8	224,5
63 min	261,7	233,4	233,4	224,0
127 min	261,3	232,9	232,4	222,8
255 min	261,0	232,2	231,2	221,2
511 min	260,0	231,0	229,8	219,4
1440 min	258,6	229,6	228,2	217,2
<b>Pérdida de humedad total (g)</b>	<b>3,7</b>	<b>4,6</b>	<b>6,3</b>	<b>8,1</b>

Tabla 17: Datos pérdida de humedad  
Fuente: Propia

De los datos de la tabla 17 se obtiene la gráfica 6:



Gráfica 6: Pérdida de humedad en cubos de 5cm x 5cm x 5cm  
Fuente: Propia

## 9 ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 9.1 Resultados y análisis cubos a compresión

Aplicando a la resistencia y peso de los cubos el teorema de chebyshev y grafica de cajas con el software Excel, se logra identificar la concentración de los resultados e identificar valores atípicos los cuales se podría considerar su eliminación para no afectar dicha muestra; de igual manera se elabora el diagrama de normalidad en el software Minitab para comprobar que cumpla con una distribución normal para de esta forma confirmar que es viable aplicarle un análisis de varianza

Este análisis se realizó a los especímenes que fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días, en las tablas con los datos se especifica que dato es excluido.

El análisis de las mezclas de control, 30% reemplazo de arena, 50% reemplazo de arena y plus con el 40% reemplazo de mezcla se encuentran en el anexo A.

Con esto se identifica que a los 7 días de curado es necesario eliminar 1 dato de los cubos de control debido a su resistencia; a los 14 días es necesario eliminar 1 dato de los cubos de control y 1 dato de los cubos de 50% reemplazo arena debido a su resistencia; en los 28 días de curado es necesario eliminar 2 datos de los cubos de 30% reemplazo arena y 1 dato de los cubos de 40% reemplazo arena. En total se eliminan 6 especímenes de los 240 planteados en el proyecto. Se confirma que todas las muestras tienen una distribución normal debido a que cumplen con los parámetros propuestos

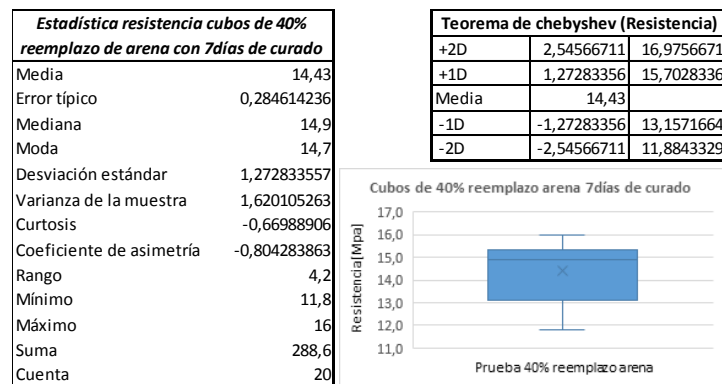
De igual forma se identifica que los cubos de control cumplen con la resistencia requerida desde los 7 días de curado mientras que los de 30% y 40% reemplazo arena comienza a cumplir la resistencia minima desde los 14 días de curado y los cubos de 50% reemplazo arena no llegan a cumplir la resistencia minima requerida



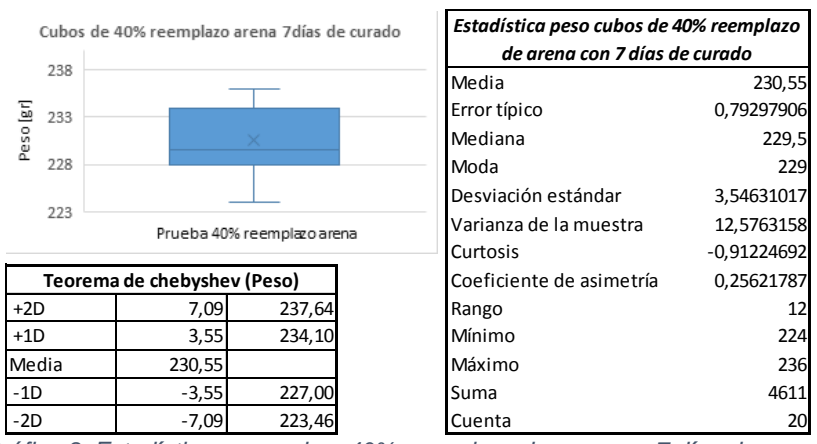
### 9.1.1 Cubos 40% de reemplazo de arena en 7 días de curado

Resultados cubos de 40% reemplazo de arena con 7 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	231	29,45	11,8
2	229	31,00	12,4
3	229	31,14	12,5
4	229	32,41	13,0
5	224	32,69	13,1
6	227	33,11	13,2
7	235	36,35	14,5
8	227	36,78	14,7
9	232	36,64	14,7
10	234	37,06	14,8
11	228	37,48	15,0
12	236	37,62	15,0
13	230	37,76	15,1
14	236	37,76	15,1
15	229	37,91	15,2
16	228	38,47	15,4
17	234	39,03	15,6
18	227	39,31	15,7
19	230	39,46	15,8
20	236	40,02	16,0

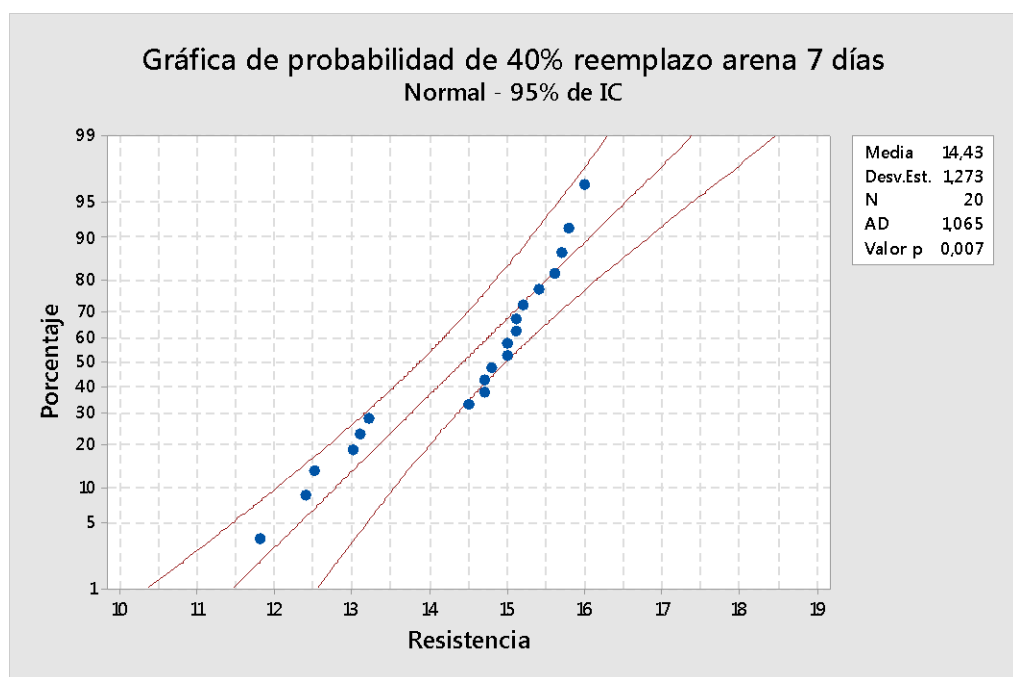
Tabla 18: Resultados cubos 40% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



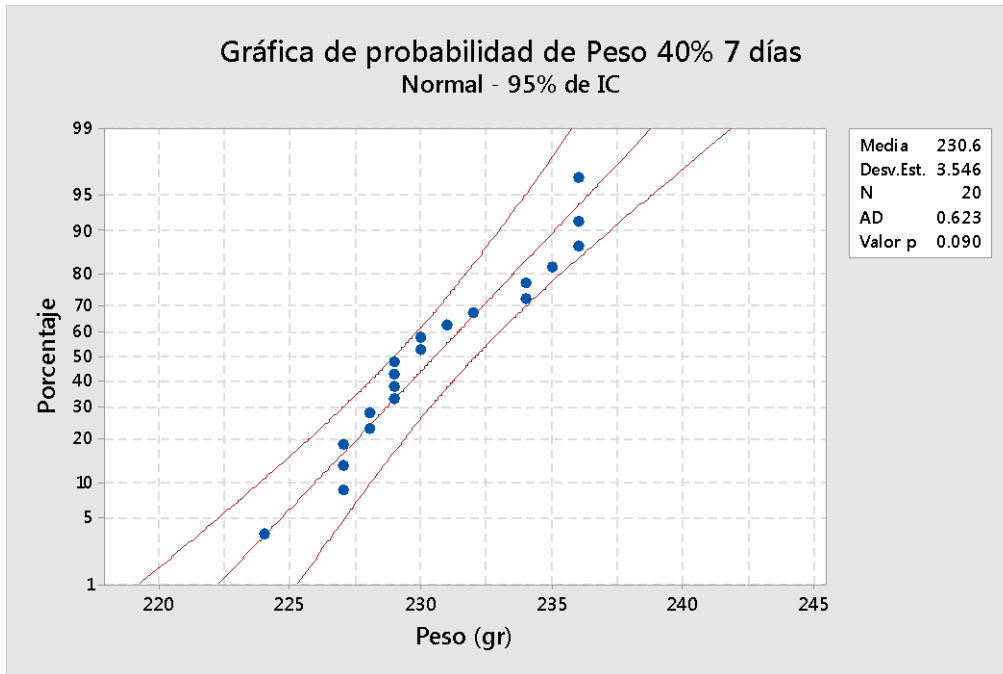
Gráfica 7: Estadística resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



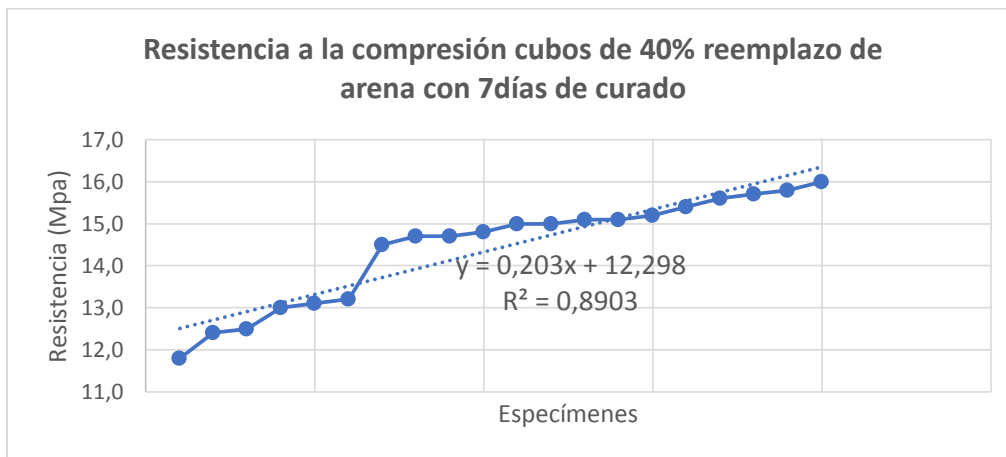
Gráfica 8: Estadística peso cubos 40% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 9: Probabilidad 40% reemplazo 7 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 10: Probabilidad 40% reemplazo 7 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 11: Resultados resistencia filtrados cubos de 40% reemplazo en 7 días de curado  
Fuente: Propia

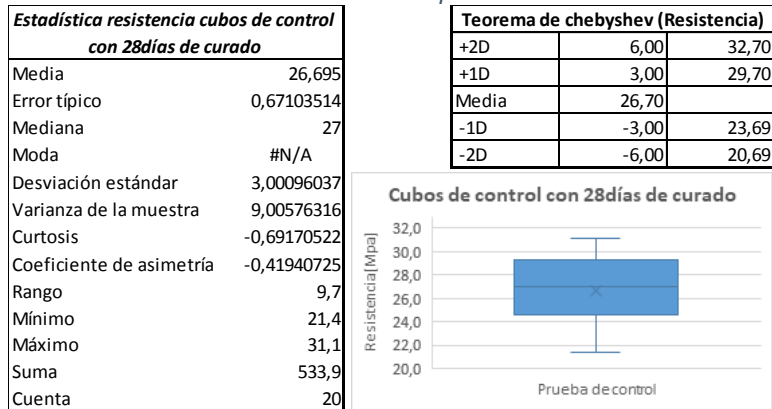
Con esto se logra confirmar que no se necesita eliminar ningún dato de la muestra y que es viable para el ANOVA

### 9.1.2 Cubos 40% de reemplazo de arena en 28 días de curado

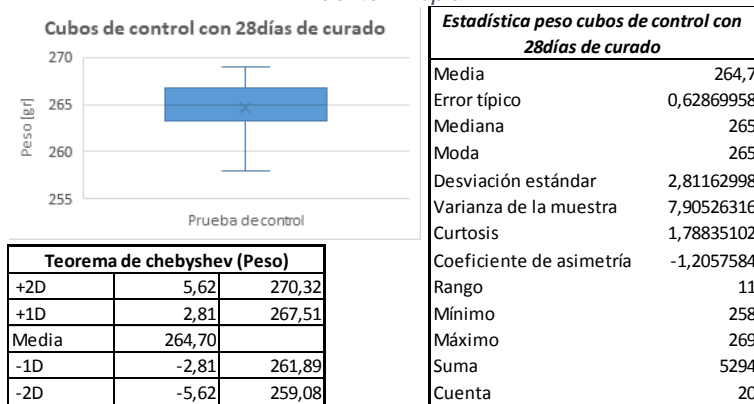
Resultados cubos de 40% reemplazo de arena con 28 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	234	51,43	15,0
2	227	42,13	16,0
3	228	42,42	16,1
4	231	41,85	16,7
5	229	43,40	16,7
6	236	46,22	16,8
7	233	42,41	17,0
8	238	50,02	17,0
9	236	53,12	17,3
10	232	37,62	17,4
11	245	49,18	18,3
12	234	50,30	18,5
13	235	46,64	18,7
14	230	41,99	18,9
15	229	40,02	19,7
16	239	49,88	20,0
17	233	47,06	20,0
18	236	45,80	20,1
19	231	43,26	20,6
20	235	40,16	21,2

Dato Excluido

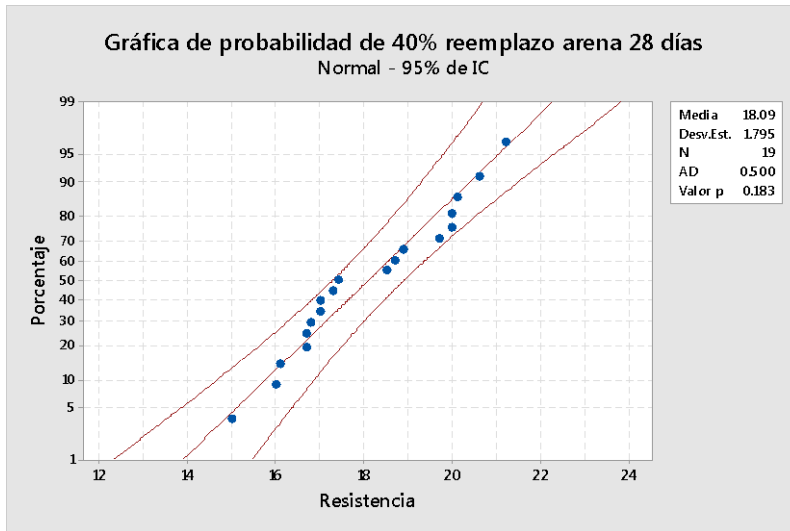
Tabla 19: Resultados resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



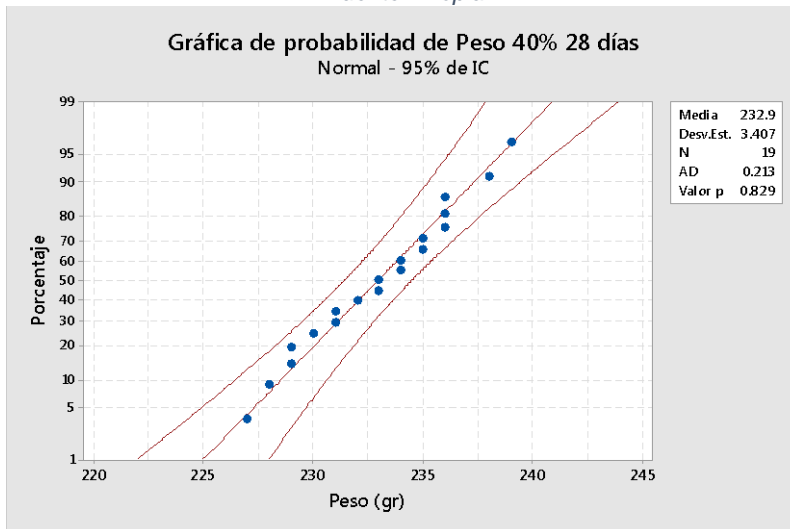
Gráfica 12: Estadística Resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



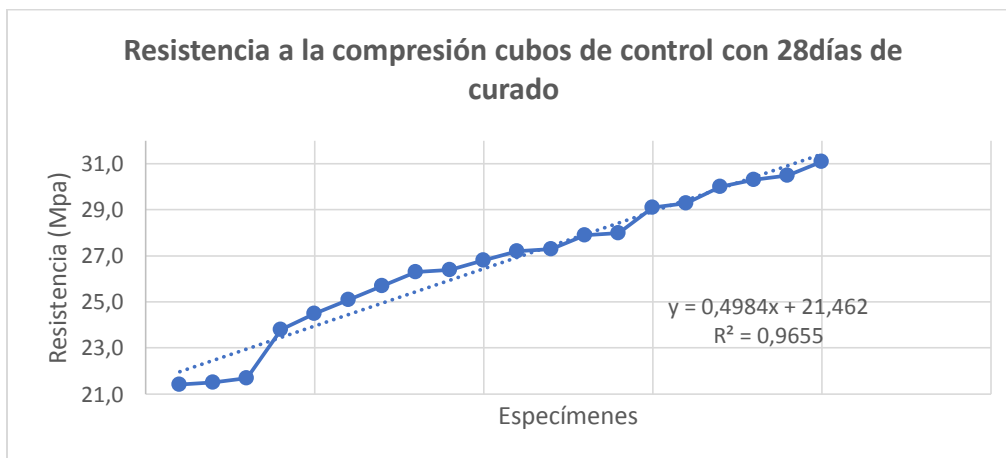
Gráfica 13: Estadística Peso cubos 40% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 14: Probabilidad 40% reemplazo 28 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 15: Probabilidad 40% reemplazo 28 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia

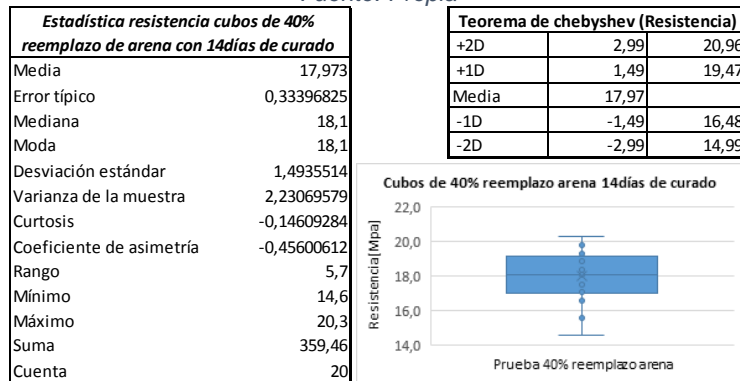


Gráfica 16: Resultados filtrados cubos de 40% reemplazo en 28 días  
Fuente: Propia

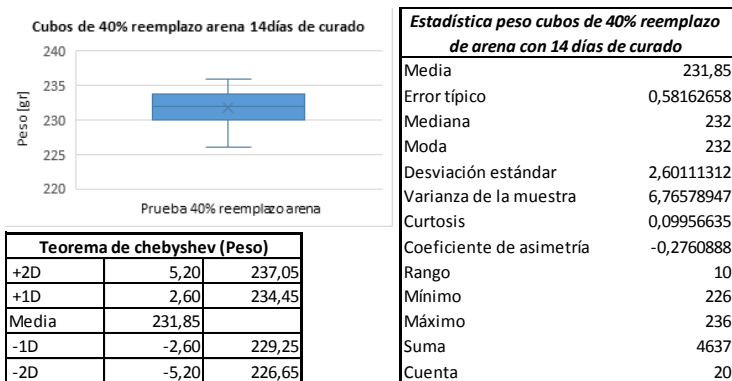
### 9.1.3 Cubos 40% de reemplazo de arena en 14 días de curado

Resultados cubos de 40% reemplazo de arena con 14 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	232	36,50	14,6
2	230	39,03	15,6
3	236	41,43	16,6
4	232	41,85	16,7
5	230	41,99	16,8
6	236	42,84	17,1
7	232	43,12	17,2
8	226	43,82	17,5
9	233	43,96	17,6
10	231	45,37	18,1
11	232	45,37	18,1
12	235	46,08	18,4
13	232	46,36	18,5
14	230	47,21	18,9
15	232	47,63	19,1
16	229	48,33	19,3
17	232	48,33	19,3
18	234	49,46	19,8
19	228	49,74	19,9
20	235	50,73	20,3

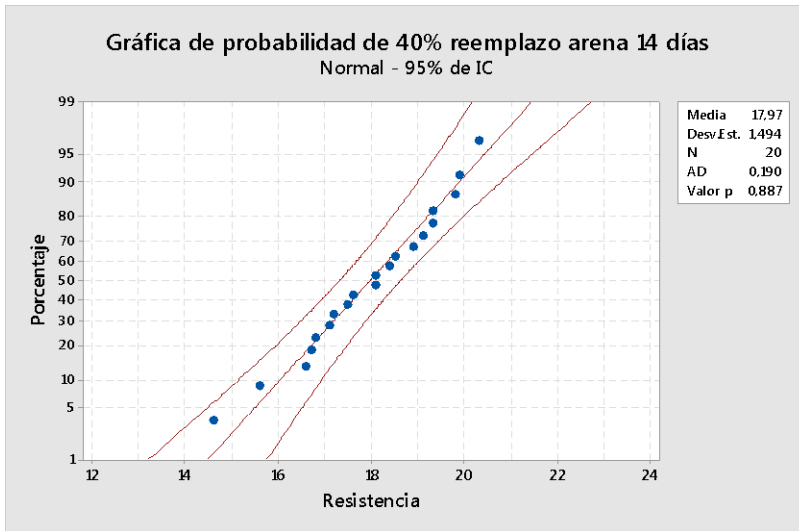
Tabla 20: Resultados resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



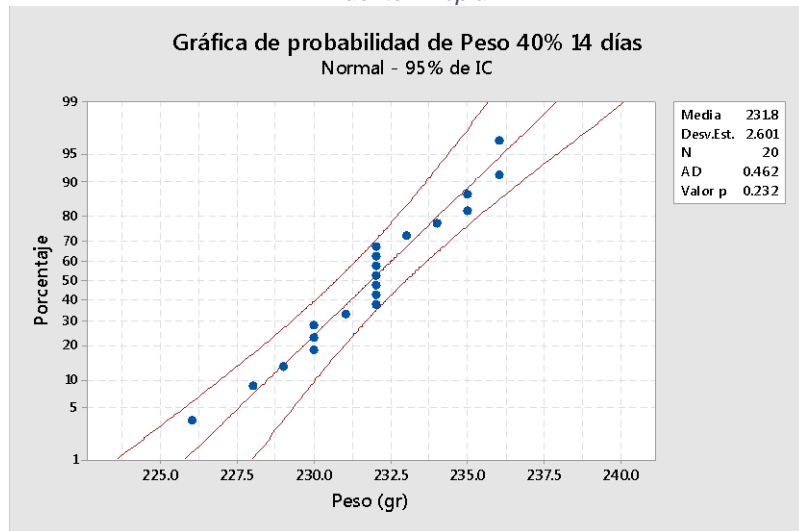
Gráfica 17: Estadística resistencia cubos 40% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



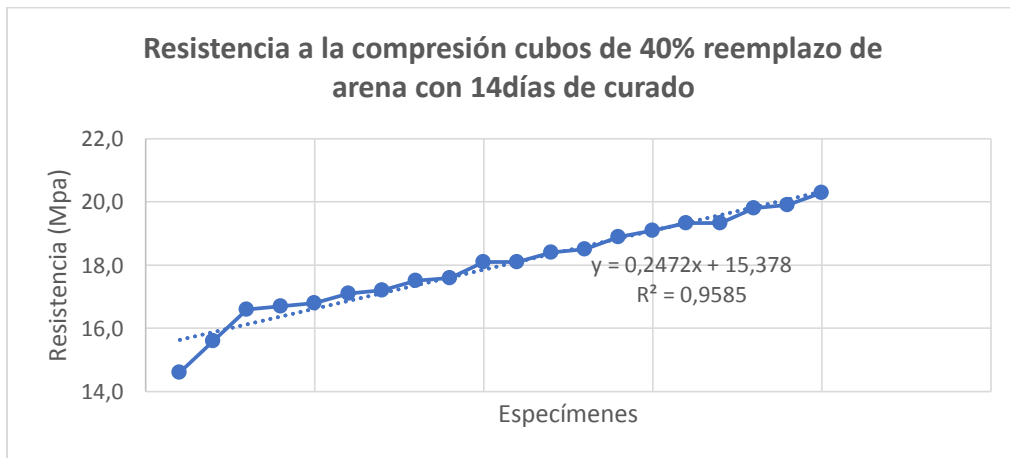
Gráfica 18: Estadística peso cubos 40% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 19: Probabilidad 40% reemplazo 14 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia

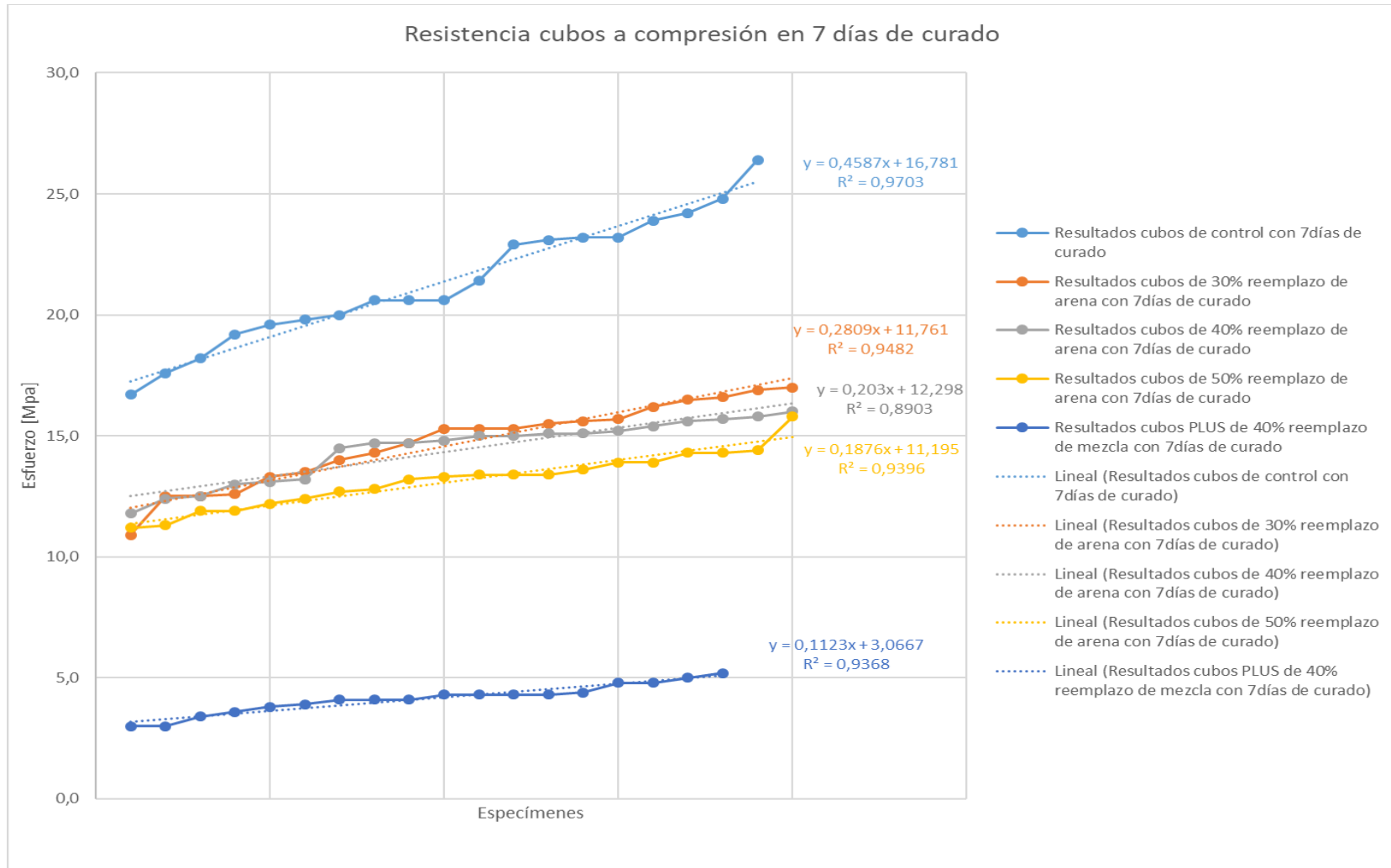


Gráfica 20: Probabilidad 40% reemplazo 14 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 21: Resultados resistencia filtrados cubos de 40% reemplazo en 14 días de curado  
Fuente: Propia

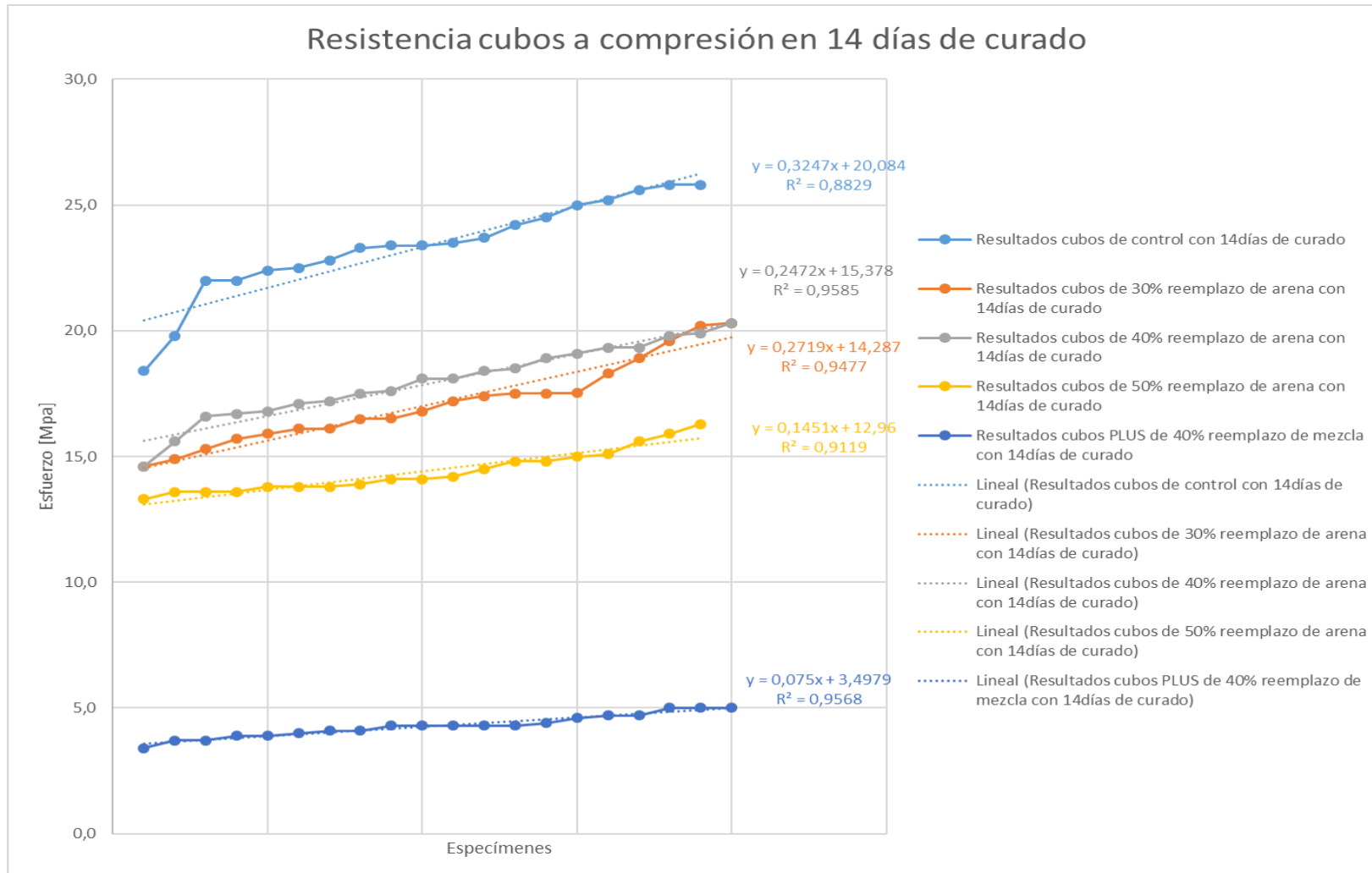
### 9.1.4 Resumen resultados de cubos filtrados a los 7 días de curado



Gráfica 22: Resumen de datos resistencia cubos filtrados a los 7 días de curado  
Fuente: Propia

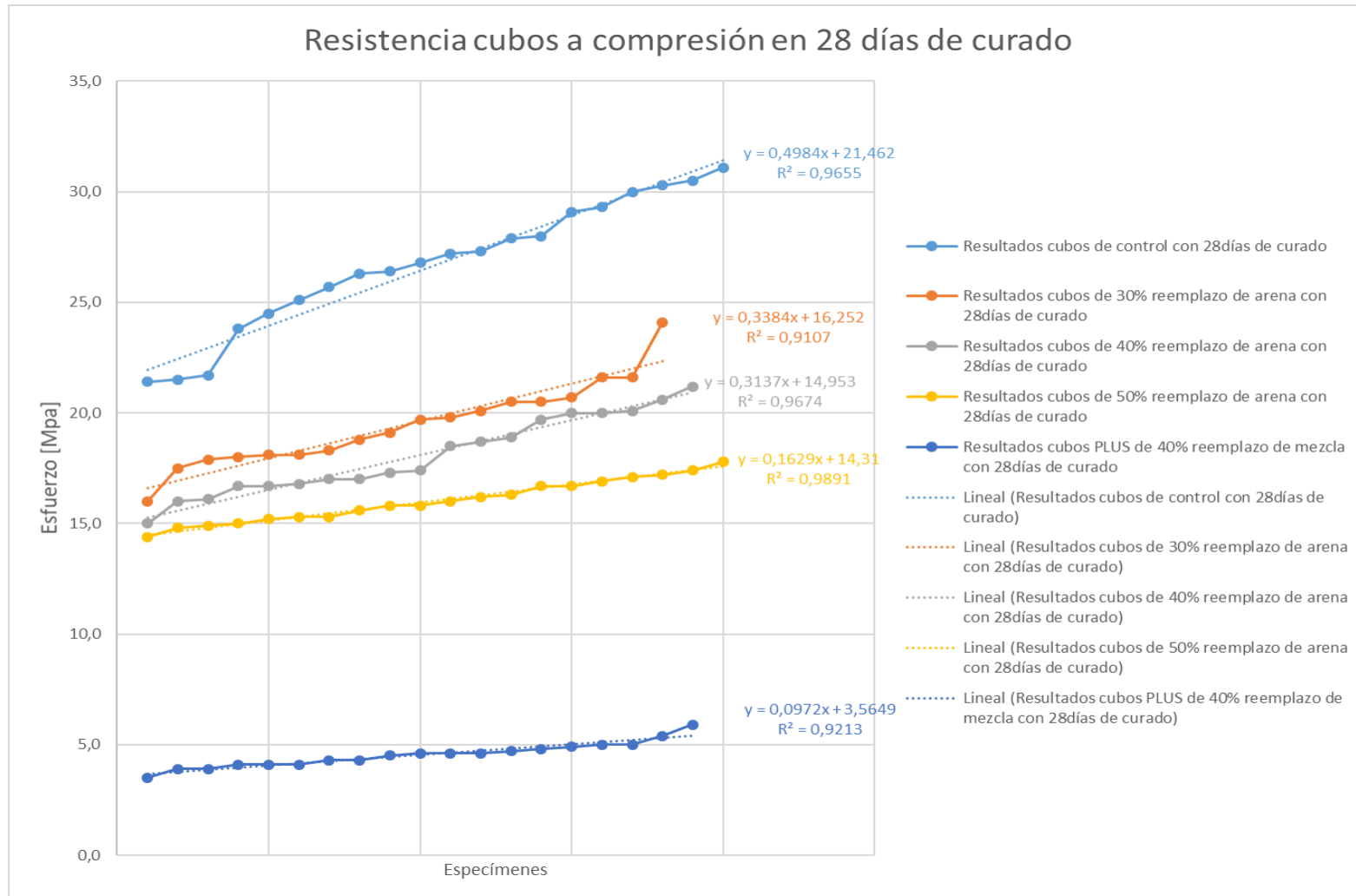


### 9.1.5 Resumen resultados filtrados a los 14 días de curado



Gráfica 23: Resumen de datos resistencia cubos filtrados a los 14 días de curado  
Fuente: Propia

### 9.1.6 Resumen resultados filtrados a los 28 días de curado



Gráfica 24: Resumen de datos resistencia cubos filtrados a los 28 días de curado  
Fuente: Propia

## 9.2 Resultados paneles de 15cmx45cm sometidos a flexión

Se realiza análisis grupal de los datos en donde se eliminan los datos que perjudiquen la tendencia del grupo y se establecen los resultados filtrados por el diagrama cajas; de igual forma se analiza que tengan distribución normal. En las tablas de datos se especifica cuáles son los datos que se excluyen del análisis. El análisis de los paneles con la mezcla que incluye poliestireno de mayor tamaño se encuentra en el anexo B.

No se recurre a eliminar ninguna probeta debido a que no se encuentra ningún dato atípico y todas las muestras cumplen una distribución normal

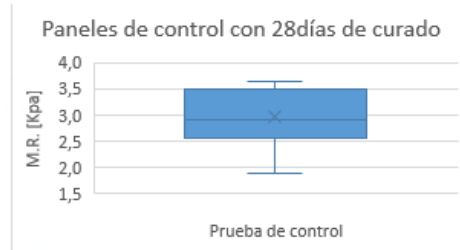
### 9.2.1 Paneles de Control ensayados a los 28 días de edad

Paneles de Control con 28 días de curado						
Probeta	Seccion	Peso (gr)	Peso probeta completa (gr)	Carga (KN)	Ancho promedio (cm)	MR (Kpa)
2	Borde	5843	22939	1,13	15	1,883
2	Borde	5680	22939	1,41	14,5	2,431
1	Borde	5534	23110	1,69	14,5	2,914
2	Central	5728	22939	1,69	14,5	2,914
1	Central	5641	23110	1,69	14,4	2,934
1	Central	5790	23110	1,97	14,4	3,420
2	Central	5461	22939	1,97	14	3,518
1	Borde	5917	23110	2,11	14,5	3,638

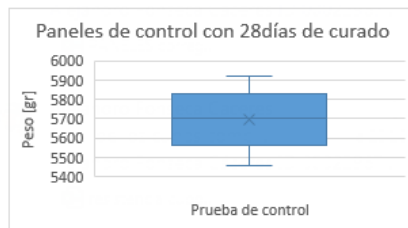
Tabla 21: Resultados resistencia paneles de Control a 28 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia paneles control con 28 días de curado	
Media	2,956488608
Error típico	0,2081545
Mediana	2,923910441
Moda	2,913793103
Desviación estándar	0,588749835
Varianza de la muestra	0,346626368
Curtosis	0,132919877
Coefficiente de asimetría	-0,735619539
Rango	1,754597701
Mínimo	1,883333333
Máximo	3,637931034
Suma	23,65190887
Cuenta	8

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	1,17749967	4,13398828
+1D	0,58874984	3,54523844
Media	2,95648861	
-1D	-0,58874984	2,36773877
-2D	-1,17749967	1,77898894



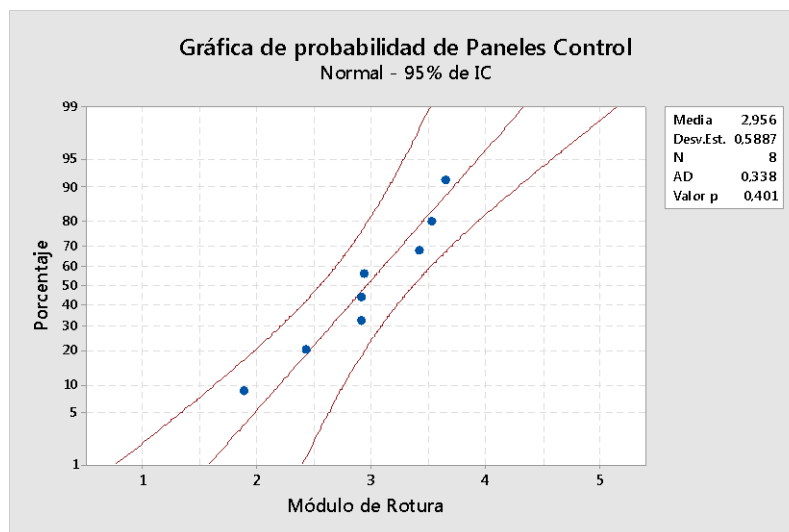
Gráfica 25: Estadística resistencia paneles de Control 28 días de curado  
Fuente: Propia



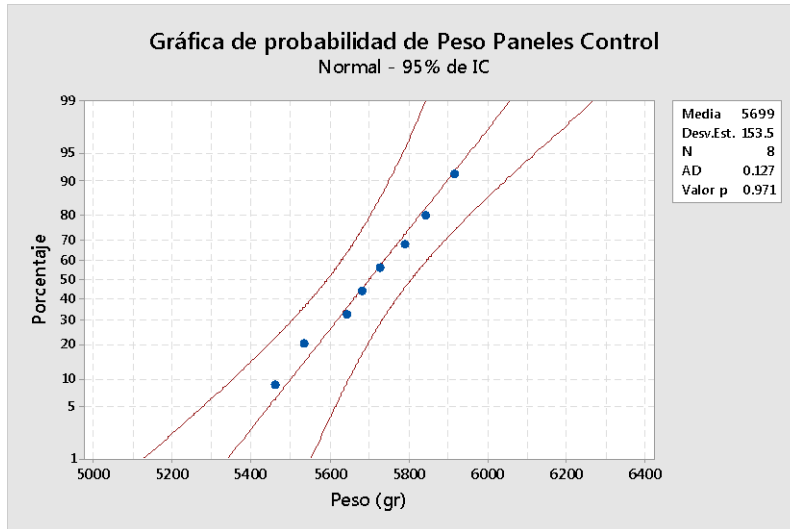
Estadística peso paneles control con 28 días de curado	
Media	5699,25
Error típico	54,2769847
Mediana	5704
Moda	#N/D
Desviación estándar	153,518496
Varianza de la muestra	23567,9286
Curtosis	-0,75007927
Coefficiente de asimetría	-0,21978959
Rango	456
Mínimo	5461
Máximo	5917
Suma	45594
Cuenta	8

Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	307,04	6006,29
+1D	153,52	5852,77
Media	5699,25	
-1D	-153,52	5545,73
-2D	-307,04	5392,21

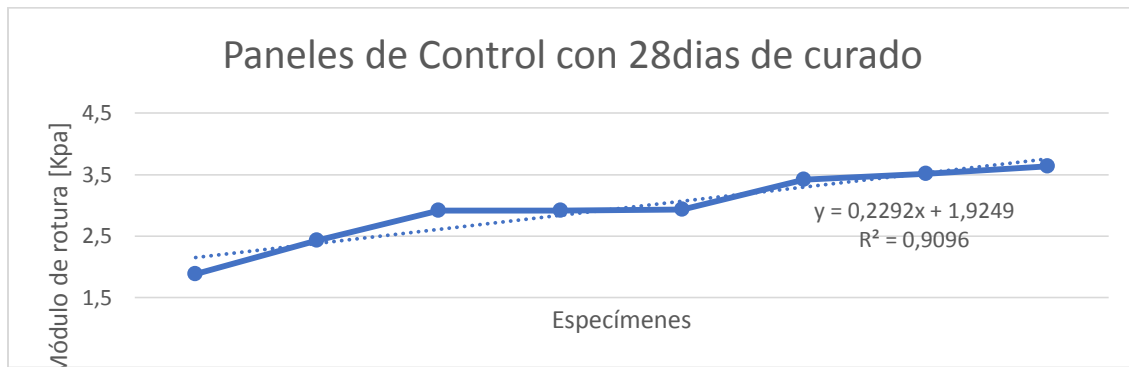
Gráfica 26: Estadística Resistencia Paneles de Control 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 27: Probabilidad Paneles de Control a los 28 días de edad (Módulo de Rotura (Kpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 28: Probabilidad Paneles de Control a los 28 días de curado (Peso)  
Fuente: Propia



Gráfica 29: Resultados Filtrados Paneles de Control con 28 días de curado  
Fuente: Propia

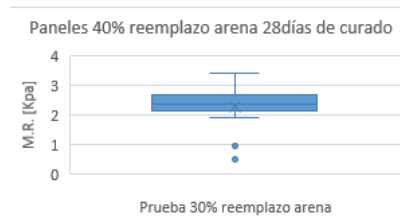
## 9.2.2 Paneles de 40% reemplazo de arena, ensayados a los 28 días de edad

Paneles de 40% reemplazo arena con 28 días de curado							
Probeta	Seccion	Peso (gr)	Peso probeta completa (gr)	Carga (KN)	Ancho promedio (cm)	MR (Kpa)	
1	Central	4879	19811	0,28	14,4	0,486	Excluido
1	Borde	4966	19811	0,56	14,8	0,949	Excluido
2	Borde	5090	20413	1,13	14,8	1,909	
4	Borde	5269	20791	1,27	14,8	2,145	
3	Borde	5048	20112	1,27	14,6	2,175	
4	Central	5097	20791	1,27	14,3	2,220	
1	Central	4879	19811	1,28	14,4	2,222	
2	Central	5001	20413	1,27	14,1	2,252	
1	Borde	4891	19811	1,41	14,4	2,448	
3	Central	4937	20112	1,41	14,4	2,448	
4	Central	5072	20791	1,41	14,0	2,518	
2	Central	5094	20413	1,55	14,6	2,654	
3	Central	5041	20112	1,55	14,4	2,691	
4	Borde	5148	20791	1,69	14,6	2,894	
3	Borde	4887	20112	1,69	14,5	2,914	
2	Borde	5026	20413	1,97	14,5	3,397	

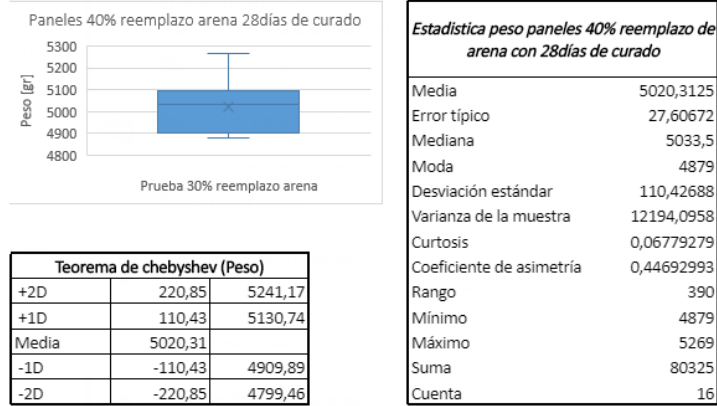
Tabla 22: Resultados paneles con 40% reemplazo de arena por EPS  
Fuente: Propia

Estadística resistencia paneles 40% reemplazo de arena con 28 días de curado	
Media	2,270075185
Error típico	0,178060947
Mediana	2,349844858
Moda	2,447916667
Desviación estándar	0,712243789
Varianza de la muestra	0,507291215
Curtosis	2,169294505
Coefficiente de asimetría	-1,251720866
Rango	2,910440613
Mínimo	0,486111111
Máximo	3,396551724
Suma	36,32120297
Cuenta	16

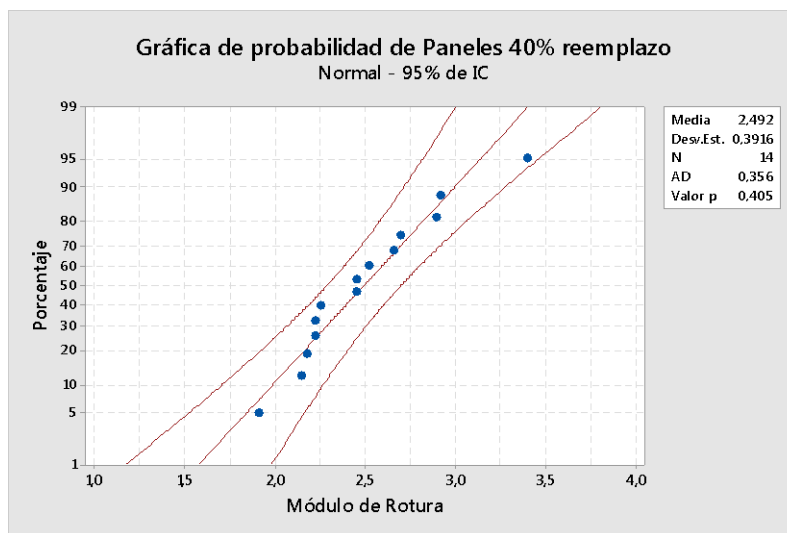
Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	1,42448758	3,69456276
+1D	0,71224379	2,98231897
Media	2,27007519	
-1D	-0,71224379	1,5578314
-2D	-1,42448758	0,84558761



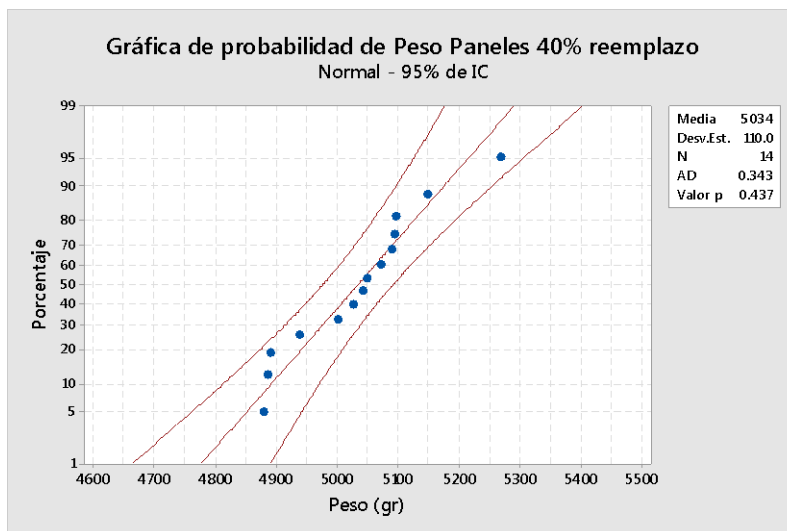
Gráfica 30: Estadística módulo de rotura Paneles con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado  
Fuente: Propia



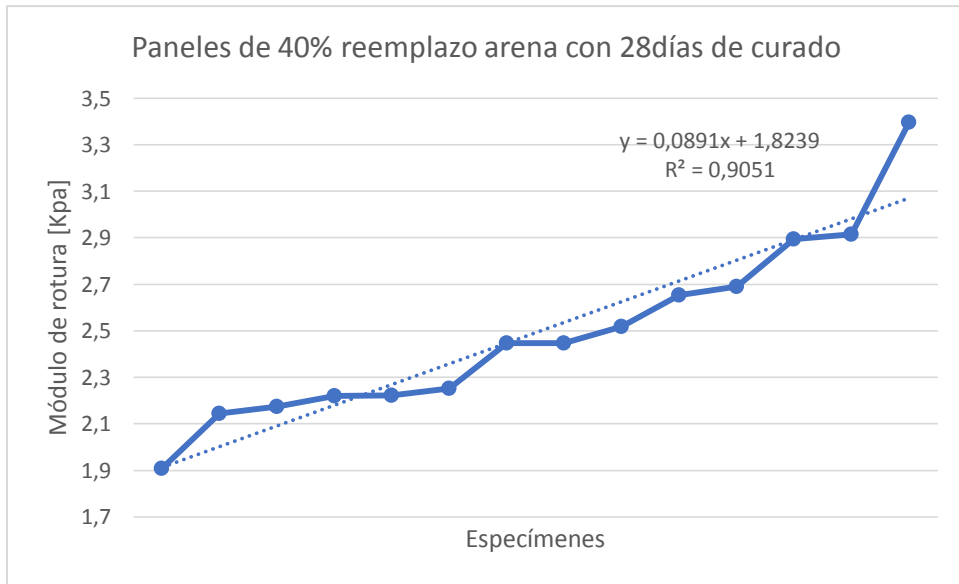
Gráfica 31: Estadística Paneles con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado (Peso)  
Fuente: Propia



Gráfica 32: Probabilidad Paneles 40% reemplazo arena por EPS a los 28 días de edad (Módulo de Rotura (Kpa))  
Fuente: Propia



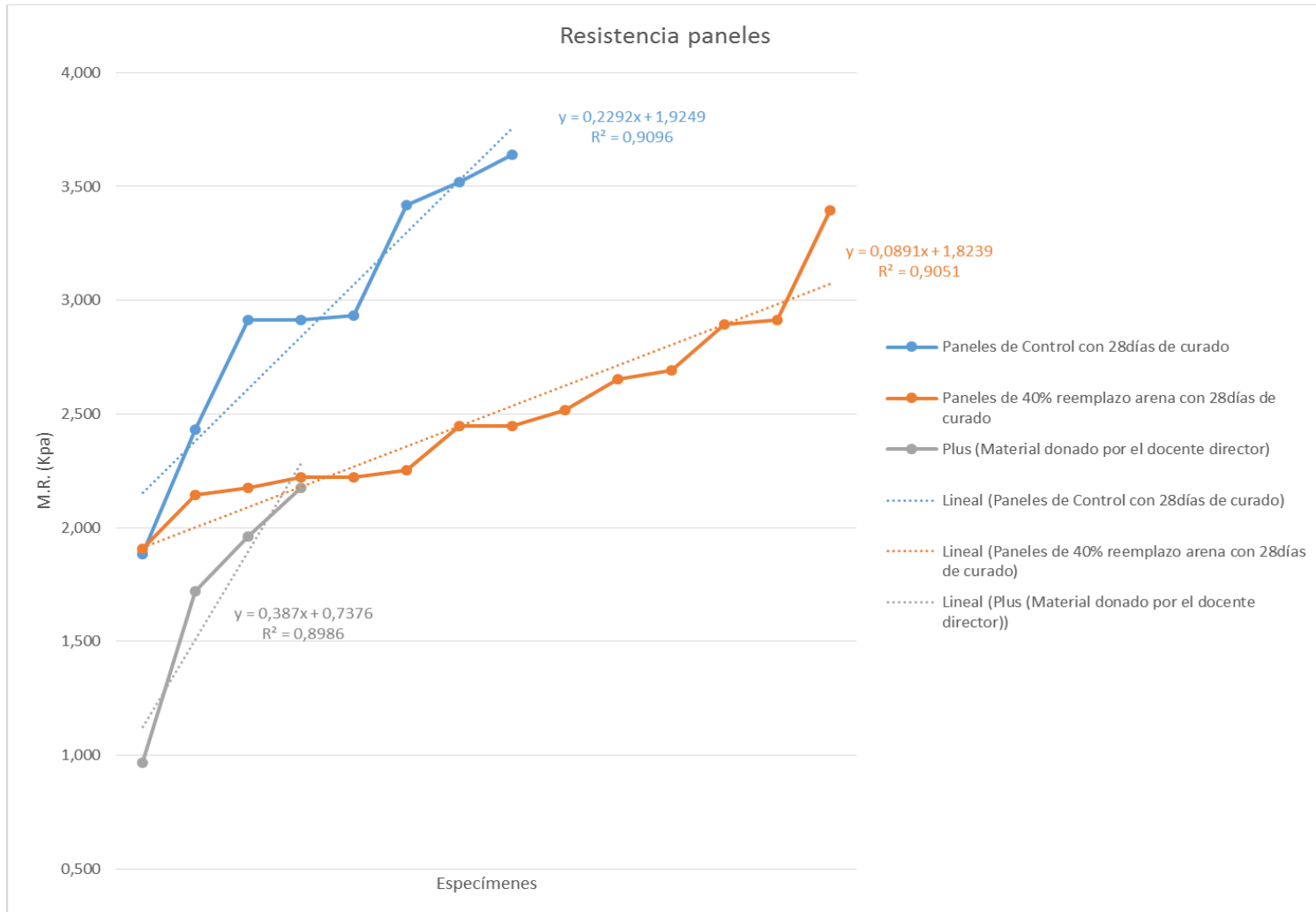
Gráfica 33: Probabilidad Paneles 40% reemplazo arena por EPS a los 28 días de edad (Peso)  
Fuente: Propia



Gráfica 34: Resultados módulo de rotura Filtrados Paneles de 40% reemplazo arena por EPS con 28 días de curado  
Fuente: Propia



### 9.2.3 Resumen resultados filtrados Módulo de Rotura Paneles a los 28 días de curado



Gráfica 35: Resumen Resultados Resistencia Filtrados Paneles con 28 días de curado  
Fuente: Propia

### 9.3 Resultados paneles ensayados a compresión

Durante el ensayo a compresión se utilizaron paneles cortados con unas medidas de 14,5cm x 14,5cm sometiéndolos a compresión, con los resultados de compresión se realizó un análisis estadístico en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

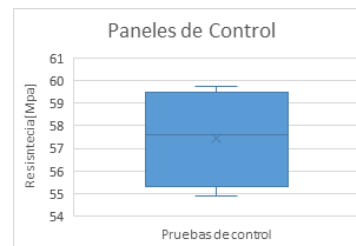
#### 9.3.1 Paneles de control ensayados a 28 días de curado

Paneles control de 14,5x14,5cm sometidos a compresión a los 28 días de curado			
Probeta	Peso (g)	Carga (Kn)	Esfuerzo (Mpa)
1	1790,0	1154,34	54,90
2	1859,4	1188,00	56,50
3	1855,4	1234,62	58,72
4	1806,8	1256,51	59,76

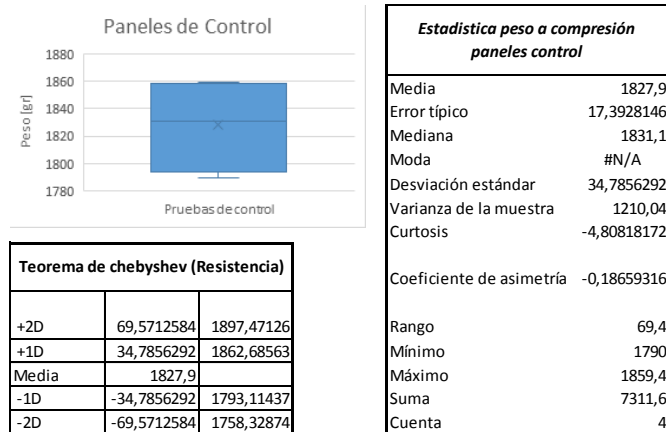
Tabla 23: Resultados compresión paneles control de 14.5cmx14.5cm a 28 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia compresión paneles control	
Media	57,47288942
Error típico	1,093306603
Mediana	57,61284185
Moda	#N/A
Desviación estándar	2,186613206
Varianza de la muestra	4,781277314
Curtosis	-2,651057555
Coefficiente de asimetría	-0,250293957
Rango	4,859453032
Mínimo	54,90321046
Máximo	59,7626635
Suma	229,8915577
Cuenta	4

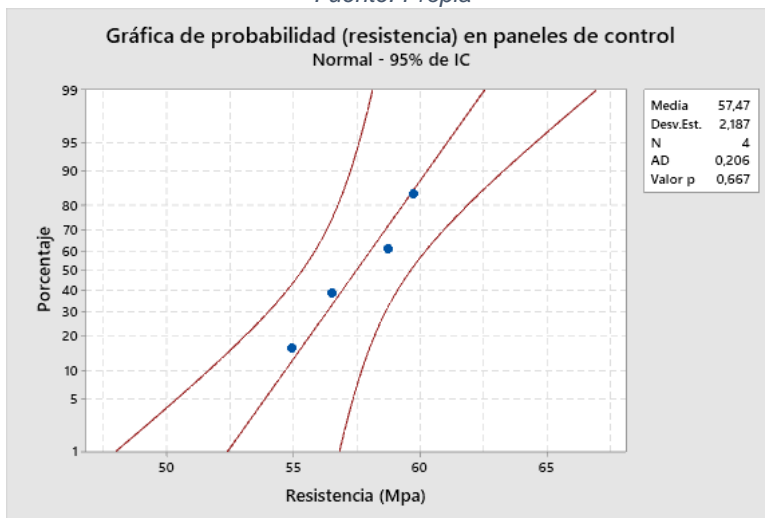
Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	4,37322641	61,8461158
+1D	2,18661321	59,6595026
Media	57,4728894	
-1D	-2,18661321	55,2862762
-2D	-4,37322641	53,0996663



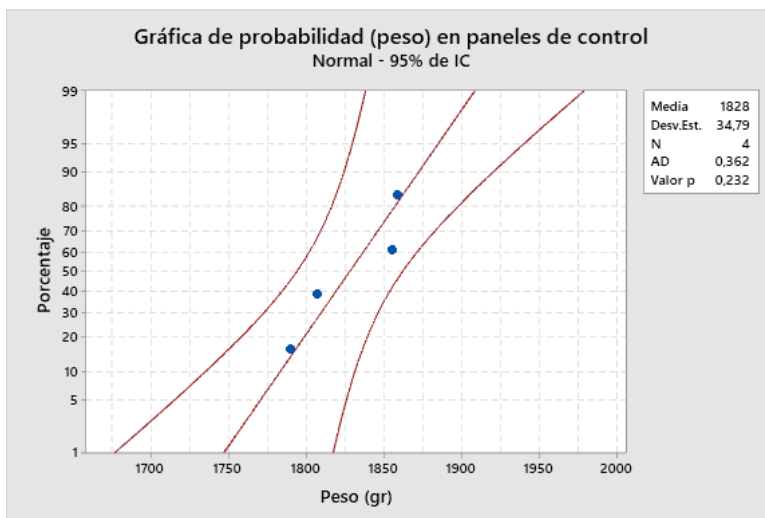
Gráfica 36: Estadística resistencia compresión Paneles control a 28 días de curado  
Fuente: Propia



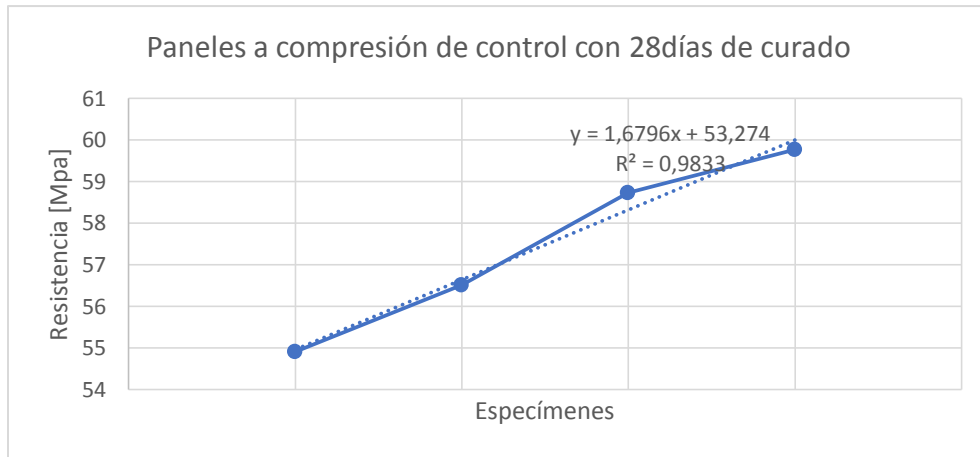
Gráfica 37: Estadística peso Paneles 14.5cmx14.5cm con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 38: Probabilidad resistencia compresión Paneles control a los 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 39: Probabilidad peso Paneles 14.5cmx14.5cm control a los 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 40: Resultados Filtrados Paneles de Control de 14.5cm x 14.5cm con 28 días de curado  
Fuente: Propia

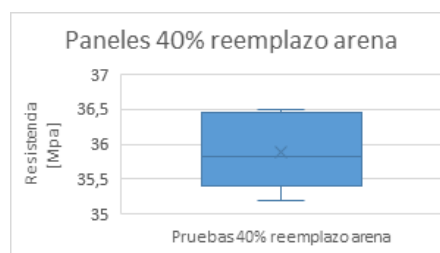
### 9.3.2 Paneles de 40% reemplazo ensayados a 28 días de curado

Paneles control de 14,5x14,5cm sometidos a compresión a los 28 días de curado			
Probeta	Peso (g)	Carga (Kn)	Esfuerzo (Mpa)
1	1616,0	740,07	35,20
2	1589,8	743,87	35,38
3	1592,2	745,23	35,44
4	1595,4	748,19	35,59
5	1602,6	758,42	36,07
6	1618,0	765,30	36,40
7	1611,4	766,56	36,46
8	1588,2	767,12	36,49

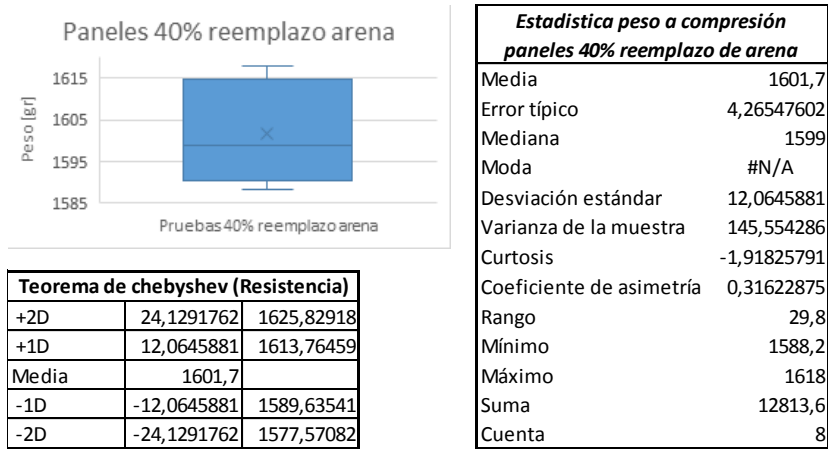
Tabla 24: Resultados compresión paneles de control 14.5cmx14.5cm a 28 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia compresión paneles 40% reemplazo de arena	
Media	35,878478
Error típico	0,188917217
Mediana	35,82901308
Moda	#N/A
Desviación estándar	0,53433858
Varianza de la muestra	0,285517718
Curtosis	-2,199339448
Coefficiente de asimetría	0,032386228
Rango	1,286563615
Mínimo	35,19952438
Máximo	36,48608799
Suma	287,027824
Cuenta	8

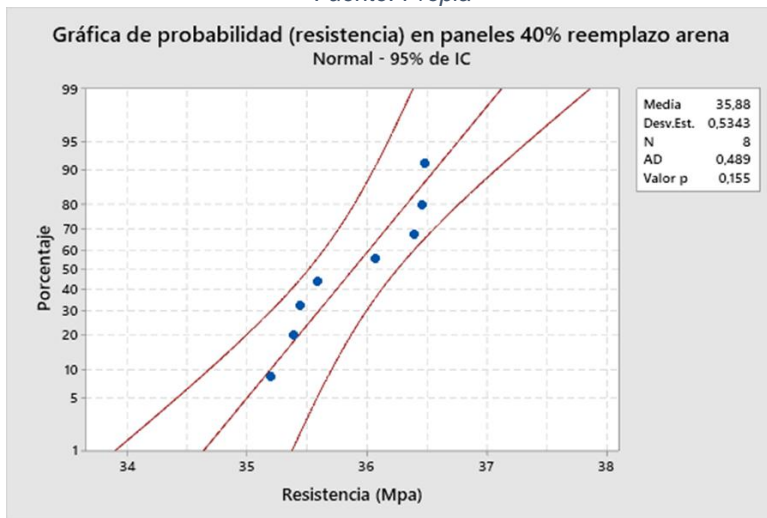
Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	1,06867716	36,9471552
+1D	0,53433858	36,4128166
Media	35,878478	
-1D	-0,53433858	35,3441394
-2D	-1,06867716	34,8098008



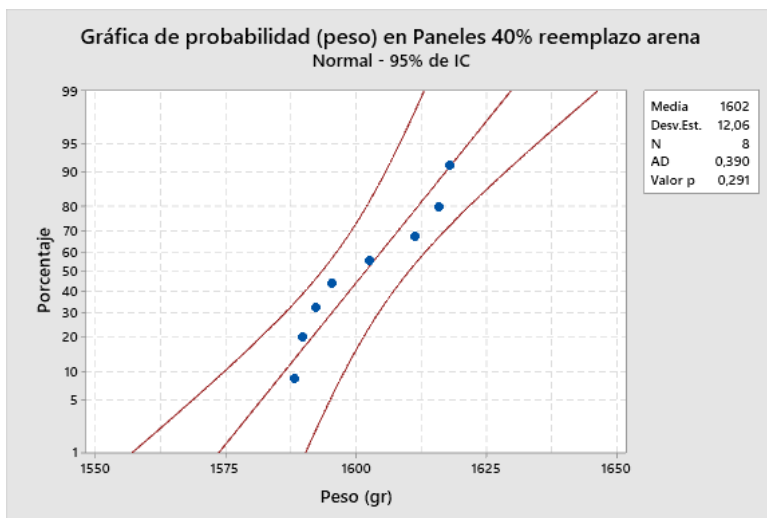
Gráfica 41: Estadística resistencia a compresión Paneles con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado  
Fuente: Propia



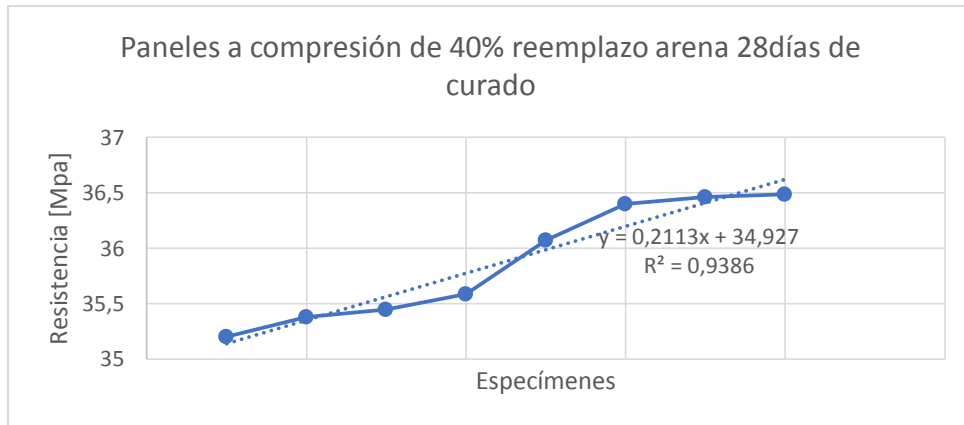
Gráfica 42: Estadística peso Paneles de 14.5cm x 14.5cm con 40% de reemplazo de arena por EPS a 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 43: Probabilidad resistencia compresión Paneles de 40% de reemplazo arena a los 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 44: Probabilidad peso Paneles de 14.5cm x 14.5cm con 40% de reemplazo arena a los 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 45: Resultados Filtrados compresión Paneles de 40% reemplazo arena de 14.5cm x 14.5cm con 28 días de curado  
Fuente: Propia

## 9.4 Análisis de varianza (ANOVA)

Al presentarse una distribución normal en todos los resultados filtrados se realiza el análisis de varianza para determinar si hay igualdad probabilística entre las medias de los grupos de datos y que tan significativos son los efectos que se produce entre ellos. El análisis se realiza de acuerdo a un solo factor el cual es la resistencia o el peso del material con EPS comparado con la resistencia o el peso del material sin EPS.

### 9.4.1 Análisis de varianza en cubos

Se observa que el poliestireno en todas las proporciones influye en los cambios de resistencia y de peso debido a que la F es superior al F crítico y su probabilidad es menor a 0.005; además se observa que la diferencia de las F en 30% y 40% de reemplazo de arena en su resistencia a los 28 días de curado es baja en comparación al cambio que se produce en la F en esta misma en cuanto el análisis del peso

	Resultados ANOVA un solo factor (resistencia) en cubos con respecto a control								
	7días			14días			28días		
	F	Fcrítico	P	F	Fcrítico	P	F	Fcrítico	P
30%	89,30	4,11	2,E-11	115,14	4,11	6,E-13	77,47	4,11	1,E-10
40%	112,39	4,11	9,E-13	93,71	4,11	1,E-11	122,52	4,10	2,E-13
50%	163,33	4,11	4,E-15	335,04	4,11	8,E-20	229,19	4,10	1,E-17
Plus	781,52	4,11	5,E-26	1816,78	4,11	5,E-33	1000,30	4,11	2,E-28

Tabla 25: Análisis de varianza resistencia en cubos  
Fuente: Propia

Resultados ANOVA un solo factor (peso) en cubos con respecto a control									
	7días			14días			28días		
	F	Fcritico	P	F	Fcritico	P	F	Fcritico	P
30%	378,14	4,11	5,E-21	725,52	4,11	7,E-26	54,78	4,11	8,E-09
40%	856,45	4,11	3,E-27	1562,32	4,11	7,E-32	741,67	4,10	2,E-26
50%	1655,02	4,11	3,E-32	1318,06	4,11	6,E-30	1407,36	4,10	1,E-31
Plus	4608,79	4,11	1,E-39	3021,87	4,11	4,E-37	5084,45	4,11	3,E-41

Tabla 26: Análisis de varianza peso en cubos  
Fuente: Propia

#### 9.4.2 Análisis de varianza en paneles de 15cmx45cm

Se observa que el EPS influye en la resistencia a flexión y en el peso; sin embargo el valor de F esta muy cercano al Fcrítico en el ANOVA realizado a la resistencia pero su probabilidad sigue siendo menor a 0.005

Resultados ANOVA un solo factor (M.R.) en paneles con respecto a control			
	F	Fcritico	P
40%	4,97	4,35	4,E-02
Plus	12,81	4,96	5,E-03

Tabla 27: Análisis de varianza módulo de rotura paneles  
Fuente: Propia

Resultados ANOVA un solo factor (peso) en paneles con respecto a control			
	F	Fcritico	P
40%	139,72	4,35	2,E-10
Plus	414,44	4,96	2,E-09

Tabla 28: Análisis de varianza peso paneles  
Fuente: Propia

#### 9.4.3 Análisis de varianza en paneles de 14,5cmx14,5cm

Se confirma que el EPS influye en la resistencia a flexión y en el peso de manera contundente debido a los altos valores de F con respecto a Fcrítico tanto en resistencia a compresión como en peso

<b>Resultados ANOVA un solo factor (compresión) en paneles con respecto a control</b>			
	<b>F</b>	<b>Fcritico</b>	<b>P</b>
<b>40%</b>	760,91	4,96	9,E-11

Tabla 29: Análisis de varianza compresión en paneles de 14,5cmx14,5cm  
Fuente: Propia

<b>Resultados ANOVA un solo factor (peso) en paneles con respecto a control</b>			
	<b>F</b>	<b>Fcritico</b>	<b>P</b>
<b>40%</b>	243,49	4,96	9,E-09

Tabla 30: Análisis de varianza peso paneles de 14,5cmx14,5cm  
Fuente: Propia



## 10 CONCLUSIONES

- Todos los materiales analizados para el uso en la mezcla cumplieron con los parámetros mínimos exigidos en las NTC e INVIAS. Sin embargo, el módulo de finura de la arena usada se encuentra muy cerca al límite inferior lo cual aumenta la cantidad de cemento requerida para cumplir con la resistencia a la compresión seleccionada en el inicio del diseño.
- El diseño de la mezcla se ve afectado con la adición de EPS de forma que disminuye su fluidez, resistencia y peso. La presencia del EPS aporta un mínimo peso en comparación con la arena reemplazada. Igualmente, no se evidencia aglomeración del EPS debido al reducido tamaño y alta densidad, comparada con los demás tamaños de EPS presentes en el mercado, permitiendo su uso directo en la mezcla sin necesidad de ningún tratamiento antecesor y manteniendo su forma al estar en contacto con la mezcla.
- Los especímenes con adición de EPS en proporciones de 30%, 40% y 50% de reemplazo de arena mostraron una disminución de la resistencia a la compresión de 27.1%, 32.2% y 40% respectivamente en comparación con la mezcla de control.
- Se evidenció una disminución en el peso de los especímenes del 8.9%, 12% y 16.1% respectivamente en comparación con los especímenes realizados con el mortero sin EPS. Del mismo modo, la densidad disminuye en 9%, 12% y 16% comparado con la del mortero sin EPS.
- Se estableció la mezcla con 40% de reemplazo de EPS como la más adecuada entre las otras proporciones usadas debido a que su media de resistencia superó la resistencia preliminar establecida en el diseño de la mezcla y ofrece una mayor reducción de peso que la del 30% la cual también supera dicha resistencia.

- Respecto a la flexión de los paneles elaborados con la mezcla que contiene EPS, se observa una reducción del módulo de rotura del 15.7%, de su resistencia a la compresión en 37.6% y de su peso en 11.7% con respecto a los paneles de la mezcla de mortero sin EPS. Esto muestra una viabilidad para el uso del EPS en el mortero, sin embargo, al ser un material frágil ya sea con o sin EPS se recomienda el uso de refuerzos para mejorar su trabajo a flexión.
- Con los resultados obtenidos de la resistencia se establece que el mortero con 40% de reemplazo de EPS por arena es funcional para usarlo en diferentes aplicaciones no estructurales tales como: morteros de pega, mortero de relleno, muros divisorios, bloques de mampostería y/o ciertos tipos de acabados como pañetes.

## 11 RECOMENDACIONES

- Utilizar arena con un mayor módulo de finura y granulometría bien gradada con el fin de mejorar las propiedades de la mezcla y reducir la cantidad de cemento obteniendo la misma resistencia.
- Aplicar EPS reciclado sometiéndolo a un proceso de triturado llevándolo al menor tamaño y mayor densidad posible, para así contribuir ecológicamente; afectando lo menos posible la resistencia del mortero y promoviendo la reutilización de dicho material.
- Adicionar refuerzo (acero, fibras, etc...) a los paneles para contribuir con su resistencia a la flexión debido a que el mortero es un material muy frágil.
- Realizar la combinación de morteros con EPS en mezclas poco fluidas para evitar que el EPS ascienda a la superficie y se conserve su distribución uniforme, o realizarle un proceso para aumentar la densidad del EPS en caso tal de que su densidad sea muy baja.

## 12 REFERENCIAS

- [1] B. Nicholson, *Earth Science: Earth Materials and Resources*, New York: Grey House Publishing, 2018.
- [2] G. A. Riviera L., «Capítulo 9 Dosificación de morteros,» de *Concreto Simple*, Popayán, Universidad del Cauca, pp. 199 - 217.
- [3] M. A. Ramos Carpio y M. R. De María Ruiz, *Ingeniería de los Materiales Plásticos*, S.A Ediciones Díaz de Santos, 1988.
- [4] Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, «ANAPE,» [En línea]. Available: <http://www.anape.es>. [Último acceso: 17 8 2019].
- [5] M. F. Triola, *ESTADÍSTICA*, Mexico: Pearson, 2009.
- [6] T. Pavlu, K. Fortova, J. Divis and P. Hajek, "The Utilization of Recycled Masonry Aggregate and Recycled EPS for Concrete Blocks for Mortarless Masonry," *Materials*, vol. 12, no. 12, p. 18, 2019.
- [7] A. Pczeczek, A. Schackow, C. Effting, T. Flores y I. Ribeiro, PROPERTIES OF MORTARS CONTAINING TIRE RUBBER WASTE AND EXPANDED POLYSTYRENE (EPS), vol. 12, Joinville: *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 2018, p. 19.
- [8] H. E. Rodríguez Chico , *CONCRETO LIVIANO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA LA PREFABRICACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL - CAJAMARCA.*, Cajamarca - Perú, 2017.
- [9] M. C. Lituma Vicuña y B. T. Zhunio Cárdenas, *INFLUENCIA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EL PESO Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON*, Cuenca - Ecuador, 2015.
- [10] M. A. Herrera Góngora, *PROPIEDADES MECÁNICAS, TÉRMICAS Y ACÚSTICAS DE UN MORTERO ALIGERADO CON PARTICULAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) DE RECICLAJE PARA RECUBRIMIENTOS EN MUROS Y TECHOS*, Merida, Tucatán, México, 2015.
- [11] E. J. González P., *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO SUSTITUTO DEL ALIVEN PARA LA FABRICACION DE BLOQUES DE CONCRETO USADOS EN LA CONSTRUCCION DE LOSAS DE TECHO Y PAREDES*, Punto Fijo - Venezuela, 2016.
- [12] A. SILVESTRE GUTIÉRREZ, A. M. GIL VIVAS y P. A. RIVERA MEDINA, *ANÁLISIS DEL CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO ADITIVO PARA ALIGERAR ELEMENTOS ESTRUCTURALES*, PEREIRA, 2015.

- [13] D. M. BUSTAMANTE MEDINA y C. A. DIAZ SALCEDO, EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO ALIVIANADO CON PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO, AREQUIPA - PERÚ, 2014.
- [14] J. B. Hernández Zaragoza, T. López Lara, J. Horta Rangel, C. López Cajún, E. Rojas González, F. J. García Rodríguez y J. Adué, «CELLULAR CONCRETE BRICKS WITH RECYCLED EXPANDED POLYSTYRENE AGGREGATE,» *Hindawi Publishing Corporation*, vol. 2013, nº 160162, p. 5, 2013.
- [15] W. C. Tang, T. Y. Lo y A. Nadeem, «Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete,» *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, vol. 30, nº 8, pp. 403-409, 2008.
- [16] ICONTEC, «NTC 174 Especificaciones de los agregados para concretos,» de *Normas tecnica colombiana*, Bogotá D.C., 2000.
- [17] ICONTEC, «NTC 92 Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados,» de *Norma Tecnica Colombiana*, Bogotá D.C., 1995.
- [18] ICONTEC, «NTC 237 Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino,» de *Normas tecnica colombiana*, Bogotá D.C., 1995.
- [19] ICONTEC, «NTC 221 Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico,» de *Normas tecnica colombiana*, Bogotá D.C., 1999.
- [20] INVIAS, «Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico,» de *INV E - 323 - 07 Normas y especificaciones 2006 INVIAS*, Bogotá D.C., 2006.
- [21] ICONTEC, «NTC 111 Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico,» de *Normas y especificaciones 2006 INVIAS*, Bogotá D.C., 1997.
- [22] INVIAS, «INV E - 414 - 07 Resistencia a la flexión del concreto Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz,» de *Normas y especificaciones 2006 INVIAS*, Bogotá D.C., 2006.

## 13 ANEXO A

- Cubos de “Control” en 7 días

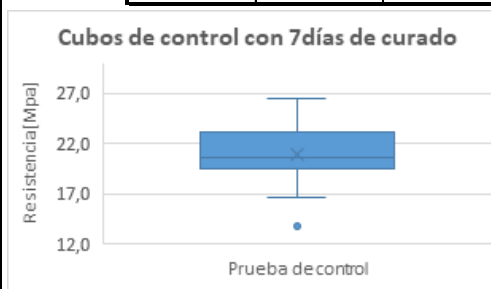
Resultados cubos de control con 7 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	262	34,52	13,8
2	265	41,85	16,7
3	266	43,96	17,6
4	265	45,51	18,2
5	259	47,91	19,2
6	267	49,04	19,6
7	261	49,60	19,8
8	261	50,02	20,0
9	261	51,43	20,6
10	263	51,43	20,6
11	266	51,43	20,6
12	264	53,55	21,4
13	258	57,21	22,9
14	267	57,77	23,1
15	267	58,06	23,2
16	261	58,06	23,2
17	259	59,75	23,9
18	270	60,59	24,2
19	259	62,00	24,8
20	265	66,09	26,4

Dato Excluido

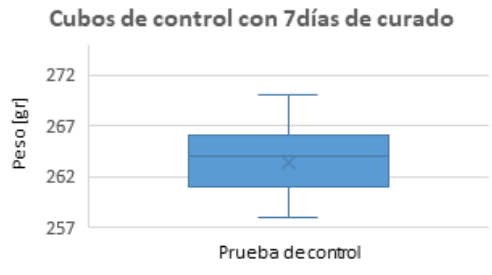
Tabla 31: Resultados resistencia cubos de control en 7 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos de control con 7 días de curado	
Media	20,9895
Error típico	0,684462707
Mediana	20,6
Moda	20,6
Desviación estándar	3,061010282
Varianza de la muestra	9,369783947
Curtosis	0,203157104
Coeficiente de asimetría	-0,434857938
Rango	12,6
Mínimo	13,8
Máximo	26,4
Suma	419,79
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	6,12	27,11
+1D	3,06	24,05
Media	20,99	
-1D	-3,06	17,93
-2D	-6,12	14,87



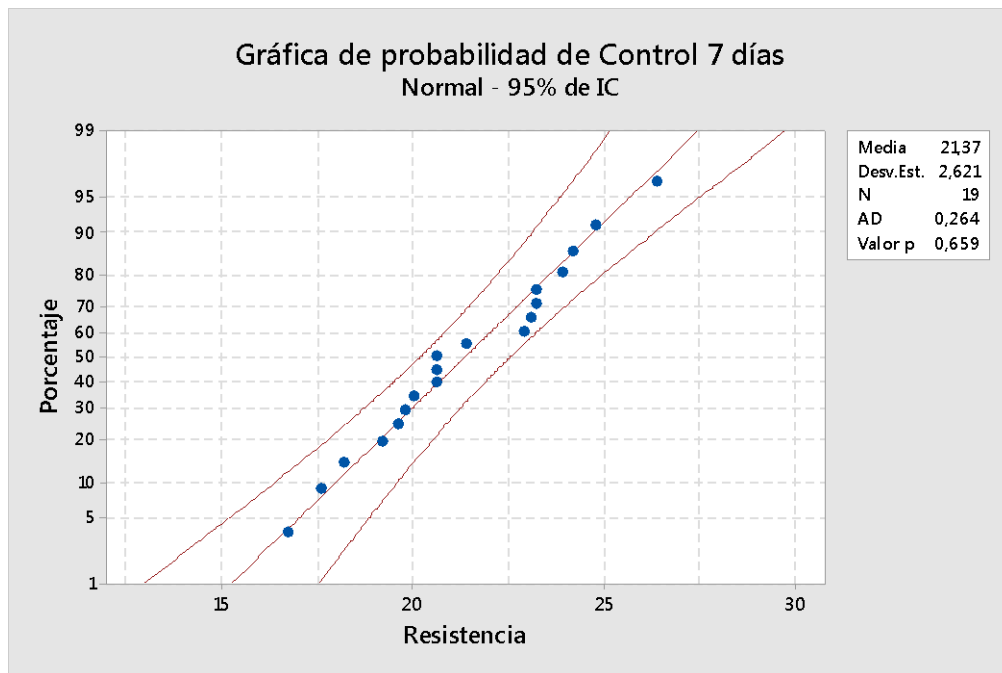
Gráfica 46: Estadística resistencia cubos de control en 7 días de curado  
Fuente: Propia



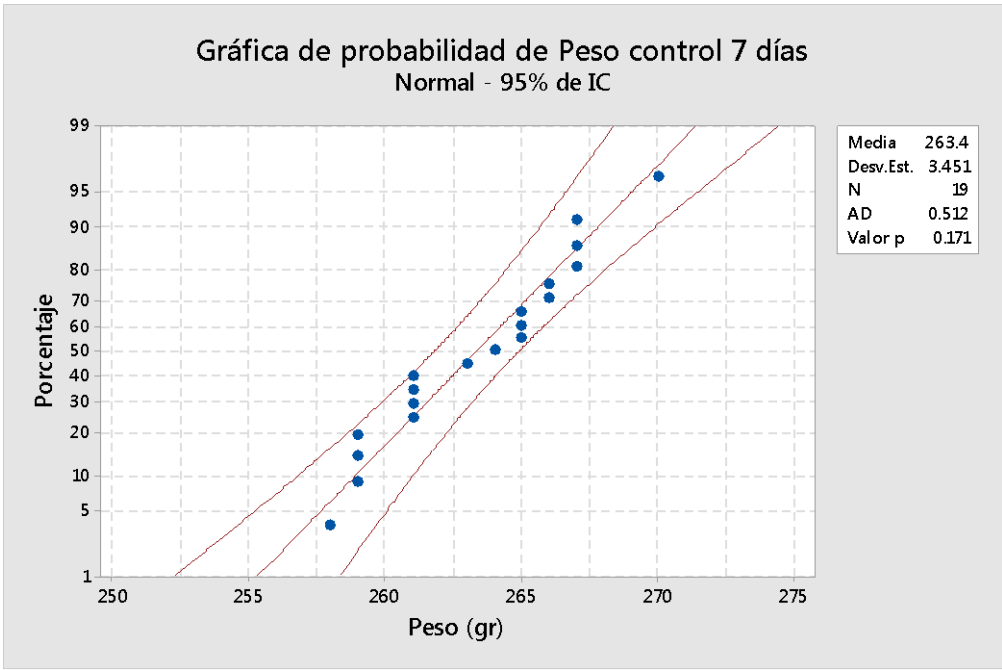
Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	6,75	270,05
+1D	3,37	266,67
Media	263,30	
-1D	-3,37	259,93
-2D	-6,75	256,55

Estadística peso cubos de control con 7 días de curado	
Media	263,3
Error típico	0,754286
Mediana	263,5
Moda	261
Desviación estándar	3,37326954
Varianza de la muestra	11,3789474
Curtosis	-0,95135158
Coefficiente de asimetría	0,10494069
Rango	12
Mínimo	258
Máximo	270
Suma	5266
Cuenta	20

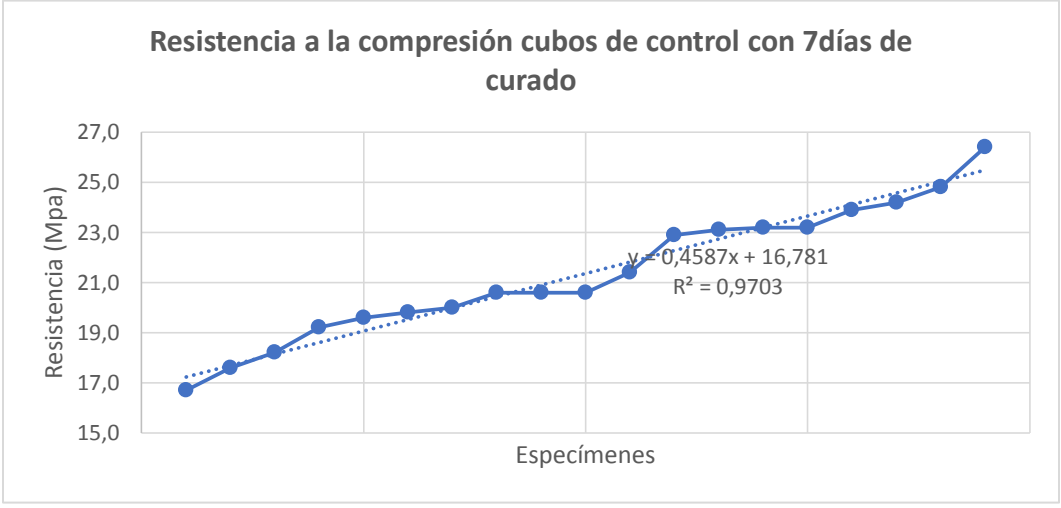
Gráfica 47: Estadística peso cubos de control en 7 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 48: Probabilidad Control 7 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 49: Probabilidad Control 7 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 50: Resultados resistencia filtrados cubos de Control en 7 días de curado  
Fuente: Propia



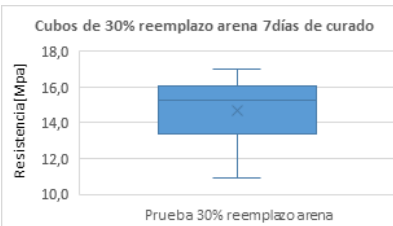
- **Cubos 30% de reemplazo de arena en 7 días de curado**

Resultados cubos de 30% reemplazo de arena con 7 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	244	27,20	10,9
2	238	31,28	12,5
3	246	31,14	12,5
4	241	31,56	12,6
5	237	33,25	13,3
6	239	33,68	13,5
7	242	35,09	14,0
8	242	35,79	14,3
9	239	36,78	14,7
10	245	38,19	15,3
11	242	38,33	15,3
12	249	38,19	15,3
13	243	38,75	15,5
14	245	38,89	15,6
15	241	39,31	15,7
16	244	40,58	16,2
17	239	41,15	16,5
18	243	41,43	16,6
19	247	42,13	16,9
20	246	42,41	17,0

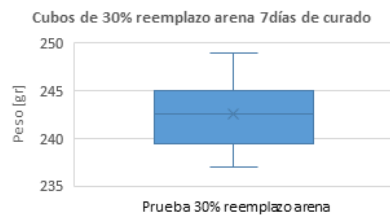
Tabla 32: Resultados resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos de 30% reemplazo de arena con 7 días de curado	
Media	14,71
Error típico	0,381610162
Mediana	15,3
Moda	15,3
Desviación estándar	1,706612527
Varianza de la muestra	2,912526316
Curtosis	-0,427264963
Coefficiente de asimetría	-0,590591104
Rango	6,1
Mínimo	10,9
Máximo	17
Suma	294,2
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	3,41322505	18,1232251
+1D	1,70661253	16,4166125
Media	14,71	
-1D	-1,70661253	13,0033875
-2D	-3,41322505	11,2967749



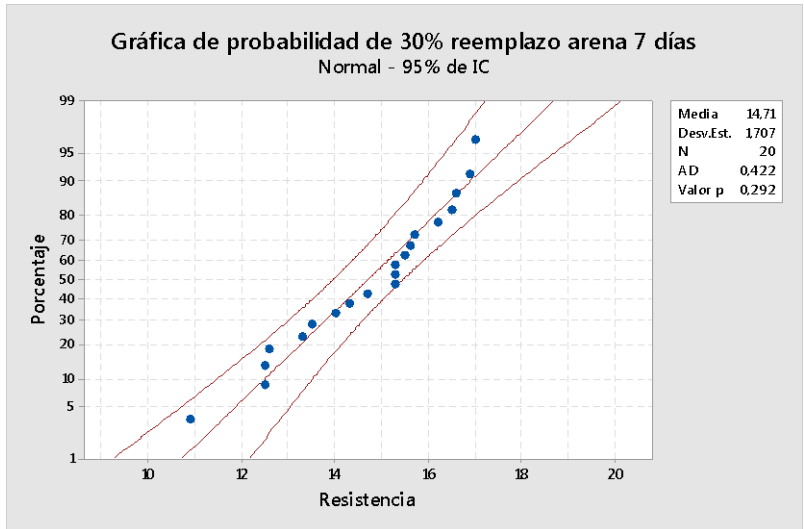
Gráfica 51: Estadística resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



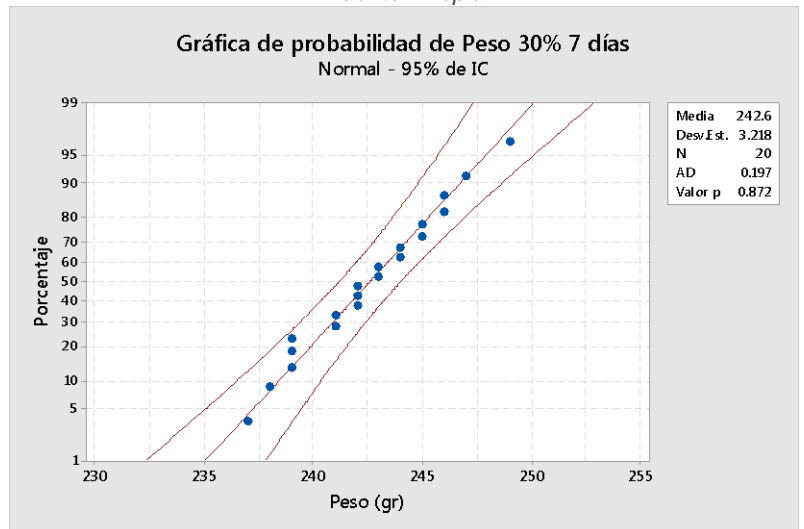
Estadística peso cubos de 30% reemplazo de arena con 7 días de curado	
Media	242,6
Error típico	0,71964904
Mediana	242,5
Moda	239
Desviación estándar	3,21836833
Varianza de la muestra	10,3578947
Curtosis	-0,6152821
Coefficiente de asimetría	0,0656799
Rango	12
Mínimo	237
Máximo	249
Suma	4852
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	6,44	249,04
+1D	3,22	245,82
Media	242,60	
-1D	-3,22	239,38
-2D	-6,44	236,16

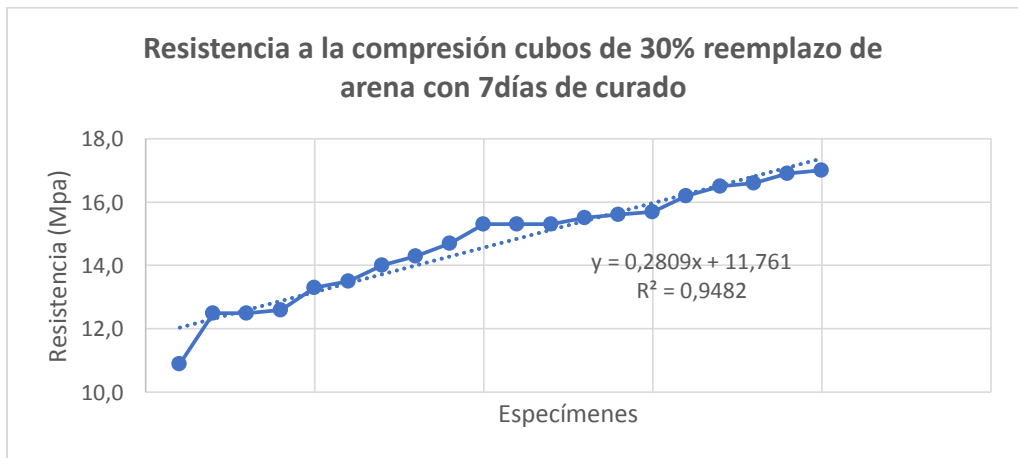
Gráfica 52: Estadística peso cubos 30% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 53: Probabilidad 30% reemplazo 7 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 54: Probabilidad 30% reemplazo 7 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia

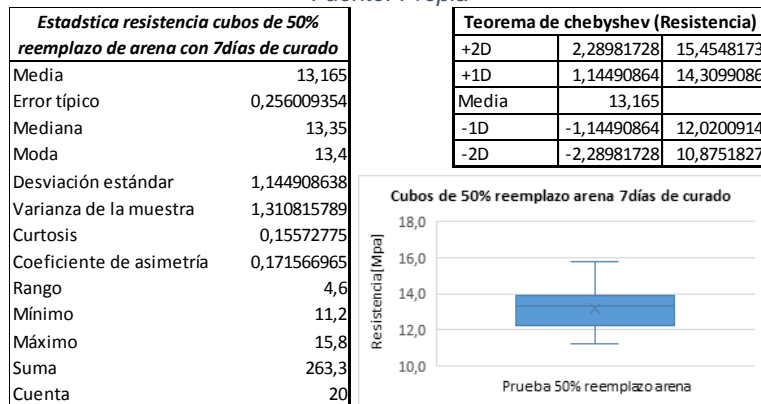


Gráfica 55: Resultados filtrados cubos de 30% reemplazo en 7 días  
Fuente: Propia

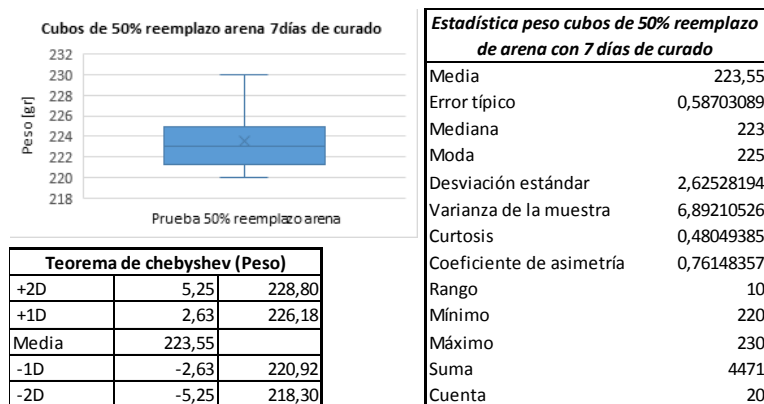
- **Cubos 50% de reemplazo de arena en 7 días de curado**

Resultados cubos de 50% reemplazo de arena con 7 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	220	27,90	11,2
2	221	28,32	11,3
3	223	29,87	11,9
4	222	29,87	11,9
5	225	30,58	12,2
6	222	31,00	12,4
7	225	31,85	12,7
8	220	31,99	12,8
9	225	33,11	13,2
10	222	33,25	13,3
11	226	33,40	13,4
12	228	33,40	13,4
13	225	33,40	13,4
14	221	34,10	13,6
15	224	34,81	13,9
16	223	34,66	13,9
17	223	35,65	14,3
18	230	35,79	14,3
19	221	35,93	14,4
20	225	39,60	15,8

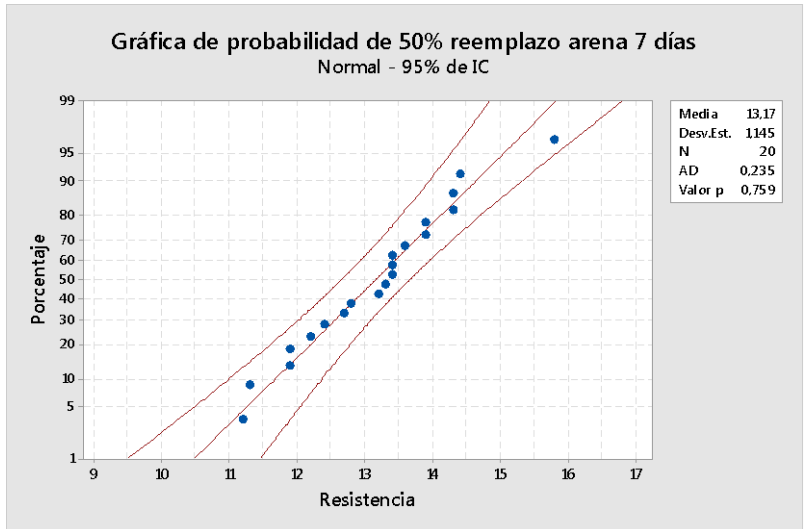
Tabla 33: Resultados resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



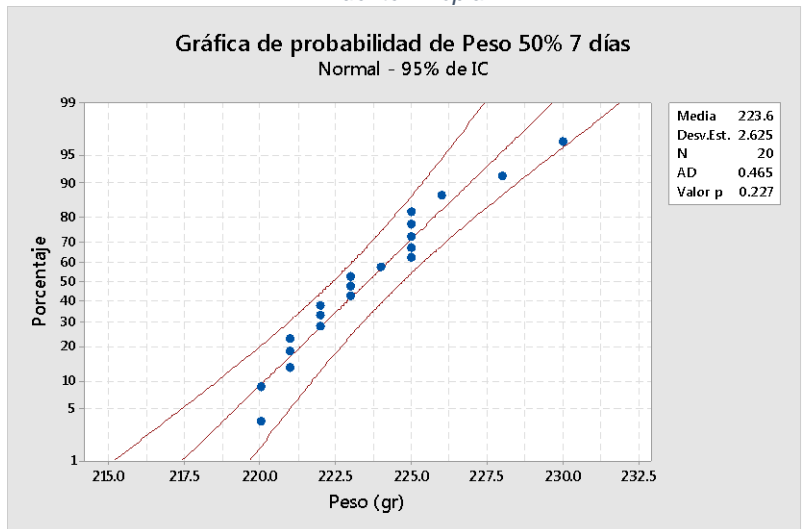
Gráfica 56: Estadística resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



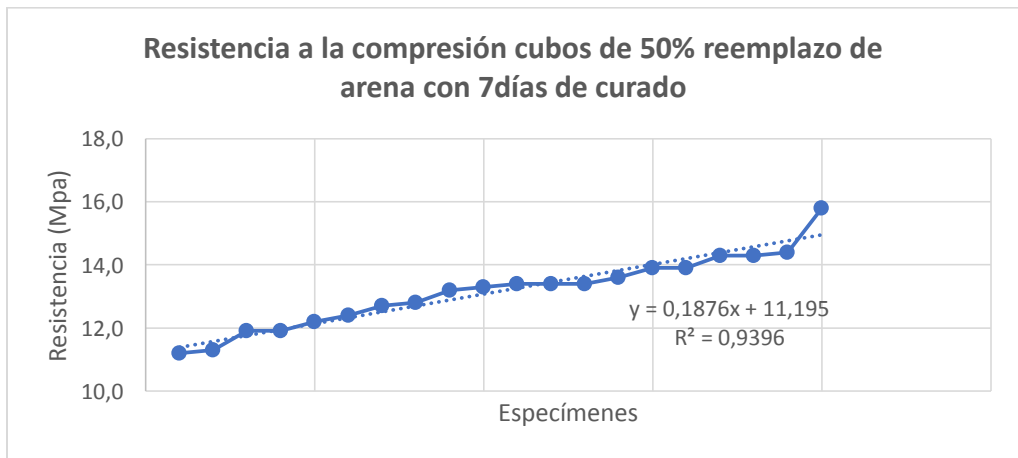
Gráfica 57: Estadística peso cubos 50% reemplazo de arena en 7 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 58: Probabilidad 50% reemplazo 7 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 59: Probabilidad 50% reemplazo 7 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia

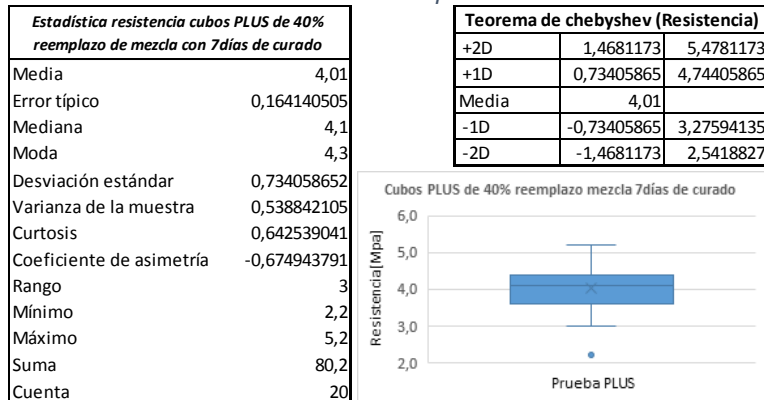


Gráfica 60: Resultados resistencia filtrados cubos de 50% reemplazo en 7 días de curado  
Fuente: Propia

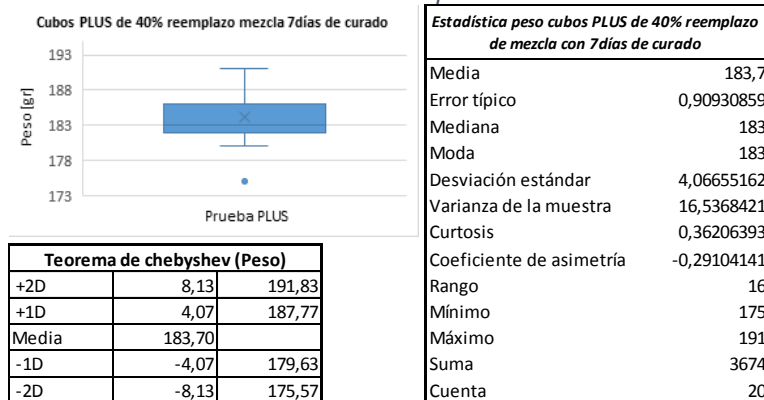
- Cubos “PLUS” 40% de reemplazo de la mezcla en 7 días de curado

Resultados cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 7 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	176	5,50	2,2
2	184	7,61	3,0
3	189	7,47	3,0
4	183	8,46	3,4
5	175	9,02	3,6
6	180	9,02	3,6
7	186	9,44	3,8
8	189	9,86	3,9
9	186	10,29	4,1
10	181	10,15	4,1
11	183	10,15	4,1
12	183	10,85	4,3
13	184	10,71	4,3
14	183	10,71	4,3
15	183	10,71	4,3
16	182	10,99	4,4
17	189	11,98	4,8
18	182	11,98	4,8
19	191	12,40	5,0
20	185	12,96	5,2

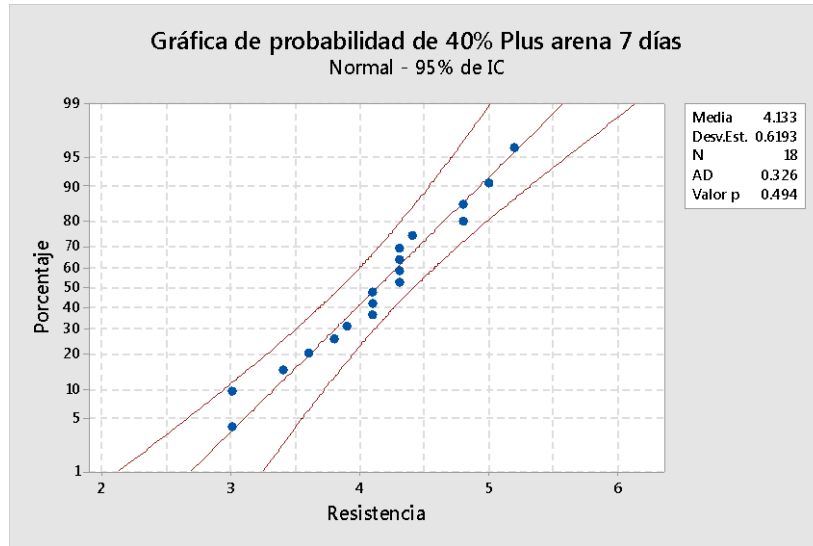
Tabla 34: Resultados resistencia cubos "PLUS" reemplazo 40% de mezcla en 7 días de curado  
Fuente: Propia



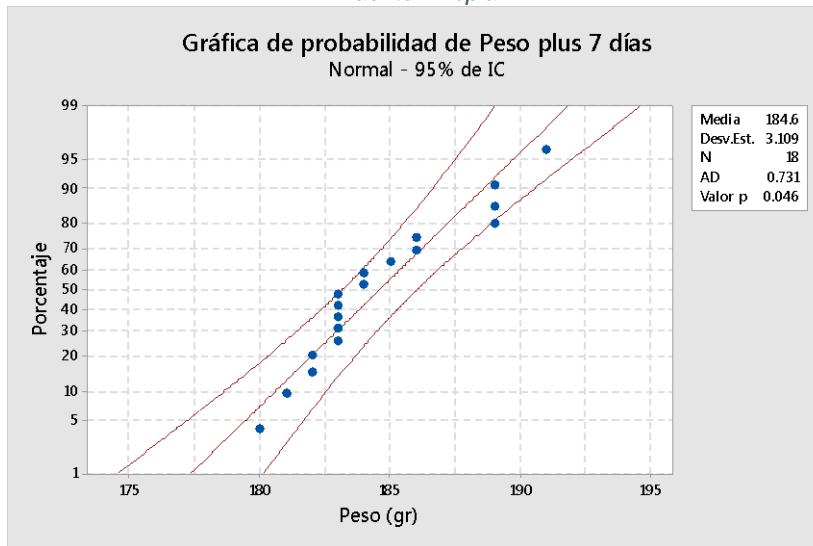
Gráfica 61: Estadística Resistencia cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 7 días de curado  
Fuente: Propia



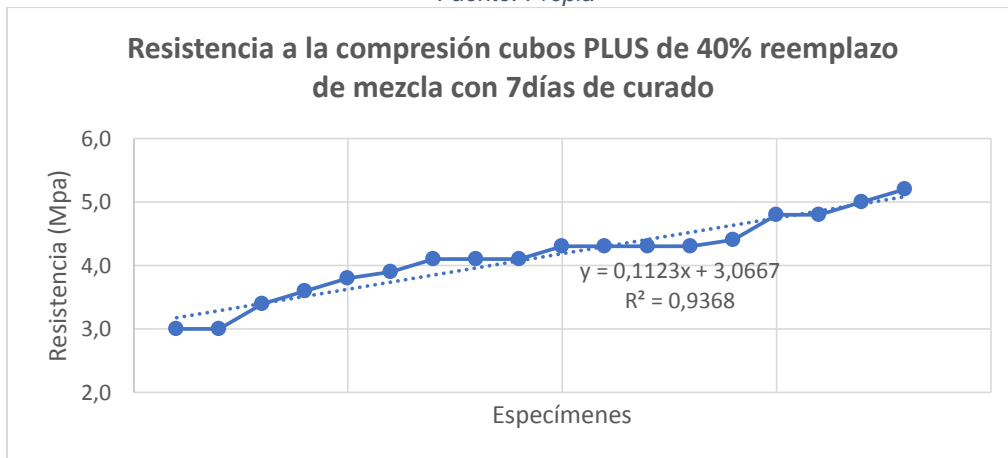
Gráfica 62: Estadística peso cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 7 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 63: Probabilidad "PLUS" 7 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 64: Probabilidad "PLUS" 7 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 65: Resultados filtrados cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 7 días  
Fuente: Propia

- Cubos de “Control” en 14 días de curado

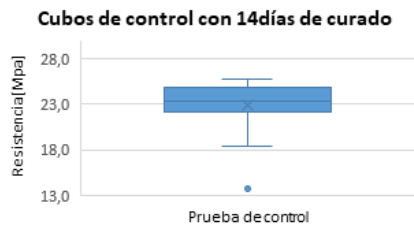
Resultados cubos de control con 14 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	264	34,52	13,8
2	262	46,08	18,4
3	262	49,60	19,8
4	264	55,10	22,0
5	266	54,96	22,0
6	267	56,08	22,4
7	265	56,22	22,5
8	262	56,93	22,8
9	264	58,34	23,3
10	262	58,48	23,4
11	263	58,62	23,4
12	268	58,76	23,5
13	260	59,32	23,7
14	266	60,59	24,2
15	268	61,30	24,5
16	264	62,56	25,0
17	262	62,99	25,2
18	266	63,97	25,6
19	269	64,54	25,8
20	267	64,54	25,8

Dato Excluido

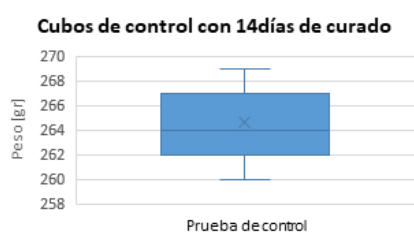
Tabla 35: Resultados resistencia cubos de control en 14 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos de control con 14 días de curado	
Media	22,855
Error típico	0,63740737
Mediana	23,4
Moda	22
Desviación estándar	2,85057243
Varianza de la muestra	8,12576316
Curtosis	4,6390993
Coefficiente de asimetría	-1,91388135
Rango	12
Mínimo	13,8
Máximo	25,8
Suma	457,1
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	5,70	28,56
+1D	2,85	25,71
Media	22,86	
-1D	-2,85	20,00
-2D	-5,70	17,15



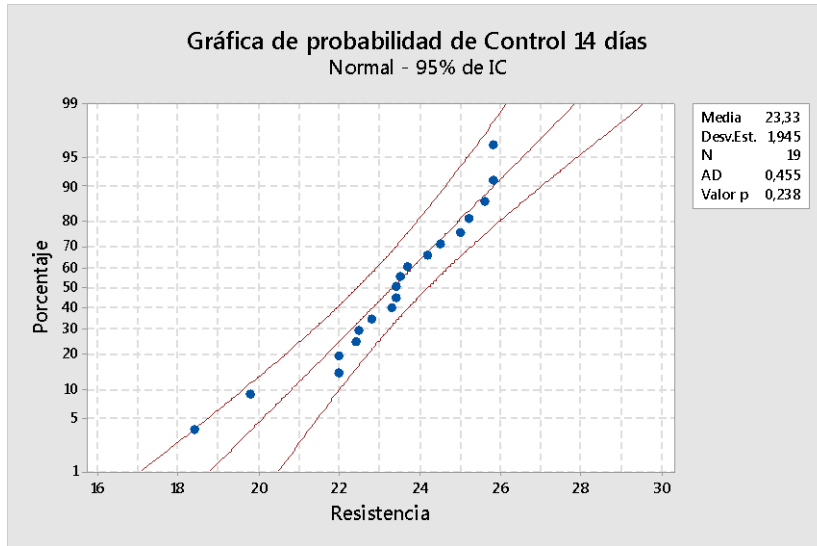
Gráfica 66: Estadística Resistencia cubos de control en 14 días de curado  
Fuente: Propia



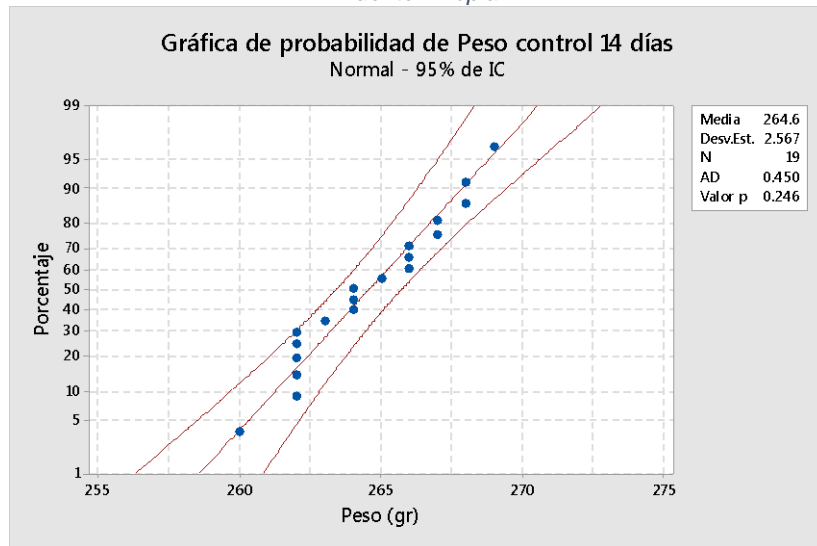
Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	5,00	269,55
+1D	2,50	267,05
Media	264,55	
-1D	-2,50	262,05
-2D	-5,00	259,55

Estadística peso cubos de control con 7 días de curado	
Media	264,55
Error típico	0,55948755
Mediana	264
Moda	262
Desviación estándar	2,50210438
Varianza de la muestra	6,26052632
Curtosis	-0,94598039
Coefficiente de asimetría	0,10230985
Rango	9
Mínimo	260
Máximo	269
Suma	5291
Cuenta	20

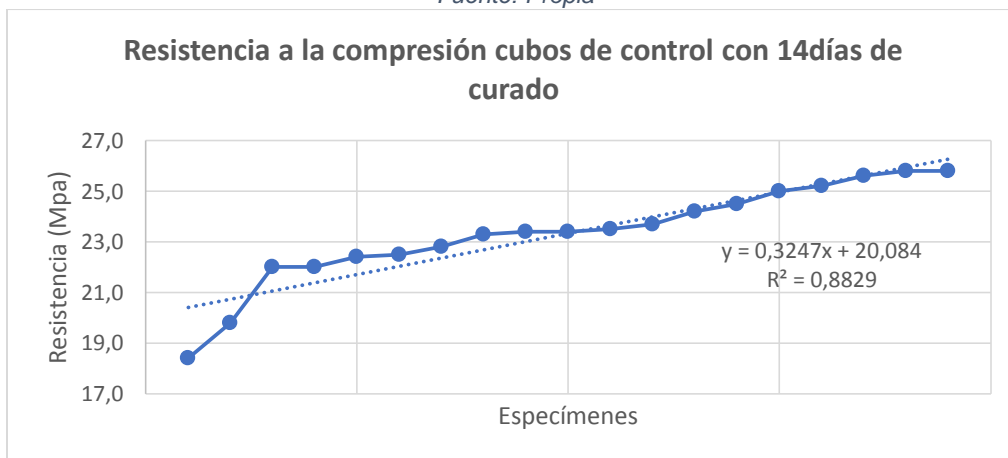
Gráfica 67: Estadística cubos de control en 14 días (Peso)  
Fuente: Propia



*Gráfica 68: Probabilidad Control 14 días (Resistencia (Mpa))*  
Fuente: Propia



*Gráfica 69: Probabilidad Control 14 días (Peso (gr))*  
Fuente: Propia



*Gráfica 70: Resultados filtrados cubos de Control en 14 días*  
Fuente: Propia



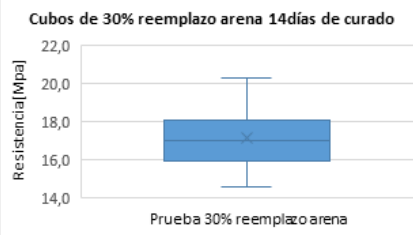
- **Cubos 30% de reemplazo de arena en 14 días**

Resultados cubos de 30% reemplazo de arena con 14 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	240	36,50	14,6
2	245	37,20	14,9
3	237	38,33	15,3
4	241	39,17	15,7
5	239	39,74	15,9
6	238	40,30	16,1
7	245	40,16	16,1
8	240	21,15	16,5
9	239	41,29	16,5
10	242	41,99	16,8
11	243	43,12	17,2
12	243	43,54	17,4
13	243	43,82	17,5
14	243	43,68	17,5
15	239	43,82	17,5
16	242	45,66	18,3
17	242	47,35	18,9
18	248	48,90	19,6
19	243	50,45	20,2
20	244	50,73	20,3

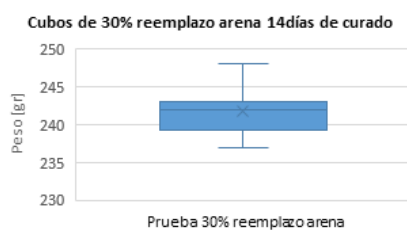
Tabla 36: Resultados resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos de 30% reemplazo de arena con 14 días de curado	
Media	17,142
Error típico	0,36948656
Mediana	17
Moda	16,1
Desviación estándar	1,65239412
Varianza de la muestra	2,73040632
Curtosis	-0,41172263
Coefficiente de asimetría	0,52386197
Rango	5,7
Mínimo	14,6
Máximo	20,3
Suma	342,84
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	3,30	20,45
+1D	1,65	18,79
Media	17,14	
-1D	-1,65	15,49
-2D	-3,30	13,84



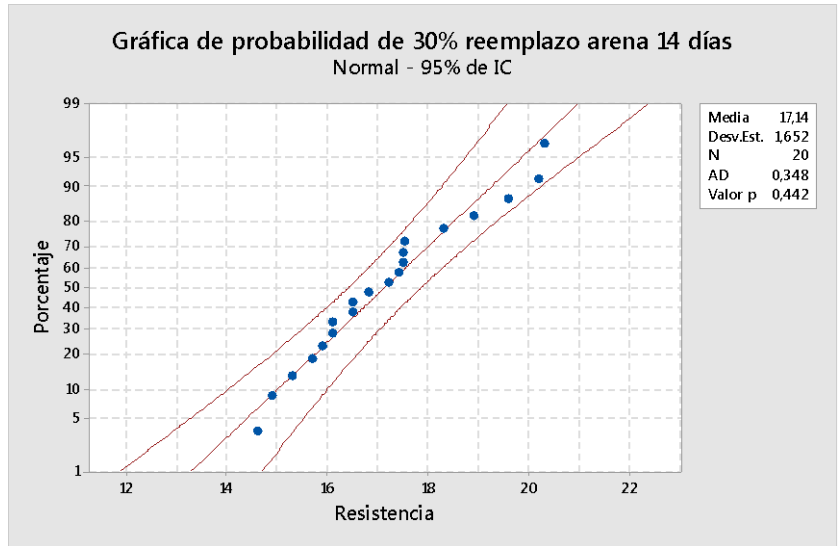
Gráfica 71: Estadística Resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



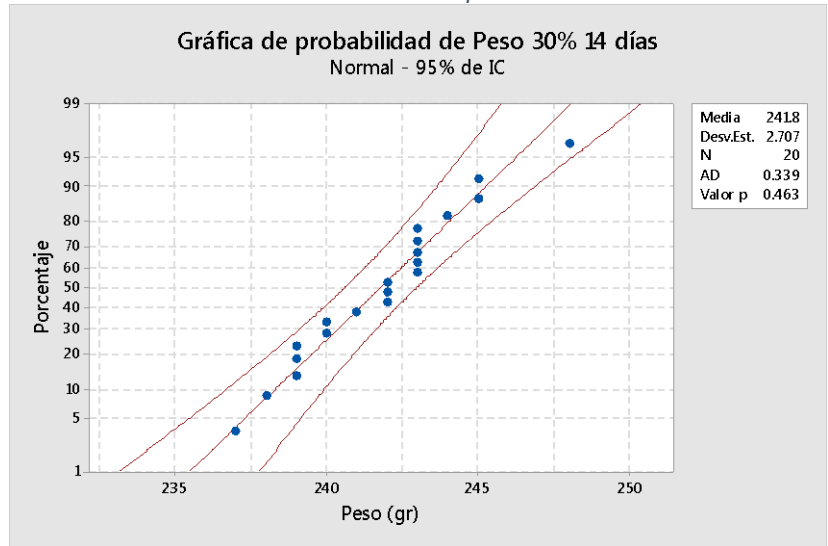
Estadística peso cubos de 30% reemplazo de arena con 14 días de curado	
Media	241,8
Error típico	0,60524027
Mediana	242
Moda	243
Desviación estándar	2,70671679
Varianza de la muestra	7,32631579
Curtosis	0,0492819
Coefficiente de asimetría	0,23497668
Rango	11
Mínimo	237
Máximo	248
Suma	4836
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	5,41	247,21
+1D	2,71	244,51
Media	241,80	
-1D	-2,71	239,09
-2D	-5,41	236,39

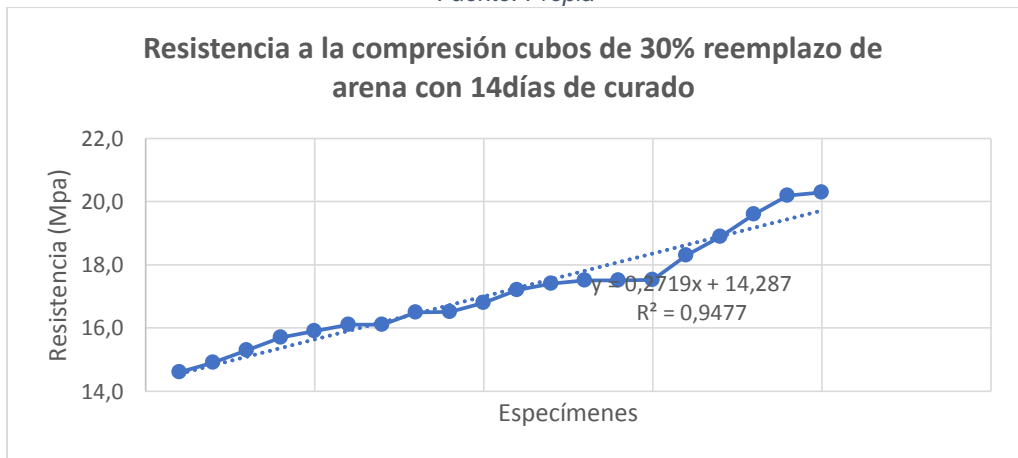
Gráfica 72: Estadística Peso cubos 30% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 73: Probabilidad 30% reemplazo 14 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 74: Probabilidad 30% reemplazo 14 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 75: Resultados filtrados cubos de 30% reemplazo en 14 días  
Fuente: Propia

- **Cubos 50% de reemplazo de arena en 14 días de curado**

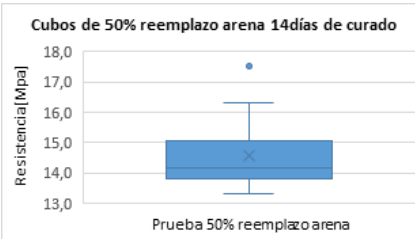
Resultados cubos de 50% reemplazo de arena con 14 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	215	33,25	13,3
2	217	34,10	13,6
3	219	34,10	13,6
4	219	33,96	13,6
5	218	34,52	13,8
6	219	34,52	13,8
7	222	34,38	13,8
8	222	34,80	13,9
9	220	35,23	14,1
10	219	35,23	14,1
11	228	35,51	14,2
12	220	36,21	14,5
13	227	37,06	14,8
14	220	37,06	14,8
15	226	37,62	15,0
16	224	37,76	15,1
17	233	39,03	15,6
18	224	39,74	15,9
19	225	40,72	16,3
20	223	43,82	17,5

Dato Excluido

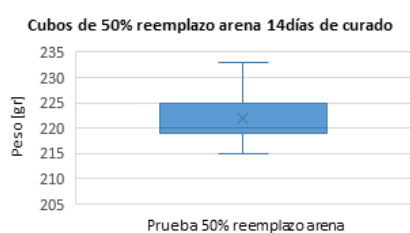
Tabla 37: Resultados resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos de 50% reemplazo de arena con 14 días de curado	
Media	14,565
Error típico	0,24184325
Mediana	14,15
Moda	13,6
Desviación estándar	1,0815559
Varianza de la muestra	1,16976316
Curtosis	1,4344662
Coefficiente de asimetría	1,27794863
Rango	4,2
Mínimo	13,3
Máximo	17,5
Suma	291,3
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	2,16	16,73
+1D	1,08	15,65
Media	14,57	
-1D	-1,08	13,48
-2D	-2,16	12,40



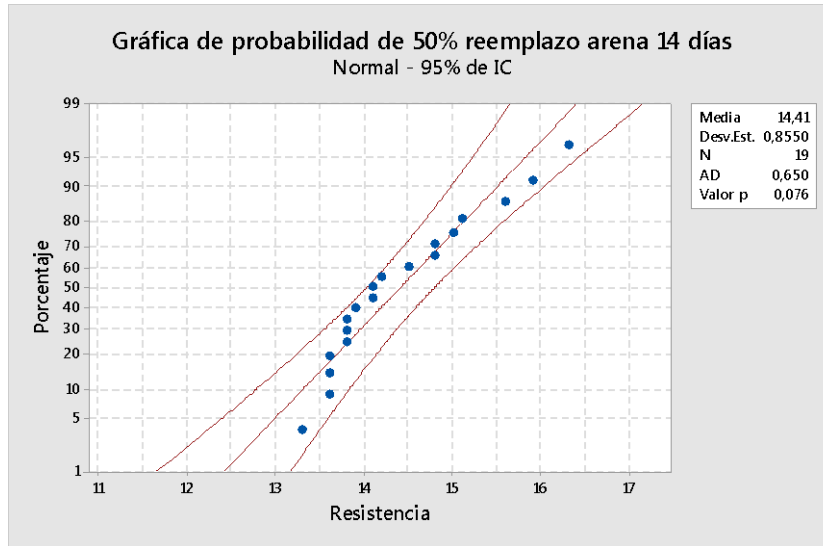
Gráfica 76: Estadística resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



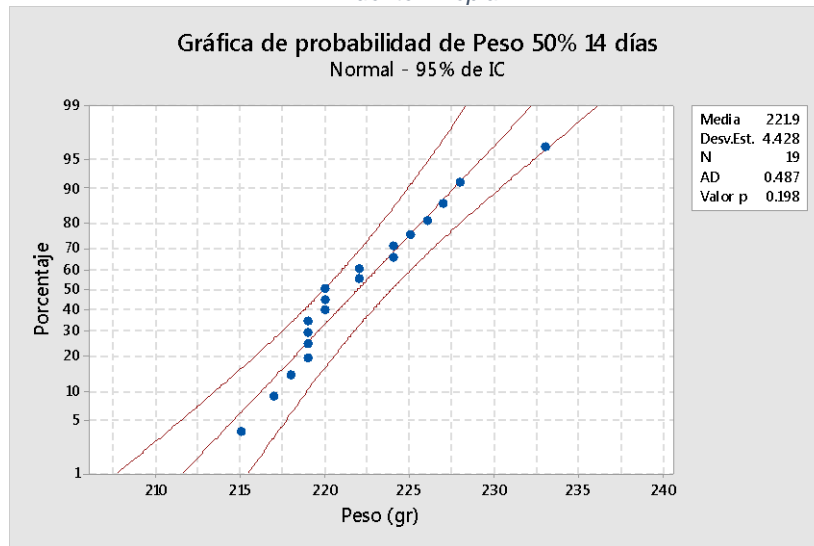
Estadística peso cubos de 50% reemplazo de arena con 14 días de curado	
Media	222
Error típico	0,96518337
Mediana	221
Moda	219
Desviación estándar	4,31643127
Varianza de la muestra	18,6315789
Curtosis	0,74475913
Coefficiente de asimetría	0,81150947
Rango	18
Mínimo	215
Máximo	233
Suma	4440
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	8,63	230,63
+1D	4,32	226,32
Media	222,00	
-1D	-4,32	217,68
-2D	-8,63	213,37

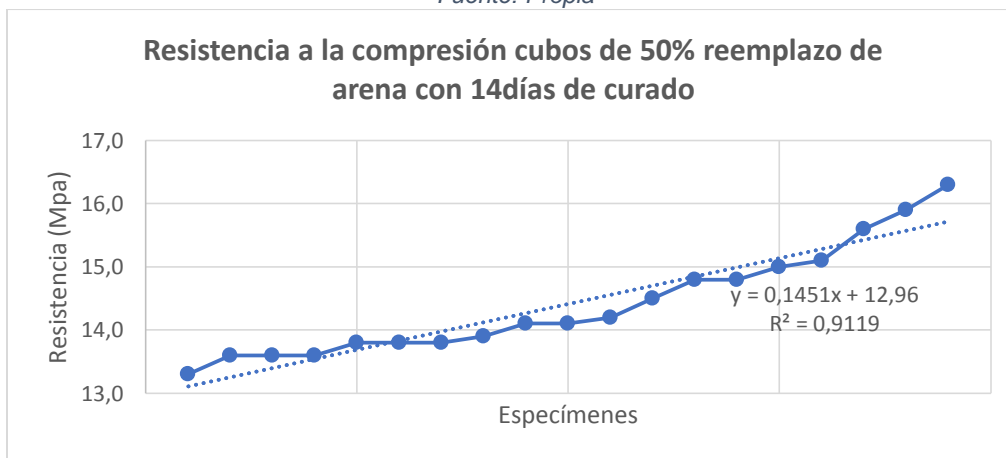
Gráfica 77: Estadística Peso cubos 50% reemplazo de arena en 14 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 78: Probabilidad 50% reemplazo 14 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 79: Probabilidad 50% reemplazo 14 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 80: Resultados filtrados cubos de 50% reemplazo en 14 días  
Fuente: Propia

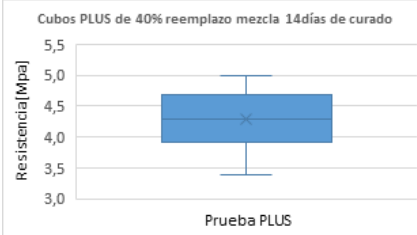
- Cubos “PLUS” 40% de reemplazo de la mezcla en 14 días

Resultados cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 14 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	183	8,60	3,4
2	176	9,16	3,7
3	182	9,16	3,7
4	187	9,86	3,9
5	180	9,72	3,9
6	182	10,00	4,0
7	194	10,15	4,1
8	184	10,15	4,1
9	179	10,85	4,3
10	187	10,85	4,3
11	190	10,85	4,3
12	182	10,85	4,3
13	188	10,85	4,3
14	182	10,99	4,4
15	186	11,55	4,6
16	188	11,70	4,7
17	185	11,84	4,7
18	199	12,40	5,0
19	195	12,54	5,0
20	190	12,40	5,0

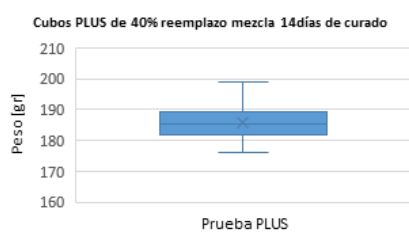
Tabla 38: Resultados cubos "PLUS" reemplazo 40% de mezcla en 14 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 14 días de curado	
Media	4,285
Error típico	0,10137865
Mediana	4,3
Moda	4,3
Desviación estándar	0,45337913
Varianza de la muestra	0,20555263
Curtosis	-0,54042094
Coefficiente de asimetría	0,01808165
Rango	1,6
Mínimo	3,4
Máximo	5
Suma	85,7
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	0,91	5,19
+1D	0,45	4,74
Media	4,29	
-1D	-0,45	3,83
-2D	-0,91	3,38



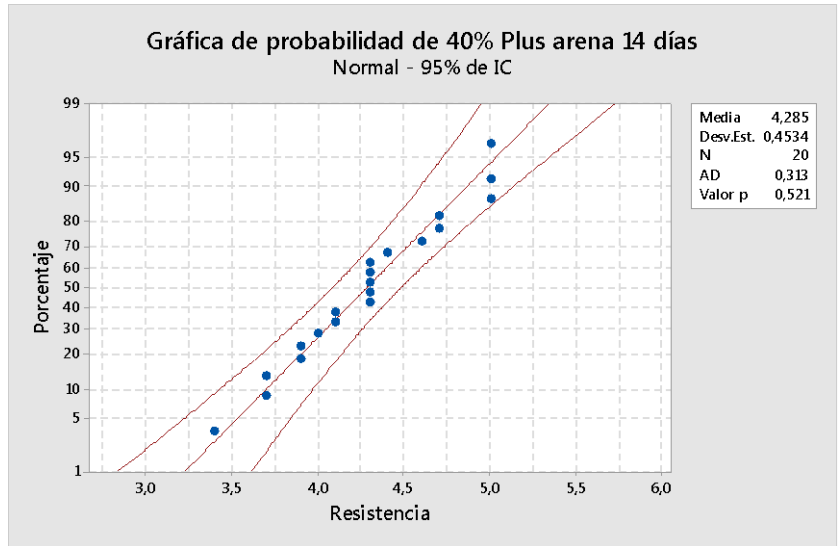
Gráfica 81: Estadística Resistencia cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 14 días de curado  
Fuente: Propia



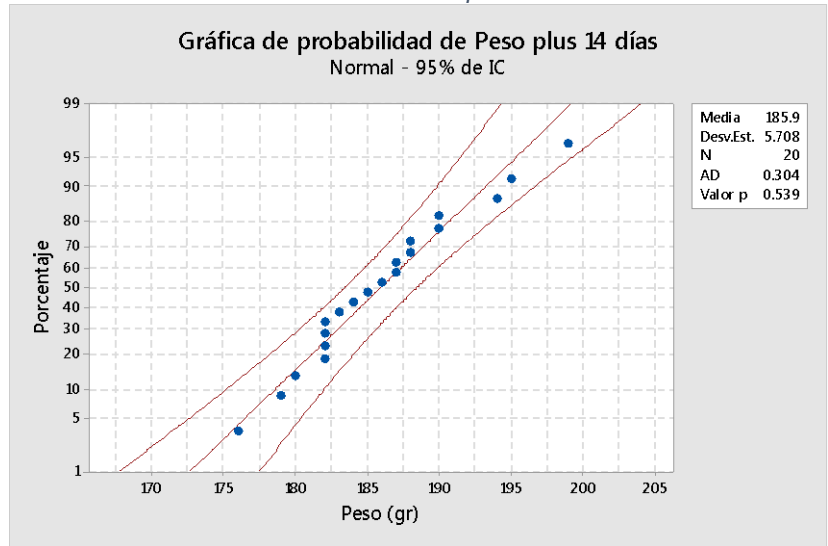
Estadística peso cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 14 días de curado	
Media	185,95
Error típico	1,27625068
Mediana	185,5
Moda	182
Desviación estándar	5,70756654
Varianza de la muestra	32,5763158
Curtosis	0,20059974
Coefficiente de asimetría	0,5742683
Rango	23
Mínimo	176
Máximo	199
Suma	3719
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	11,42	197,37
+1D	5,71	191,66
Media	185,95	
-1D	-5,71	180,24
-2D	-11,42	174,53

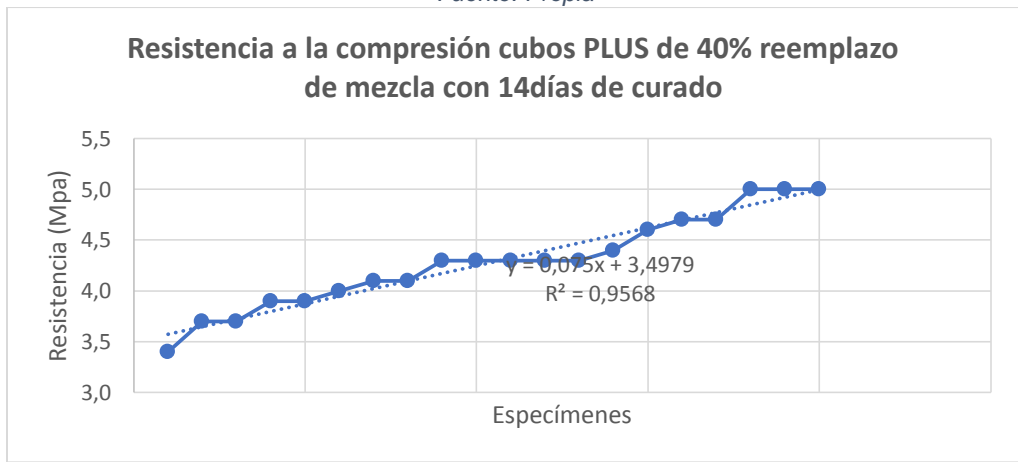
Gráfica 82: Estadística Peso cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 14 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 83: Probabilidad "PLUS" 14 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 84: Probabilidad "PLUS" 14 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia

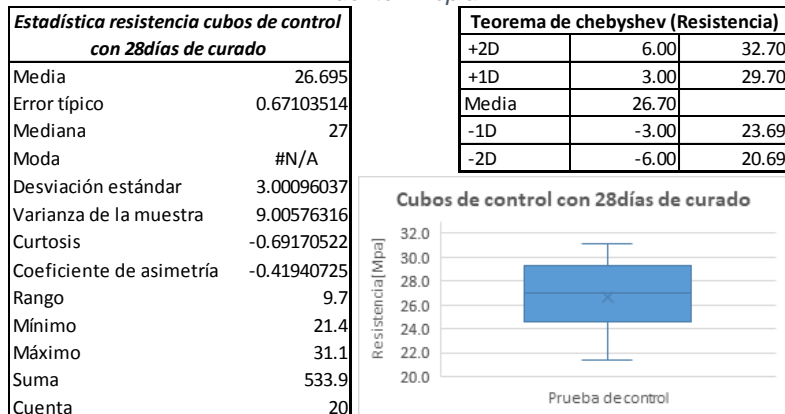


Gráfica 85: Resultados resistencia filtrados cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 14 días de curado  
Fuente: Propia

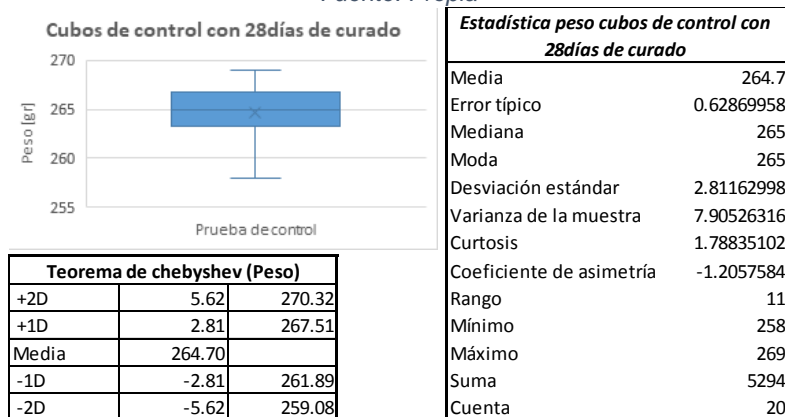
- Cubos de “Control” en 28 días

Resultados cubos de control con 28 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	268	53,41	21,4
2	267	53,69	21,5
3	258	54,25	21,7
4	264	59,46	23,8
5	265	61,30	24,5
6	266	62,71	25,1
7	263	64,25	25,7
8	258	65,66	26,3
9	265	65,95	26,4
10	267	67,07	26,8
11	265	67,92	27,2
12	267	68,34	27,3
13	265	69,75	27,9
14	263	69,89	28,0
15	264	72,85	29,1
16	266	73,27	29,3
17	265	74,96	30,0
18	263	75,81	30,3
19	269	76,23	30,5
20	266	77,78	31,1

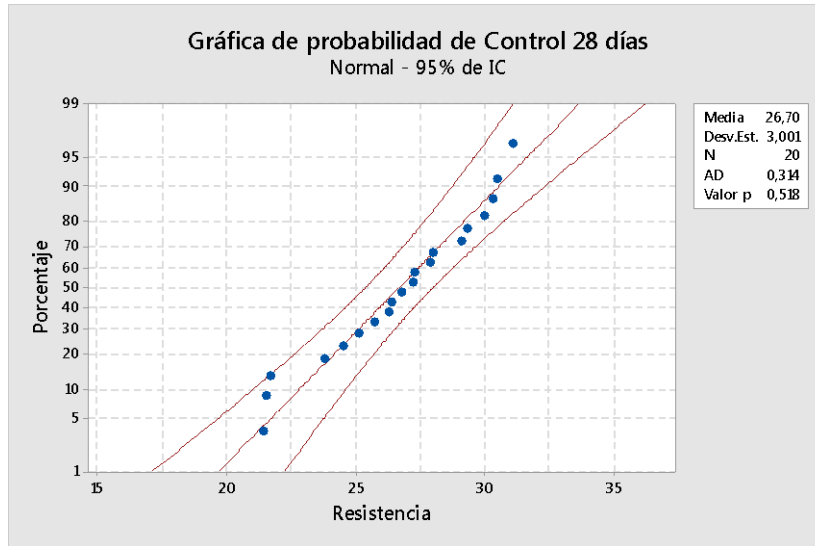
Tabla 39: Resultados resistencia cubos de control en 28 días de curado  
Fuente: Propia



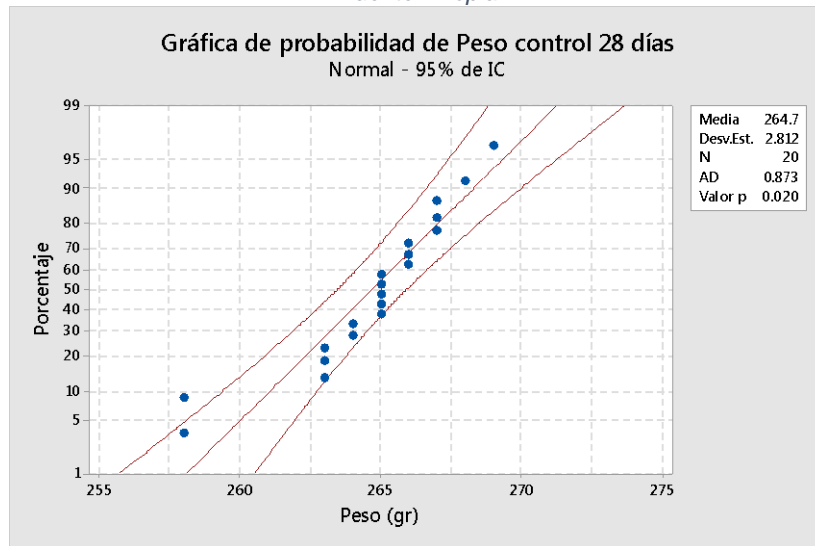
Gráfica 86: Estadística Resistencia cubos de control en 28 días de curado  
Fuente: Propia



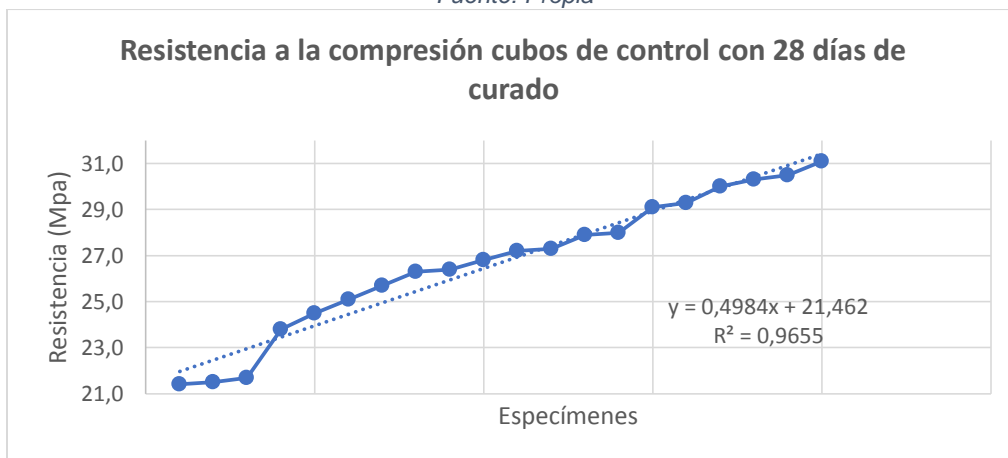
Gráfica 87: Estadística Peso cubos de control en 28 días de curado  
Fuente: Propia



*Gráfica 88: Probabilidad Control 28 días (Resistencia (Mpa))*  
Fuente: Propia



*Gráfica 89: Probabilidad Control 28 días (Peso (gr))*  
Fuente: Propia



*Gráfica 90: Resultados resistencia filtrados cubos de Control en 28 días de curado*  
Fuente: Propia

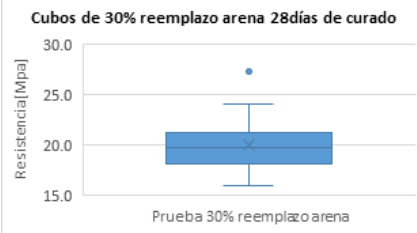


- **Cubos 30% de reemplazo de arena en 28 días**

Resultados cubos de 30% reemplazo de arena con 28 días de curado				
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	
1	237	39,88	16,0	
2	240	43,82	17,5	
3	241	44,67	17,9	
4	242	44,95	18,0	
5	239	45,23	18,1	
6	238	46,08	18,1	
7	238	45,60	18,3	
8	239	47,06	18,8	
9	237	47,63	19,1	
10	243	49,18	19,7	
11	241	49,60	19,8	
12	242	50,30	20,1	
13	245	51,15	20,5	
14	238	51,15	20,5	
15	246	51,86	20,7	
16	293	53,83	21,5	Dato Excluido
17	246	54,11	21,6	
18	239	54,11	21,6	
19	247	60,17	24,1	
20	246	68,62	27,4	Dato Excluido

Tabla 40: Resultados resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos de 30% reemplazo de arena con 28 días de		Teorema de chebyshev (Resistencia)	
Media	19.9655	+2D	5.09 25.05
Error típico	0.56899795	+1D	2.54 22.51
Mediana	19.75	Media	19.97
Moda	20.5	-1D	-2.54 17.42
Desviación estándar	2.54463621	-2D	-5.09 14.88
Varianza de la muestra	6.47517342		
Curtosis	2.86821275		
Coefficiente de asimetría	1.35272698		
Rango	11.4		
Mínimo	16		
Máximo	27.4		
Suma	399.31		
Cuenta	20		

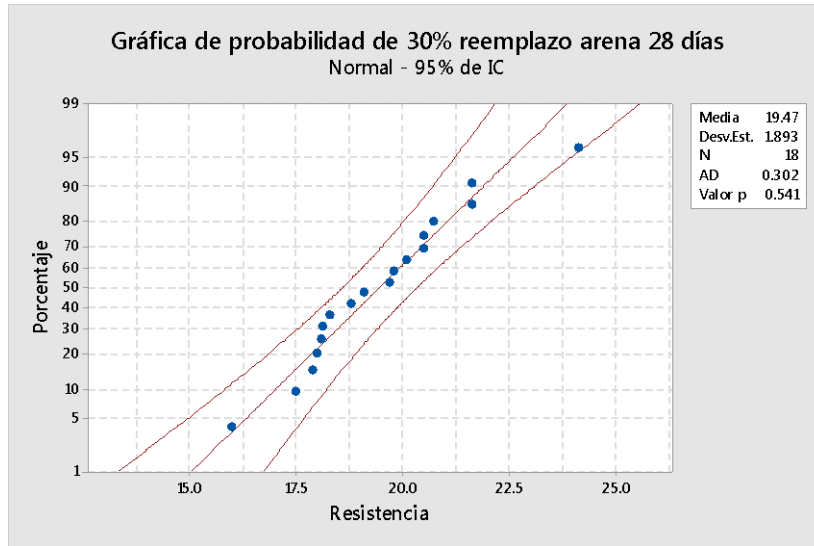


Gráfica 91: Estadística resistencia cubos 30% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia

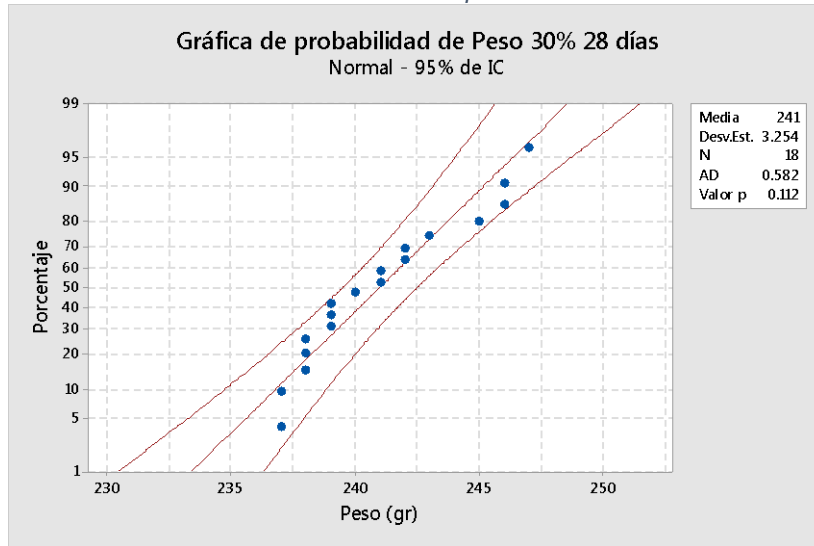
Cubos de 30% reemplazo arena 28 días de curado		Estadística peso cubos de 30% reemplazo de arena con 28 días de	
300		Media	243.85
290		Error típico	2.68844995
280		Mediana	241
270		Moda	239
260		Desviación estándar	12.0231137
250		Varianza de la muestra	144.555263
240		Curtosis	16.6701544
230		Coefficiente de asimetría	3.93988926
		Rango	56
		Mínimo	237
		Máximo	293
		Suma	4877
		Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	24.05	267.90
+1D	12.02	255.87
Media	243.85	
-1D	-12.02	231.83
-2D	-24.05	219.80

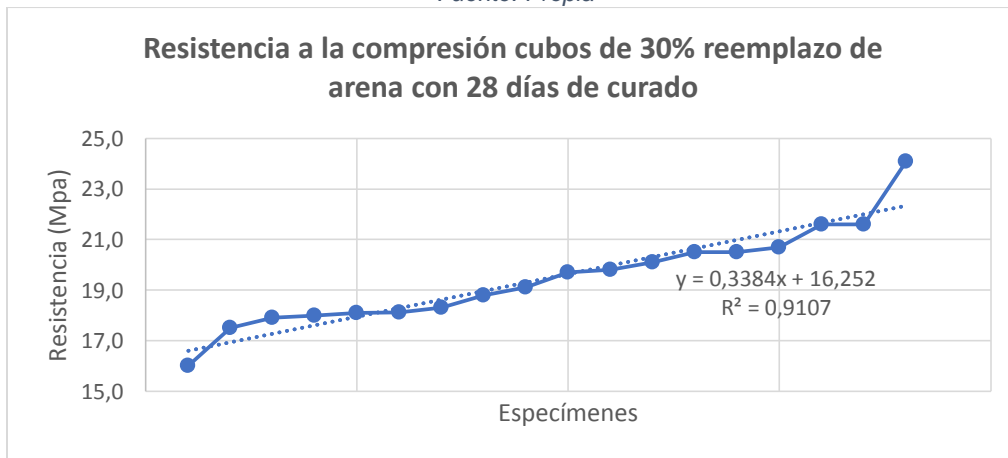
Gráfica 92: Estadística peso cubos 30% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 93: Probabilidad 30% reemplazo 28 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 94: Probabilidad 30% reemplazo 28 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia

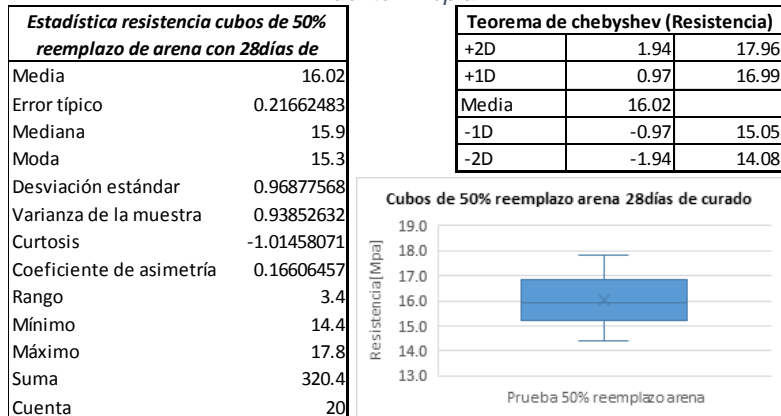


Gráfica 95: Resultados resistencia filtrados cubos de 30% reemplazo en 28 días de curado  
Fuente: Propia

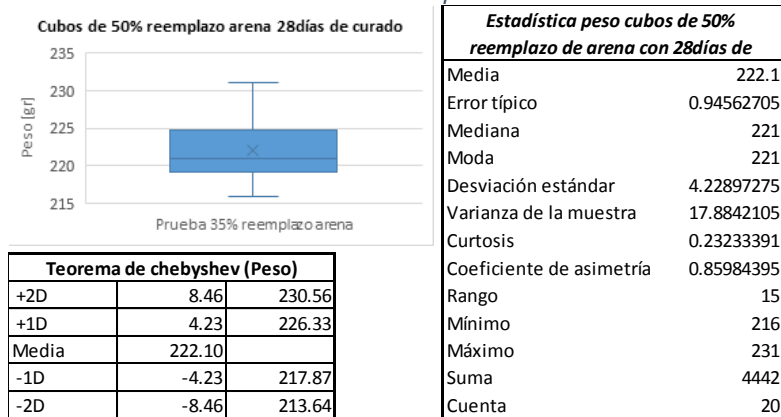
- **Cubos 50% de reemplazo de arena en 28 días**

Resultados cubos de 50% reemplazo de arena con 28 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	221	35,93	14,4
2	216	36,92	14,8
3	231	37,34	14,9
4	217	37,48	15,0
5	220	38,05	15,2
6	221	38,33	15,3
7	218	38,19	15,3
8	221	38,89	15,6
9	231	39,60	15,8
10	218	39,60	15,8
11	225	40,02	16,0
12	221	40,58	16,2
13	223	40,86	16,3
14	224	41,71	16,7
15	220	41,85	16,7
16	228	42,27	16,9
17	219	42,70	17,1
18	220	43,12	17,2
19	225	43,54	17,4
20	223	44,39	17,8

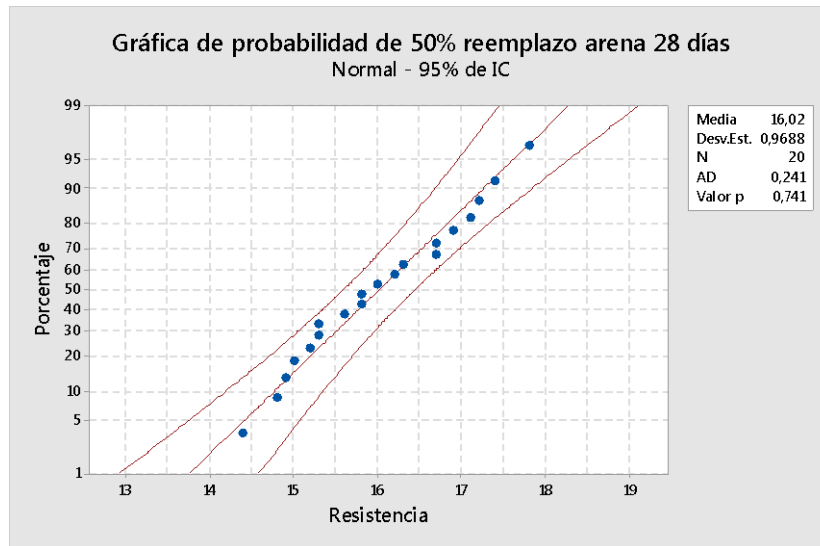
Tabla 41: Resultados cubos 50% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



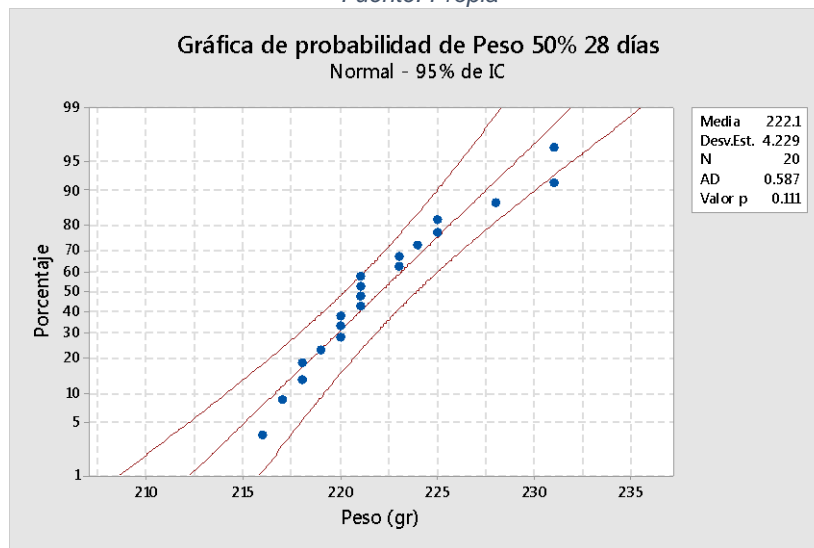
Gráfica 96: Estadística Resistencia cubos 50% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



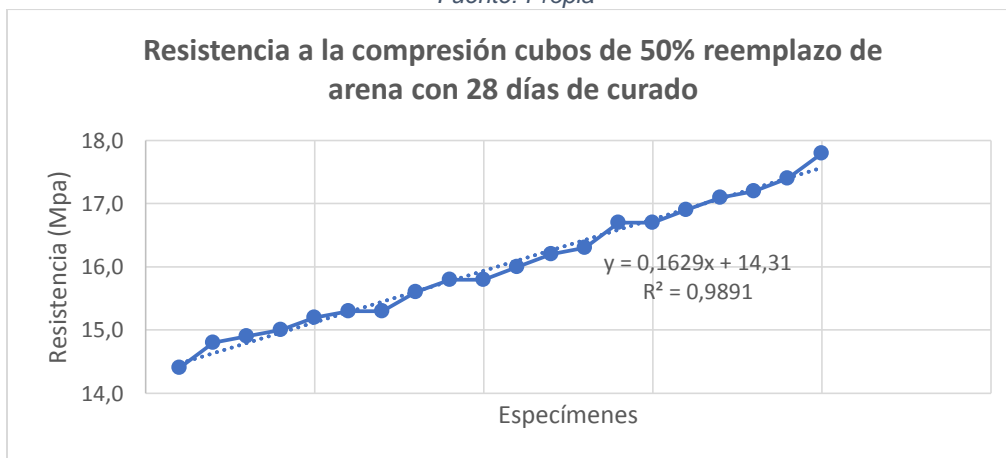
Gráfica 97: Estadística Peso cubos 50% reemplazo de arena en 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 98: Probabilidad 50% reemplazo 28 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 99: Probabilidad 50% reemplazo 28 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 100: Resultados resistencia filtrados cubos de 50% reemplazo en 28 días de curado  
Fuente: Propia

- **Cubos “PLUS” 40% de reemplazo de la mezcla en 28 días**

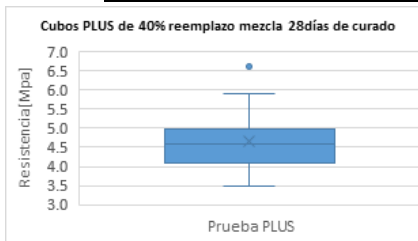
Resultados cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 28 días de curado			
	Peso (gr)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	181	8,74	3,5
2	190	9,86	3,9
3	183	9,86	3,9
4	189	10,29	4,1
5	181	10,29	4,1
6	183	10,29	4,1
7	187	10,85	4,3
8	183	10,71	4,3
9	192	11,27	4,5
10	187	11,41	4,6
11	182	11,41	4,6
12	183	11,55	4,6
13	188	11,70	4,7
14	187	12,12	4,8
15	190	12,26	4,9
16	182	12,40	5,0
17	195	12,54	5,0
18	188	13,39	5,4
19	185	14,65	5,9
20	191	16,49	6,6

Dato Excluido

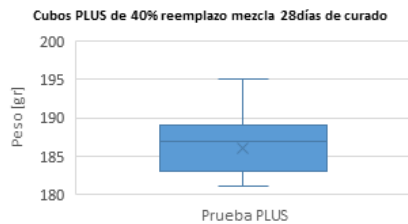
Tabla 42: Resultados resistencia cubos "PLUS" reemplazo 40% de mezcla en 28 días de curado  
Fuente: Propia

Estadística resistencia cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 28 días de curado	
Media	4.64
Error típico	0.16131042
Mediana	4.6
Moda	4.1
Desviación estándar	0.72140214
Varianza de la muestra	0.52042105
Curtosis	1.85443241
Coefficiente de asimetría	1.12745647
Rango	3.1
Mínimo	3.5
Máximo	6.6
Suma	92.8
Cuenta	20

Teorema de chebyshev (Resistencia)		
+2D	1.44	6.08
+1D	0.72	5.36
Media	4.64	
-1D	-0.72	3.92
-2D	-1.44	3.20



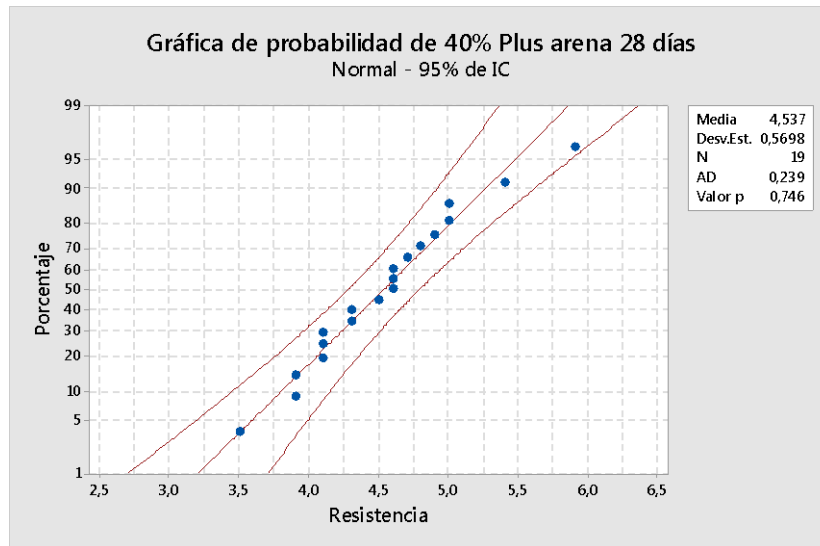
Gráfica 101: Estadística resistencia cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 28 días de curado  
Fuente: Propia



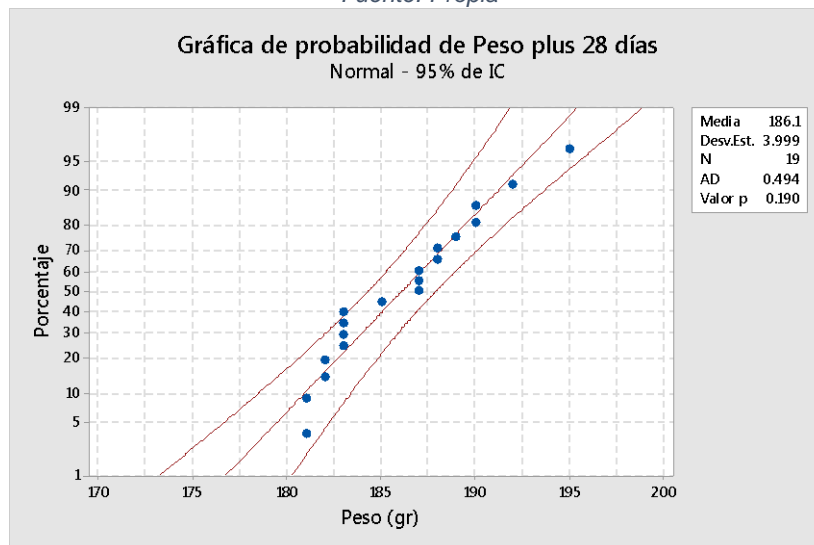
Teorema de chebyshev (Peso)		
+2D	8.09	194.44
+1D	4.04	190.39
Media	186.35	
-1D	-4.04	182.31
-2D	-8.09	178.26

Estadística peso cubos PLUS de 40% reemplazo de mezcla con 28 días de curado	
Media	186.35
Error típico	0.90401153
Mediana	187
Moda	183
Desviación estándar	4.04286246
Varianza de la muestra	16.3447368
Curtosis	-0.73607781
Coefficiente de asimetría	0.38060202
Rango	14
Mínimo	181
Máximo	195
Suma	3727
Cuenta	20

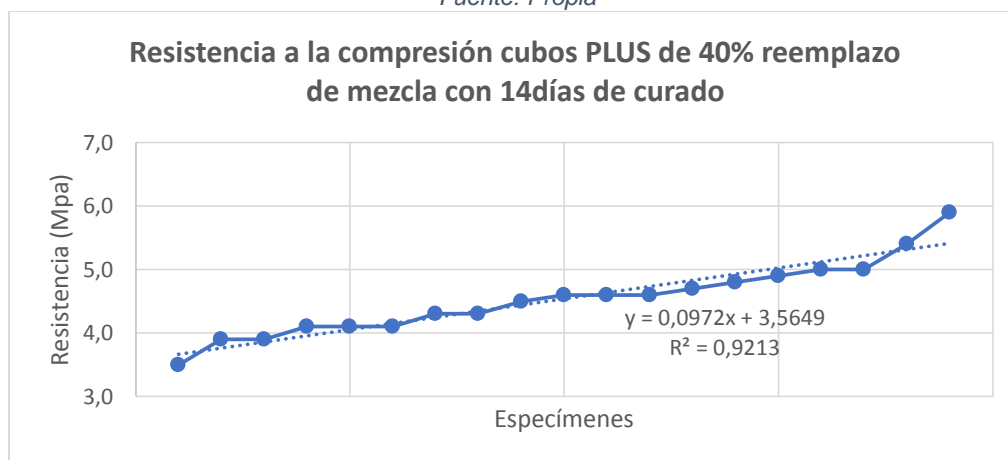
Gráfica 102: Estadística peso cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 28 días de curado  
Fuente: Propia



Gráfica 103: Probabilidad "PLUS" 28 días (Resistencia (Mpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 104: Probabilidad "PLUS" 28 días (Peso (gr))  
Fuente: Propia



Gráfica 105: Resultados resistencia filtrados cubos "PLUS" 40% reemplazo de mezcla en 28 días de curado  
Fuente: Propia

## 14 ANEXO B

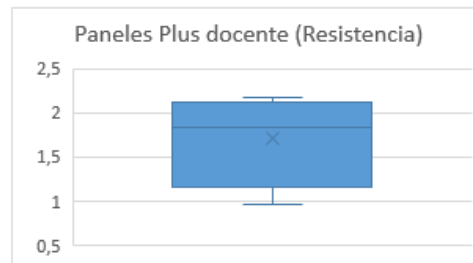
- **Paneles PLUS hechos material donado por el docente director ensayados a los 28 días de edad**

Plus (Material donado por el docente director)					
Seccion	Peso (gr)	Peso probeta completa (gr)	Carga (KN)	Ancho promedio (cm)	MR (Kpa)
Borde	3999	16422	0,56	14,5	0,96551724
Central	4111	16422	0,99	14,4	1,71875
Central	4065	16422	1,13	14,4	1,96180556
Borde	4085	16422	1,27	14,6	2,17465753

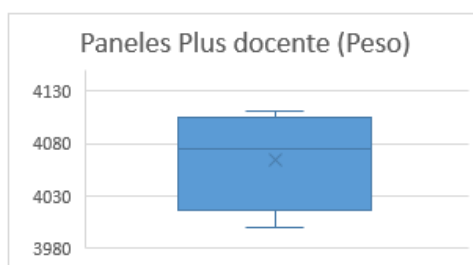
Tabla 43: Resultados paneles material donado por el docente director 40% reemplazo mezcla  
Fuente: Propia

<i>Plus material Docente director (Resistencia)</i>	
Media	1,705182583
Error típico	0,263557548
Mediana	1,840277778
Moda	#N/A
Desviación estándar	0,527115096
Varianza de la muestra	0,277850324
Curtosis	1,708812901
Coefficiente de asimetría	-1,294088425
Rango	1,209140293
Mínimo	0,965517241
Máximo	2,174657534
Suma	6,820730331
Cuenta	4

Teorema de chebyshev		
+2D	1,05423019	2,75941277
+1D	0,5271151	2,23229768
Media	1,70518258	
-1D	-0,5271151	1,17806749
-2D	-1,05423019	0,65095239



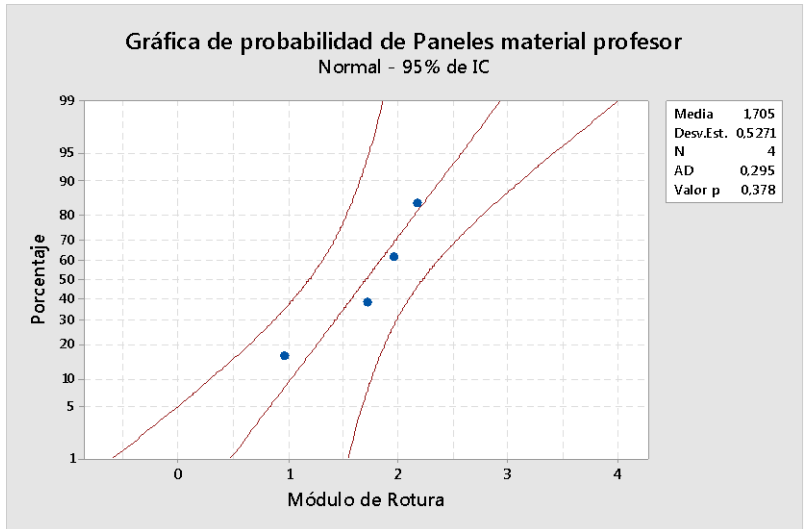
Gráfica 106: Estadística Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Resistencia)  
Fuente: Propia



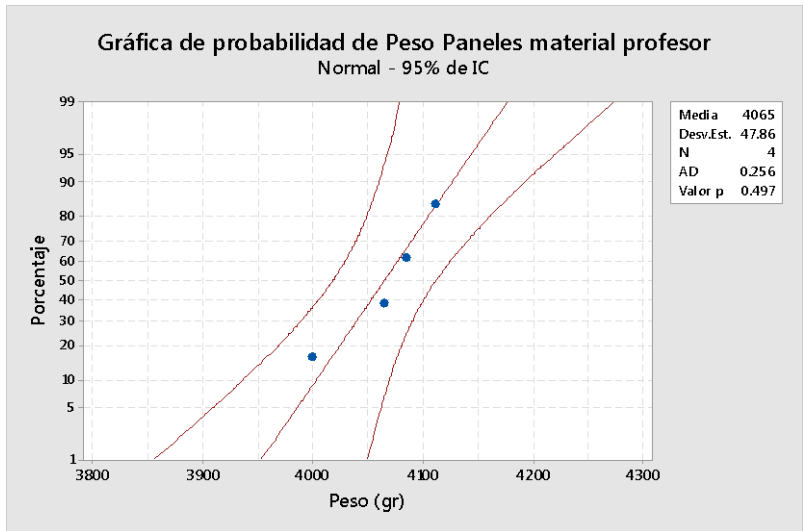
<i>Plus material Docente director (Peso)</i>	
Media	4065
Error típico	23,9304548
Mediana	4075
Moda	#N/A
Desviación estándar	47,8609096
Varianza de la muestra	2290,66667
Curtosis	1,5
Coefficiente de asimetría	-1,10769173
Rango	112
Mínimo	3999
Máximo	4111
Suma	16260
Cuenta	4

Teorema de chebyshev Peso		
+2D	95,72	4160,72
+1D	47,86	4112,86
Media	4065,00	
-1D	-47,86	4017,14
-2D	-95,72	3969,28

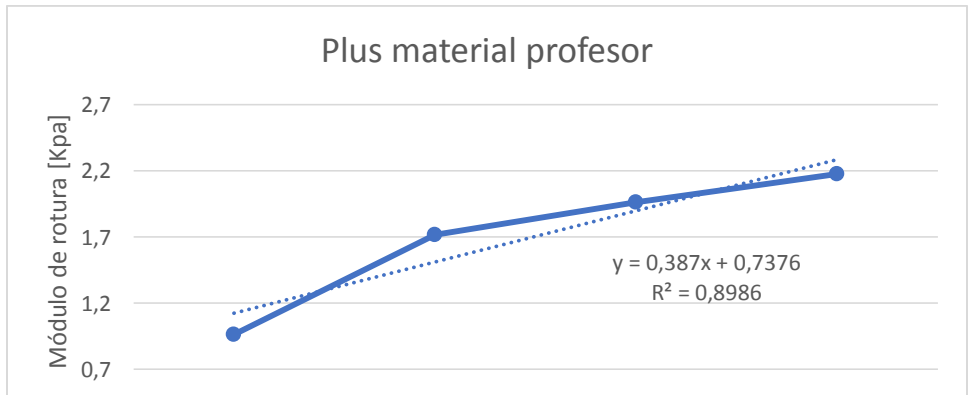
Gráfica 107: Estadística Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Peso)  
Fuente: Propia



Gráfica 108: Probabilidad Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Módulo de Rotura (Kpa))  
Fuente: Propia



Gráfica 109: Probabilidad Paneles material docente 40% reemplazo mezcla a 28 días de edad (Peso)  
Fuente: Propia



Gráfica 110: Resultados Filtrados Paneles material docente 40% reemplazo mezcla con 28 días de edad  
Fuente: Propia



## 15 ANEXO C

### Análisis económico.

Para la elaboración del análisis de precios unitario se tuvieron en cuenta las cantidades necesarias para realizar 1m<sup>3</sup> de mortero establecidas en la tabla 11. Igualmente, se adjuntan las facturas con los precios de los materiales utilizados



**ARDISA S.A.**

**NIT: 890200050-6**

CR 17C 60 30, BUCARAMANGA, SANTANDER

Tel: (57 7) 6444744

www.ardisa.com



Grandes Contribuyentes Resolución No. 2509 de Dic 3/93

Autorretenedores Resolución No. 0211 de Nov. 30/94

Somos Retenedores del I.V.A.

Actividad Económica I.C.A. 4663 Tarifa 0.5%

### Factura de Venta No. 2E-905001

Cliente:	<b>GONZALEZ MARY ALEXANDRA</b>	Fecha Factura (DD/MM/AAAA):	<b>04/06/2019</b>
Nit o C.C.:	<b>1098760616</b>	Fecha Vencimiento (DD/MM/AAAA):	<b>04/06/2019</b>
Obra:	<b>PRINCIPAL</b>	Orden de Compra:	
Código SN:	<b>C-1098760616</b>	Forma de Pago:	<b>Contado</b>
Dirección:	<b>CALLE 36 # 5 OCCIDENTE -24 LA JOYA BUCARAMANGA</b>	Vendedor:	<b>Maria Delia Archila Lizarazo</b>
		CC:	<b>1171 ARDISA CENTRO CONSTRUCCION</b>
		No. Entrega:	

Alm.	Código	Descripción	Cant.	Und.	Valor Unitario	Valor Parcial
117401	10003059	ARENA FINA POR SACO	5,00	Und	3,602.87	18,014.35
117401	10016770	CEMENTO GRIS CEMEX BULTO X 50kg CLIENTE RECOGE BODEGA LA 71	1,00	Und	22,689.00	22,689.00

Ilustración 32: Factura de compra materiales  
Fuente: Propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIO					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>1</b>	<b>Mortero de diseño 1:0,479</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1,00</b>		<b>\$ 436.620</b>
<b>1.1</b>	Cemento	Kg	746,28	\$ 460	\$ 343.287
<b>1.2</b>	Arena	Kg	888,89	\$ 105	\$ 93.333
<b>2</b>	<b>Mortero 1:0,479 con 40% de aligerante en reemplazo de arena</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1,00</b>		<b>\$ 467.944</b>
<b>2.1</b>	Cemento	Kg	746,28	\$ 460	\$ 343.287
<b>2.2</b>	Arena	Kg	533,33	\$ 105	\$ 56.000
<b>2.3</b>	Poliestireno Expandido	Kg	4,29	\$ 16.000	\$ 68.657

Tabla 44: Análisis de precios  
Fuente: Propia

En la tabla 31 se observa que el precio del m<sup>3</sup> de mortero con poliestireno expandido aumenta \$31.324 lo que equivale a un 7.17% en comparación con el mortero común diseñado. Sin embargo, su reducción en peso es del 12% lo cual puede significar reducción en diferentes costos tales como, por ejemplo: transporte, maquinaria y mano de obra, entre otros.

Del análisis económico se concluye que para estar en un punto de equilibrio en donde se compensen los gastos adicionales generados por aligeramiento con el transporte del material, se debe tener un precio de transporte mínimo de \$123.130 por tonelada; esto sin tener en cuenta otros costos como lo son mano de obra y/o maquinaria necesaria para su instalación.