



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Chuquilin Garcia Jorge Alex

Asesor:

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Jorge Alex Chuquilin Garcia**, denominada:

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018.

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

ASESOR
CIP 107619

Ing. Roger Ramírez Mercado

JURADO
PRESIDENTE

Ing. Josualdo Villar Quiroz

JURADO

Ing. Alberto Vasquez Díaz

JURADO

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí, logrando superar cada obstáculo que se me presentó a lo largo de mi vida.

A mis padres, Jorge y Socorro, que fueron claves en mi vida, porque siempre me apoyaron, alentándome siempre a superarme y a alcanzar mis sueños.

A mi hermano, Renzo, porque me apoyó a lo largo del proceso de mi tesis.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia. A mi madre Socorro, mi padre Jorge y mi hermano Renzo.

Especial agradecimiento al Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina, asesor de este trabajo de titulación, por sus recomendaciones, y por la confianza que depositó en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	14
1.4. LIMITACIONES	15
1.5. OBJETIVOS	15
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	15
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES	16
2.2. BASES TEÓRICAS	19
2.2.1. <i>Concreto</i>	19
2.2.1.1. Definición	19
2.2.1.2. Componentes del concreto	19
2.2.1.2.1. Agregados.....	19
2.2.1.2.1.1. Agregado fino.....	19
2.2.1.2.1.2. Agregado grueso.....	19
2.2.1.2.2. Agregados livianos.....	19
2.2.1.2.2.1. Perlas de poliestireno.....	20
2.2.1.2.3. Cemento Portland.....	22
2.2.1.2.3.1. Definición.....	22
2.2.2. <i>Concreto liviano estructural</i>	23
2.2.2.1. Definición	23
2.2.2.2. Usos y aplicaciones	23
2.2.2.3. Ventajas	23
2.2.2.4. Desventajas	24
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	24
2.4. HIPÓTESIS	25
2.4.1. <i>Hipótesis general</i>	25
2.4.2. <i>Hipótesis específicas</i>	26
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	31
3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	31
3.1.1. <i>Variable independiente</i>	31
3.1.2. <i>Variables dependientes</i>	31
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
3.3. UNIDAD EXPERIMENTAL	32
3.4. POBLACIÓN.....	32
3.5. MUESTRA (MUESTREO O SELECCIÓN)	33
3.6. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.6.1. <i>Técnica de recolección de datos</i>	35
3.6.2. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	35
3.6.3. <i>Procedimientos de recolección de datos</i>	36

3.7.	PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS	37
3.7.1.	<i>Caracterización de agregados</i>	37
3.7.1.1.	Ensayo granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012	37
3.7.1.2.	Ensayo granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012	39
3.7.1.3.	Contenido de humedad según la norma NTP 339.185 (Agregado fino y grueso)	41
3.7.1.4.	Peso unitario según la norma NTP 400.017 (suelto y compactado)	41
3.7.1.5.	Peso específico y absorción – agregado fino según la norma NTP 400.022	43
3.7.1.6.	Peso específico y absorción – agregado grueso según la norma NTP 400.021	44
3.7.2.	<i>Diseño de mezcla según ACI-211</i>	45
3.7.2.1.	Determinación de porcentajes de perlas de poliestireno.....	49
3.7.2.1.1	Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de perlas de poliestireno.	50
3.7.3.	<i>Elaboración de probetas y curado según la norma NTP 339.183</i>	51
3.7.4.	<i>Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035</i>	51
3.7.5.	<i>Peso unitario del concreto según la norma NTP 339.046</i>	52
3.7.6.	<i>Resistencia a la compresión según la norma NTP 339.034</i>	53
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS.....	54
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.....	54
4.1.1.	<i>Ensayo granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012</i>	54
4.1.2.	<i>Ensayo granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012</i>	57
4.1.3.	<i>Contenido de humedad según la norma NTP 339.185 (Agregado fino y grueso)</i>	61
4.1.4.	<i>Peso unitario según la norma NTP 400.017 (suelto y compactado)</i>	61
4.1.5.	<i>Peso específico y absorción – agregado fino según la norma NTP 400.022</i>	63
4.1.6.	<i>Peso específico y absorción – agregado grueso según la norma NTP 400.021</i>	64
4.2.	DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN ACI-211	65
4.3.	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	69
4.4.	DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON PORCENTAJES DE PERLAS DE POLIESTIRENO.....	70
4.5.	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO	71
4.6.	PESO UNITARIO DEL CONCRETO	72
4.7.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	72
4.8.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	73
CAPÍTULO 5.	DISCUSIÓN	75
CONCLUSIONES	.....	82
RECOMENDACIONES	.....	83
REFERENCIAS	.....	84
APÉNDICE	.....	86
ANEXOS	.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESISTENCIAS A COMPRESIÓN PROMEDIO CON PORCENTAJES DE POLIESTIRENO.	16
TABLA 2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN KG/cm^2 , SEGÚN LA EDAD, PARA CADA PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN.	17
TABLA 3. RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO.	18
TABLA 4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN CON PORCENTAJES DE PERLAS DE AISLAPOL.	18
TABLA 5. TAMAÑO DE PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO SEGÚN EL GRADO DE EXPANSIÓN.	22
TABLA 6. HIPÓTESIS GENERAL.	25
TABLA 7. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.	26
TABLA 8. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.	27
TABLA 9. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.	28
TABLA 10. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.	29
TABLA 11. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.	30
TABLA 12. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	32
TABLA 13. VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (KG/cm^2) CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PERLAS DE POLIESTIRENO A UNA EDAD DE 28 DÍAS.	33
TABLA 14. SUMATORIA DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN MENOS EL PROMEDIO, AL CUADRADO.	34
TABLA 15. NÚMERO DE ENSAYOS.	35
TABLA 16. TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 1.	37
TABLA 17. TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 2.	38
TABLA 18. TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 3.	38
TABLA 19. TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 1.	39
TABLA 20. TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 2.	40
TABLA 21. TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 3.	40
TABLA 22. TABLA DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS DEL CONCRETO.	41
TABLA 23. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.	42
TABLA 24. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.	42
TABLA 25. TABLA DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.	44
TABLA 26. TABLA DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	45
TABLA 27. FACTOR DE SEGURIDAD PARA RESISTENCIA DEL CONCRETO.	45
TABLA 28. PORCENTAJE DE AIRE EN EL CONCRETO.	46
TABLA 29. CANTIDAD DE AGUA EN EL CONCRETO.	46
TABLA 30. RELACIÓN AGUA/CEMENTO DEL CONCRETO.	47
TABLA 31. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO.	48
TABLA 32. RESISTENCIA A COMPRESIÓN - PRUEBA PILOTO.	49
TABLA 33. DISEÑO DE MEZCLA CON 10% DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	50
TABLA 34. DISEÑO DE MEZCLA CON 20% DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	50
TABLA 35. DISEÑO DE MEZCLA CON 30% DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	50
TABLA 36. DISEÑO DE MEZCLA CON 40% DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	51
TABLA 37. DISEÑO DE MEZCLA CON 50% DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	51
TABLA 38. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (MM).	52
TABLA 39. PESO UNITARIO (KG/m^3).	52
TABLA 40. TABLA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (KG/cm^2).	53
TABLA 41. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 1.	54
TABLA 42. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 2.	55
TABLA 43. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 3.	56
TABLA 44. VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.	57
TABLA 45. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 1.	57
TABLA 46. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 2.	58
TABLA 47. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 3.	59
TABLA 48. VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.	60
TABLA 49. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS DEL CONCRETO.	61
TABLA 50. VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS.	61
TABLA 51. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.	62
TABLA 52. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.	62
TABLA 53. VARIACIÓN Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS.	62
TABLA 54. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.	63
TABLA 55. VARIACIÓN Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.	63

TABLA 56. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	64
TABLA 57. VARIACIÓN Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	64
TABLA 58. CANTIDAD DE MATERIALES.	66
TABLA 59. DISEÑO EN ESTADO SECO DEL CONCRETO.	67
TABLA 60. PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO DEL CONCRETO.	69
TABLA 61. RESISTENCIA A COMPRESIÓN – PRUEBA PILOTO.	69
TABLA 62. DISEÑO DE MEZCLA CON 10% DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	70
TABLA 63. DISEÑO DE MEZCLA CON 20% DE PIEDRAS DE POLIESTIRENO.	70
TABLA 64. DISEÑO DE MEZCLA CON 30% DE PIEDRAS DE POLIESTIRENO.	70
TABLA 65. DISEÑO DE MEZCLA CON 40% DE PIEDRAS DE POLIESTIRENO.	71
TABLA 66. DISEÑO DE MEZCLAS CON 50% DE PIEDRAS DE POLIESTIRENO.	71
TABLA 67. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y CON PERLAS DE POLIESTIRENO (MM).	71
TABLA 68. PESO UNITARIO DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y CON PERLAS DE POLIESTIRENO (KG/m ³). ..	72
TABLA 69. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y CON PERLAS DE POLIESTIRENO (KG/cm ²).	72
TABLA 70. ANÁLISIS DE COSTOS DE UN CONCRETO CONVENCIONAL.	73
TABLA 71. ANÁLISIS DE COSTOS DE UN CONCRETO CON PERLAS DE POLIESTIRENO.	74
TABLA 72. ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN, SISTEMAS DE COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN.	78
TABLA 73. ASENTAMIENTO PROMEDIO DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y CON PERLAS DE POLIESTIRENO.	79
TABLA 74. PESO UNITARIO PROMEDIO DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y CON PERLAS DE POLIESTIRENO.	79
TABLA 75. RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y CON PERLAS DE POLIESTIRENO.	80
TABLA 76. PRUEBA DE NORMALIDAD.	86
TABLA 77. VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE PERLAS DE POLIESTIRENO.	87
TABLA 78. ANÁLISIS DE VARIANZA.	87
TABLA 79. ANOVA - RESISTENCIA A COMPRESIÓN.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 1	54
FIGURA 2. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 2	55
FIGURA 3. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 3	56
FIGURA 4. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 1.....	58
FIGURA 5. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 2.....	59
FIGURA 6. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 3.....	60
FIGURA 7. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (%).	75
FIGURA 8. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (KG/m ³).	76
FIGURA 9. PESO ESPECÍFICO (KG/m ³).	76
FIGURA 10. ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS (%).	77
FIGURA 11. REGRESIÓN LINEAL	89
FIGURA 12. PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F0.05, v1, v2.	90
FIGURA 13. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.	100
FIGURA 14. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.....	101
FIGURA 15. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - CONO.	102
FIGURA 16. PESO UNITARIO DEL CONCRETO.....	103
FIGURA 17. VACIADO DEL CONCRETO.	104
FIGURA 18. PRUEBA DE CONO DE ABRAMS – CONCRETO CONVENCIONAL.....	105
FIGURA 19. SECADO DE PROBETAS DE CONCRETO CON PERLAS DE POLIESTIRENO.....	106
FIGURA 20. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON PERLAS DE POLIESTIRENO.....	107
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EN EL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.	108
FIGURA 22. PROBETAS DESENCOFRADAS DE CONCRETO CON PERLAS DE POLIESTIRENO.....	109
FIGURA 23. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN – CONCRETO CONVENCIONAL.....	110
FIGURA 24. MOLDES PARA PROBETAS DE CONCRETO.	111
FIGURA 25. POZA DE CURADO.	112
FIGURA 26. PROBETAS PARA DESENCOFRAR.....	113
FIGURA 27. PESO UNITARIO DEL CONCRETO.....	114
FIGURA 28. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN – BALANZA ELECTRÓNICA 15000 G.	115
FIGURA 29. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN - BALANZA ELECTRÓNICA 100 KG.....	116
FIGURA 30. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – PRENSA DE CONCRETO.	117
FIGURA 31. FICHA TÉCNICA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO.....	118
FIGURA 32. CERTIFICADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO.	119
FIGURA 33. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 1.	120
FIGURA 34. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 2.	121
FIGURA 35. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 3.	122
FIGURA 36. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 4.	123
FIGURA 37. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 5.	124
FIGURA 38. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 6.	125
FIGURA 39. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 7.	126
FIGURA 40. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 8.	127
FIGURA 41. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 9.	128
FIGURA 42. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 10.	129
FIGURA 43. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 11.	130
FIGURA 44. GUÍA DE OBSERVACIÓN – 12.	131

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Trujillo, en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, y tuvo como objetivo general, determinar cómo influye las perlas de poliestireno sobre el peso unitario, resistencia a la compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas.

Inicialmente se procedió a caracterizar los agregados, tanto el fino como el grueso, bajo las normas NTP. Seguido se procedió a elaborar el diseño de mezcla para un concreto con una resistencia de 210 kg/cm^2 a partir del método ACI 211.

Para este trabajo se buscó obtener un concreto liviano estructural que pueda ser aplicado a losas aligeradas, para lo cual se sustituyó el agregado fino por porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de perlas de poliestireno, en función del volumen.

El asentamiento y el peso unitario se evaluaron al concreto en estado fresco, bajo las normas NTP 339.035 y 339.046, y para la resistencia a la compresión, el concreto en estado endurecido, para lo cual, se hicieron probetas en moldes de 30 cm de altura y un diámetro de 15 cm.

Para el concreto convencional, se obtuvo un asentamiento de 80 mm, un peso unitario de 2430 kg/m^3 y una resistencia a compresión de 283 kg/cm^2 . Por otro lado, el concreto con porcentajes de poliestireno, presentó reducciones en el peso unitario promedio y la resistencia a la compresión promedio, con respecto al concreto convencional, pero un aumento en el asentamiento promedio del 37.35% entre el concreto convencional y el concreto con perlas de poliestireno. (50%).

El reemplazo óptimo se da en el 40% de perlas de poliestireno, donde se obtiene un asentamiento de 100 mm, un peso unitario de 2160 kg/m^3 y una resistencia a compresión de 242 kg/cm^2 . Se dice que es el óptimo debido que el asentamiento cumple para la construcción de losas aligeradas, ya que según Rivera (2013), el asentamiento permitido para la construcción de losas está en un rango de 50 mm y 100 mm, el peso unitario es menor al promedio del concreto convencional, por lo cual se considera ligero, ya que según Lituma y Zhunio (2015), nos indica que se considera un concreto ligero cuando su peso unitario es menor al del concreto convencional, el cual está en un rango de 2200 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 ; y la resistencia a compresión es estructural, esto según la norma E.060 Concreto Armado (2009), donde indica que la resistencia mínima de un concreto estructural es 210 kg/cm^2 .

ABSTRACT

The following research work was carried out in the city of Trujillo, in the concrete laboratory of the Universidad Privada del Norte, and its general objective was to determine how polystyrene beads influence the unit weight, resistance to compression and settlement in a lightweight structural concrete for lightened slabs.

Initially we proceeded to characterize the aggregates, both the thin and the thick, under the NTP standards. Next, we proceeded to develop the mix design for a concrete with a resistance of 210 kg/cm^2 from the ACI 211 method.

For this work we sought to obtain a lightweight structural concrete that can be applied to lightweight slabs, for which the fine aggregate was substituted by percentages of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of polystyrene beads, depending on of the volume.

The settlement and the unit weight were evaluated to the fresh concrete, under the norms NTP 339.035 and 339.046, and for the resistance to the compression, the concrete in hardened state, for which, test tubes were made in molds of 30 cm of height and a diameter of 15 cm.

For conventional concrete, a settlement of 80 mm, a unit weight of 2430 kg/m^3 and a compressive strength of 283 kg/cm^2 was obtained. On the other hand, the concrete with percentages of polystyrene, presented reductions in the average unit weight and the average compression resistance, with respect to conventional concrete, but an increase in the average settlement of 37.35% between conventional concrete and concrete with polystyrene beads. (fifty%).

The optimal replacement is given in 40% of polystyrene beads, where a settlement of 100 mm, a unit weight of 2160 kg/m^3 and a compressive strength of 242 kg/cm^2 is obtained. It is said to be the optimum because the settlement complies for the construction of lightened slabs, since according to Rivera (2013), the allowed settlement for the construction of slabs is in a range of 50 mm and 100 mm, the unit weight is less to the average of conventional concrete, which is why it is considered light, since according to Lituma and Zhunio (2015), it indicates that it is considered a lightweight concrete when its unit weight is less than that of conventional concrete, which is in a range of 2200 kg/m^3 and 2400 kg/m^3 ; and the compressive strength is structural, this according to the E.060 Armed Concrete Standard (2009), where it indicates that the minimum strength of a structural concrete is 210 kg/cm^2 .

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La construcción ha estado inmersa en el desarrollo y avance tecnológico de todas las civilizaciones del mundo, si bien, unas han tenido más importancia que otras, tanto grandes como pequeñas culturas han intervenido su espacio en búsqueda de una mejor calidad de vida. La relevancia de esta industria sigue siendo transversal en todas las economías, pues moviliza una gran cantidad de insumos, impulsa significativamente la generación de empleos directos e indirectos, y contribuye en un porcentaje importante en la formación de capital de los países (Ortega, Sarmiento, & Villegas, 2016).

Entre las soluciones para enfrentar los retos de la construcción de infraestructura a nivel mundial destaca el desarrollo de materiales de alto desempeño, tecnologías innovadoras que ayuden a optimizar los procesos constructivos y prolongar la vida útil de las estructuras. Sin lugar a dudas el concreto es la mejor alternativa al respecto (Ceballos, 2016).

La importancia del concreto en los proyectos de infraestructura radica en su versatilidad, desarrollo de tecnologías que lo han llevado a límites insospechados en su desempeño, usos y aplicaciones. Actualmente, es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo con una producción mundial cercana a los 13,000 millones de m^3 por año (Ceballos, 2016).

Por otro lado, las investigaciones y estudios que en el transcurrir de los años se han realizado han dado origen a una variedad de concretos especiales. Siendo los concretos livianos parte de este tipo de concretos que presentan como principal característica su reducido peso específico, por lo tanto, es necesario su investigación para dar soluciones innovadoras a los retos que enfrenta la ingeniería (Tantaquilla, 2017).

Los primeros edificios construidos con concretos estructurales livianos fueron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas y fue este el primer edificio construido con concreto liviano estructural en la historia. El suelo donde se cimentó este edificio tenía una capacidad portante muy baja, por esta razón se optó por utilizar un concreto liviano y así poder aligerar el peso que se descargaba al suelo (Valdez & Suarez, 2010).

Para el año 1928 se realizó un estudio para incrementar el número de pisos del edificio de oficinas de la compañía de teléfono Southwestern Bell en la ciudad de Kansas. Originalmente el edificio constaba con 14 pisos, realizaron estudios en la cimentación y se determinó que a la estructura se le podía adicionar 8 pisos más utilizando concreto convencional. Pero debido a que se utilizó concreto liviano fabricado con arcillas expandidas se pudo aumentar hasta 14 pisos más (Valdez & Suarez, 2010).

En el norte de Noruega, al norte del círculo polar Ártico, se encuentra el puente Raftsundet, este puente cruza una de las principales rutas de transporte marítimo entre dos islas de Lofoten, este tiene una longitud total de 711 m con un tramo principal de 298 m. Fue el tramo

de concreto tipo cantiléver más largo del mundo cuando éstos fueron unidos en junio 24 de 1998. El puente fue abierto al tráfico el 6 de noviembre de ese mismo año (Valdez & Suarez, 2010).

La estructura se encuentra expuesta a ráfagas de viento de casi 60 m/s, además le rodea una topografía de altas montañas superando los 1000 m sobre el nivel del mar y las fluctuaciones de viento crea fuerzas de gran magnitud en el puente, afectando sobre todo a las columnas y vigas. Por tal motivo se utilizó concreto liviano con alto desempeño en el tramo principal el cual poseía una densidad endurecida de 1975 kg/m^3 y resistencia a la compresión a los 28 días de 60 MPa. El resto de la superestructura y columnas fueron construidas con concreto de densidad de 2400 kg/m^3 y resistencia a los 28 días superior a 65 MPa (Valdez & Suarez, 2010).

Cerca de Tampa, Florida, USA, se utilizó concreto liviano de alto desempeño en edificios para oficinas y residenciales para así lograr luces mayores. Los Condominios Sand Key es un proyecto de 14 niveles de altura que está construido en un marco de concreto postensado. Las especificaciones del proyecto pedían resistencias a compresión a los 28 días de 62 MPa con un peso unitario de 1760 kg/m^3 para las losas. Los resultados en los ensayos arrojan resistencias promedio mayores a 82,75 MPa (Valdez & Suarez, 2010).

De igual manera, según UNICON (Unión de Concreteras) en el Perú se usó concretos livianos en algunas estructuras como en la cobertura del techo en el aeropuerto Jorge Chávez en el Callao, y también en algunas no estructurales como es el revestimiento de la tubería de la planta criogénica en la planta de licuefacción de gas natural Pampa Melchorita, Cañete (Tantaquilla, 2017).

La elaboración del concreto liviano nace ante el problema del excesivo peso de las edificaciones en zonas que presentan capacidad portante bajas. En la ciudad de Trujillo, donde se realiza esta investigación, las construcciones no solo crecen de manera horizontal, sino también de manera vertical, en los diez últimos años se han construido una gran cantidad de edificios, algunos de estos ejemplos son la construcción del proyecto de la Villa Bolivariana que consiste en la construcción de edificios de entre doce y veinte pisos o la torre de la Universidad Privada Antenor Orrego del Centro Especializado de Servicios Jurídicos que posee quince pisos y sesenta metros de altura, sin embargo debido a que los suelos tienen una capacidad portante estimada en promedio de entre 0.6 a 1.8 kg/cm^2 , lo que indica que Trujillo es una zona con suelos no idóneos para construcciones con excesiva carga, se tiene que recurrir a otro tipo de cimentaciones como plateas o pilotes, lo cual aumentan los costos de construcción. Por otro lado, es común ver elementos estructurales de tamaño considerable en las construcciones de gran altura, los cuales son tendencia hoy en día, para poder soportar la carga que se traslada a los cimientos, lo cual resultan poco estéticos y problemáticos en cuanto a la arquitectura de esas edificaciones (Tantaquilla, 2017).

El concreto es en la actualidad el material más usado en la industria de la construcción, sin embargo la alta densidad o peso volumétrico de los concretos convencionales alrededor de 2350 kg/m^3 ha sido un inconveniente donde la carga muerta es un factor importante. Es muy

pesado para ser práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), dichas cargas se transmiten a las trabes, estas a las columnas y finalmente a la cimentación y al terreno (Cervantes, 2008).

Lo anterior redundaría en construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas. Todo esto debido al excesivo peso muerto de las losas de concreto convencional, lo cual se traduce en un elevado costo de la obra (Cervantes, 2008).

Las losas de entrepiso aligeradas se consideran como uno de los elementos más usados en la construcción. Se usan con la finalidad de conseguir estructuras más ligeras y económicas, lo que es beneficioso para disminuir las fuerzas originadas por la acción de los sismos, así como las dimensiones de las cimentaciones y de otros elementos de la estructura (Ramos, 2002).

Existen empresas como Sika, Química Suiza, Basf y otras empresas que ofrecen productos para reducir el peso del concreto, como son los incorporadores de aire, sin embargo, para obtener concretos livianos, es más recomendable utilizar agregados livianos como: la piedra pómez, arcilla expandida, pizarra expandida, poliestireno expandido, etc. (Tantaquilla, 2017). Finalmente es importante destacar que no se ha usado concretos livianos estructurales en la ciudad de Trujillo, y son pocas las obras con el uso de concretos livianos estructurales en el país, debido a la falta de conocimiento sobre este tipo de concretos o la falta de investigaciones, por lo tanto, esto indica que tenemos menos oportunidades de dar soluciones a los problemas de Ingeniería (Tantaquilla, 2017).

El concreto ligero estructural en Perú no está siendo aprovechado como debería debido a su poca difusión y al bajo conocimiento que se tiene del mismo (Veliz & Vásquez, 2018). Por lo que, con una mayor profundidad sobre este tema, se puede dar soluciones a muchos proyectos.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo 2018?

1.3. Justificación

El presente proyecto se presenta con el motivo de brindar mayor información sobre el concreto liviano estructural, debido a que en nuestra localidad no se encuentra información sobre este tipo de concreto, que como hemos venido mencionando, cuenta con propiedades muy favorables para la construcción de elementos estructurales.

Este concreto permite aligerar el peso de elementos de una estructura, como por ejemplo de una losa, con lo cual reduciría la carga muerta, por lo tanto, es una gran opción en terrenos que tienen una capacidad portante baja, como los que hay en ciertas zonas de la ciudad de Trujillo. Además, frente a un sismo, el concreto ligero estructural puede absorber fácilmente el impacto de cargas sin dañarse, es mejor en la absorción de ondas de choques en

comparación con el concreto convencional, algo muy favorable, sabiendo que el Perú se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica.

En edificios, el concreto estructural liviano proporciona una estructura de concreto con mayor calificación de resistencia al fuego, aislamiento acústico y conductividad térmica. El agregado liviano a utilizar son las perlas de poliestireno, el cual es ligero, pero con resistencia mecánica y química al paso del tiempo, limpio y no se fermenta. Además, es fácil de manejar y colocar. Lo más importante es que las perlas de poliestireno son reciclables, es decir, ayudaría considerablemente a la reducción de desechos sólidos producidos por este material. Las perlas de poliestireno son un material muy utilizado en diversas áreas tales como es el sector de la construcción. Por lo que desde el punto de vista financiero y ecológico el uso de este material permite gran disminución en el uso de aparatos eléctricos para el acondicionamiento del clima en edificaciones, además de poseer propiedades aptas para la protección contra el ruido.

Finalmente, un material muy importante para la obtención de este tipo de concreto, es el cemento, que para este caso se utilizó el Cemento Pacasmayo tipo I, debido a que es un cemento de uso general y no presenta ninguna adición.

1.4. Limitaciones

Limitado material bibliográfico sobre concreto liviano estructural y el agregado liviano, en este caso, las perlas de poliestireno, sobre todo en libros; por lo que se extrajo información en mayor parte de tesis relacionadas a estos temas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre el peso unitario, resistencia a la compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los agregados, tanto el fino como el grueso que se utilizarán en el concreto liviano estructural, bajo las normas NTP.
- Calcular el diseño de mezcla para una resistencia estructural de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar el peso unitario, resistencia a la compresión y asentamiento, usando perlas de poliestireno en distintos porcentajes en función del volumen del agregado fino.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En la tesis titulada “**Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS)**” de Vidal (2010), concluye que, la adición de forma gradual de poliestireno expandido modificado, afecta directamente en la resistencia a compresión axial, disminuyendo fuertemente en las series C y D (50% y 70% de poliestireno expandido respectivamente en función del volumen de agregado grueso), llegando cerca de un 35% de pérdida de resistencia a compresión axial.

En las mezclas de la serie D, se puede observar que la mezcla en estudio, no alcanza a adquirir resistencias a temprana edad, debido a que el poliestireno expandido modificado no absorbe agua en el proceso de fraguado, estando un 77% bajo la resistencia de referencia de la serie A, pero a la vez el hormigón, al pasar los días sigue tomando una mayor resistencia de manera más acelerada, alcanzando a estar solo un 35% más bajo que la mezcla referencial de la serie A, a los 28 días.

Las mezclas de la serie C (50% de reemplazo de gravilla por poliestireno expandido modificado), superan los 17,2 Mpa y a la vez podemos observar que tenemos un hormigón 21% más liviano que un hormigón tradicional, lo que se puede expresar en cerca de 500 kg/m^3 menos, que sin lugar a duda ayuda considerablemente en la economía de la estructura por peso propio.

Tabla 1. Resistencias a compresión promedio con porcentajes de poliestireno.

Serie	Días de ensayo	Resistencia a compresión promedio (Mpa)	Pérdida de Resistencia (%)
A	7	18	
B	7	14	0.20
C	7	11	0.38
D	7	4	0.77
A	14	22	
B	14	17	0.21
C	14	14	0.37
D	14	12	0.46
A	28	26	
B	28	22	0.13
C	28	18	0.31
D	28	17	0.35

Fuente: (Vidal, 2010)

En la tesis titulada “**Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón**” de Lituma y Zhunio (2015), describe que, a la edad de 28 días, para los porcentajes de sustitución (arena por EPS) de 30%, 45%, 60%, 75%, 90% y 100% se observaron, respectivamente, disminuciones del 2.84%, 4.28%, 7.52%, 14.73%, 17.58% y 19.08% del valor de la resistencia a compresión del hormigón de peso normal (control). Llegándose a obtener a los 28 días una resistencia promedio mínima de 205 kg/cm^2 para el 100% de sustitución.

Tabla 2. Resistencia a compresión en kg/cm^2 , según la edad, para cada porcentaje de sustitución.

DÍAS	PORCENTAJES DE SUSTITUCIÓN						
	0	30	45	60	75	90	100
7	161	153	148	142	121	114	107
14	229	220	213	208	193	185	179
28	253	246	243	234	216	209	205

Fuente: (Lituma & Zhunio, 2015)

En la tesis titulada “**Influencia de piedra pómez sobre asentamiento, densidad, absorción y resistencia a compresión en concreto liviano estructural**” de Tantaquilla (2017), indica que, en el caso del concreto convencional, se estudiaron mezclas de concreto con relación a/c de 0.583 para una resistencia de 210 kg/cm^2 , obteniendo resistencias a la compresión promedio de 296 kg/cm^2 a los 28 días de curado y 323 kg/cm^2 a los 56 días de curado, la densidad promedio de 2263 kg/m^3 y un asentamiento de 7.55”. Además, un costo de S/. 236.60 por m^3 . Por otro lado, el reemplazo óptimo del agregado grueso por piedra pómez se encuentra en el rango de 20% a 60% en volumen, obteniendo valores de resistencia a compresión de 276 kg/cm^2 a 233 kg/cm^2 a 28 días de curado y 303 kg/cm^2 a 259 kg/cm^2 a 56 días de curado. Asimismo, un asentamiento de 6.4” a 4” y una densidad de equilibrio de 2150 kg/m^3 a 1918 kg/m^3 . Además, un costo de producción de S/. 238.02 a S/. 240.84 por m^3 .

En cuanto al agregado fino, el reemplazo óptimo puede ser hasta un 100%, obteniendo un valor de resistencia a compresión de 222 kg/cm^2 a 28 días de curado y 238 kg/cm^2 a 56 días de curado. Asimismo, un asentamiento de 5.2” y una densidad de equilibrio de 1956 kg/m^3 . Además, un costo de producción de S/. 242.73 por m^3 .

Tabla 3. Resistencia a compresión promedio.

Patrón': Mezcla sin aditivo. **Patrón**: Mezcla con aditivo.

Probetas	Resistencia a compresión							
	Curado 28 días				Curado 56 días			
	A. Grueso		A. Fino		A. Grueso		A. Fino	
	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²
Patrón'	23.3	237	23.3	237	25.6	261	25.6	261
Patrón	29	296	29	296	31.7	323	31.7	323
20%	27.1	276	28.1	287	29.7	303	30.3	309
40%	25.1	256	27	275	27.7	283	28.8	294
60%	22.9	233	25.6	261	25.4	259	27.6	282
80%	20.5	209	23.9	244	22.9	234	25.7	262
100%	17.8	182	21.8	222	20.1	205	23.3	238

Fuente: (Tantaquilla, 2017)

En la tesis titulada “**Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un hormigón liviano con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volumen de perlas de Aislapol**” de Rivas (2010), concluye que, la resistencia a compresión disminuyó a medida que aumentó el porcentaje en volumen de perlas de Aislapol. La resistencia más baja se obtuvo con el mayor porcentaje de Aislapol, tanto a los 7 como a los 28 días. A los 7 días disminuyó 3.57% con la dosis mínima (10% Aislapol) y 43.47% con la dosis máxima (50% Aislapol).

Tabla 4. Resistencia a compresión con porcentajes de perlas de Aislapol

Hormigón	Resistencia (kg/cm ²)	Diferencia respecto al patrón (kg/cm ²)	Diferencia (%)
Patrón H-25	272		
10% Aislapol	232	40	14.74
20% Aislapol	217	55	20.22
30% Aislapol	187	85	31.25
40% Aislapol	178	94	34.56
50% Aislapol	164	108	39.71

Fuente: (Rivas, 2010)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

2.2.1.1. Definición

El concreto u hormigón es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento (Porrero , Ramos, Grases, & Velazco , 2014).

2.2.1.2. Componentes del concreto

2.2.1.2.1 Agregados

2.2.1.2.1.1 Agregado fino

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75 μ m (N° 200). La arena es el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas (NTP400.37, 2014).

2.2.1.2.1.2 Agregado grueso

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca. La grava es el agregado grueso proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándose corrientemente en canteras y lechos de ríos, depositado en forma natural.

La piedra triturada o chancada es el agregado grueso obtenido por trituración artificial o mecánica de rocas o gravas, escorias u otros (NTP400.37, 2014).

2.2.1.2.2 Agregados livianos

Según Aramayo, Buncuga, Cahuapé, Forgione & Navarrete (2003), en su trabajo “Hormigones con agregados livianos”, indican que los agregados livianos usados en la elaboración de hormigones, han sido adoptados en consideración a su estructura celular, que ofrece una de las principales ventajas, que es la baja densidad y consecuentemente el aislamiento térmico, a la par de ciertas propiedades acústicas, pues amortiguan las vibraciones. Según la Norma ASTM C 330 (2005), indica que hay dos tipos generales de agregados livianos, los agregados preparados por expansión, perlas de poliestireno, o sinterización de productos tales como escoria de alto horno, diatomeas, cenizas volantes, esquisto o pizarra. Y agregados preparados por procesamiento de materiales naturales, como piedra pómez, escoria o toba.

2.2.1.2.2.1 Perlas de poliestireno

Composición: Es un polímero, la base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión: el hidrocarburo pentano C₅H₁₂. De esta forma obtenemos el poliestireno expansible que luego podrá ser expandido conformando las distintas formas comerciales (Aramayo, Buncuga, Cahuapé, Forgione, & Navarrete, 2003).

Origen: Es de origen artificial, ya que al no encontrarse poliestireno expansible en la naturaleza, debemos recurrir a procesos de sintetización a fin de producirlo. El poliestireno expansible, se pre-expande en grandes "ollas" (90°C a 105°C) aumentando su volumen hasta 50 veces gracias a la acción del agente de expansión, dando lugar así a la famosa "perlita" de poliestireno". Luego se dejan un tiempo en reposos a fin de que el aire penetre en las partículas y las seque, estabilizando su volumen. Estas son las perlitas que usamos como agregado en nuestro hormigón que se complementan con aditivos complementarios cuyo rol en el hormigón se verá más adelante (Aramayo, Buncuga, Cahuapé, Forgione, & Navarrete, 2003).

Características del agregado

- Porosidad / compacidad: 1 cm³ de poliestireno expandido contiene de 3 a 6 millones de celdillas, cerradas y no conectadas, llenas de aire. Es entonces un material muy poroso, pero cuya característica principal reside en estas celdillas cerradas y no conectadas.
- Dureza / Blandura: Debido a su porosidad y al material polímero que rodea las celdillas, es compresible con los dedos. Es entonces un material blando y de buena elasticidad.
- Densidad / Peso específico: Debido al volumen que representan las celdillas de aire (alcanzan hasta un 97%), es un material de muy baja densidad y muy bajo peso específico. El peso específico es función de la duración del calentamiento en el proceso de pre-expansión.
- Densidad: 10 kg/m³.
- Forma: Las perlitas son de forma esférica. Si el material proviene del reciclado (o bien se desgrano una plancha de EPS) entonces son de forma irregular
- Color: Son de color blanco.
- Lisura o rugosidad superficial: En este aspecto reside uno de los grandes problemas de las perlitas de EPS. La superficie de la perlita es casi perfectamente lisa lo que afecta considerablemente la adherencia de la pasta de cemento y agua, a la misma, a la hora de mezclar los componentes del hormigón. Esto sumado a la baja densidad de la perlita hacen que alguna de ellas se "floten" en la mezcla íntima, generando así un esqueleto granular defectuoso.
- Otro aspecto que aporta a este fenómeno es la poca trabazón entre perlitas debido a su forma perfectamente esférica.
- Absorción: Gracias a la conformación del EPS (celdillas de aire cerradas y no conectadas entre sí) el material es de muy baja absorción.

- Tamaños comerciales (granulometría): Granulometría variable entre 2 y 8 mm.
- Posibilidad de reciclado

Proceso de fabricación de las perlas de poliestireno

Según Lituma & Zhunio (2015), en su tesis “Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón” indica que el poliestireno expandible es la materia prima que da lugar a la obtención del poliestireno expandido. Esta materia prima, al igual que todos los materiales plásticos, es un derivado del petróleo. Sin embargo, el 94% del petróleo está destinado a combustibles para transporte y calefacción y tan solo el 6% restante a la petroquímica (fabricación de productos plásticos y químicos). Debido a que el poliestireno expandible es un polímero del estireno, al procesar el gas natural y el petróleo; se obtiene principalmente el etileno y varios compuestos aromáticos, y de ellos el hidrocarburo aromático denominado estireno. El poliestireno expandible se consigue entonces mediante el proceso de polimerización del monómero de estireno con adición de un agente expansor denominado pentano, a través de un reactor con agua.

La materia prima es colocada en máquinas especiales denominadas preexpansores, estas máquinas son generalmente cilíndricas de 1m de diámetro y 2m de altura, en donde es sometida a altas temperaturas generadas por el vapor de agua, estas temperaturas oscilan entre los 80°C a 100°C. Debido a la influencia del calor, el poliestireno expandible se ablanda y es capaz de aumentar su volumen hasta 50 veces, dando lugar a la generación de las perlas de poliestireno expandido. En esta etapa, denominada pre - expansión, las perlas alcanzan aproximadamente el 95% de su tamaño final. Dependiendo del tiempo de exposición de la materia prima y de la temperatura, la densidad aparente puede disminuir desde los 630 kg/m³ a valores entre los 10 a 35 kg/m³. Luego de culminado el proceso de pre-expansión, las perlas de poliestireno expandido son transportadas a grandes silos para ser secadas y almacenadas, y así alcanzar un nivel de expansión superior debido a que el vacío interior generado en la pre-expansión se compensa con la difusión de aire, dando como resultado una masa continua parecida a un panal de abejas, la cual se encuentra compuesta de varios polígonos combinados entre sí sin dejar ningún espacio. Estas partículas se componen de alrededor del 98% de aire y 2% de poliestireno lo que le proporciona valiosas propiedades físicas y mecánicas. (Lituma & Zhunio, 2015)

Propiedades Químicas

Al igual que varios de los productos a base de polímeros, el poliestireno es susceptible a daños frente a la radiación UV, es decir que cuando se encuentra expuesto durante un periodo largo de tiempo se torna amarillo, lo cual es un indicativo de la degradación del polímero. Sin embargo, en esta investigación el poliestireno va a ser introducido en el hormigón, por lo que es poco probable que este efecto ocurra ya que el EPS no se encuentra expuesto directamente a los efectos de la radiación UV. En la industria de la construcción, el poliestireno es compatible con materiales tales como el cemento, yeso, agua dulce o salada, etc., pero no es compatible con solventes. (Lituma & Zhunio, 2015)

Propiedades físicas

Según Naiza (2017) en su tesis “Aplicación del poliestireno expandido en la fabricación de unidades de concreto liviano para muros de tabiquería en la ciudad de Arequipa”, indica que las principales propiedades físicas del poliestireno expandido son:

- Densidad

Una de las principales propiedades del poliestireno expandido es su baja densidad, esto se debe a que aproximadamente el 95% del volumen de este material es aire y el porcentaje restante es poliestireno. La densidad del poliestireno expandido está determinada durante su proceso de fabricación por la temperatura y el tiempo de expansión de las perlas. La densidad de una perla de poliestireno antes de ser sometida al proceso de fabricación de bloques es de 1050 kg/m^3 aproximadamente. Se conoce como densidad relativa que existe entre la densidad final del bloque terminado y la densidad de las perlas de poliestireno sin expandir.

- Tamaño

Al igual que la densidad, el tamaño de las esferas de poliestireno expandido depende básicamente de la etapa de expansión en su proceso de producción. Un mayor grado de expansión da como resultado perlas de mayor tamaño, tal y como se muestra a continuación.

Tabla 5. *Tamaño de perlas de poliestireno expandido según el grado de expansión.*

TAMAÑO (mm)	Grado de expansión
0,8 – 2,5	95%
0,8 – 1,6	94%
0,4 – 1,0	92%
0,4 – 0,8	91%

Fuente: (Naiza, 2017)

2.2.1.2.3 Cemento Portland

2.2.1.2.3.1 Definición

En el sentido más amplio, la palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales de cementación tales como las cales, los asfaltos y los alquitranes. En el medio de la construcción, y más específicamente en el de la fabricación de concreto para estructuras, es reconocido que al mencionar la palabra cemento, implícitamente ésta se refiere a cemento portland, o cemento a base de portland, el cual tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua ya que con ella experimenta una reacción

química. Este proceso se llama hidratación, por lo cual son también llamados cementos hidráulicos. (Sanchez, 2001)

2.2.2. Concreto liviano estructural

2.2.2.1. Definición

Es aquel que a los 28 días tiene una resistencia a la compresión mínima de 175 kg/cm^2 y una masa unitaria menor de 1850 kg/m^3 . Está compuesto por agregados ligeros que se clasifican de acuerdo a su fabricación, debido a que en los distintos procesos se producen agregados con propiedades físicas diferentes, las cuales influyen en las propiedades del concreto ligero, como son: masa unitaria, absorción, forma, textura y densidad aparente. Con este concreto se tiene la ventaja de utilizar menos refuerzo, puesto que la masa propia de la estructura es menor, aunque puede suceder que el costo del agregado ligero sea muy alto y encarezca el hormigón (Rivera, 2010).

2.2.2.2. Usos y aplicaciones

Según Cervantes (2008) en su artículo “Nuevas Tecnologías en Concretos. Concreto celular – Concreto reforzado con fibra – Concreto ligero estructural”, indica que el concreto liviano estructural se puede utilizar en elementos de requerimientos estructurales bajos (Resistencia a compresión $F'c = 100, 140 \text{ y } 180 \text{ kg/cm}^2$, equivalentes a 1,400, 2,000 y 2,500 psi) como son:

- Divisiones para todo tipo de edificaciones.
- Capas de nivelación en pisos o losas.
- Aligerar las cargas muertas en las estructuras.
- Construcción de viviendas en serio o de tipo monolítico.
- Elementos prefabricados para usos decorativos o artesanales.
- Protección de estructuras contra el fuego.
- Elementos que no estén sujetos a ataques químicos y/o ambientales severos.

2.2.2.3. Ventajas

Además de ellos, Cervantes (2008), en su artículo “Nuevas Tecnologías en Concretos. Concreto celular – Concreto reforzado con fibra – Concreto ligero estructural”, nos dice que las ventajas de este tipo de concretos son:

- Calidad uniforme, garantizada, por la dosificación de materiales controlados.
- Mayor facilidad de colocación, en relación a mezclas de concreto tradicionales.
- Disminución del personal requerido para la colocación del concreto.
- Capacidad de fluir sin segregarse, tanto horizontal como verticalmente, minimizando eliminando el vibrado en su colocación.
- Con capacidad para ser bombeado.

2.2.2.4. Desventajas

Según Valdez y Suarez (2010), las desventajas que presenta este tipo de concreto liviano son:

En cuanto a materias primas, en general, el hormigón ligero es más costoso que el hormigón de peso normal (30 a 50%), esto se debe principalmente a los áridos utilizados para aligerar el hormigón. En el caso de los áridos ligeros naturales, debido a su poca disponibilidad y en el caso de los áridos ligeros artificiales debido al proceso de producción requerido para su obtención.

Es claro que debido a su baja densidad la mayor parte de hormigones ligeros poseen menores resistencias mecánicas que el hormigón de peso normal, a excepción de aquellos hormigones que por un incremento en la cantidad de conglomerante o por cualquier otro método han logrado incrementar su resistencia. Otros aspectos a considerar son su porosidad (hormigones aireados) y su baja resistencia a la abrasión.

2.3. Definición de términos básicos

- Concreto liviano estructural: Según el ACI 213R-03 define a un concreto liviano estructural, como aquel concreto que está compuesto por agregados liviano, parcial o totalmente. Además, tiene un peso unitario menor al concreto convencional, y con una resistencia superior a los 21 Mpa.
- Resistencia a la compresión: Según Hernández (2011), se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial compresiva.
- Peso unitario: Según la NTP 400.017 (2011), el peso unitario es peso por unidad de volumen.
- Asentamiento: Según Céspedes (2003), el asentamiento es aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado.
- Perlas de poliestireno: Según Aramayo, Buncuga, Cahuapé, Forgiane & Navarrete (2003), indican que es un polímero, la base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión. De esta forma obtenemos el poliestireno expansible.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El incremento del porcentaje de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, y aumenta el asentamiento.

Tabla 6. *Hipótesis general.*

HIPÓTESIS GENERAL	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
El incremento del porcentaje de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, y aumenta el asentamiento.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario. • Resistencia a compresion. • Asentamiento. 	Probetas de concreto liviano estructural	Influye	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	2018

Fuente: *Propia.*

2.4.2. Hipótesis específicas

- El concreto con 10% de perlas de poliestireno en función de su volumen, disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta su asentamiento.

Tabla 7. *Hipótesis específica.*

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El concreto con 10% de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta el asentamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario. • Resistencia a compresión. • Asentamiento. 	Probetas de concreto liviano estructural	Influye	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	2018

Fuente: *Propia.*

- El concreto con 20% de perlas de poliestireno en función de su volumen, disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta su asentamiento.

Tabla 8. Hipótesis específica.

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El concreto con 20% de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta el asentamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario. • Resistencia a compresión. • Asentamiento. 	Probetas de concreto liviano estructural	Influye	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	2018

Fuente: *Propia.*

- El concreto con 30% de perlas de poliestireno en función de su volumen, disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta su asentamiento.

Tabla 9. Hipótesis específica.

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	VARIABLES	UNIDAD DE ANÁLISIS	CONECTORES LÓGICOS	EL ESPACIO	EL TIEMPO
El concreto con 30% de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta el asentamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario. • Resistencia a compresión. • Asentamiento. 	Probetas de concreto liviano estructural	Influye	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	2018

Fuente: *Propia.*

- El concreto con 40% de perlas de poliestireno en función de su volumen, disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta su asentamiento.

Tabla 10 . Hipótesis específica.

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El concreto con 40% de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta el asentamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario. • Resistencia a compresión. • Asentamiento. 	Probetas de concreto liviano estructural	Influye	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	2018

Fuente: *Propia.*

- El concreto con 50% de perlas de poliestireno en función de su volumen, disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta su asentamiento.

Tabla 11 . Hipótesis específica.

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El concreto con 50% de perlas de poliestireno disminuye el peso unitario y la resistencia a compresión, pero aumenta el asentamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario. • Resistencia a compresión. • Asentamiento. 	Probetas de concreto liviano estructural	Influye	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	2018

Fuente: *Propia.*

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

Según Carrasco (2009), en su libro “Metodología de investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación”, la operacionalización de variables es un proceso metodológico que consiste en descomponer deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico. En consecuencia, la operacionalización de las variables es el proceso a través del cual el investigador explica en detalle la definición que adoptará de las categorías y/o variables de estudio, tipos de valores que podrían asumir las mismas y los cálculos que se tendrían que realizar para obtener los valores de las variables cuantitativas.

La tabla 12, nos muestra las variables con su definición operacional, dimensiones, indicadores e ítems. La variable independiente es el porcentaje de las perlas de poliestireno, mientras que las dependientes son el peso unitario, asentamiento y resistencia a compresión.

3.1.1. Variable independiente

Perlas de poliestireno: 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50%.

3.1.2. Variables dependientes

- A. Peso unitario (kg/m^3).
- B. Resistencia a compresión (kg/cm^2).
- C. Asentamiento (mm)

Tabla 12. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
PESO UNITARIO	Peso por unidad de volumen. (NTP400.017, 2011)	Propiedades del agregado	Peso unitario	° Peso (kg).
ASENTAMIENTO	Aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado. (Céspedes, 2003)	Propiedades físicas de los agregados	Trabajabilidad	° Asentamiento (mm)
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial compresiva. (Hernández, 2011)	Propiedades mecánicas	Esfuerzo compresión	° Fuerza (kg). ° Área (cm ²)

Fuente: Propia.

3.2. Diseño de investigación

Cuasi Experimental, por lo que se manipula una variable, para poder determinar cómo influye en la otra variable. Existe una situación de control en la cual se manipula de manera intencional; y unifactorial, porque nos permite identificar y evaluar una variable independiente y 3 variables dependientes.

3.3. Unidad experimental

Probetas cilíndricas de concreto.

3.4. Población

Todas las probetas de concreto.

3.5. Muestra (muestreo o selección)

Para determinar la muestra se utilizará la siguiente fórmula:

Donde:

$$n_0 = \frac{z^2 s^2}{E^2}$$

Z = es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador, en este caso 1.96 (95% confiabilidad)

S = Desviación estándar de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador. Obtenida por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o distribución de la variable de interés. Obtenido del antecedente "Influencia de las perlas de poliestireno expandido en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón".

E = % del estimador o en valor absoluto (5%).

n_0 = Tamaño de muestra.

Cálculo de la desviación estándar (S).

Para obtener la desviación estándar, se utilizará la siguiente fórmula, la cual se aplicará a los valores de resistencia a compresión del antecedente antes mencionado.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x-x')^2}{N-1}}$$

S = Desviación estándar.

X' = Promedio de valores de resistencia a compresión.

N = número de muestras.

La tabla 13 y 14 nos permitirán obtener la desviación estándar. La tabla 13, nos mostrará los valores de resistencia a compresión a una edad de 28 días, de un concreto con distintos porcentajes de perlas de poliestireno, mientras que la tabla 14, nos mostrará la sumatoria de cada valor de resistencia a compresión menos el promedio total de estas.

Tabla 13. Valores de resistencia a compresión (kg/cm^2) con diferentes porcentajes de perlas de poliestireno a una edad de 28 días.

Días	Porcentaje de Sustitución						
	0	30	45	60	75	90	100
28	253	246	243	234	216	209	205

Fuente: (Lituma & Zhunio, 2015).

Tabla 14. Sumatoria de resistencias a compresión menos el promedio, al cuadrado.

x	$x - x'$	$(x - x')^2$
253	23.5714286	555.6122449
246	16.5714286	274.6122449
243	13.5714286	184.1836735
234	4.57142857	20.89795918
216	-13.4285714	180.3265306
209	-20.4285714	417.3265306
205	-24.4285714	596.755102
	SUMA	2229.71

Fuente: Propia.

Luego, se procederá a reemplazar los datos en la fórmula.

$$S = \sqrt{\frac{2229.71}{6}}$$

$$S = 19.28 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo del E.

Este valor, que se necesitará para determinar el número de muestras, será determinado por el investigador, y en este caso, será el 5% del promedio de los valores de resistencia a compresión del antecedente antes mencionado.

$$X' = \frac{253+246+243+234+216+209+205}{7} = 229.43 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 5\% (X') = 0.05 (229.43) = 11.47 \text{ kg/cm}^2$$

Luego, se reemplazará los datos obtenidos y se determinará el número de muestras.

$$n_0 = \frac{1.96^2 19.28^2}{11.47^2}$$

$$n_0 = 11 \text{ especímenes de repeticiones.}$$

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Se realizará un diseño experimental, donde se variará el porcentaje de perlas de poliestireno expandido (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) en función del volumen de agregado fino. Se evaluará el peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento del concreto.

Tabla 15. Número de ensayos.

%	Concreto en estado fresco		Concreto en estado endurecido	
	Agregado liviano	Asentamiento	Resistencia a compresión	Peso unitario
0		3	11	3
10		3	11	3
20		3	11	3
30		3	11	3
40		3	11	3
50		3	11	3
		18	66	18

Fuente: *Propia.*

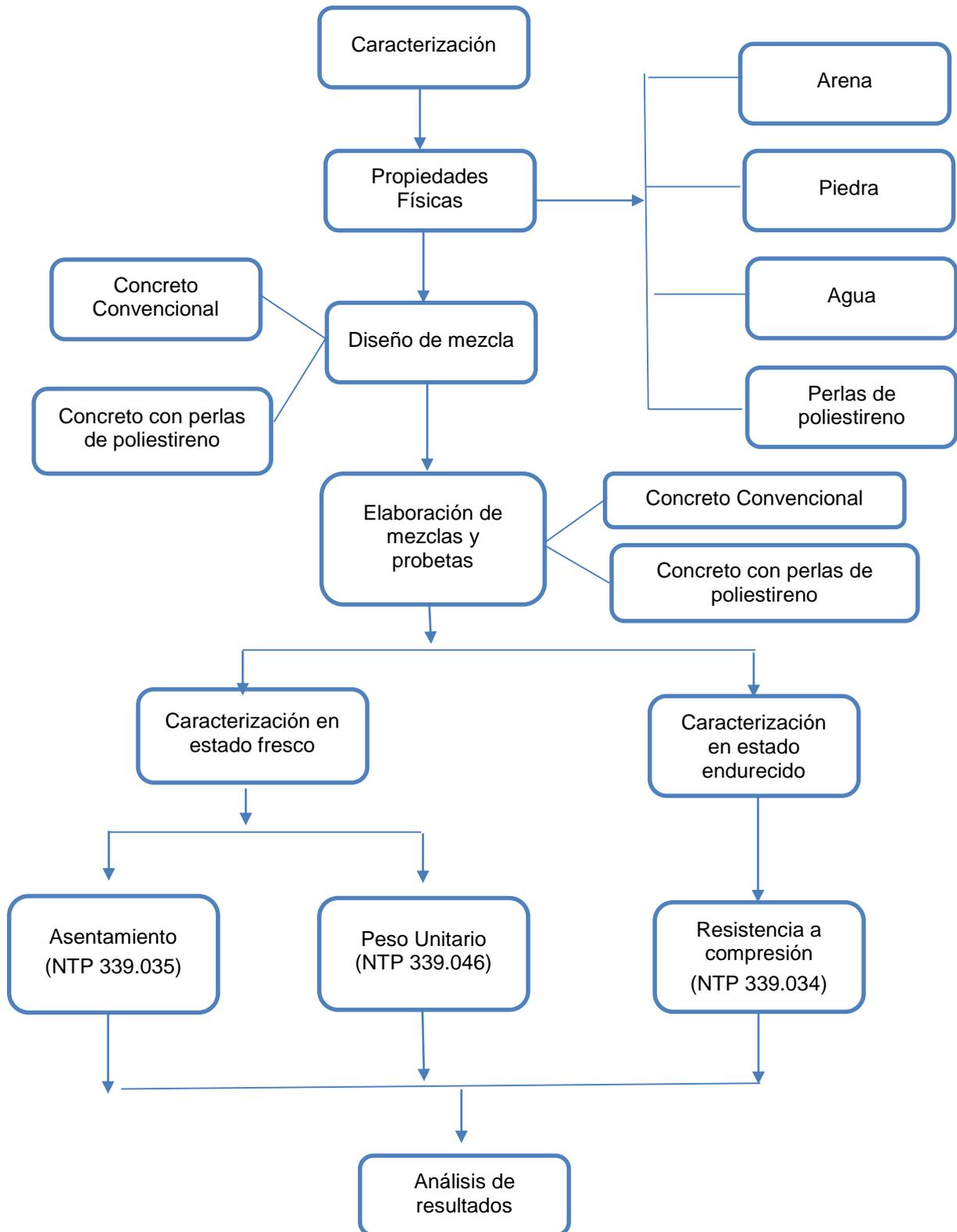
3.6.1. Técnica de recolección de datos

La técnica que se escogerá para recopilar los datos de esta tesis será la de observación, porque nos permitirá analizar los cambios que se producirán en el concreto con la adición de perlas de poliestireno. La observación nos permitirá seleccionar, ver y registrar los fenómenos que se producirán en la variable independiente en función de las dependientes.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Se utilizarán guías de observación para cada ensayo, las cuales nos ayudarán a tomar registros de algún fenómeno producido y los respectivos resultados.

3.6.3. Procedimientos de recolección de datos



3.7. Procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Caracterización de agregados

3.7.1.1. Ensayo granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012

- Para iniciar el ensayo se pesará tres muestras de agregado fino de 500 gr cada una.
- Posteriormente se pesarán los tamices con los que se realizará el ensayo (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y fondo).
- Después se colocará los tamices en forma descendente y se pondrá la muestra dentro de estos.
- Se colocará la muestra en los tamices, y se empezará a agitarlos durante 5 minutos.
- Luego se pesará cada tamiz con la muestra retenida, para obtener el peso retenido en cada tamiz.
- Finalmente, el módulo de finura se determinará dividiendo la sumatoria de los pesos retenidos en los tamices, entre 100.

Tabla 16. Tabla granulométrica del agregado fino - muestra 1.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"							
N° 4							
N° 8							
N° 16							
N° 30							
N° 50							
N° 100							
Fondo							
			Peso tamizado (g) =				

Fuente: (NTP400.012, 2013).

Tabla 17. Tabla granulométrica del agregado fino - muestra 2.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"							
N° 4							
N° 8							
N° 16							
N° 30							
N° 50							
N° 100							
Fondo							
Peso tamizado (g) =							

Fuente: (NTP400.012, 2013).

Tabla 18. Tabla granulométrica del agregado fino - muestra 3.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"							
N° 4							
N° 8							
N° 16							
N° 30							
N° 50							
N° 100							
Fondo							
Peso tamizado (g) =							

Fuente: (NTP400.012, 2013).

3.7.1.2. Ensayo granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012

- Para iniciar el ensayo se pesará tres muestras de agregado grueso de 2000 gr cada una.
- Posteriormente se pesarán los tamices con los que se realizará el ensayo (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8 y fondo).
- Después se colocará los tamices en forma descendente y se pondrá la muestra dentro de estos.
- Se colocará la muestra en los tamices, y se empezará a agitarlos durante 5 minutos.
- Luego se pesará cada tamiz con la muestra retenida, para obtener el peso retenido en cada tamiz.
- Finalmente, el módulo de finura se determinará dividiendo la sumatoria de algunos pesos retenidos en los tamices (1 1/2", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8), entre 100.

Tabla 19. Tabla granulométrica del agregado grueso - muestra 1.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"							
1"							
3/4"							
1/2"							
3/8"							
N° 4							
N° 8							
Fondo							
			Peso tamizado (g) =				

Fuente: (NTP400.012, 2013).

Tabla 20. Tabla granulométrica del agregado grueso - muestra 2.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"							
1"							
3/4"							
1/2"							
3/8"							
N° 4							
N° 8							
Fondo							
Peso tamizado (g) =							

Fuente: (NTP400.012, 2013).

Tabla 21. Tabla granulométrica del agregado grueso - muestra 3.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"							
1"							
3/4"							
1/2"							
3/8"							
N° 4							
N° 8							
Fondo							
Peso tamizado (g) =							

Fuente: (NTP400.012, 2013).

3.7.1.3. Contenido de humedad según la norma NTP 339.185 (Agregado fino y grueso)

- Primero se pesará tres muestras, tanto de agregado fino como del grueso en estado natural (Ph).
- Como siguiente paso, se colocará las muestras en el horno a una temperatura de 100°C +- 5°C por 24 horas, para luego pesar las muestras secas (Ps).
- Finalmente, se determinará el contenido de humedad del agregado fino y grueso con la siguiente fórmula:

$$W\% = \left[\frac{Ph - Ps}{Ps} \right] \times 100$$

W%: Contenido de humedad.

Ph: Peso en estado natural del agregado.

Ps: Peso en estado seco del agregado.

Tabla 22. Tabla de contenido de humedad de agregados del concreto.

Muestra	Código	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g) (Ph)	Peso de la muestra seca (g) (Ps)	Humedad (%) W
Agregado Fino	M1						
	M2						
	M3						
Agregado Grueso	J1						
	J2						
	J3						

Fuente: (NTP339.185, 2013).

3.7.1.4. Peso unitario según la norma NTP 400.017 (suelto y compactado)

- Primero se determinará el volumen del molde.
- Luego se verterá la muestra de agregado en el molde hasta llenarlo (antes de esto se pesó el molde vacío); en el caso del peso unitario compactado se hará tres capas, compactando cada una con una varilla 25 veces y 16 golpes exteriores con el martillo de hule).
- Finalmente, se pesará el molde con la muestra y se determinará el PUSS y PUCS con las siguientes fórmulas.

$$PUSS = \frac{\text{Peso del agregado suelto} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

PUSS: Peso unitario suelto

$$PUCS = \frac{\text{Peso del agregado compactado} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

PUCS: Peso unitario compactado

Tabla 23. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado fino	P1								
	P2								
	P3								
							Promedio		

Fuente: (NTP400.017, 2011).

Tabla 24. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado grueso	P1								
	P2								
	P3								
							Promedio		

Fuente: (NTP400.017, 2011).

3.7.1.5. Peso específico y absorción – agregado fino según la norma NTP 400.022

- Primero se sumergirá la muestra en el agua durante 24 horas.
- Luego se procederá a secar la muestra con la ayuda de una cocina pequeña.
- Al tener la muestra seca, se colocará en un cono, rellenándolo con tres capas con 25 golpes por cada capa con el pisón.
- Después se procederá a retirar el cono, si al retirarse se derrumba la tercera parte de la muestra, esto indicará que la muestra está saturada superficialmente seca.
- Al encontrarse la muestra en esa condición, se procederá a ingresarla en una fiola con agua hasta 1000 ml (antes de esto se pesó la fiola vacía y con agua).
- Con la muestra ya en la fiola, se empezará a rodarla sobre una superficie plana hasta eliminar todas las burbujas de aire, durante un minuto.
- Eliminada ya todas las burbujas, se pesará la fiola con el agua y con la muestra.
- Se extraerá el agua de la fiola, y la muestra de agregado se secará en el horno a 100 °C durante 24 horas, y se obtendrá su peso seco.
- Finalmente se calculará el peso específico y la absorción con las siguientes fórmulas.

$$\text{Densidad Seca} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad saturada superficialmente seca} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S - A}{A} \times 100 (\%)$$

Donde:

A = Peso al aire de la muestra seca (gr)

B = Peso de la fiola aforado lleno de agua (gr)

C = Peso total de la fiola aforado con muestra y llena de agua (gr)

S = Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)

Tabla 25. *Tabla de peso específico y absorción del agregado fino.*

Muestra	Código	Peso				Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		Peso seco (g)	de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)				
		A	B	C	S				
	J1								
Agregado	J3								
Fino	J6								

Fuente: (NTP400.022, 2013).

3.7.1.6. Peso específico y absorción – agregado grueso según la norma NTP 400.021

- Primero se lavará la muestra de agregado grueso y se sumergirá en el agua durante 24 horas.
- Al retirar la muestra se secará toda la superficie, y se pesará en su condición saturada. (B)
- Luego se pondrá la muestra en una cesta y se pesará dentro del agua. (C)
- Finalmente se ingresará la muestra en el horno a una temperatura de 100°C ± 5°C, durante 24 horas, para luego ser pesado y determinar su peso seco. (A)
- Para determinar el peso específico y absorción se utilizará las siguientes fórmulas.

$$Densidad\ Seca = \frac{A}{B - C}$$

$$Densidad\ saturada\ superficialmente\ seca = \frac{B}{B - C}$$

$$Densidad\ aparente = \frac{A}{A - C}$$

$$Absorción\ (\%) = \frac{B - A}{A} \times 100\ (\%)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca al horno. (gr)

B: Peso en el aire de la muestra saturada. (gr)

C: Peso en el agua de la muestra. (gr)

Tabla 26. *Tabla de peso específico y absorción del agregado grueso.*

Muestra	Código	Peso de	Peso de la	Peso de	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad	Densidad	Absorción (%)
		la muestra saturada en el aire (g)	muestra sumergida (g)	la muestra seca (g)		saturada superficialmente seca (kg/m ³)	aparente (kg/m ³)	
		B	C	A				
Agregado Grueso	M1							
	M2							
	M3							

Fuente: (NTP400.021, 2002).

3.7.2. Diseño de mezcla según ACI-211

- Elección de la resistencia de diseño.

El diseño de mezcla del concreto se realizará para una resistencia a compresión $f'c$ de 210 kg/cm^2 , debido a que esta resistencia es la más óptima para elementos estructurales de concreto. Sabiendo ya la resistencia de diseño, se procederá a determinar el factor de seguridad según la tabla 27.

Tabla 27. *Factor de seguridad para resistencia del concreto.*

Resistencia de diseño ($f'c$), kg/cm^2)	Resistencia de diseño requerida ($f'cr$), kg/cm^2)
< 210	$f'c + 70$
210 – 350	$f'c + 84$
> 350	$f'c + 98$

Fuente: (ACI 211.1, 2016).

- Contenido de aire atrapado.

Como segundo paso, se determinará el porcentaje de aire atrapado, esto en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 28. Porcentaje de aire en el concreto.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
4"	0.2%

Fuente: (ACI 211.1, 2016).

- Contenido de agua

El tamaño máximo nominal del agregado grueso y el asentamiento que deseamos, son los dos factores que se deben tener en cuenta para determinar la cantidad de agua en el concreto. Cabe resaltar que la cantidad de agua obtenida será para un concreto sin aire incorporado.

Tabla 29. Cantidad de agua en el concreto.

Asentamiento	Tamaño máximo nominal del agregado grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	
% Aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Moderada	8.0	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: (ACI 211.1, 2016).

- Relación a/c

Se determinará la relación agua/cemento, teniendo en cuenta la resistencia requerida elegida, en el caso que la resistencia requerida no se encuentre en los valores en la tabla 30, se debe interpolar entre los valores que existen y poder determinar la relación agua/cemento. Cabe resaltar que la relación agua/cemento se determinará para un concreto sin aire incorporado.

Tabla 30. Relación agua/cemento del concreto.

F'c (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
420	0.41	
450	0.38	

Fuente: (ACI 211.1, 2016).

- Contenido de cemento

Se determinará la cantidad de cemento, dividiendo el volumen de agua obtenido de la tabla 29 entre la relación agua/cemento obtenida de la tabla 30.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Volumen de agua (l)}}{\text{relación a/c}}$$

- Peso de agregado grueso

Se determinará el volumen de agregado grueso, teniendo en cuenta dos factores, uno es el tamaño máximo nominal del agregado grueso, y el segundo el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 31. Volumen de agregado grueso.

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (ACI 211.1, 2016).

- Volumen absoluto

Primero se tendrá que determinar el volumen de los materiales, dividiendo la cantidad de cada material entre su peso específico, con excepción del aire, en el cual se dividirá el porcentaje de aire atrapado entre 100. El volumen de agregado fino, será la diferencia que exista entre un metro cúbico y la sumatoria de los volúmenes de los materiales.

$$V_{\text{material}} = \frac{\text{Cantidad de material}}{\text{Peso específico del material}}$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{\% \text{ Aire atrapado}}{100}$$

- Peso agregado fino

La cantidad de agregado fino será el volumen de agregado fino por su peso específico.

$$\text{Cantidad de A. F.} = \text{Vol AF} \times \text{Pe AF}$$

- Corrección por humedad de los agregados

Se hará una corrección a los agregados en función de su contenido de humedad, y de esta manera se obtendrá la cantidad final de agregado.

$$\text{Cantidad final de agregado} = \text{Cant. estado seco} \times \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

- Aporte de agua a la mezcla

Se determinará la cantidad de agua, tanto del agregado fino como del grueso. La cantidad de agregado grueso y fino en estado seco, se multiplicará por la diferencia que exista entre el contenido de humedad de los agregados y su absorción, dividido entre 100.

$$\text{Contribución del agua del AG} = \left(\frac{\%Wag - \%Aag}{100} \right) \times AG_{seco}$$

$$\text{Contribución del agua del AF} = \left(\frac{\%Waf - \%Aaf}{100} \right) \times AF_{seco}$$

- Agua efectiva

La cantidad de agua final será la diferencia entre el agua del diseño del concreto en estado seco, y la suma del agua que aporta los agregados, tanto el fino como el grueso.

$$\text{Agua efectiva} = A_{seco} - (A_{ag} + A_{af})$$

- Proporcionamiento del diseño

Finalmente se obtiene el proporcionamiento del diseño de mezcla de concreto (cemento, agregado fino, agregado grueso y agua).

3.7.2.1. Determinación de porcentajes de perlas de poliestireno

Para determinar los porcentajes de perlas de poliestireno que vamos a utilizar, se realizará una prueba piloto, donde se trabajará con los porcentajes de 0%, 30% y 50% en función del volumen de agregado fino (diseño en estado seco).

Tabla 32. Resistencia a compresión - prueba piloto.

Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Porcentajes de sustitución (perlas poliestireno – AF)		
	0%	30%	50%
Probeta 01			
Probeta 02			
Probeta 03			
Resistencia promedio			

Fuente: Propia.

3.7.2.1.1 Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de perlas de poliestireno.

A continuación, se muestran las tablas de los diseños de mezcla del concreto con porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de perlas de poliestireno, que sustituyen el agregado fino, en función de su volumen.

Tabla 33. *Diseño de mezcla con 10% de perlas de poliestireno.*

Cemento (kg)
Agua (lt/m³)
A. Grueso (kg)
A. Fino (kg)
Poliestireno (kg)

Fuente: *Propia.*

Tabla 34. *Diseño de mezcla con 20% de perlas de poliestireno.*

Cemento (kg)
Agua (lt/m³)
A. Grueso (kg)
A. Fino (kg)
Poliestireno (kg)

Fuente: *Propia.*

Tabla 35. *Diseño de mezcla con 30% de perlas de poliestireno.*

Cemento (kg)
Agua (lt/m³)
A. Grueso (kg)
A. Fino (kg)
Poliestireno (kg)

Fuente: *Propia.*

Tabla 36. *Diseño de mezcla con 40% de perlas de poliestireno.*

Cemento (kg)
Agua (lt/m³)
A. Grueso (kg)
A. Fino (kg)
Poliestireno (kg)

Fuente: *Propia.*

Tabla 37. *Diseño de mezcla con 50% de perlas de poliestireno.*

Cemento (kg)
Agua (lt/m³)
A. Grueso (kg)
A. Fino (kg)
Poliestireno (kg)

Fuente: *Propia.*

3.7.3. Elaboración de probetas y curado según la norma NTP 339.183

- Lo primero que se realizó fue pesar los materiales que se utilizaron (agregado fino y grueso, cemento, perlas de poliestireno y agua).
- Para la mezcla de estos materiales se utilizó un trompo.
- El agregado grueso se echó primero, seguido por la tercera parte de agua, después de un minuto se echó el agregado fino, seguido del cemento y finalmente lo que quedaba de agua. En el caso de las perlas de poliestireno, estas se echaron al final y con el trompo apagado.
- Para la conformación de probetas, se utilizó moldes de 30cm de altura por 15cm de diámetro. Se llenaron en 3 capas con 25 chuseadas y 16 golpes exteriores con el martillo de hule.
- Los moldes se retiraron a las 24 horas, para luego introducirlas en la poza de curado con agua y cal.

3.7.4. Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035

- Para este ensayo se utilizó una base plana, un cono, una wincha y una varilla, humedecidos respectivamente.
- El cono se colocó en la base plana, y se llenó en 3 capas aproximadamente iguales, compactadas cada una con 25 golpes con la varilla.
- Seguido de este paso, se levantó el cono, y se midió con la wincha la distancia que hubo entre la altura del cono invertido y la parte superior del concreto.

Tabla 38. Asentamiento del concreto (mm).

0%	10%	20%	30%	40%	50%

Fuente: Propia

3.7.5. Peso unitario del concreto según la norma NTP 339.046

- Primero se determinó el volumen del molde.
- Luego se vertió la mezcla en el molde hasta llenarlo (antes de esto se pesó el molde vacío); en el caso del peso unitario compactado se hizo tres capas, compactando cada una con una varilla 25 veces y 16 golpes exteriores con el martillo de hule).
- Finalmente, se pesó el molde con la muestra y se determinó el PUSS y PUCS con las siguientes fórmulas.

$$PUSS = \frac{\text{Peso de la mezcla suelta} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

PUSS: Peso unitario suelto.

$$PUCS = \frac{\text{Peso de la mezcla compactada} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

PUCS: Peso unitario compactado.

Tabla 39. Peso unitario (kg/m^3).

0%	10%	20%	30%	40%	50%

Fuente: Propia.

3.7.6. Resistencia a la compresión según la norma NTP 339.034

- Lo primero que se hizo para realizar este ensayo, fue retirar las probetas a los 28 días, y dejarlas secar mínimo 6 horas.
- Seguido de esto, se midió las probetas con el micrómetro, para determinar su área.
- Luego se procedió a colocar las probetas en la máquina de compresión, y se aplicó una carga constante hasta la rotura de la probeta.
- Finalmente se determinó la resistencia a compresión con la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

R_c : Resistencia a la compresión.

Tabla 40. *Tabla de Resistencia a compresión (kg/cm²).*

	0%	10%	20%	30%	40%	50%
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

Fuente: *Propia.*

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de agregados

4.1.1. Ensayo granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012

Se realizó el ensayo de granulometría para el agregado fino 3 veces, esto debido a que se quiso un nivel de confiabilidad del 95%. Para realizar tal ensayo se utilizó los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo. Los resultados de los 3 ensayos se muestran en las tablas 41, 42 y 43, y de igual manera las gráficas de curvas granulométricas en las figuras 1, 2 y 3.

Así mismo, en la tabla 44 podemos observar la varianza y desviación estándar de los resultados del agregado fino, así como también, el rango aceptable de la desviación estándar para tres resultados.

Tabla 41. Ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 1.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 3/8"	9.50	544.65	544.65	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	4.75	510.50	532.50	22.00	4.40	4.40	95.60
N° 8	2.36	478.00	550.50	72.50	14.50	18.90	81.10
N°16	1.18	404.00	473.50	69.50	13.90	32.80	67.20
N° 30	0.60	373.50	444.50	71.00	14.20	47.00	53.00
N° 50	0.30	348.50	417.50	69.00	13.80	60.80	39.20
N° 100	0.15	328.00	482.50	154.50	30.90	91.70	8.30
Fondo		445.00	486.50	41.50	8.30	100.00	0.00
Peso tamizado (g) =				500.00	100.00		

MF = 2.56

Fuente: (NTP400.012, 2013).

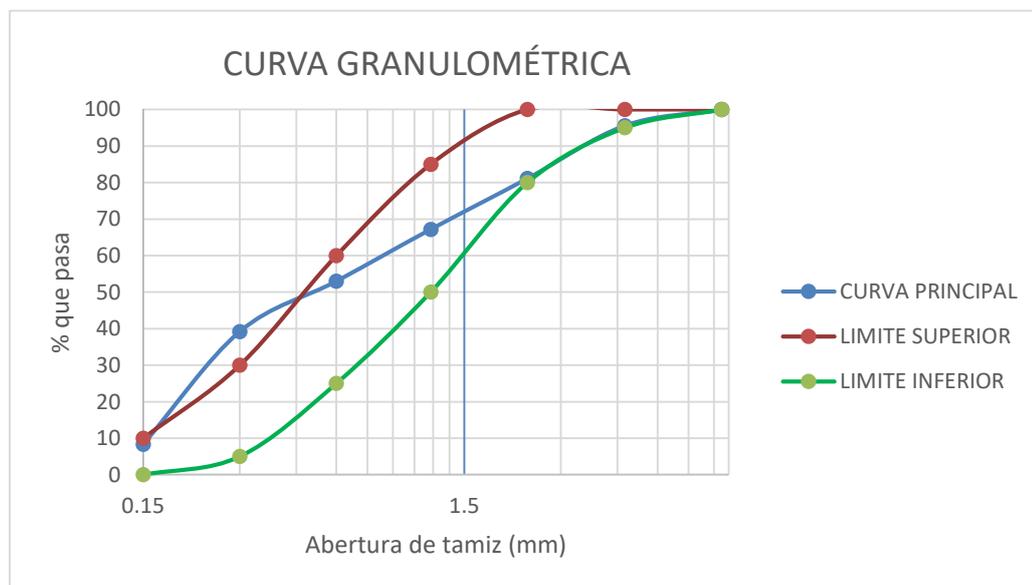


Figura 1. Curva granulométrica del agregado fino - muestra 1.

Tabla 42. Ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 2.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 3/8"	9.50	544.65	544.65	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	4.75	510.50	530.50	20.00	4.00	4.00	96.00
N° 8	2.36	478.00	523.00	45.00	9.00	13.00	87.00
N°16	1.18	404.00	453.00	49.00	9.80	22.80	77.20
N° 30	0.60	373.50	435.50	62.00	12.40	35.20	64.80
N° 50	0.30	348.50	422.50	74.00	14.80	50.00	50.00
N° 100	0.15	328.00	522.00	194.00	38.80	88.80	11.20
Fondo		445.00	501.00	56.00	11.20	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		500.00	100.00		

MF = 2.14

Fuente: (NTP400.012, 2013).

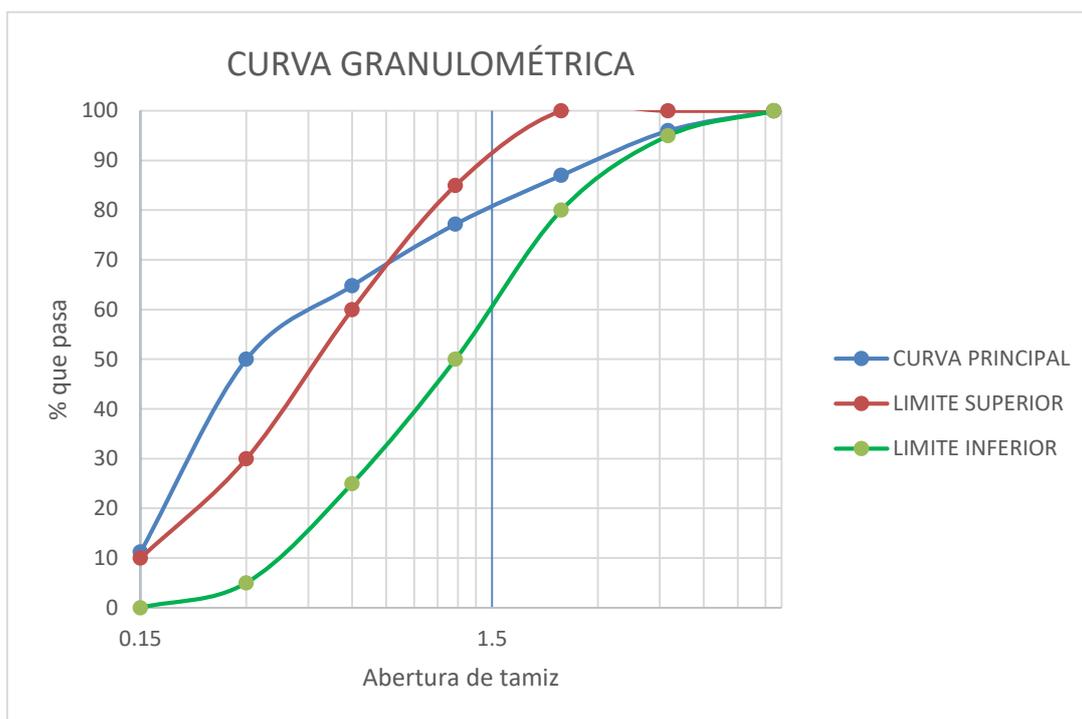


Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino - muestra 2.

Tabla 43. Ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 3.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 3/8"	9.50	544.65	544.65	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	4.75	510.50	534.50	24.00	4.80	4.80	95.20
N° 8	2.36	478.00	538.00	60.00	12.00	16.80	83.20
N°16	1.18	404.00	461.50	57.50	11.50	28.30	71.70
N° 30	0.60	373.50	436.50	63.00	12.60	40.90	59.10
N° 50	0.30	348.50	419.50	71.00	14.20	55.10	44.90
N° 100	0.15	328.00	505.00	177.00	35.40	90.50	9.50
Fondo		445.00	492.50	47.50	9.50	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		500.00	100.00		

MF = 2.36

Fuente: (NTP400.012, 2013).

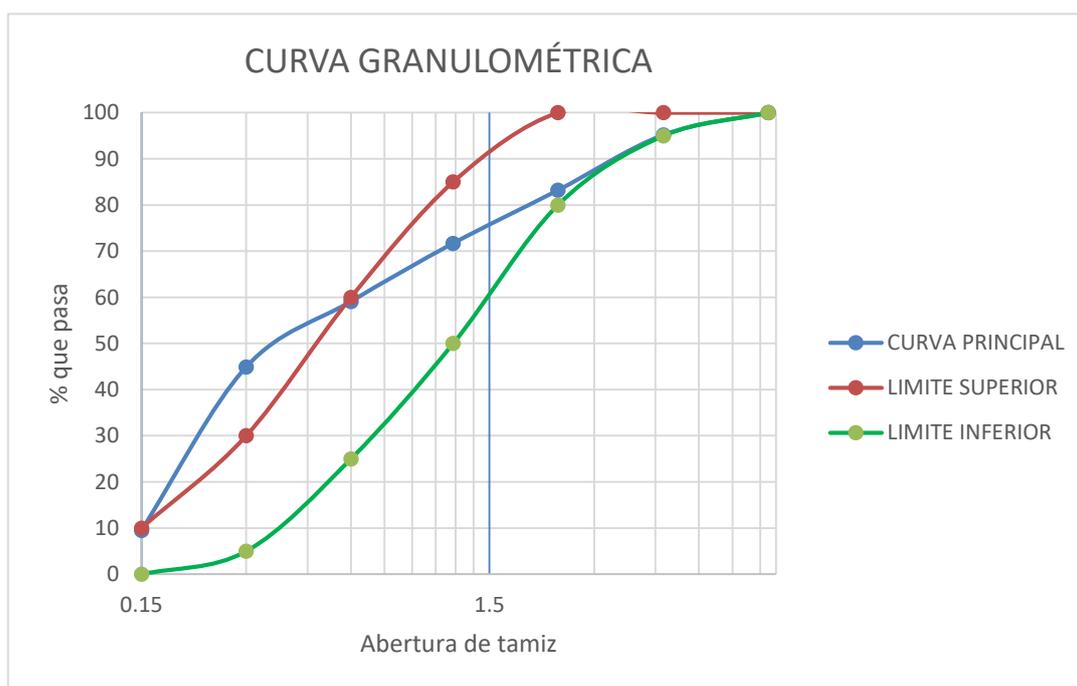


Figura 3. Curva granulométrica del agregado fino - muestra 3.

Tabla 44. Varianza y desviación estándar de la granulometría del agregado fino.

Tamiz	Desviación estándar (%)	Varianza	Desviación estándar (1s), (%) NTP 400.012	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C670
N° 3/8"	0.00	0.00	0.26	0.86
N° 4	0.00	0.00	0.26	0.86
N° 8	0.03	0.00	0.55	1.82
N° 16	0.05	0.00	0.55	1.82
N° 30	0.06	0.00	0.83	2.74
N° 50	0.05	0.00	0.83	2.74
N° 100	0.01	0.00	0.37	1.22

Fuente: Propia.

4.1.2. Ensayo granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012

Se realizó el ensayo de granulometría para el agregado grueso 3 veces, esto debido a que se quiso un nivel de confiabilidad del 95%. Para realizar tal ensayo se utilizó los tamices N°1 1/2", N°1", N°3/4", N°1/2", N°3/8", N°4 y N°8. Los resultados de los 3 ensayos se muestran en las tablas 45, 46 y 47, y de igual manera las gráficas de curvas granulométricas en las figuras 4, 5 y 6.

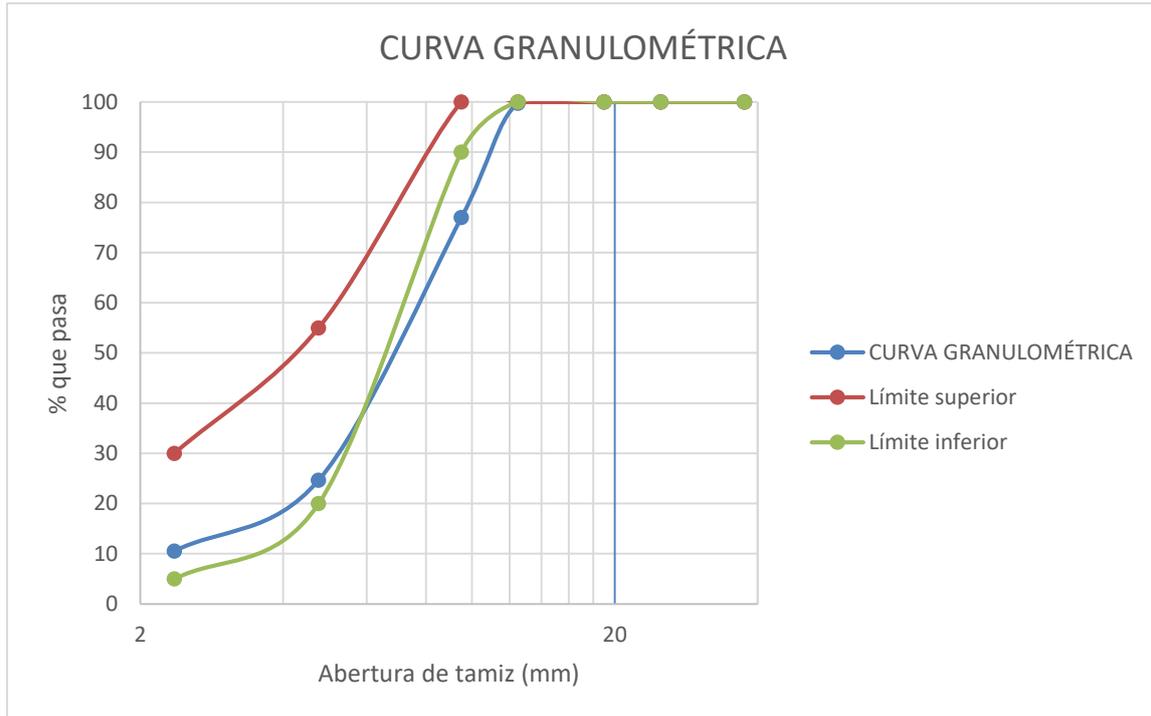
Así mismo, en la tabla 48 podemos observar la varianza y desviación estándar de los resultados del agregado fino, así como también, el rango aceptable de la desviación estándar para tres resultados.

Tabla 45. Ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 1.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.5	565.50	565.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	539.00	539.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	549.50	549.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	536.50	541.00	4.50	0.23	0.23	99.77
3/8"	9.50	525.00	978.00	453.00	22.79	23.02	76.98
N° 4	4.75	506.50	1546.50	1040.00	52.33	75.35	24.65
N° 8	2.36	453.50	733.50	280.00	14.09	89.43	10.57
Fondo		445.00	655.00	210.00	10.57	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		1987.50	100.00		

MF = 5.88

Fuente: (NTP400.012, 2013).



HG = 89 TMN = 1/2"

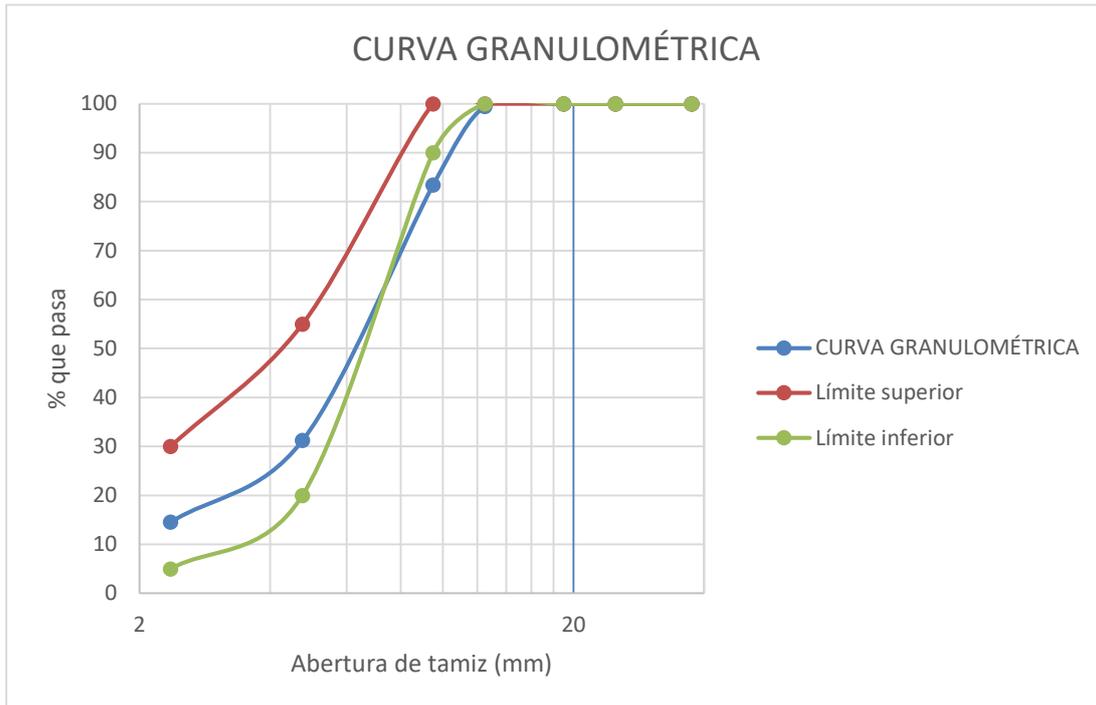
Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 1.

Tabla 46. Ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 2.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.5	565.50	565.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	539.00	539.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	549.50	549.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	536.50	544.15	7.65	0.38	0.38	99.62
3/8"	9.50	525.00	840.46	315.46	15.86	16.25	83.75
N° 4	4.75	506.50	1548.30	1041.80	52.39	68.64	31.36
N° 8	2.36	453.50	784.00	330.50	16.62	85.26	14.74
Fondo		445.00	738.15	293.15	14.74	100.00	0.00
Peso tamizado (g) =				1988.56	100.00		

MF = 5.71

Fuente: (NTP400.012, 2013).



HG = 89 TMN = 1/2"

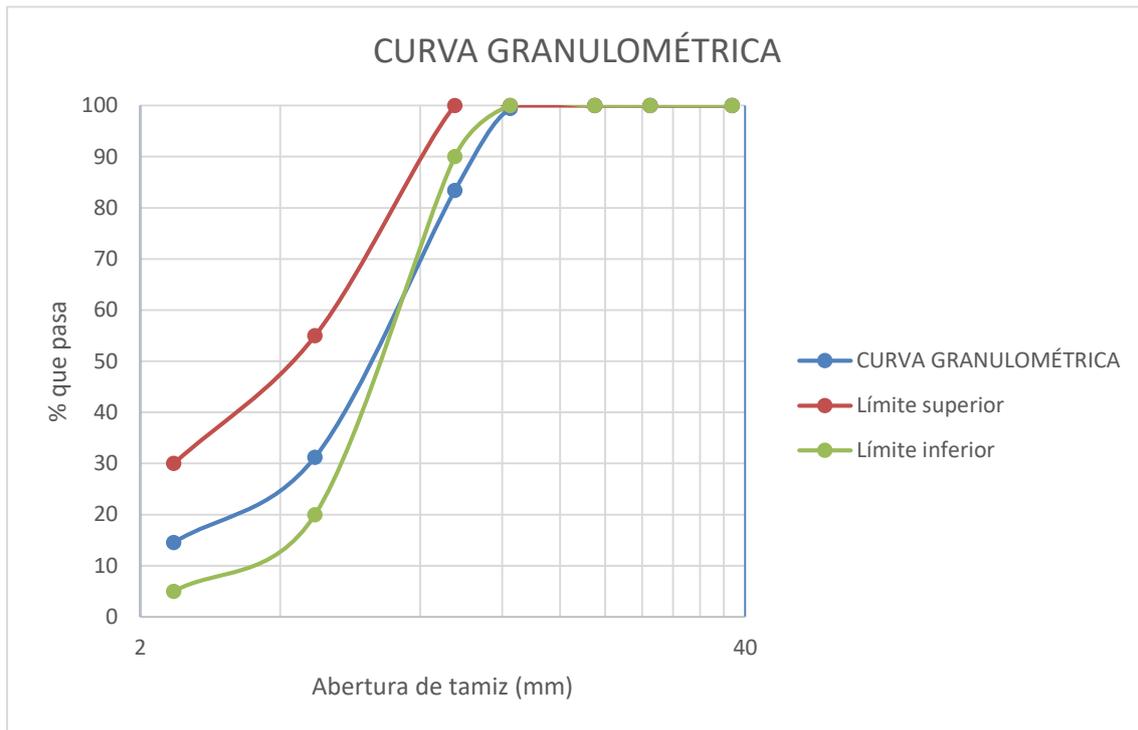
Figura 5. Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 2.

Tabla 47. Ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 3.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.5	565.50	565.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	539.00	539.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	549.50	549.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	536.50	548.00	11.50	0.58	0.58	99.43
3/8"	9.50	525.00	845.00	320.00	16.00	16.58	83.43
N° 4	4.75	506.50	1550.50	1044.00	52.20	68.78	31.23
N° 8	2.36	453.50	787.00	333.50	16.68	85.45	14.55
Fondo		445.00	736.00	291.00	14.55	100.00	0.00
			Peso tamizado (g) =	2000.00	100.00		

MF = 5.71

Fuente: (NTP400.012, 2013).



HG = 89 TMN = 1/2"

Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 3.

Tabla 48. Varianza y desviación estándar de la granulometría del agregado grueso.

Tamiz	Desviación estándar (%)	Varianza	Desviación estándar (1s), (%) NTP 400.012	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C670
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00
1"	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	0.00	0.00	0.32	1.06
3/8"	0.04	0.00	1.34	4.42
N° 4	0.04	0.00	1.32	4.36
N° 8	0.02	0.00	1.00	3.30

Fuente: Propia.

4.1.3. Contenido de humedad según la norma NTP 339.185 (Agregado fino y grueso)

Se realizó el ensayo de contenido de humedad para el agregado fino y grueso 3 veces, esto debido a que se quiso un nivel de confiabilidad del 95%. Los resultados de los 3 ensayos se muestran en la tabla 49.

Así mismo, en la tabla 50 podemos observar la varianza y desviación estándar de los resultados del contenido de humedad de los agregados, así como también, el rango aceptable de la desviación estándar para tres resultados.

Tabla 49. Contenido de humedad de agregados del concreto.

Muestra	Código	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g) (Ph)	Peso de la muestra seca (g) (Ps)	Humedad (%) W	Humedad promedio (%)
Agregado Fino	M1	39	189.50	188	150.50	149	1.01	1.12
	M2	40	190.00	188	150.00	148	1.35	
	M3	77	227.00	225.5	150.00	148.5	1.01	
Agregado Grueso	J1	152	1152	1143.5	1000.00	991.5	0.86	0.83
	J2	183.5	1183.5	1176	1000.00	992.5	0.76	
	J3	167	1167	1158.5	1000.00	991.5	0.86	

Fuente: (NTP339.185, 2013).

Tabla 50. Varianza y desviación estándar del contenido de humedad de agregados.

Agregados	Desviación estándar (%)	Varianza	Desviación estándar (1s), (%) ASTM ...	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C670
Agregado Fino	0.002	0.000	0.28	0.92
Agregado Grueso	0.001	0.000		

Fuente: Propia.

4.1.4. Peso unitario según la norma NTP 400.017 (suelto y compactado)

Se realizó el ensayo de peso unitario, tanto el suelto y el compactado, para el agregado fino y grueso 3 veces, esto debido a que se quiso un nivel de confiabilidad del 95%. Los resultados de los 3 ensayos se muestran en las tablas 51 y 52.

Así mismo, en la tabla 53 podemos observar la varianza y desviación estándar de los resultados de los agregados, así como también, el rango aceptable de la desviación estándar para tres resultados.

Tabla 51. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado fino	P1	3.348	15.144	16.338	11.796	12.99	0.007	1690	1860
	P2	3.348	15.146	16.340	11.798	12.992	0.007	1690	1860
	P3	3.348	15.128	16.456	11.78	13.108	0.007	1680	1870
Promedio								1690	1860

Fuente: (NTP400.017, 2011).

Tabla 52. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado grueso	P1	5.312	27.062	28.502	21.75	23.19	0.0134	1620	1730
	P2	5.312	26.832	28.810	21.52	23.498	0.0134	1610	1750
	P3	5.312	26.76	28.852	21.448	23.54	0.0134	1600	1760
Promedio								1610	1750

Fuente: (NTP400.017, 2011).

Tabla 53. Variación y desviación estándar del peso unitario de los agregados.

Ensayos	Agregados	Desviación estándar (kg/m ³)	Varianza	Desviación estándar (1s), (kg/m ³) NTP 400.017	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) ASTM C670
PESO UNITARIO SUELTO	Agregado fino	7	49	14	46
PESO UNITARIO COMPACTADO	Agregado grueso	7	49	14	46
	Agregado fino	10	101	14	46
	Agregado grueso	16	256	14	46

Fuente: Propia.

4.1.5. Peso específico y absorción – agregado fino según la norma NTP 400.022

Se realizó el ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino 3 veces, esto debido a que se quiso un nivel de confiabilidad del 95%. Los resultados de los 3 ensayos se muestran en la tabla 54.

Así mismo, en la tabla 55 podemos observar la varianza y desviación estándar de los resultados del agregado fino, así como también, el rango aceptable de la desviación estándar para tres resultados.

Tabla 54. *Peso específico y absorción del agregado fino.*

Muestra	Código	Peso seco (g)	Peso de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		A	B	C	S				
Agregado Fino	J1	492	670	982	500	2610	2653	2727	1.63
	J3	491	669	980	500	2591	2639	2721	1.83
	J6	490	670	982	500	2600	2653	2746	2.04
						2600	2648	2731	1.83

Fuente: (NTP400.022, 2013).

Tabla 55. *Variación y desviación estándar del peso específico y absorción del agregado fino.*

Propiedades	Desviación estándar (kg/m ³)	Varianza	Desviación estándar (1s), NTP 400.022	Rango aceptable para tres resultados ASTM C670
Densidad seca (kg/m ³)	10	91	11	36
Absorción (%)	0	0	0.11	0.36

Fuente: Propia.

4.1.6. Peso específico y absorción – agregado grueso según la norma NTP 400.021

Se realizó el ensayo de peso específico y absorción para el agregado grueso 3 veces, esto debido a que se quiso un nivel de confiabilidad del 95%. Los resultados de los 3 ensayos se muestran en la tabla 56.

Así mismo, en la tabla 57 podemos observar la varianza y desviación estándar de los resultados del agregado grueso, así como también, el rango aceptable de la desviación estándar para tres resultados.

Tabla 56. *Peso específico y absorción del agregado grueso.*

Muestra	Código	Peso de	Peso de la	Peso de	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		la muestra saturada en el aire (g)	muestra sumergida (g)	la muestra seca (g)				
		B	C	A				
Agregado Grueso	M1	2278	1416	2200	2546	2799	2799	3.55
	M2	2246	1390	2160	2517	2798	2798	3.98
	M3	2272	1404	2186	2512	2788	2788	3.93
						2530	2795	2795	3.82

Fuente: (NTP400.021, 2002).

Tabla 57. *Variación y desviación estándar del peso específico y absorción del agregado grueso.*

Propiedades	Desviación estándar (kg/m ³)	Varianza	Desviación estándar (1s), (%) NTP 400.021	Rango aceptable para tres resultados ASTM C670
Densidad seca (kg/m ³)	19	374.5	9	30
Absorción (%)	0	0	NO PRESENTA	NO PRESENTA

Fuente: Propia.

4.2. Diseño de mezcla según ACI-211

- Elección de la resistencia de diseño.

Se escogió una resistencia de 210 kg/cm^2 , debido a que se realizó un concreto liviano estructural.

La resistencia de diseño, según la tabla 27, se encontró entre los valores de 210 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 , por lo tanto, el factor de seguridad que le correspondió es de 84. De esta manera la resistencia de diseño requerida fue de 294 kg/cm^2 .

- Contenido de aire atrapado.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso es de $\frac{1}{2}$ ", por lo que el porcentaje de aire atrapado fue de 2.5% según la tabla 28.

- Contenido de agua

El tamaño máximo nominal de la piedra es de $\frac{1}{2}$ " y el asentamiento escogido es de 3" a 4", por lo que, la cantidad de agua fue de 216 lt/m^3 según la tabla 29.

- Relación a/c

Según la tabla 30, para la resistencia de 294 kg/cm^2 , se obtuvo una relación agua / cemento de:

280	0.57
294	X
300	0.55

$$\frac{300 - 294}{0.55 - X} = \frac{300 - 280}{0.55 - 0.57}$$

$$r \text{ a/c} = 0.556$$

- Contenido de cemento

Se determinó la cantidad de cemento dividiendo el volumen de agua entre la relación agua/cemento que se obtuvo.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Volumen de agua (l)}}{\text{relación a/c}}$$

$$C = \frac{216}{0.556}$$

$$C = 388.489 \text{ kg}$$

$$\text{Factor } C = 9 \text{ bolsas}$$

- Peso de agregado grueso

Según la tabla 31, para un tamaño máximo nominal de ½" y un módulo de finura de 2.35 se obtiene un peso del agregado grueso de:

2.35	X
2.40	0.59
3.00	0.53

$$\frac{3 - 2.40}{0.53 - 0.59} = \frac{3 - 2.35}{0.53 - X}$$

$$X = 0.595$$

$$\text{Cantidad de AG} = (\text{PUCS}) * (X)$$

$$\text{Cantidad de AG} = 1750 * 0.595$$

$$\text{Cantidad de AG} = 1041.250 \text{ kg}$$

- Volumen absoluto

Se determinó el volumen absoluto de todos los materiales para un metro cúbico de concreto, por lo cual, el volumen de agregado fino será la diferencia de 1 metro cúbico y la suma de volúmenes de los materiales.

Tabla 58. Cantidad de materiales.

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m³)	216
Aire (%)	2.50
A. Grueso (kg)	1041.250

Fuente: Propia.

$$V_{\text{material}} = \frac{\text{Cantidad de material}}{\text{Peso específico del material}}$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{\% \text{ Aire atrapado}}{100}$$

$$\circ \text{Cemento} = \frac{388.489}{3.08 \times 1000}$$

$$\text{Cemento} = 0.126 \text{ m}^3$$

$$\circ \text{Agua} = \frac{216}{1000}$$

$$\text{Agua} = 0.216 \text{ m}^3$$

$$\circ \text{Aire} = \frac{2.50}{100}$$

$$\text{Aire} = 0.025 \text{ m}^3$$

$$\circ \text{A. Grueso} = \frac{1041.250}{2530}$$

$$\text{A. Grueso} = 0.412 \text{ m}^3$$

$$\circ \text{Vol. AF} = 1 - (0.126 + 0.216 + 0.025 + 0.412)$$

$$\text{Vol. AF} = 0.221 \text{ m}^3$$

- Peso agregado fino

Para obtener la cantidad de agregado fino se multiplicó el volumen de este agregado por su peso específico.

$$\text{Cantidad de A. F.} = \text{Vol AF} \times \text{Pe AF}$$

$$\text{Cantidad de A. F.} = 0.221 \times 2600$$

$$\text{Cantidad de A. F.} = 575.395 \text{ kg}$$

- Presentación diseño en estado seco

En la tabla 59 se muestran las cantidades de materiales del concreto, pero sin tener en cuenta la humedad y absorción de los agregados.

Tabla 59. Diseño en estado seco del concreto.

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m³)	216
Agregado grueso (kg)	1041.250
Agregado fino (kg)	575.395

Fuente: Propia.

- Corrección por humedad de los agregados

La cantidad final de los agregados se determinó teniendo en cuenta su contenido de humedad.

$$\text{Cantidad final de agregado} = \text{Cant. estado seco} \times \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

Agregado grueso (kg)	1041.250
Humedad AG (%)	0.74
A. Grueso (kg)	1048.955
Agregado fino (kg)	575.395
Humedad AG (%)	1.42
A. Fino (kg)	583.566

- Aporte de agua a la mezcla

Se determinó el aporte total del agua a la mezcla, para lo cual se tuvo en cuenta dos factores, el contenido de humedad y la absorción de los agregados.

$$\text{Contribución del agua del AG} = \left(\frac{\%W_{ag} - \%A_{ag}}{100}\right) \times \text{AG}_{seco}$$

$$\text{Contribución del agua del AF} = \left(\frac{\%W_{af} - \%A_{af}}{100}\right) \times \text{AF}_{seco}$$

A. Grueso (kg)	W %	% Abs
1041.250	0.74	3.82
A. Grueso (lt)	- 32.071	
A. Fino (kg)	W %	% Abs
575.395	1.42	1.83
A. Fino (lt)	- 2.359	
Total agua en agregados (lt)	- 34.430	

- Agua efectiva

El agua efectiva se determinó teniendo en cuenta la cantidad de agua total de los agregados.

$$\text{Agua efectiva} = \text{Aseco} - (\text{Aag} + \text{Aaf})$$

$$\text{Agua efectiva (It)} = 250.43$$

- Nueva relación a/c

Se determinó la nueva relación a/c, con la cantidad de agua efectiva que se determinó.

$$r \text{ a/c} = 250.43 / 388.489$$

$$r \text{ a/c} = 0.645$$

- Proporcionamiento del diseño

Se determinó el diseño de mezcla corregido del concreto, teniendo en cuenta el contenido de humedad y absorción de los agregados.

Tabla 60. Proporcionamiento del diseño del concreto.

Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
388.489 kg	583.566 kg	1048.955 kg	250.430 lt
1	1.502	2.700	27.397

Fuente: Propia.

4.3. Determinación de porcentajes de perlas de poliestireno.

Se realizó una prueba piloto para determinar la resistencia a compresión a una edad de 7 días, ya que como se sabe, a esta edad el concreto obtiene aproximadamente el 65% de su resistencia a compresión total. Para la prueba piloto se utilizó porcentajes de 0%, 30% y 50% de perlas de poliestireno. Para dicha prueba, se ensayó 3 probetas por porcentaje.

Tabla 61. Resistencia a compresión – prueba piloto.

Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Porcentajes de sustitución (perlas poliestireno – AF)		
	0%	30%	50%
Probeta 01	194.437	163.478	138.762
Probeta 02	192.728	164.580	140.759
Probeta 03	193.578	166.475	139.458
Resistencia promedio	193.581	164.844	139.660

Fuente: Propia.

Como se puede observar en la tabla 61, el concreto con perlas de poliestireno (50%) presentó una resistencia promedio de 140 kg/cm^2 a una edad de 7 días, por lo que se pudo estimar que a 28 días se obtendría una resistencia de 215 kg/cm^2 , cumpliendo la resistencia para la cual se diseñó el concreto. Es por tal motivo, que el porcentaje máximo de sustitución de perlas de poliestireno fue del 50%, ya que, al agregarle un mayor porcentaje, este ya no cumpliría la resistencia de diseño.

4.4. Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de perlas de poliestireno

Al igual que se realizó el diseño de mezcla del concreto convencional, se realizó el del concreto con perlas de poliestireno. Para esto, se utilizaron porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, que son porcentajes definidos por la prueba piloto antes elaborada, y están en función del volumen de agregado fino.

Tabla 62. *Diseño de mezcla con 10% de perlas de poliestireno.*

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m^3)	250.430
A. Grueso (kg)	1048.955
A. Fino (kg)	524.403
Poliestireno (kg)	0.211

Fuente: *Propia.*

Tabla 63. *Diseño de mezcla con 20% de piedras de poliestireno.*

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m^3)	250.430
A. Grueso (kg)	1048.955
A. Fino (kg)	466.046
Poliestireno (kg)	0.422

Fuente: *Propia.*

Tabla 64. *Diseño de mezcla con 30% de piedras de poliestireno.*

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m^3)	250.430
A. Grueso (kg)	1048.955
A. Fino (kg)	407.690
Poliestireno (kg)	0.632

Fuente: *Propia.*

Tabla 65. Diseño de mezcla con 40% de piedras de poliestireno.

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m³)	250.430
A. Grueso (kg)	1048.955
A. Fino (kg)	349.333
Poliestireno (kg)	0.843

Fuente: Propia.

Tabla 66. Diseño de mezclas con 50% de piedras de poliestireno.

Cemento (kg)	388.489
Agua (lt/m³)	250.430
A. Grueso (kg)	1048.955
A. Fino (kg)	290.976
Poliestireno (kg)	1.054

Fuente: Propia.

4.5. Asentamiento del concreto

Se evaluó el asentamiento para el concreto convencional, así como también para el concreto con porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de perlas de poliestireno, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 67.

Tabla 67. Asentamiento del concreto convencional y con perlas de poliestireno (mm).

0%	10%	20%	30%	40%	50%
80	86	90	93	100	110
81	85	89	91	100	108
80	86	91	95	101	113

Fuente: Propia.

4.6. Peso unitario del concreto

Para el peso unitario, se evaluó tanto el concreto convencional como el concreto con porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de perlas de poliestireno. En la tabla 68 se muestran los resultados:

Tabla 68. *Peso unitario del concreto convencional y con perlas de poliestireno (kg/m³).*

0%	10%	20%	30%	40%	50%
2434	2380	2315	2252	2157	2059
2435	2383	2314	2251	2154	2058
2433	2378	2317	2252	2160	2061

Fuente: *Propia.*

4.7. Resistencia a compresión

Se evaluó la resistencia a compresión a una edad de 28 días, debido a que a esta edad el concreto llega a obtener casi el 100% de su resistencia. Se evaluó tanto al concreto convencional como al concreto con porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de perlas de poliestireno. En la tabla 69 se muestran los resultados.

Tabla 69. *Resistencia a compresión del concreto convencional y con perlas de poliestireno (kg/cm²).*

	0%	10%	20%	30%	40%	50%
1	281.734	275.468	263.418	257.813	237.164	224.167
2	282.167	277.824	265.448	255.761	246.197	218.467
3	285.431	278.924	264.927	258.461	242.119	220.484
4	285.413	276.482	264.973	257.883	243.734	224.618
5	283.215	277.761	266.473	253.496	242.516	223.468
6	281.734	279.412	263.499	252.419	241.554	219.738
7	285.463	274.716	264.246	257.144	239.438	218.409
8	281.763	272.648	263.472	253.479	244.497	224.837
9	283.914	274.492	261.769	259.467	238.916	219.495
10	282.846	277.473	261.946	256.119	242.786	221.574
11	283.174	273.852	264.972	257.943	240.793	224.761

Fuente: *Propia.*

4.8. Análisis de costos

Las características de los materiales que se van a utilizar dentro de un proyecto es muy importante, ya que estos definirán en una gran parte su éxito, por tal motivo, es muy importante saber elegir los materiales con los cuales se va a trabajar. El punto principal que se tiene en cuenta para elegir estos materiales, es que estos cumplan con las especificaciones que requiere tal proyecto.

Cuando se tiene materiales que cumplen con las especificaciones que se solicita, el punto de descarte es su costo, y es por esto, que se realizó un análisis de costos, entre un concreto convencional y un concreto con perlas de poliestireno (40%) para losas aligeradas.

Tabla 70. Análisis de costos de un concreto convencional.

Rendimiento: m3/DIA				Total (S/.)	368.17
Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	2.0000	1.3333	21.01	28.01
Oficial	hh	2.0000	1.3333	17.04	22.72
Peon	hh	8.0000	5.3333	15.34	81.81
					132.55
Materiales					
Piedra 1/2"	m3		0.4146	25.00	10.37
Agua	m3		0.2504	6.00	1.50
Arena gruesa	m3		0.2244	25.00	5.61
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bol		9.1409	20.34	185.93
					203.40
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	132.55	3.98
Vibrador de concreto	hm	1.0000	0.6667	16.95	11.30
Mezcladora de concreto	hm	1.0000	0.6667	25.42	16.95
					32.22

Fuente: Propia.

Tabla 71. Análisis de costos de un concreto con perlas de poliestireno.

Rendimiento: m3/DIA				Total (S/.)	378.40
Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	2.0000	1.3333	21.01	28.01
Oficial	hh	2.0000	1.3333	17.04	22.72
Peon	hh	8.0000	5.3333	15.34	81.81
					132.55
Materiales					
Piedra 1/2"	m3		0.4146	25.00	10.37
Agua	m3		0.2495	6.00	1.50
Arena gruesa	m3		0.1344	25.00	3.36
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bol		9.1409	20.34	185.93
Perlas de poliestireno	m3		0.0885	141	12.48
					213.63
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	132.55	3.98
Vibrador de concreto	hm	1.0000	0.6667	16.95	11.30
Mezcladora de concreto	hm	1.0000	0.6667	25.42	16.95
					32.22

Fuente: Propia.

De ambos análisis de costos vistos en las tablas 70 y 71, se concluyó que el concreto liviano con perlas de poliestireno (40%), es más costoso en un 3% con respecto al concreto convencional, pero teniendo en cuenta los beneficios que ofrece utilizar un concreto liviano con perlas de poliestireno, a la larga, este concreto sería más beneficioso.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Para la caracterización de agregados se realizaron los ensayos de granulometría, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción; todos estos bajo las normas NTP.

En la granulometría, el módulo de finura obtenido del agregado fino fue de 2.35, lo cual está conforme de acuerdo a la norma NTP 400.037, donde indica que la arena debe estar dentro del límite de 2.3 a 3.1. En cuanto al agregado grueso, se obtuvo un módulo de finura de 5.77 especificado en la Norma NTP 400.037 con el huso 89, y un tamaño máximo nominal de 1/2".

En las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6, se puede apreciar que la curva granulométrica tanto del agregado fino como del grueso, no están dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037, estas curvas muestran que sus componentes no son continuos, sin embargo, la misma norma nos indica que los agregados se podrán utilizar, siempre y cuando, estos, permitan obtener el concreto de la calidad requerida, y esto fue lo que pasó en esta investigación, donde se obtuvo un concreto que llegó a cumplir la resistencia para la cual se diseñó.

El contenido de humedad del agregado fino fue de 1.12% y del agregado grueso de 0.82%, ambos contenidos de humedad en un estado aproximadamente seco.

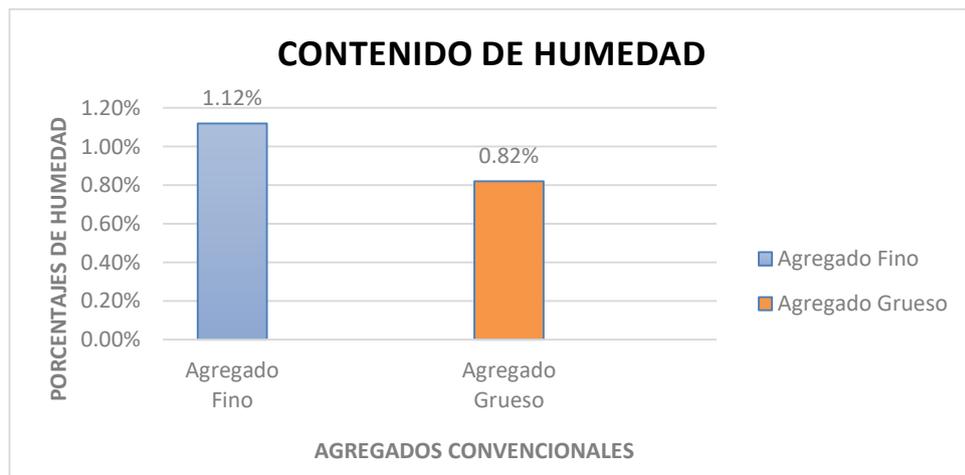


Figura 7. Contenido de humedad de los agregados (%).

Con respecto al peso unitario, se obtuvo valores de 1680 kg/m^3 para el peso unitario suelto y 1860 kg/m^3 para el peso unitario compactado, ambos valores del agregado fino. Mientras tanto para el agregado grueso, se obtuvo valores de 1610 kg/m^3 para el peso unitario suelto y 1750 kg/m^3 para el peso unitario compactado. Esta diferencia de valores que existe entre los del agregado fino y el grueso, se debe a que las partículas del agregado fino, se acomodan mejor dentro del molde que se utilizó, disminuyendo el porcentaje de vacíos.

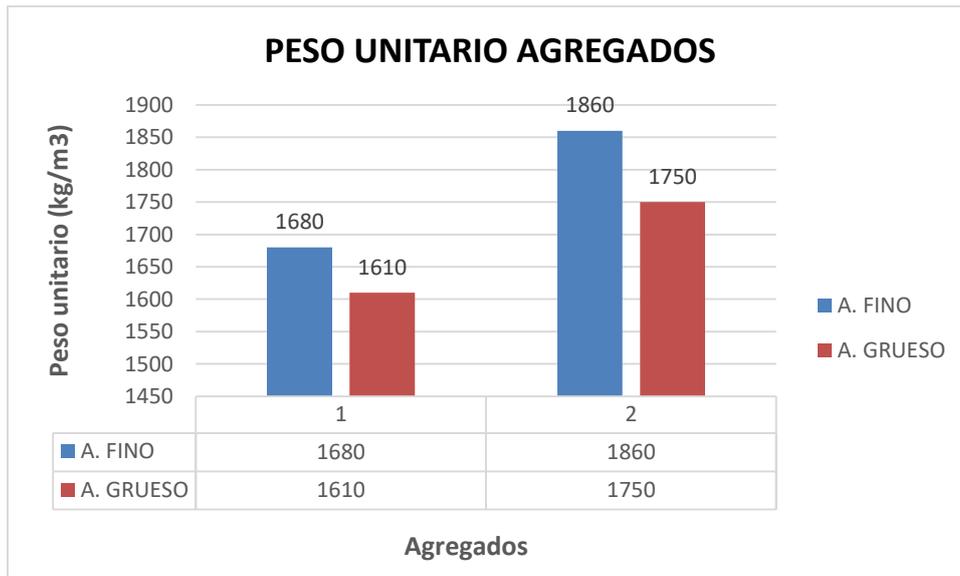


Figura 8. Peso unitario de los agregados (kg/m^3).

En el peso específico de los agregados, se obtuvo valores de $2600 kg/m^3$ para el agregado fino, mientras que para el grueso, se obtuvo $2530 kg/m^3$. En la absorción, se obtuvo un valor de 1.83% para el agregado fino, mientras que, para el agregado grueso, 3.82%. Según estos valores, y los obtenidos en el contenido de humedad, se va a necesitar agregar más agua para el diseño de mezcla del concreto, debido a que, los valores de absorción de los agregados son mayores al contenido de humedad de estos.

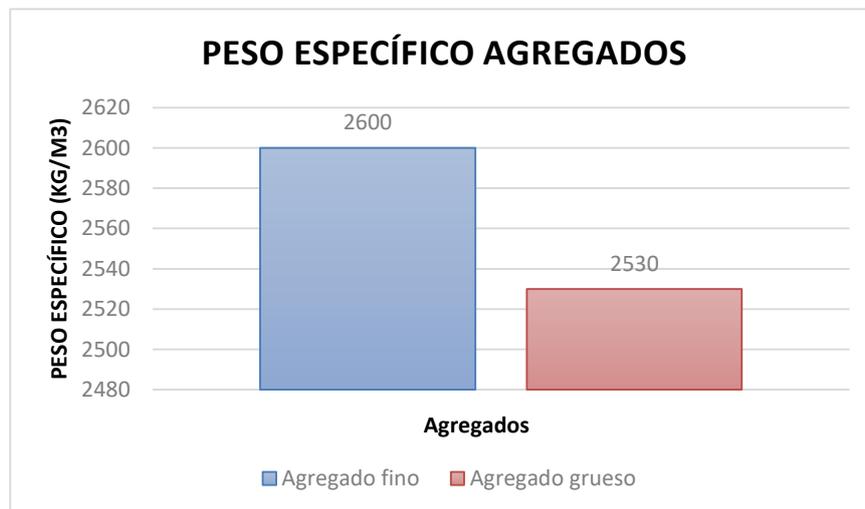


Figura 9. Peso específico (kg/m^3).



Figura 10. Absorción de los agregados (%).

Teniendo ya las características de los agregados convencionales, se procedió a realizar el diseño de mezcla para un concreto con resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , y también para un concreto liviano estructural con porcentajes de perlas de poliestireno que sustituyeron el agregado fino en función de su volumen. Las perlas de poliestireno tenían una densidad de 9.524 kg/m^3 y su tamaño se encontraba en un rango entre 3 mm a 4mm.

Se realizó la prueba de asentamiento al concreto convencional en estado fresco, donde se obtuvo resultados de 80 mm, tal para lo que se había diseñado. Según (Rivera, 2010), existen diferentes valores de asentamientos según el tipo de obra y condiciones de colocación.

Tabla 72. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20 – 35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi – seca	35 – 50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzados.	Colocación con máquinas operadoras manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50 – 100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100 – 150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy húmeda	150 – 200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos “in situ”.	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Súper Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente: (Rivera, 2010).

Según la tabla 72, nuestro asentamiento fue plástico, y con lo cual sería el óptimo para la construcción de losas, que es para lo que estaría diseñado este concreto. Sin embargo, el asentamiento sufrió un aumento de su valor, cuando se adicionó porcentajes de perlas de poliestireno.

Tabla 73. Asentamiento promedio del concreto convencional y con perlas de poliestireno.

% perlas de poliestireno	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Asentamiento (mm)	80	86	90	93	100	110

Fuente: Propia.

Se agregó porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, y fue a partir del 40% donde el concreto en estado fresco presenta un mayor incremento en su asentamiento. Cabe resaltar, que el concreto con 50% de perlas de poliestireno presenta un asentamiento de 110 mm, con lo cual no cumpliría para la construcción de losas.

Este comportamiento, donde el asentamiento aumenta conforme se le va agregando más porcentaje de perlas de poliestireno, se debe a que, según Paulino y Espino (2017), las perlas de poliestireno son un material higroscópico, es decir no absorbe agua, y al reemplazarlo por el agregado fino, que es un material que presenta absorción, la mezcla de concreto no absorbe la misma cantidad de agua, por lo que la mezcla tiende a ser más fluida y aumenta su asentamiento.

En el ensayo de peso unitario, para los porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, se observaron respectivamente disminuciones del 2.22%, 4.89%, 7.48%, 11.38% y 15.41% con respecto al valor del concreto convencional.

Tabla 74. Peso unitario promedio del concreto convencional y con perlas de poliestireno.

% perlas de poliestireno	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Peso unitario (kg/m ³)	2430	2380	2320	2250	2160	2060

Fuente: Propia.

Con estos resultados se puede determinar que la mayor reducción del peso unitario, se da a partir de un 40% de perlas de poliestireno, que es en donde la cantidad de perlitas es mayor a la mitad de agregado fino (volumen absoluto).

De igual manera, según Lituma & Zhunio (2015), indica que se considera concreto ligero, a todo concreto que posee pesos unitarios menores a los del concreto convencional, el cual fluctúa entre 2200 kg/m^3 y 2600 kg/m^3 . Por lo que, de acuerdo a la tabla 74, los únicos que cumplirían como concreto ligero, son los que tienen un porcentaje de sustitución de 40% y 50%.

Finalmente, en el ensayo de resistencia a compresión para los porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, se observaron respectivamente disminuciones del 2.50%, 6.79%, 9.52%, 14.67% y 21.72% con respecto al valor del concreto convencional. Y al igual que en el peso unitario, el mayor incremento de su reducción se observa a partir del 40% de perlas de poliestireno.

Tabla 75. Resistencia a compresión promedio del concreto convencional y con perlas de poliestireno.

% perlas de poliestireno	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Resistencia a compresión (kg/cm^2)	283	276	264	256	242	222

Fuente: Propia.

Según la Norma E.060 Concreto Armado (2009), nos indica que un concreto es considerado estructural, siempre y cuando su resistencia a compresión no sea menor de 21 MPa (2100 kg/cm^2). La tabla 75, nos muestra las resistencias promedio del concreto convencional y el que posee porcentajes de perlas de poliestireno, y en la cual podemos observar que todos cumplen con la resistencia estructural.

Al obtener estos resultados en la resistencia a compresión, podemos afirmar lo mismo que Vidal (2010) en su tesis "Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS)" donde concluye, que al aumentar la adición de poliestireno, disminuye la resistencia a compresión cerca de un 35% en los porcentajes de 50% y 70% de poliestireno, mientras que en nuestros resultados, se ve una pérdida del 21% de resistencia a compresión con respecto al concreto sin adición de perlas de poliestireno, cabe resaltar, que Vidal (2010) en su tesis, reemplaza el poliestireno por el agregado grueso, mientras nosotros por el agregado fino.

Rivas (2010) en su tesis “Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un hormigón liviano con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volumen de perlas de Aislapol”, indica que reemplaza el agregado grueso por perlas de Aislapol (poliestireno), y también presenta una reducción de la resistencia conforme estos porcentajes aumentan, obteniendo para un 50% de perlas de Aislapol, una reducción del 39.71% con respecto al concreto sin adición de perlas.

Lituma y Zhunio (2015) en su tesis “Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón” también reemplazaron distintos porcentajes de perlas de poliestireno por el agregado fino, obteniendo una resistencia promedio de 234 kg/cm^2 para un porcentaje del 60% de perlas de poliestireno. Esta resistencia, se excede en un 5% al valor que obtuvimos para un porcentaje del 50% de perlas de poliestireno, el cual fue de 222 kg/cm^2 .

Así como se reemplaza las perlas de poliestireno por los agregados para obtener concretos livianos, también existen autores que obtuvieron concretos livianos con adición de otro tipo de agregados. Tantaquilla (2017) en su tesis “Influencia de piedra pómez sobre asentamiento, densidad, absorción y resistencia a compresión en concreto liviano estructural” reemplaza tanto el agregado fino como el agregado grueso por piedra pómez.

Tantaquilla (2017) obtiene una resistencia de 261 kg/cm^2 para un concreto con 60% de piedra pómez reemplazando en volumen de agregado fino, mientras que nosotros, obtuvimos una resistencia de 222 kg/cm^2 para un concreto con 50% de perlas de poliestireno en función del volumen del agregado fino. Esta diferencia que existe, nos hizo inducir que las perlas de poliestireno, afectan más en la resistencia a compresión que la piedra pómez, aunque, para un concreto liviano, el factor más determinante es su baja densidad, en el cual las perlas de poliestireno, tendrían la ventaja.

CONCLUSIONES

- Se determinó la influencia de las perlas de poliestireno en un concreto liviano estructural, en porcentajes de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, reemplazando al agregado fino. Donde se comprueba que a mayores porcentajes de perlas de poliestireno, la resistencia a compresión y el peso unitario disminuyen, mientras que el asentamiento aumenta.
- Se caracterizó los agregados, tanto el agregado fino como el grueso, cumpliendo con todas las características físicas, bajo las normas NTP. El agregado fino, presentó un peso unitario suelto de 1680 kg/m^3 , un peso unitario compactado de 1860 kg/m^3 , un peso específico de 2600 kg/m^3 , un módulo fineza de 2.35, un porcentaje de absorción de 1.83 y un porcentaje de humedad de 1.42. Mientras que el agregado grueso, presentó un peso unitario suelto de 1610 kg/m^3 , un peso unitario compactado de 1750 kg/m^3 , un peso específico de 2530 kg/m^3 , un módulo de fineza de 5.77, un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ " , un porcentaje de absorción de 3.82 y un porcentaje de humedad de 0.74.
- Se elaboró un diseño de mezcla para una resistencia de 210 kg/cm^2 para un concreto convencional y uno con porcentajes de perlas de poliestireno en función del volumen del agregado fino, a partir del método ACI 211. En el concreto convencional se obtuvo una resistencia promedio a una edad de 28 días, de 283 kg/cm^2 , mientras que el concreto con perlas de poliestireno con un porcentaje del 10%, obtuvo una resistencia de 276 kg/cm^2 , con 20% se obtuvo una resistencia de 264 kg/cm^2 , con 30% se obtuvo una resistencia de 256 kg/cm^2 , con 40% se obtuvo una resistencia de 242 kg/cm^2 y finalmente, con 50% se obtuvo una resistencia de 222 kg/cm^2 .
- Se determinó el asentamiento y el peso unitario bajo las normas NTP 339.035 y NTP 339.046 respectivamente, para el concreto en estado fresco; y la resistencia a compresión bajo la norma NTP 339.034 para el concreto en estado endurecido. En el concreto convencional se obtuvo un asentamiento de 80 mm, un peso unitario de 2434 kg/m^3 y una resistencia a compresión de 283 kg/cm^2 a una edad de 28 días.

En el concreto con perlas de poliestireno, el porcentaje que cumple para un concreto liviano estructural para losas aligeradas es en el que se le adiciona 40% de perlas de poliestireno, ya que presenta un asentamiento de 100 mm, el cual cumple con el indicado en la tabla 70 para losas aligeradas. El peso unitario fue de 2157 kg/m^3 , el cual es menor al peso unitario del concreto convencional, que está en un rango de 2200 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 , por lo que ya es considerado un concreto liviano. Finalmente la resistencia a compresión que se obtuvo fue de 242 kg/cm^2 , la cual es mayor a la resistencia estructural mínima que indica la norma E.060 Concreto armado.

RECOMENDACIONES

- Entre los porcentajes utilizados, se recomienda utilizar el concreto liviano estructural con 40% de perlas de poliestireno para una losa aligerada, ya que, en este porcentaje se obtuvo un asentamiento adecuado para este elemento, un peso unitario por debajo del concreto convencional y sigue manteniendo una resistencia estructural.
- Se recomienda a empresas constructoras, a utilizar este tipo de concreto cuando ejecuten obras donde no se tenga un terreno con una gran capacidad portante, ya que, debido a esto se necesitará obtener menor peso en las estructuras.
- Se recomienda no utilizar perlas de poliestireno con una densidad menor a 9 kg/m^3 , debido a que se complica su traslado por su baja densidad.
- Se recomienda utilizar un concreto liviano con perlas de poliestireno (40%) en vez de un concreto convencional para una losa aligerada, ya que, a pesar de ser un 3% más costoso, este posee características, que a la larga del proyecto resulta ser más económico, uno de ellos es que, al tener una estructura con menos peso, esta puede reducir su cimentación, lo cual generaría ahorro de costos.
- Se recomienda optar por el uso de otros agregados livianos, tanto naturales como artificiales, en los naturales tenemos la piedra pómez, las cenizas volcánicas, etc. Mientras que los artificiales tenemos la arcilla expandida, etc., y determinar su influencia en un concreto.
- Se recomienda Identificar los cambios que experimentaría el concreto liviano, al no reemplazar el agregado fino por perlas de poliestireno, sino el agregado grueso. Así mismo, utilizar perlas de poliestireno con otros tamaños y densidades.
- Se recomienda realizar ensayos donde se demuestre las ventajas de las perlas de poliestireno en un concreto, como por ejemplo su capacidad de aislante térmico, resistencia al fuego y aislante acústico.

REFERENCIAS

- ACI 211.1. (2016). Diseño de mezclas de concreto.
- Aramayo, G., Buncuga, V., Cahuapé, M., Forgione, F., & Navarrete, A. (2003). *Hormigones con Agregados Livianos*. Rosario: Departamento de Mecánica Aplicada y Estructuras.
- Carrasco, S. (2009). Metodología de investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Lima: San Marcos.
- Ceballos, M. (2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. *Centro de Innovación Tecnológica para la Construcción*, 24-25.
- Cervantes, A. (2008). Nuevas tecnologías en Concretos. Concreto celular, Concreto reforzado con fibra y Concreto ligero estructural. *VirtualPro*, 156.
- Cervantes, A. (2008). Nuevas tecnologías en concretos. Concreto celular, concreto reforzado con fibra, concreto ligero estructural. *VirtualPro*, 141.
- Céspedes, M. (Julio de 2003). Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido. Piura, Perú.
- Hernández, B. (Febrero de 2011). Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con materiales de reciclaje: Plástico y llantas. Guatemala.
- Lituma, M., & Zhunio, B. (Octubre de 2015). Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón. Cuenca, Ecuador.
- Manrique, A. (2012). *Revista VirtualPro*. Obtenido de <https://www.revistavirtualpro.com/revista/cemento-y-concreto/3>
- Naiza, G. (2017). Aplicación del poliestireno expandido en la fabricación de unidades de concreto liviano para muros de tabiquería en la ciudad de Arequipa. Arequipa, Perú.
- NORMAE0.60. (2006). Concreto Armado. Lima.
- NTP 339.183. (2013). Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio. Lima, Perú.
- NTP334.009. (2011). Cementos. Cementos Portland requisitos. Lima.
- NTP339.034. (2008). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Lima.
- NTP339.035. (2009). Asentamiento del concreto. Lima.
- NTP339.046. (2008). Determinación del peso unitario. Lima.
- NTP339.185. (2013). Método Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Lima.
- NTP400.012. (2013). Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima.
- NTP400.017. (2011). Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad y los vacíos en los agregados. Lima.
- NTP400.021. (2002). Peso específico y absorción del agregado grueso. Lima.
- NTP400.022. (2013). Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Lima, Lima.
- NTP400.37. (2014). Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú.
- Ortega, K., Sarmiento, V., & Villegas, A. M. (Diciembre de 2016). *Estudios Económicos*. Obtenido de https://www.camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/Informe%20econ%C3%B3mico%20No%20%2084.pdf
- Paulino, J., & Espino, R. (2017). Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú. Perú.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: PAG Marketing Soluciones.
- Ramos, M. (27 de Noviembre de 2002). Análisis técnico y económico de losas de entrepiso. Piura, Perú.
- Rivas, G. (2010). Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un hormigón liviano con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volumen de perlas de Aislapol. Valdivia, Chile.

- Rivera, G. (2010). *Tecnología del concreto y mortero*. México DF.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santa fe de Bogotá: Bhandar Editores LTDA.
- Tantaquilla, C. (2017). Influencia de piedra pómez sobre asentamiento, densidad, absorción y resistencia a compresión en concreto liviano estructural. Trujillo, Trujillo, Perú.
- Universidad Privada del Norte. (2016). Manual de redacción académica. Perú.
- Valdez, L., & Suarez, G. (2010). Hormigones Livianos. Guayaquil, Ecuador.
- Veliz, A., & Vásquez, J. (2018). Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de aditivos. Arequipa, Perú.
- Vicéns, J., Herrarte, A., & Medina, E. (2005). Análisis de la varianza (ANOVA).
- Vidal, F. (2010). Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS). Valdivia, Chile.

APÉNDICE

Apéndice 1. Procedimiento estadístico de los datos por Anova.

Se utilizará el programa SPSS para corroborar la normalidad de los datos. La variable aleatoria es numérica estando dentro de pruebas paramétricas por lo tanto se realizará el método estadístico ANOVA unifactorial.

- Resistencia a compresión

Hipótesis

H₁: La sustitución de agregado fino por perlas de poliestireno disminuye la resistencia a compresión, Trujillo 2018.

H₀: La sustitución de agregado fino por perlas de poliestireno no disminuye la resistencia a compresión, Trujillo 2018.

Donde:

H₁: Hipótesis alternativa

H₀: Hipótesis nula

Prueba de normalidad

Tabla 76. Prueba de normalidad.

	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
COMPRESIÓN	,105	66	,067	,921	66	,000

Fuente: SPSS

Resistencia a compresión = 0,067 > $\alpha = 0.05$

Análisis de varianza

Tabla 77. Valores de resistencia a compresión de los distintos porcentajes de perlas de poliestireno.

	Resistencia a compresion (kg/cm ²)										
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11
0%	281.734	282.167	285.431	285.413	283.215	281.734	285.463	281.763	283.914	282.846	283.174
10%	275.468	277.824	278.924	276.482	277.761	279.412	274.716	272.648	274.492	277.473	273.852
20%	263.418	265.448	264.927	264.973	266.473	263.499	264.246	263.472	261.769	261.946	264.972
30%	257.813	255.761	258.461	257.883	253.496	252.419	257.144	253.479	259.467	256.119	257.943
40%	237.164	246.197	242.119	243.734	242.516	241.554	239.438	244.497	238.916	242.786	240.793
50%	224.167	218.467	220.484	224.618	223.468	219.738	218.409	224.837	219.495	221.574	224.761

Fuente: Propia.

Tabla 78. Análisis de varianza.

Análisis de la varianza			
Sumatoria	n	Xi	X-
3116.854	11	283.3504	257.2843
3039.052	11	276.2775	
2905.143	11	264.1039	
2819.985	11	256.3623	
2659.714	11	241.7922	
2440.018	11	221.8198	

Fuente: Propia.

Cálculo de suma de cuadrados

- $SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$

$$SCE = 11(283.35-257.28)^2 + 11(276.28-257.28)^2 + 11(264.10-257.28)^2 + 11(256.36-257.28)^2 + 11(241.79-257.28)^2 + 11(221.82-257.28)^2$$

$$SCE = 28438.909$$

- $SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_{.j}^2$

$$SCD = (281.734^2 + 282.167^2 + 285.431^2 + 285.413^2 + 283.215^2 + 281.734^2 + 285.463^2 + 281.763^2 + 283.914^2 + 282.846^2 + 283.174^2 + 275.468^2 + 277.824^2 + 278.924^2 + 276.482^2 + 277.761^2 + 279.412^2 + 274.716^2 + 272.648^2 + 274.492^2 + 277.473^2 + 273.852^2 + 263.418^2 + 265.448^2 + 264.927^2 + 264.973^2 + 266.473^2 + 263.499^2 + 264.246^2 + 263.472^2 + 261.769^2 + 261.946^2 + 264.972^2 + 257.813^2 + 255.761^2 + 258.461^2 + 257.883^2 + 253.496^2 + 252.419^2 + 257.144^2 + 253.479^2 + 259.467^2 + 256.119^2 + 257.943^2 + 237.164^2 + 246.197^2 + 242.119^2 + 243.734^2 + 242.516^2 + 241.554^2 + 239.438^2 + 244.497^2 + 238.916^2 + 242.786^2 + 240.793^2 + 224.167^2 + 218.467^2 + 220.484^2 + 224.618^2 + 223.468^2 + 219.738^2 + 218.409^2 + 224.837^2 + 219.495^2 + 221.574^2 + 224.761^2) - (11 \times 283.35^2 + 11 \times 276.28^2 + 11 \times 264.10^2 + 11 \times 256.36^2 + 11 \times 241.79^2 + 11 \times 221.82^2)$$

$$SCD = 4397605.8 - 4397323.05$$

$$SCD = 282.75$$

- $SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$

$$SCT = SCE + SCD$$

$$SCT = 28438.909 + 282.75 = 28721.659$$

Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE).....6-1=5
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD).....66-6=60
- Grados de libertad total (GLT).....66-1=65

Cálculo de los cuadros medios

- Cálculo medio entre grupos (CME)

$$\frac{SCE}{GLE} = \frac{28438.909}{5} = 5687.782$$

- Cuadrado medio dentro de grupos (CMD)

$$\frac{SCD}{GLD} = \frac{282.75}{60} = 4.713$$

Estadístico de contraste F

$$F = \frac{CME}{CMD} = \frac{5687.782}{4.713} = 1206.828$$

Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{28438.909}{28721.659} \times 100 = 99.02\%$$

Tabla 79. Anova - resistencia a compresión.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	28438.909	5	5687.782	1206.828	2.37
Dentro grupos	282.75	60	4.713		
Total	28721.66	65			

Fuente: Anova.

Como el F EXPERIMENTAL > F TEÓRICO

Se acepta H₁: La sustitución de agregado fino por perlas de poliestireno disminuye la resistencia a la compresión, Trujillo 2018.

Se rechaza H₀: La sustitución de agregado fino por perlas de poliestireno no disminuye la resistencia a compresión, Trujillo 2018.

Apéndice 2. Regresión lineal de la variable resistencia a compresión.

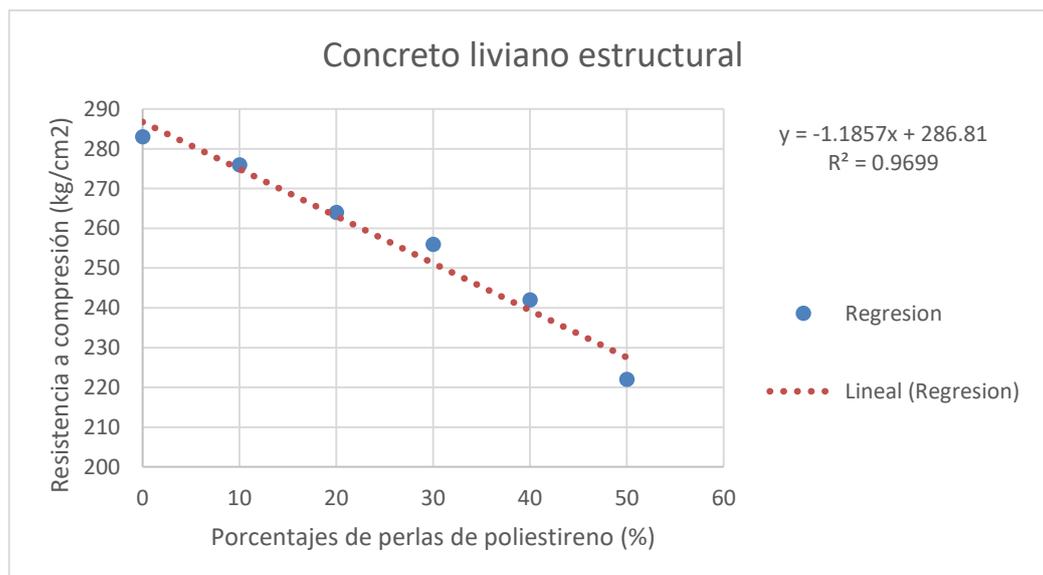


Figura 11. Regresión lineal.

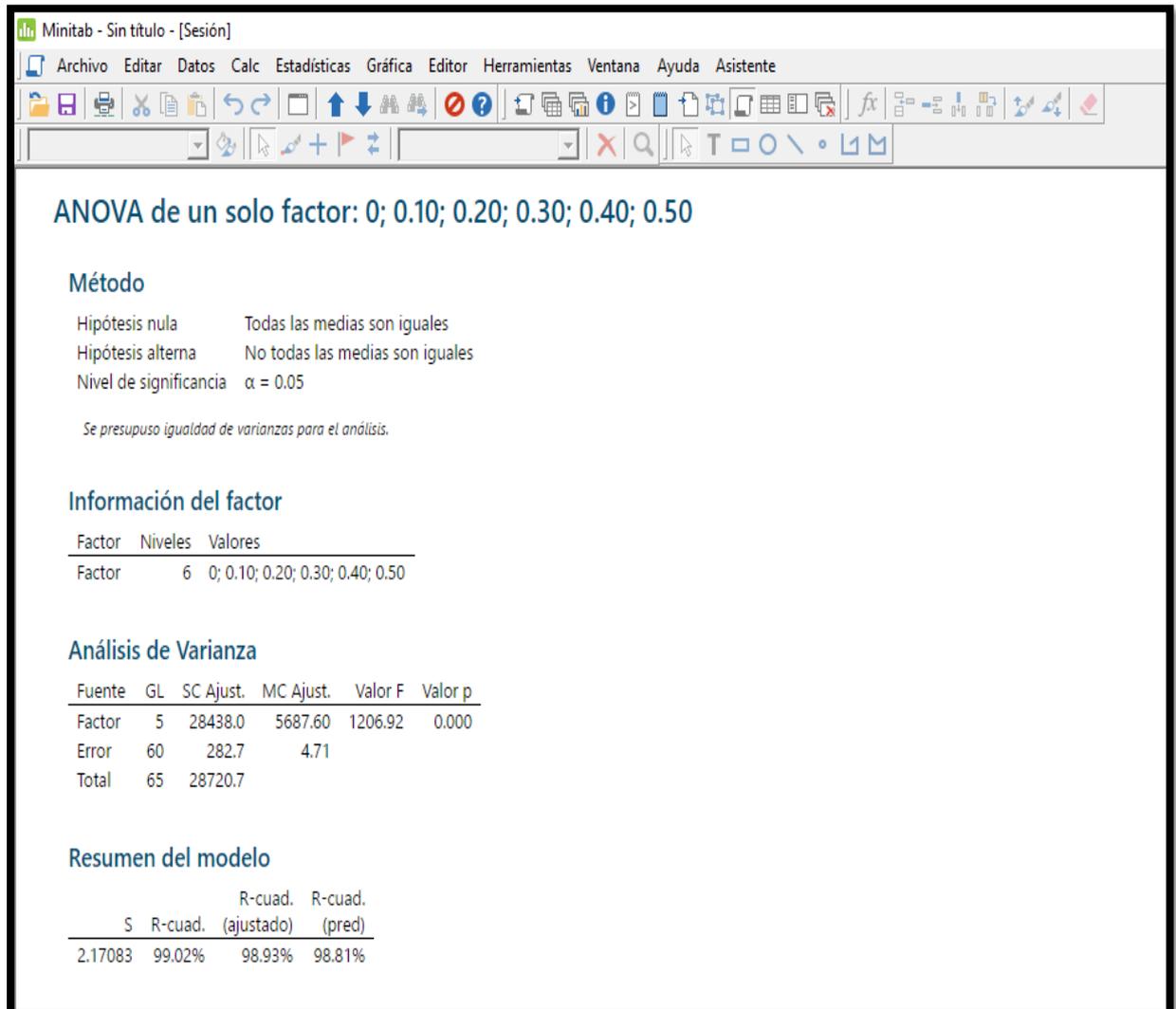
V ₂ \ V ₁	Grados de libertad del numerador (V ₁)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
Inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
Inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Figura 12. Puntos porcentuales de la distribución F0.05, v1, v2.

Prueba de Turkey

Resistencia a compresión

Se analizó la variable de resistencia a compresión en el programa Minitab, a continuación, se muestra todo el procedimiento realizado.



Minitab - Sin título - [Sesión]

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Editor Herramientas Ventana Ayuda Asistente

ANOVA de un solo factor: 0; 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50

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

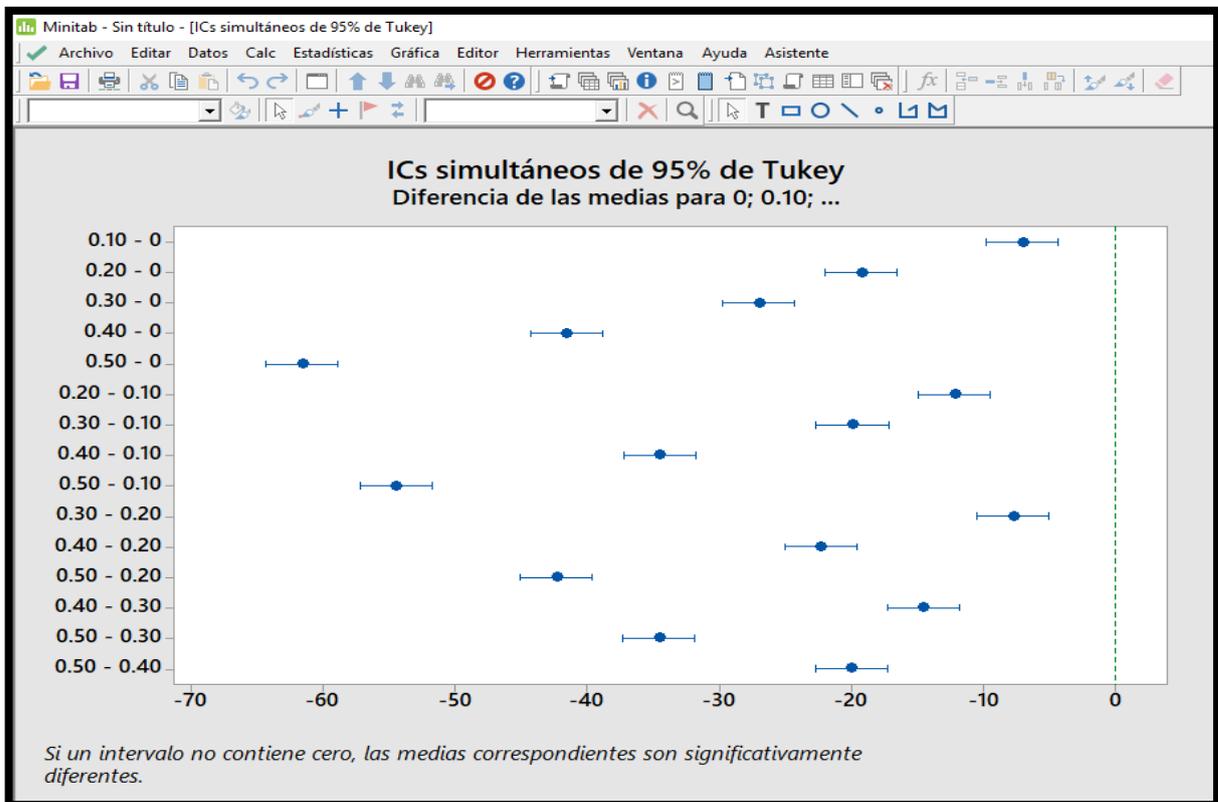
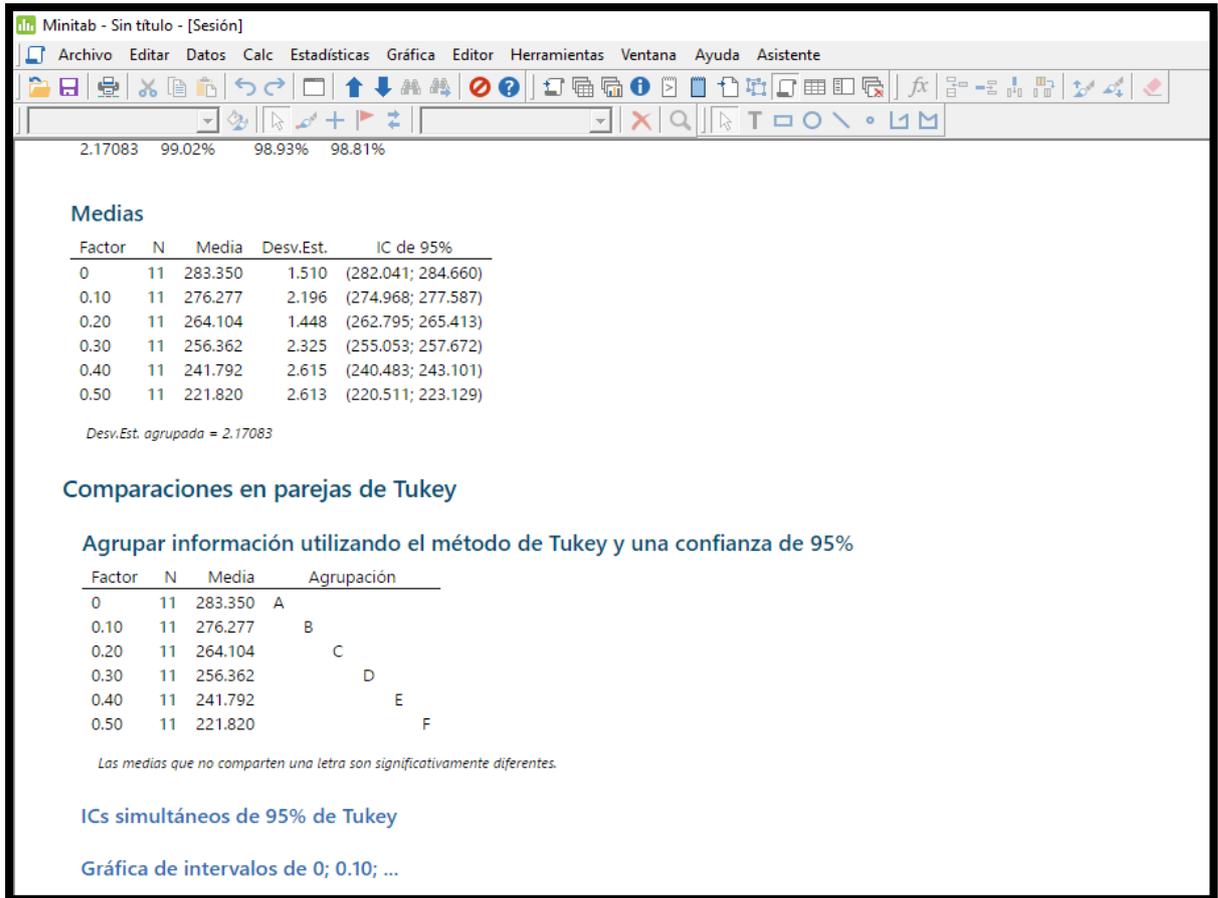
Factor	Niveles	Valores
Factor	6	0; 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50

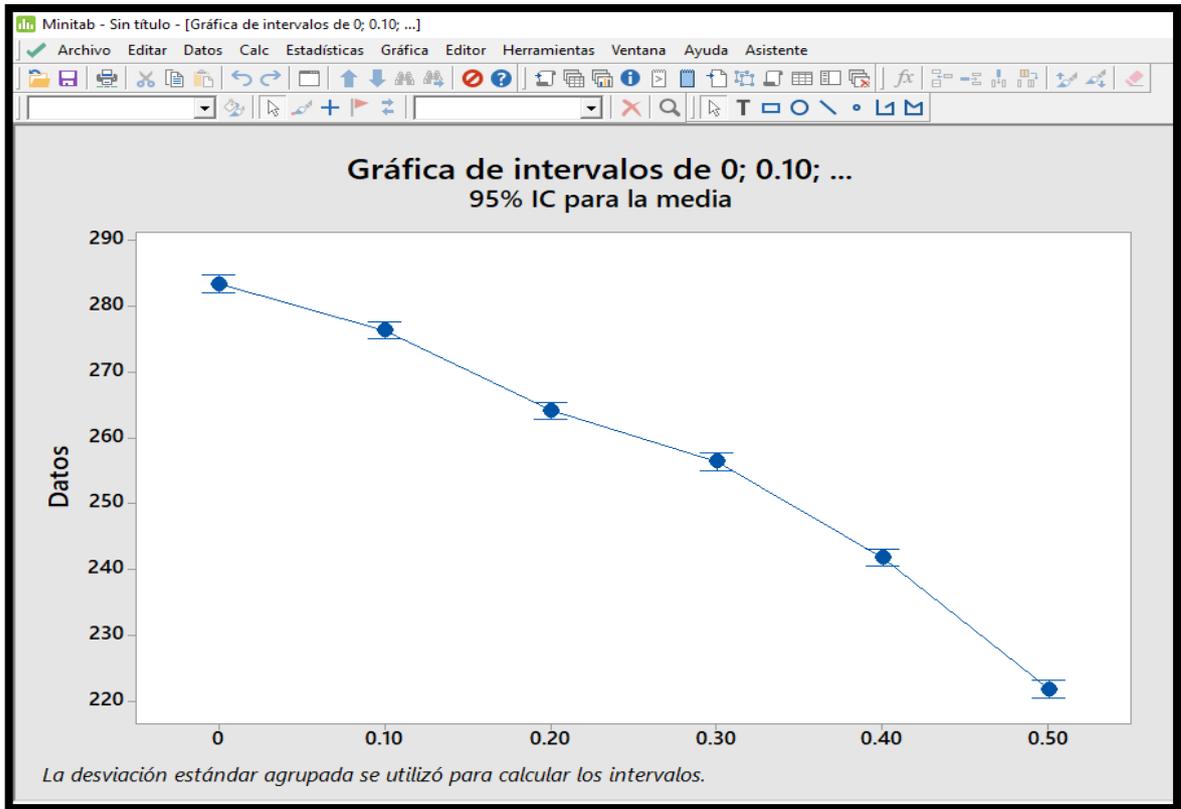
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	5	28438.0	5687.60	1206.92	0.000
Error	60	282.7	4.71		
Total	65	28720.7			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.17083	99.02%	98.93%	98.81%





Peso unitario

Se analizó la variable de peso unitario en el programa Minitab, a continuación, se muestra todo el procedimiento realizado.

ANOVA de un solo factor: 0; 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50

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

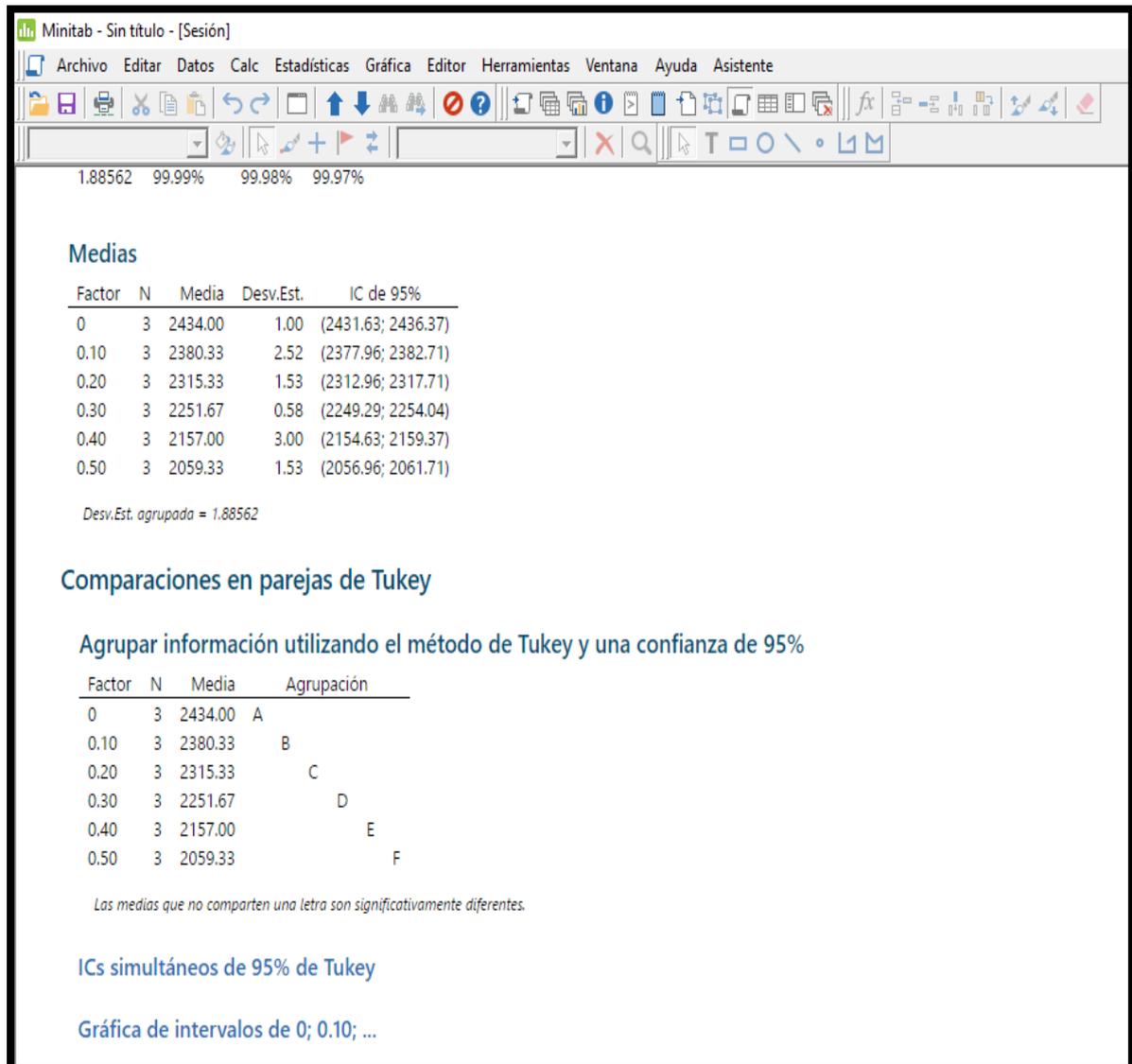
Factor	Niveles	Valores
Factor	6	0; 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50

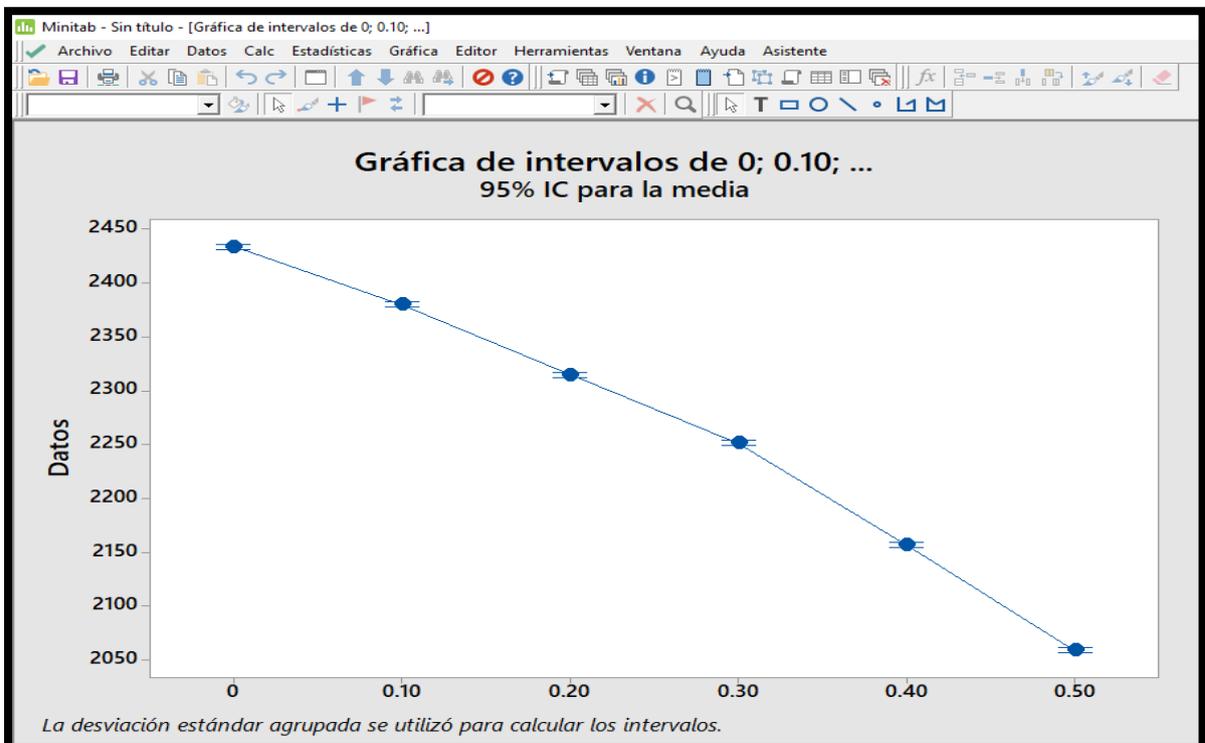
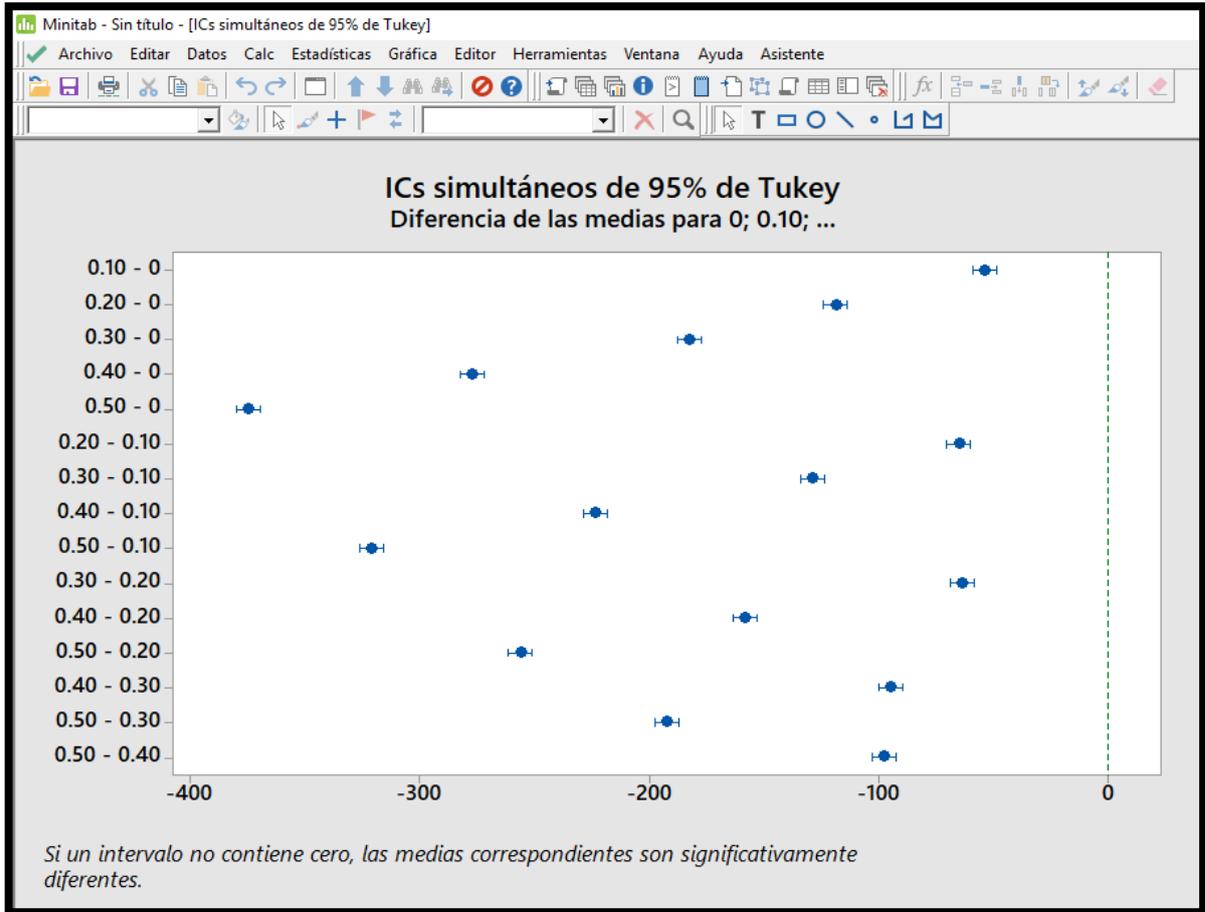
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	5	295581	59116.2	16626.43	0.000
Error	12	43	3.6		
Total	17	295624			

Resumen del modelo

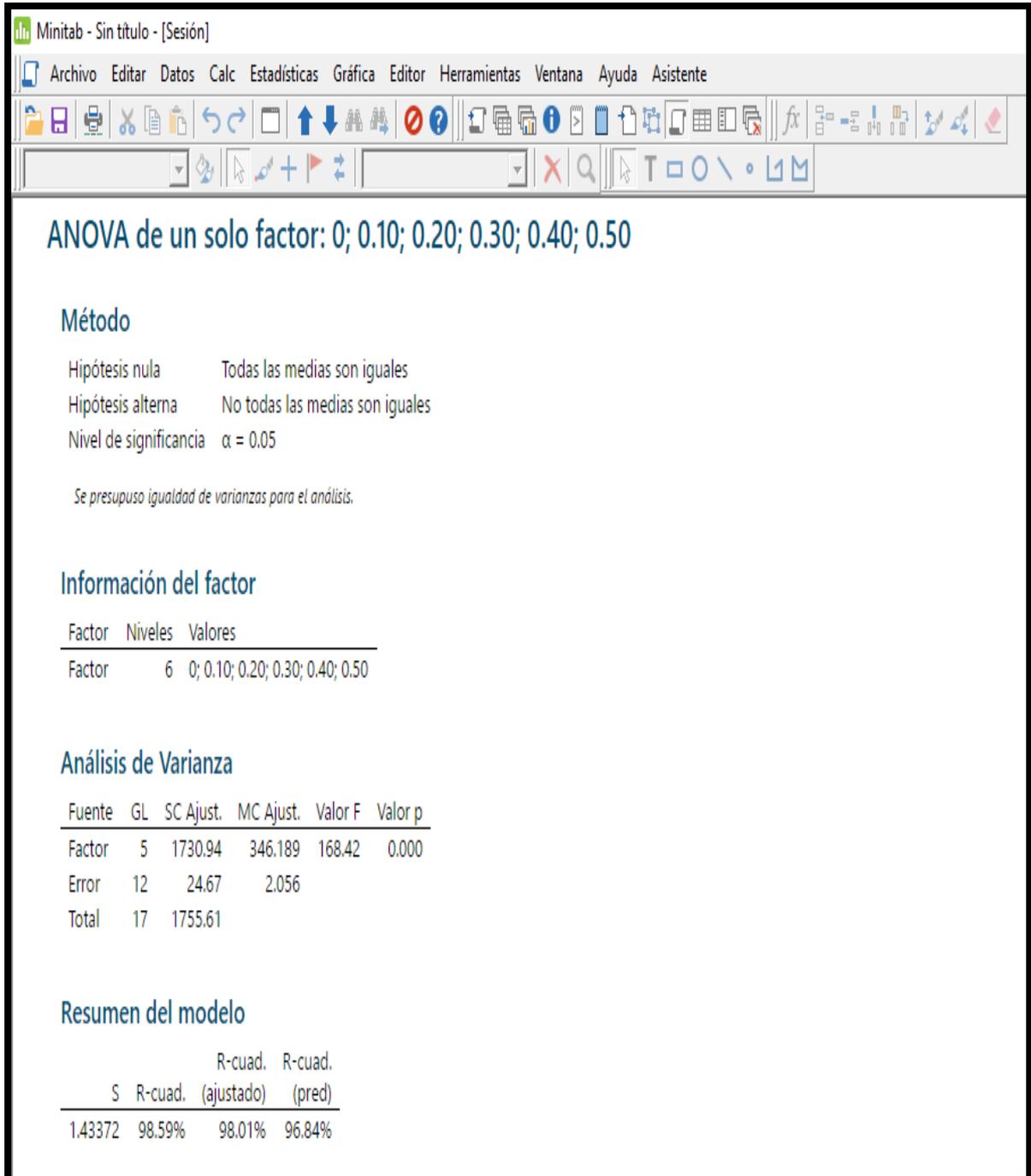
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.88562	99.99%	99.98%	99.97%





Asentamiento

Se analizó la variable de asentamiento en el programa Minitab, a continuación, se muestra todo el procedimiento realizado.



ANOVA de un solo factor: 0; 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50

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

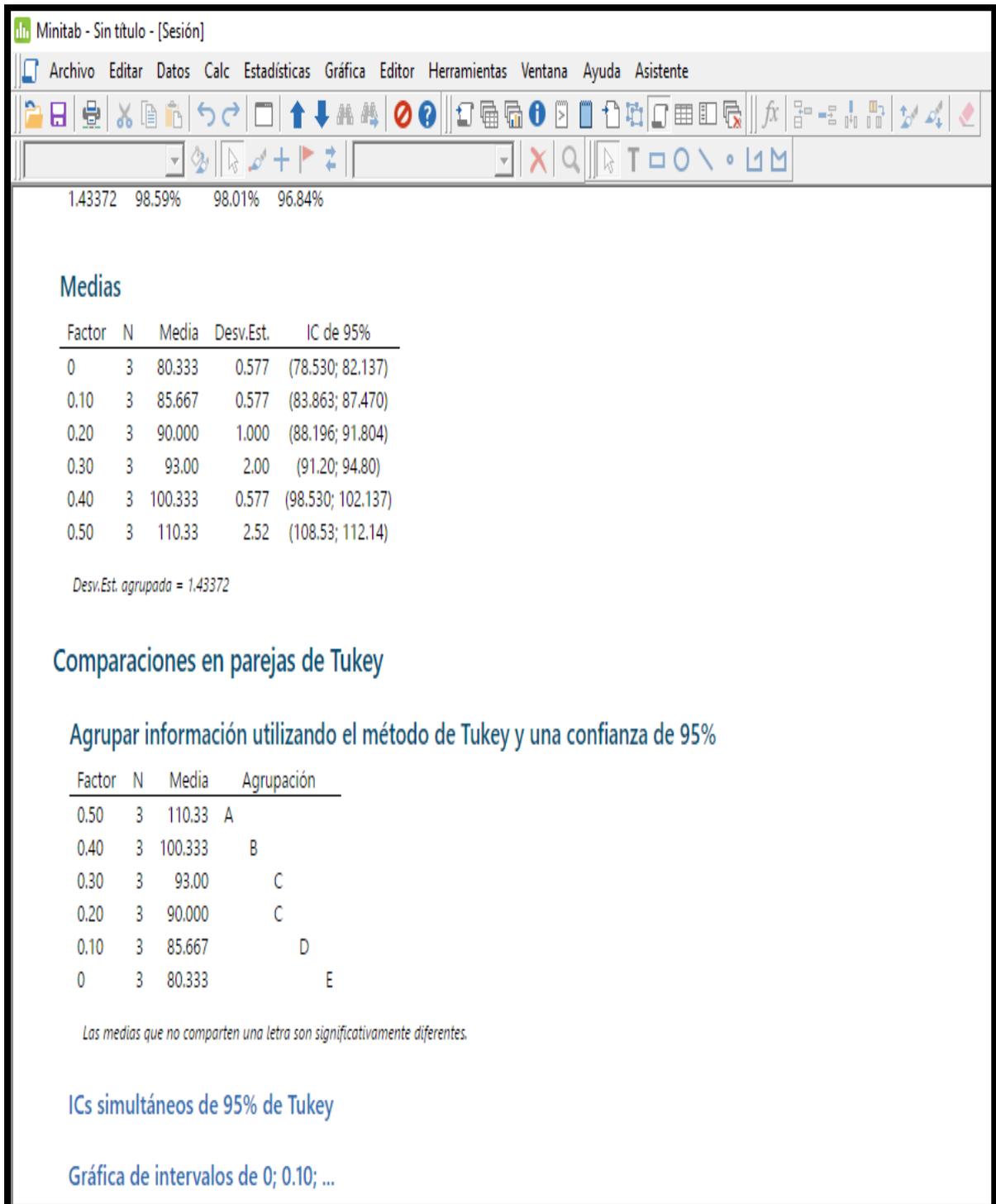
Factor	Niveles	Valores
Factor	6	0; 0.10; 0.20; 0.30; 0.40; 0.50

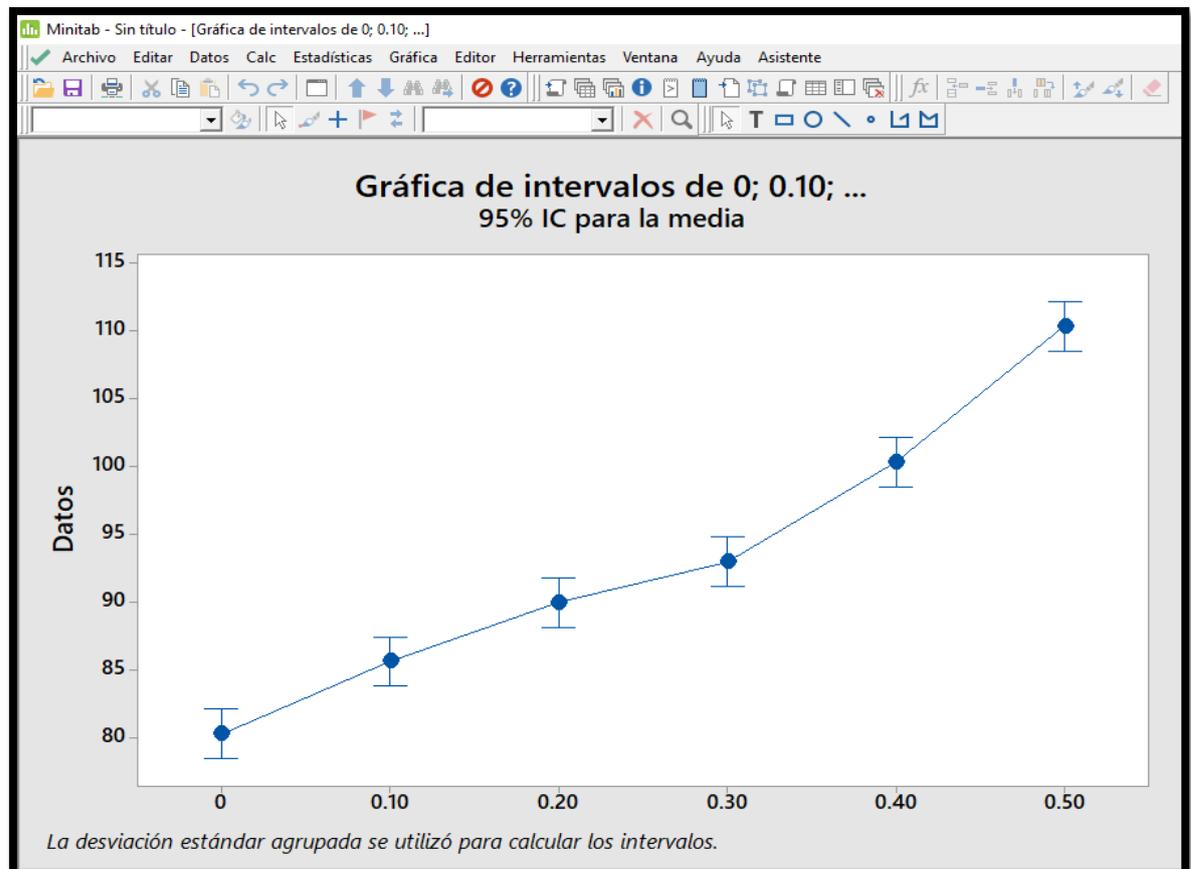
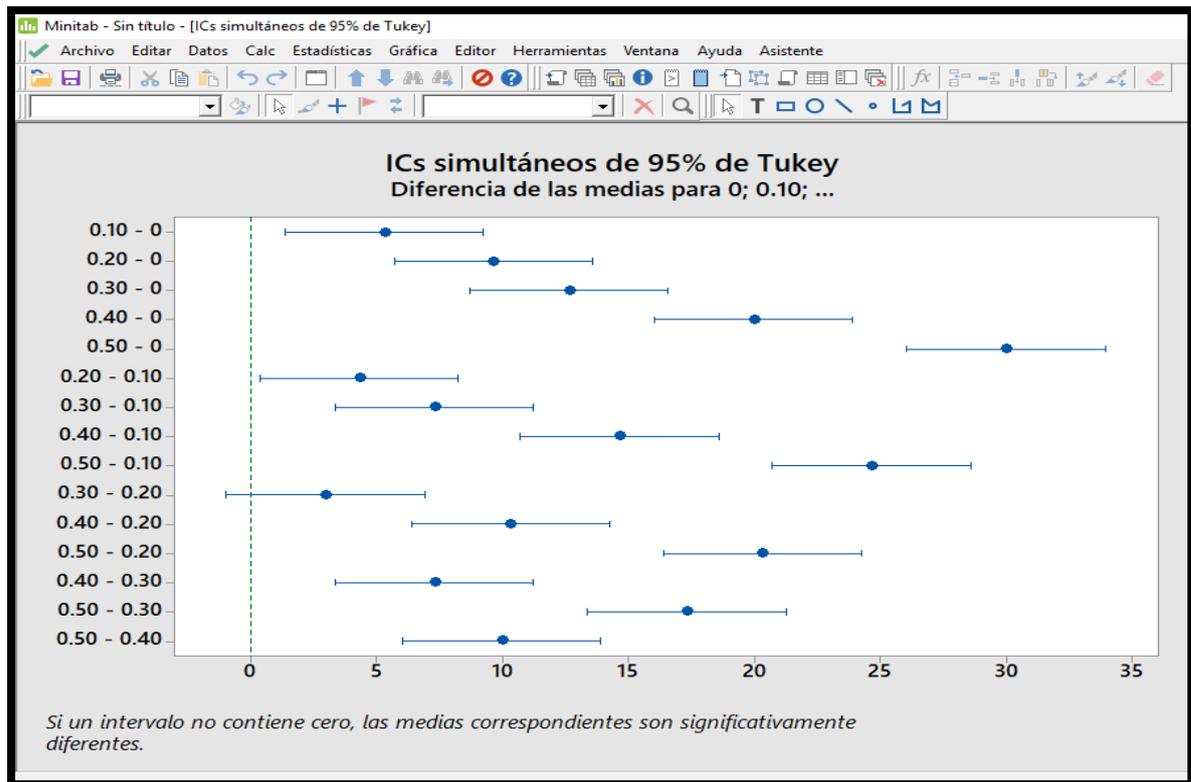
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	5	1730.94	346.189	168.42	0.000
Error	12	24.67	2.056		
Total	17	1755.61			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.43372	98.59%	98.01%	96.84%





ANEXOS



Figura 13. Peso unitario compactado del agregado fino.



Figura 14. Peso unitario compactado del agregado grueso.



Figura 15. *Peso específico del agregado fino - cono.*



Figura 16. *Peso unitario del concreto.*



Figura 17. Vaciado del concreto.



Figura 18. Prueba de Cono de Abrams – concreto convencional.



Figura 19. Secado de probetas de concreto con perlas de poliestireno.



Figura 20. Asentamiento del concreto con perlas de poliestireno.



Figura 21. Distribución de las perlas de poliestireno en el concreto en estado endurecido.



Figura 22. *Probetas desencofradas de concreto con perlas de poliestireno.*



Figura 23. Ensayo de resistencia a compresión – concreto convencional.



Figura 24. Moldes para probetas de concreto.



Figura 25. Poza de curado.



Figura 26. *Probetas para desencofrar.*



Figura 27. Peso unitario del concreto.

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
<i>Área de Metrología</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
<i>Laboratorio de Masa</i>		MT - LM - 303 - 2018
		Página 1 de 4
1. Expediente	18375	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.	
3. Dirección	Mz. G Lt. 24 Urb. Dean Saavedra, El Cortijo San Isidro - Trujillo - LA LIBERTAD	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente. METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Capacidad Máxima	15000 g	
División de escala (d)	2 g	
Div. de verificación (e)	2 g	
Clase de exactitud	II	
Marca	OHAUS	
Modelo	V11P15	
Número de Serie	40910417	
Capacidad mínima	40 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	1-020408 (*)	
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO Y ESTRUCTURAS.	
5. Fecha de Calibración	2018-06-26	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	
2018-07-03	 JUAN C. QUISPE MORALES	
Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá 38 F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Tlf: (511) 340-0542 Cel: (511) 971 439 272 / 942 633 342 / 971 439 282 RPM: # 971439272 / 942633342 / 971439282 RPC: 940037400		
		email: metrologia@metrologia-tecnicas.com ventas@metrologia-tecnicas.com WEB: www.metrologia-tecnicas.com

Figura 28. Certificados de calibración – balanza electrónica 15000 g.

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
<small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industrial y de Laboratorio</small>		
Área de Metrología <i>Laboratorio de Masa</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 301 - 2018
		<small>Página 1 de 4</small>
1. Expediente	18375	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.	
3. Dirección	Mz. G Lt. 24 Urb. Dean Saavedra, El Cortijo San Isidro - Trujillo - LA LIBERTAD.	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente. METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	100 kg	
División de escala (d)	0,005 kg	
Div. de verificación (e)	0,050 kg	
Clase de exactitud	III	
Marca	OHAUS	
Modelo	T21P	
Número de Serie	8036070222	
Capacidad mínima	0,100 kg	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS.	
5. Fecha de Calibración	2018-06-27	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	
2018-07-03	 JUAN C. QUISPE MORALES	
Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf.: (51) 549-0642 Cel.: (51) 971 439 272 / 942 633 342 / 971 439 282 RPN: 4 971439272 / 8942633342 / 8971439282 RPC: 940337490		email: metrologia@metrologiatecnicas.com HUANU@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com

Figura 29. Certificados de calibración - balanza electrónica 100 kg.

METROTEC		METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
Área de Metrología		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Laboratorio de Fuerza		MT - LF - 172 - 2018
		Página 1 de 1
1. Expediente	18375	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.	
3. Dirección	Mz. G Lt. 24 Urb. Dean Saavedra, El Cortijo San Isidro - Trujillo - LA LIBERTAD.	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	250000 lbf	
Marca	FORNEY	
Modelo	F-25EX-F-CPILOT	
Número de Serie	12117	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	FORNEY	
Modelo	NO INDICA	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Número de Serie	TA-1252	
Resolución	1 kgf	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO Y ESTRUCTURAS.	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2018-07-02	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2018-07-05	 JUAN C. QUISPE MORALES	
<p>Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá 36 F1 Lote 24 UPA, San Diego - LIMA - PERÚ Tel: (51) 540-6542 Cel: (51) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282 RPM: +971426272 / +942635342 / +971439282 RPC: 940037490</p> <p>email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com</p>		

Figura 30. Certificado de calibración – Prensa de concreto.

PERLAS DE POLIESTIRENO

Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Es una espuma rígida de color blanco, caracterizada por su baja densidad y alta resistencia física - mecánica en relación a su reducido peso aparente, cuyo nombre genérico es Poliestireno Expandido.



¿Perlas de poliestireno en la fabricación de concreto?

El concreto con perlas de poliestireno es un concreto ligero con una buena capacidad de deformación, cuya aplicación se limita generalmente para uso no estructural debido a sus aparentes propiedades de baja resistencia. Sin embargo, dadas sus excelentes propiedades de capacidad de deformación, este material ha sido utilizado en la fabricación de varios elementos estructurales, tales como: lasas, paneles de revestimiento, sistemas de pisos compuestos, bloques de concreto para muros de carga, entre otros.

Ventajas

- Reducción de peso.
- Excelentes Propiedades térmicas.
- Excelentes propiedades acústicas
- Es impermeable.
- Excelente resistencia al impacto.
- No es tóxica.

Propiedades	
Densidad (kg/m ³)	9,524
Tamaño (mm)	3 - 4

Figura 31. Ficha técnica de las perlas de poliestireno.

CERTIFICADO

DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

La que suscribe, Claudia Yomira Llacza Cruzado, hace constar por medio de la presente que el Sr. Jorge Alex Chuquilín García, identificado con D.N.I N° 71221469, ha realizado ensayos de granulometría, absorción, humedad, peso específico, peso unitario suelto y compactado para los agregados, elaboración de probetas de concreto, y ensayos de resistencia a compresión, asentamiento y peso unitario para el concreto, en las instalaciones del laboratorio de *Estructuras y Concreto* de esta universidad, requeridos para la tesis *"Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento, en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo 2018"*; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 16 de octubre del 2018

Claudia Y. Llacza Cruzado
Asistente de Laboratorio

Figura 32. Certificado de ensayos de laboratorio.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Ensayo granulométrico - AF
NORMA:	NTP 400.012
FECHA:	10/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 3/8"	9.50	544.65	544.65	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	510.50	532.50	22.00	4.40	4.40	95.60
N° 8	2.36	478.00	550.50	72.50	14.50	18.90	81.10
N° 16	1.18	404.00	473.50	69.50	13.90	32.80	67.20
N° 30	0.60	373.50	444.50	71.00	14.20	47.00	53.00
N° 50	0.30	348.50	417.50	69.00	13.80	60.80	39.20
N° 100	0.15	328.00	482.50	154.50	30.90	91.70	8.30
Fondo		445.00	486.50	41.50	8.30	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		500.00	100.00		

Figura 33. Guía de observación – 1.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Ensayo granulométrico - AF
NORMA:	NTP 400.012
FECHA:	10/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 3/8"	9.50	544.65	544.65	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	510.50	530.50	20.00	4.00	4.00	96.00
N° 8	2.36	478.00	523.00	45.00	9.00	13.00	87.00
N° 16	1.18	404.00	453.00	49.00	9.80	22.80	77.20
N° 30	0.60	373.50	435.50	62.00	13.40	35.20	64.80
N° 50	0.30	348.50	422.50	74.00	14.80	50.00	50.00
N° 100	0.15	328.00	522.00	194.00	38.20	88.20	11.80
Fondo		445.00	501.00	56.00	11.20	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		500.00	100.00		

Figura 34. Guía de observación – 2.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Ensayo granulométrico - AF
NORMA:	NTP 400.012
FECHA:	10/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 3/8"	9.50	544.65	544.65	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	510.50	534.50	24.00	4.80	4.80	95.20
N° 8	2.36	478.00	538.00	60.00	12.00	16.80	83.20
N° 16	1.18	404.00	461.50	57.50	11.50	28.30	71.70
N° 30	0.60	373.50	436.50	63.00	12.60	40.90	59.10
N° 50	0.30	348.50	419.50	71.00	14.20	55.10	44.90
N° 100	0.15	328.00	505.00	177.00	35.40	90.50	9.50
Fondo		445.00	492.50	47.50	9.50	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		500.00	100.00		

Figura 35. Guía de observación – 3.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Ensayo granulométrico - AG
NORMA:	NTP 400.012
FECHA:	11/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.5	565.50	565.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	539.00	539.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	549.50	549.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	536.50	541.00	4.50	0.23	0.23	49.77
3/8"	9.50	525.00	972.00	452.00	22.79	23.02	76.78
N° 4	4.75	506.50	1446.50	1040.00	62.33	75.35	24.65
N° 8	2.36	453.50	733.50	280.00	14.09	89.43	10.57
Fondo		445.00	655.00	210.00	10.57	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		1987.50	100.00		

Figura 36. Guía de observación – 4.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Ensayo granulométrico - AG
NORMA:	NTP 400.012
FECHA:	11/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.5	565.50	565.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	539.00	539.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	549.50	549.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	536.50	544.15	7.65	0.38	0.38	99.62
3/8"	9.50	525.00	840.96	215.46	15.86	16.25	83.75
N° 4	4.75	506.50	1548.30	1041.80	52.39	68.64	31.36
N° 8	2.36	453.50	784.00	330.50	16.62	85.26	14.74
Fondo		445.00	738.15	293.15	14.74	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		1988.56	100.00		

Figura 37. Guía de observación – 5.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Ensayo granulométrico - AG
NORMA:	NTP 400.012
FECHA:	11/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.5	565.50	565.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	539.00	539.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	549.50	549.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	536.50	548.00	11.50	0.58	0.58	99.42
3/8"	9.50	525.00	845.00	320.00	16.00	16.58	83.42
N° 4	4.75	506.50	1050.50	1044.00	52.20	68.78	31.22
N° 8	2.36	453.50	787.00	332.50	16.68	85.45	14.55
Fondo		445.00	736.00	291.00	14.55	100.00	0.00
		Peso tamizado (g) =		2000.00	100.00		

Figura 38. Guía de observación – 6.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Contenido de humedad
NORMA:	NTP 339.185
FECHA:	13/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Muestra	Código	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)
					(Ph)	(Ps)		
Agregado Fino	M1	39	189.50	188.00	150.50	149.00	1.01	
	M2	40	190.00	188.00	150.00	148.00	1.35	1.12
	M3	71	223.00	225.50	150.00	148.50	1.01	
Agregado Grueso	J1	152	1152.00	1143.50	1000.00	991.50	0.86	
	J2	180.5	1182.50	1176.00	1000.00	992.50	0.76	0.83
	J3	167	1167.00	1158.50	1000.00	991.50	0.86	

Figura 39. Guía de observación – 7.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Peso unitario suelto y compactado (A ¹)
NORMA:	NTP 400.017
FECHA:	13/09/2018
HORA:	04:00 pm
OBSERVACIÓN:	

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado fino	P ₁	3.348	15.144	16.338	11.796	12.99	0.009	1690	1860
	P ₂	3.348	15.146	16.340	11.798	12.992	0.009	1690	1860
	P ₃	3.348	15.178	16.456	11.780	13.108	0.009	1630	1870
Promedio								1690	1860

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado grueso	P ₁	5.312	29.082	28.502	23.75	25.19	0.0134	1620	1730
	P ₂	5.312	26.932	28.810	21.52	23.498	0.0134	1610	1750
	P ₃	5.312	26.76	28.852	21.44	23.54	0.0134	1600	1760
Promedio								1640	1750

Figura 40. Guía de observación – 8.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Peso específico y absorción
NORMA:	NTP 400.022 - NTP 400.021
FECHA:	14/09/2018
HORA:	08:00 am
OBSERVACIÓN:	

Muestra	Código	Peso seco (g)	Peso de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		A	B	C	S				
Agregado Fino	J1	492	670	982	500	2610	2653	2727	1.63
	J2	491	669	980	500	2591	2639	2721	1.82
	J3	490	670	982	500	2600	2653	2746	2.04
						2600	2648	2731	1.83

Muestra	Código	Peso de la muestra saturada en el aire (g)	Peso de la muestra sumergida (g)	Peso de la muestra seca (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		B	C	A				
Agregado Grueso	M1	2278	1416	2200	2546	2799	2799	3.55
	M2	2246	1390	2160	2517	2798	2798	3.98
	M3	2292	1404	2186	2512	2788	2788	3.93
						2530	2795	2795	3.82

Figura 41. Guía de observación – 9.

GUIA DE OBSERVACIÓN

"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL, PASA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"	
AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Asentamiento del concreto (slump)
NORMA:	NTP 339.035
FECHA:	17/09/2018
HORA:	09:00 am
OBSERVACIÓN:	

*Los valores de asentamiento están en mm.

0%	10%	20%	30%	40%	50%
80	86	90	93	100	110
81	85	89	91	100	108
80	86	91	95	101	113

Figura 42. Guía de observación – 10.

GUIA DE OBSERVACIÓN

**"INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO,
RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL,
PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018"**

AUTOR:	JORGE ALEX CHUQUILIN GARCÍA
ENSAYO:	Peso unitario del concreto
NORMA:	NTP 339.046
FECHA:	17/09/2018
HORA:	09:30 am
OBSERVACIÓN:	

*Los valores de peso unitario están en kg/m³.

0%	10%	20%	30%	40%	50%
2434	2380	2315	2252	2157	2059
2435	2383	2314	2251	2154	2058
2433	2378	2317	2252	2160	2061

Figura 43. Guía de observación – 11.

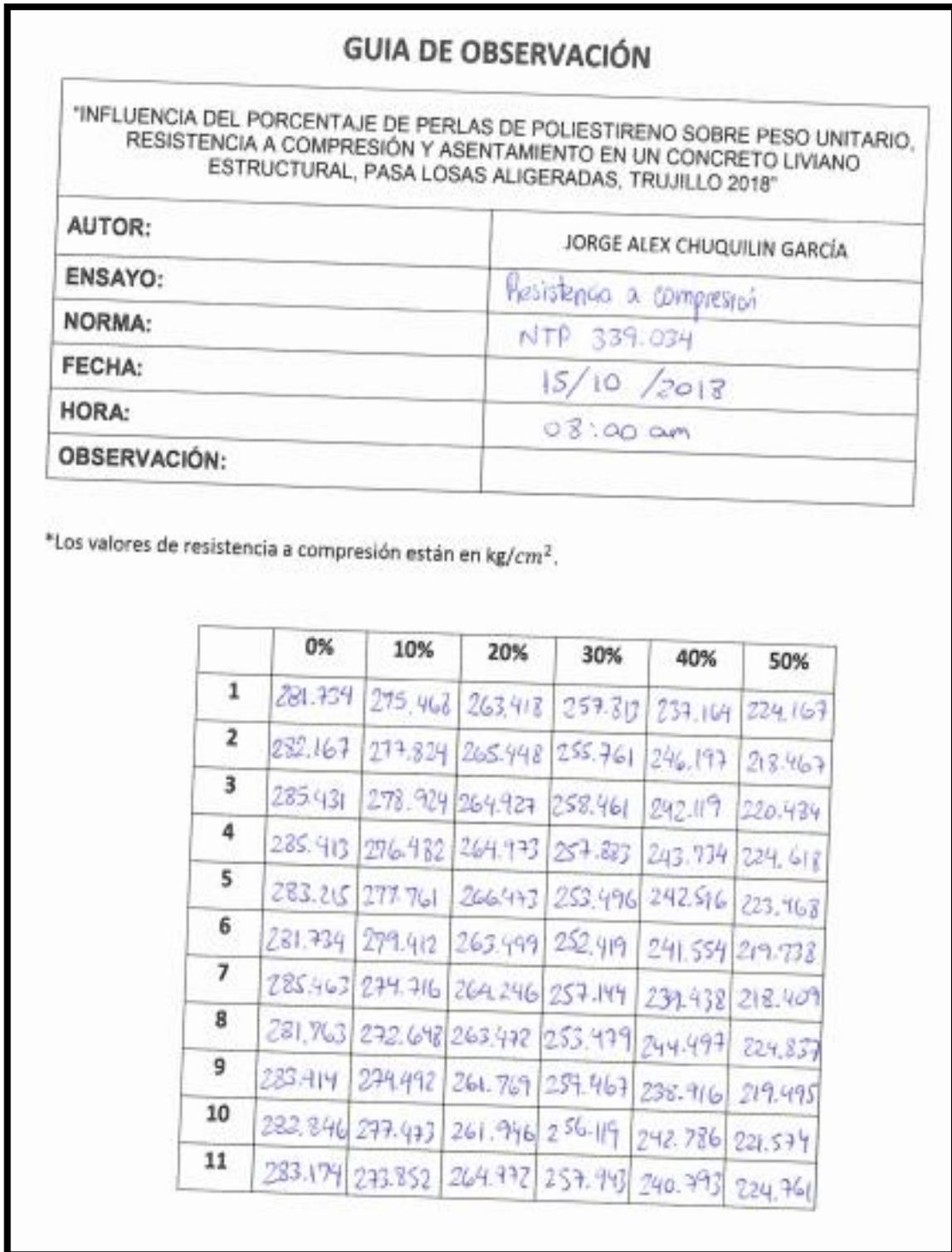


Figura 44. Guía de observación – 12.