



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
**Universidad del Perú. Decana de América**  
Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica  
Unidad de Posgrado

**Ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y  
poliestireno extruido recuperados para la  
fabricación de concreto en Huancayo**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctora en Ciencias  
Ambientales

**AUTOR**

Janet Yéssica ANDÍA ARIAS

**ASESOR**

Dra. Raymundo ERAZO ERAZO

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Andía, J. (2022). *Ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados para la fabricación de concreto en Huancayo* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Janet Yéssica Andía Arias
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	20118319
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6084-0672">https://orcid.org/0000-0002-6084-0672</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Raymundo Erazo Erazo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08439329
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1480-7641">https://orcid.org/0000-0003-1480-7641</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Rolando Reátegui Lozano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06418510
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Jorge Leonardo Jave Nakayo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01066653
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Elmer González Benites Alfaro
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07867259
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	C.0.5.11. Innovación y mejora de materiales y tecnología de la construcción

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio Inversiones Generales Centauro Ingenieros SAC País: Perú Departamento: Junín Provincia: Huancayo Distrito: Huancayo Urbanización: Saños Chico Avenida: Mariscal Castilla Nro 3950 El Tambo - Huancayo Latitud: -12.031376748853964 Longitud: -75.233306459064
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018-2022
URL de disciplinas OCDE	Ciencias del Medio Ambiente: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</a>



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los diez días del mes de junio del año dos mil veintidos, siendo las 11.30 horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000294-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 26 de mayo del 2022, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

#### TÍTULO

**«ECOAPROVECHAMIENTO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y POLIESTIRENO EXTRUIDO RECUPERADOS PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO EN HUANCAYO»**

Presentado por la Mg. **JANET YÉSSICA ANDÍA ARIAS**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA** en **CIENCIAS AMBIENTALES**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 08341/FIGMMG/2017 de fecha 14 de setiembre del 2017, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 72 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

*Muy Bueno (18)*

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA** en **CIENCIAS AMBIENTALES** a la Mg. **JANET YÉSSICA ANDÍA ARIAS**.

Siendo las 12:30 horas, se dio por concluido al acto académico.

  
DR. ROLANDO REATEGUI LOZANO  
Presidente

  
DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO  
Secretario

  
DR. ELMER GONZALES BENITES ALFARO  
Miembro

  
DR. RAYMUNDO ERAZO ERAZO  
Asesor

## **Dedicatoria**

A Dios y la virgencita de Guadalupe por su gran amor y bendiciones, por estar siempre acompañándome día a día, a mi familia por su gran apoyo incondicional. Y en especial a mi abuelito Mauro y mi abuelita María que, aunque no estén presentes sus recuerdos siempre serán un incentivo para seguir adelante recordando el sí se puede.

## **Agradecimiento**

A mi asesor Dr. Erazo, quien ha sabido guiarme con mucha paciencia, amistad y grandes enseñanzas, a la Unidad y Escuela de Post grado de la Facultad de Ingeniería Geología, Minera, Metalúrgica y Geográfica por su apoyo y atención agradable, a la empresa Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C. por permitirme la realización de todos los ensayos en sus instalaciones.

## INDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1    Situación Problemática .....	2
1.2    Formulación del problema .....	6
1.2.1    Problema General:.....	6
1.2.2    Problemas Específicos:.....	6
1.3    Justificación de la investigación .....	6
1.3.1    Justificación Teórica .....	7
1.3.2    Justificación Práctica .....	7
1.3.3    Justificación ambiental .....	8
1.4.1    Objetivo General: .....	8
1.4.2    Objetivos Específicos: .....	8
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1    Marco Filosófico.....	10
2.2    Antecedentes del Problema.....	12
2.2.1    Antecedentes Internacionales.....	12
2.2.2    Antecedentes Nacionales .....	27
2.3    Bases Teóricas .....	29
2.3.1    Poliestireno expandido .....	29
2.3.2    Propiedades físicas del poliestireno expandido.....	30
2.3.2.4    Permanencia dimensional .....	31

2.3.2.5	Persistencia frente a la temperatura .....	31
2.3.3	Ventajas del poliestireno.....	31
2.3.4	Protección del medio ambiente .....	32
2.3.5	Propiedades Químicas .....	32
2.3.6	Propiedades Biológicas.....	33
2.3.7	Comportamiento frente al fuego .....	33
2.3.8	Poliestireno extruido .....	34
2.3.8.1.	Características.....	35
	<i>De acuerdo con la Asociación Nacional de poliestireno .....</i>	<i>35</i>
2.3.8.2.	Aplicaciones.....	35
2.3.9	Concreto .....	35
2.3.9.1	Tipos de concreto.....	36
2.3.9.2	Propiedades del concreto .....	36
2.3.9.2.1	<i>En estado fresco .....</i>	<i>36</i>
2.3.9.2.2	<i>En estado endurecido .....</i>	<i>37</i>
2.3.10	Resistencia a la compresión del concreto.....	38
2.3.11	Contaminación Ambiental.....	39
2.3.12	Aprovechamiento de los residuos .....	41
2.3.13	Residuos sólidos .....	42
2.3.14	Reciclaje .....	42
2.4	MARCO CONCEPTUAL .....	43
	<b>CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>45</b>
3.1	HIPÓTESIS GENERAL.....	45
3.2	HIPÓTESIS ESPECIFICAS .....	45
3.3	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	45
3.3.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	45
3.3.2	VARIABLE DEPENDIENTE .....	45



B.	Ensayo del peso unitario compactado del agregado grueso y fino (A.S.T.M. C29/C29M - 17a).	59
4.6.2.1.6	Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino y del Agregado Grueso (A.S.T.M. C566).	60
4.6.2.1.7	Ensayo de Equivalente de Arena (N.T.P. 339.146:2000).	61
4.6.2.1.8	Ensayo de Material que Pasa por la Malla 200 (MTC E 202-2016).	61
4.6.2.1.9	Ensayo de Abrasión de los Ángeles (MTC E 207-2016).	62
4.6.2.1.10	Ensayo de Impurezas Orgánicas. (MTC E 213-2016).	63
4.6.2.1.11	Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio (MTC E 209-2016).	64
4.6.2.1.12	Ensayo de Sales del Agregado Fino (MTC E 219-2016).	65
4.6.2.1.13	Ensayos químicos de sulfatos del agregado fino y del agregado grueso (MTC E 219-2016).	66
4.6.2.1.14	Método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en especímenes cilíndricos (ASTM C39/C39M-12).	66
4.7	Instrumentos de Recolección de Datos	79
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>80</b>
5.1	Resultados de los ensayos (resumen)	80
5.2	Análisis Descriptivo de la Resistencia a la compresión de concreto	94
5.3	Análisis de la influencia del poliestireno recuperado en la fabricación del concreto	100
5.3.1	Análisis general (modelo lineal general univariado, ANOVA bifactorial)	101
5.4	Análisis - interpretación y Discusión de resultados	106

5.5 Prueba de Hipótesis .....	108
<b>CONCLUSIONES</b> .....	110
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	111
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	112
<b>ANEXOS</b> .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Botadero de los residuos sólidos en las riberas del río Mantaro Huancayo.</i>	5
<i>Figura 2: Botadero de los residuos sólidos en las riberas del río Mantaro Huancayo - Aguas de las Vírgenes</i>	5
<i>Figura 3: Poliestireno extruido limpio con un paño absorbente</i>	46
<i>Figura 4: Poliestireno extruido lavado y secado con un paño absorbente</i>	47
<i>Figura 5: Desmenuzado del poliestireno extruido con un rayador doméstico</i>	47
<i>Figura 6: Granulometría del agregado fino - ASTM C33-16</i>	54
<i>Figura 7: Granulometría Del Agregado Grueso -- ASTM C33-16</i>	55
<i>Figura 8: Ensayo de laboratorio de peso específico del agregado fino N.T.P. 400.022</i>	56
<i>Figura 9: Peso específico del agregado grueso</i>	57
<i>Figura 10: Peso unitario compactado del agregado fino</i>	58
<i>Figura 11: Peso unitario compactado del agregado grueso - A.S.T.M. C29/C29M - 17 a</i>	60
<i>Figura 12: Contenido de humedad del agregado fino</i>	60
<i>Figura 13: Equivalente de arena - N.T.P. 339.146:2000</i>	61
<i>Figura 14: Material que pasa la malla Nº 200 - MTC E 202-2016</i>	62
<i>Figura 15: Abrasión de los Ángeles</i>	63
<i>Figura 16: Impurezas Orgánicas Del Agregado Fino</i>	64
<i>Figura 17: Durabilidad Al Sulfato De Magnesio Del Agregado Grueso y Fino - MTC E 209-2016</i>	65
<i>Figura 18: Sales en el agregado fino y grueso</i>	66
<i>Figura 19: Tipos de fallas del concreto sometido a compresión</i>	67
<i>Figura 20: Porcentaje de Caras Fracturadas</i>	68
<i>Figura 21: Espécimen de 4" x 8" de 7 días para ensayo mecánico de resistencia - ASTM C39/C39M-12 – EPS</i>	69
<i>Figura 22: Espécimen de 4" x 8" de 14 días para ensayo mecánico de resistencia - ASTM C39/C39M-12 – EPS</i>	69
<i>Figura 23: Espécimen de 4" x 8" de 28 días para para ensayo mecánico de resistencia - ASTM C39/C39M-12 – EPS</i>	70
<i>Figura 24: Espécimen de 4" x 8" de 28 días para ensayo mecánico de resistencia - ASTM C39/C39M-12 – EPS</i>	70

<i>Figura 25: Especímenes de concreto – EPS con sustitución del 20% agregado fino y 30% agregado grueso .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 26: Especímen ensayado de 4" x 8" de 3 días, con sustitución del 20% agregado fino y 30% agregado grueso. EPS. Ensayo de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas. - ASTM C39/C39M-12 .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 27: Especímen ensayado de 4" x 8" de 7 días, con sustitución del 20% agregado fino y 30% agregado grueso – EPS. ASTM C39/C39M-12.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 28: Especímen de 4" x 8" de 21 días, con sustitución del 20% Agregado fino y 30% Agregado grueso – EPS - ASTM C39/C39M-12 .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 29: Especímen ensayado de 4" x 8" de 3 días, con sustitución del 40% agregado fino y 30% agregado grueso - EPS - ASTM C39/C39M-12 .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 30: Especímen ensayado de 4" x 8" de 28 días, con sustitución del 60% agregado fino y 70% agregado grueso – EPS - ASTM C39/C39M-12 .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 31: Especímen ensayado de 4" x 8" de 7 días, con sustitución del 30% agregado fino y 20% agregado grueso - XPS Lavado - ASTM C39/C39M-12 .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 32: Especímen ensayado de 4" x 8" de 21 días, con sustitución del 20% agregado fino y 30% agregado grueso – XPS Lavado - ASTM C39/C39M-12.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 33: Especímen de 4" x 8" de 14 días, con sustitución del 40% agregado fino y 30% agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Lavado. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34: Especímen de 4" x 8" de 21 días, con sustitución del 40% agregado fino y 30% agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Lavado. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 35: Especímen de 4" x 8" de 3 días, con sustitución del 70% Agregado fino y 60% Agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS. ....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 36: Especímen de 4" x 8" de 21 días, con sustitución del 70% Agregado fino y 60% Agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Lavado. ....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 37: Especímen de 4" x 8" de 3 días, sustitución del 20% Agregado fino y 30% Agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Sin Lavar.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 38: Especímen de 4" x 8" de 7 días, sustitución del 40% Agregado fino y 30% Agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Sin Lavar.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 39: Especímen de 4" x 8" de 7 días, sustitución del 40% Agregado fino y 30% Agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Sin Lavar.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 40: Especímen de 4" x 8" de 7 días, sustitución del 40% Agregado fino y 30% Agregado grueso - ASTM C39/C39M-12 – XPS Sin Lavar.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 41: Con el agregado de poliestireno expandido recuperado (30% de agregado de EPS grueso y 20% de agregado de EPS fino), se observa que la resistencia del concreto supera los 300 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 42: Con el poliestireno expandido recuperado (30% de áridos gruesos y 40% de áridos finos), se observa que la resistencia del concreto supera los 200 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>82</i>

<i>Figura 43: Con los áridos de poliestireno expandido recuperados (60 por ciento de áridos de EPS gruesos y 70% de áridos de EPS finos), se observa que la resistencia del concreto alcanza los 24 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 44: Con los áridos de poliestireno extruido recuperados (30 por ciento de áridos de XPS lav. gruesos y 20% de áridos de XPS lav. finos), se observa que la resistencia del concreto alcanza los 272 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 45: Con el poliestireno extruido lavado recuperado (30% de áridos gruesos por XPS Lav. y 40% de áridos finos por XPS Lav.), se observa que la resistencia del concreto supera los 241 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 46: Con el poliestireno extruido lavado recuperado (60% de áridos gruesos por XPS Lav. y 70% de áridos finos por XPS Lav.), se observa que la resistencia del concreto supera los 42 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 47: Con el poliestireno extruido recuperado limpio (30% de áridos gruesos XPS Sin Lav. y 40% de áridos finos por XPS Sin Lav.), se observa que la resistencia del concreto supera los 265 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 48: Con el poliestireno extruido recuperado limpio (30% de áridos gruesos Sin lav. y 40% de áridos finos por XPS Sin Lav.), se observa que la resistencia del concreto supera los 266 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 49: Con el poliestireno extruido recuperado limpio (60% de áridos gruesos Sin lav. y 70% de áridos finos por XPS Sin Lav.), se observa que la resistencia del concreto supera los 54 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días. ....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 50: Resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto - muestra control.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 51: Resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto y las diferentes combinaciones de EPS.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 52: Resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto y las diferentes combinaciones de XPS Sin lavar .....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 53: Resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto y las diferentes combinaciones de XPS Lavado .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 54: Resistencia a la compresión de concreto según grado de mezcla de agregados.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 55: Resistencia a la compresión de concreto según tipo de poliestireno .....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 56: Resistencia a la compresión de concreto según tipo de poliestireno y grado de mezcla de agregados .....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 57: Resistencia a la compresión de concreto según grado de mezcla de agregados y tipo de poliestireno.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 58: Prueba de aleatoriedad de Wald–Wolfowitz para la resistencia a la compresión de concreto .....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 59: Normalidad de la resistencia según grado de mezcla de agregados .....</i>	<i>99</i>

<i>Figura 60: Normalidad de la resistencia según tipo de poliestireno.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 61: Prueba de Levene para la homocedasticidad de la resistencia según el grado de mezcla de agregados .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 62: Prueba de Levene para la homocedasticidad de la resistencia según el tipo de poliestireno.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 63: Análisis de varianza de la resistencia a la compresión de concreto según mezcla de agregados y tipo de poliestireno.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 64: Estadísticos de la resistencia según grado de mezcla de agregados....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 65: Prueba de Tukey de la resistencia según grado de mezcla de agregados .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 66: Estadísticos de la resistencia según tipo de poliestireno .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 67: Prueba de Dunnett de la resistencia según tipo de poliestireno .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 68: Estadísticos de la resistencia según grado de mezcla y tipo de poliestireno.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 69: Prueba de Dunnett de la resistencia según grado de mezcla y tipo de poliestireno.....</i>	<i>105</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Propiedades Físicas del Poliestireno Expandido</i> .....	29
<i>Tabla 2: Propiedades químicas del poliestireno expandido</i> .....	33
<i>Tabla 3: Propiedades frente al fuego del poliestireno expandido</i> .....	34
<i>Tabla 4: Cantidad de probetas fabricadas</i> .....	49
<i>Tabla 5: Equipos empleados en el ensayo de granulometría del agregado fino - ASTM C33-16</i> .....	50
<i>Tabla 6: Equipos empleados en el ensayo de granulometría del agregado grueso. (ASTM C33-16)</i> .....	50
<i>Tabla 7: Equipos empleados en la prueba de peso específico del agregado grueso. (N.T.P. 400.022)</i> .....	50
<i>Tabla 8: Equipos empleados en el ensayo de laboratorio del peso específico del agregado fino. (N.T.P. 400.022)</i> .....	50
<i>Tabla 9: Equipos empleados en el ensayo de laboratorio de peso unitario compactado del agregado fino y grueso. (A.S.T.M. C29/C29M - 17 a.)</i> .....	51
<i>Tabla 10: Equipos empleados en el ensayo de laboratorio de equivalente de arena. (N.T.P. 339.146:2000)</i> .....	51
<i>Tabla 11: Equipos empleados en el ensayo de laboratorio de material que pasa por el tamiz nro 200. (MTC 202-2016)</i> .....	51
<i>Tabla 12: Equipos empleados en el ensayo de laboratorio de desgaste de los ángeles. (MTC E 207-2016)</i> .....	51
<i>Tabla 13: Equipos empleados en el ensayo de laboratorio de durabilidad /pérdida al sulfato de magnesio del agregado fino y grueso (MTC E 209-2016)</i> .....	52
<i>Tabla 14: Equipos empleados en el ensayo químico de sales del agregado fino (MTC E 219-2016)</i> .....	52
<i>Tabla 15: Equipos empleados en el ensayo químico de sulfatos del agregado fino y grueso (MTC E 219-2016)</i> .....	52
<i>Tabla 16: Equipos empleados en el ensayo de compresión cilíndrica. (ASTM C39/C39M-12)</i> .....	52
<i>Tabla 17: Detalle de equipos – Sensibilidad – Precisión y Fecha de Calibración</i> .....	53
<i>Tabla 18: Tolerancias Permisibles</i> .....	67
<i>Tabla 19: Peso mínimo de la muestra del ensayo</i> .....	68
<i>Tabla 20: Agregado grueso: Cantera Río Mantaro, Anexo Santa Rosa</i> .....	80
<i>Tabla 21: Agregado fino: Cantera Río Mantaro, Puente Las Palmas</i> .....	81
<i>Tabla 22: Cantidad de materiales para concreto <math>f'c= 210 \text{ kg/cm}^2</math>, cemento, agua, agregado fino (Arena gruesa), Agregado Grueso (piedra chancada) en Peso (por bolsa de cemento y por metro cúbico) y Volumen (por bolsa de cemento y por metro cúbico)</i> .....	81

<i>Tabla 23: Resultados de la resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas a diferentes edades – Muestra control</i> .....	86
<i>Tabla 24: Resistencia a la compresión de las diferentes combinaciones de EPS</i> .....	87
<i>Tabla 25: Resistencia a la compresión de las diferentes combinaciones de XPS</i> .....	88
<i>Tabla 26: Resistencia a la compresión de las diferentes combinaciones de XPS Lavado</i> .....	89
<i>Tabla 27: Sustitución del EPS como A.G. 30% y 20% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> ....	90
<i>Tabla 28: Sustitución del EPS como A.G. 30% y 40% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> ....	90
<i>Tabla 29: Sustitución del EPS como A.G. 60% y 70% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> ....	91
<i>Tabla 30: Sustitución del XPS Sin lavar como A.G. 30% y 20% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	91
<i>Tabla 31: Sustitución del XPS Sin lavar como A.G. 30% y 40% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	91
<i>Tabla 32: Sustitución del XPS Sin lavar como A.G. 60% y 70% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	92
<i>Tabla 33: Sustitución del XPS Lavado como A.G. 30% y 20% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	92
<i>Tabla 34: Sustitución del XPS Lavado como A.G. 30% y 40% A.F. – Comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	92
<i>Tabla 35: Sustitución del XPS Lavado como A.G. 60% y 70% A.F. – comparación con la muestra control y con la Resistencia de diseño <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></i> .....	93
<i>Tabla 36: Densidad del concreto, asentamiento con EPS y con XPS en diferentes porcentajes</i> .....	93
<i>Tabla 37: Media y desviación estándar de la resistencia a la compresión de concreto</i> .....	94

## RESUMEN

La investigación tuvo como propósito evaluar las formas de ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados que permitan fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo, procediéndose a la extracción y preparación de las muestras del agregado pétreo, agregado fino y grueso, de acuerdo con las especificaciones técnicas de norma técnica peruana NTP 400.010, realizándose los ensayos para determinar la calidad de estos agregados conforme a la NTP 400.037; asimismo, se realizó el muestreo intencional del poliestireno extruido y poliestireno expandido recuperándolos en forma de perlas y desmenuzado para su aplicación en las diferentes combinaciones como agregado en la elaboración y curado de probetas de concreto de sustitución de acuerdo a la NTP 339.183, que normaliza la elaboración y curado de especímenes de concreto, para el posterior ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de acuerdo a la norma ASTM C39/C39M.

Los resultados obtenidos muestran que la resistencia a la compresión del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con el sustitución del poliestireno expandido, EPS, como agregado grueso en un 20 % y como agregado fino en un 30 %, a los 28 días de edad se logra una resistencia a la compresión de  $302.9 \text{ kg/cm}^2$ , superior al de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de diseño; con una combinación del EPS como agregado grueso en un 30 % y como agregado fino en un 40 %, se alcanza la resistencia a la compresión hasta de  $F'c = 207.5 \text{ kg/cm}^2$  y con una combinación del EPS como agregado grueso en un 60 % y como agregado fino en un 70 % la resistencia alcanzada fue  $24.3 \text{ kg/cm}^2$ , los que fueron menores a  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de la resistencia de diseño.

Se concluyó que ecoaprovechar el poliestireno expandido y el poliestireno recuperado en forma de perlas y desmenuzado permiten la fabricación de concreto que reúne los requisitos establecidos por las normas técnicas peruanas e internacionales.

**Palabras Clave:** *ecoaprovechamiento, poliestireno extruido recuperado, poliestireno expandido recuperado, contaminación ambiental.*

## ABSTRACT

The purpose of the research was to evaluate the forms of eco-use of recovered expanded polystyrene and extruded polystyrene that allow the manufacture of concrete that meets the resistance of the mix design in the city of Huancayo, proceeding to the extraction and preparation of samples of the stone aggregate, fine and coarse aggregate, in accordance with the Peruvian technical standard NTP 400.010, performing tests to determine the quality of these aggregates in accordance with NTP 400.037; Likewise, the intentional sampling of extruded polystyrene and expanded polystyrene was carried out, recovering them in the form of pearls and crumbled for their application in different combinations as an aggregate in the preparation and curing of replacement concrete specimens according to NTP 339.183, which normalizes the preparation and curing of concrete specimens, for the subsequent compressive strength test of cylindrical concrete specimens according to the ASTM C39/C39M standard.

The results obtained show that the compressive strength of concrete of  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , with the replacement of expanded polystyrene, EPS, as coarse aggregate by 20% and as fine aggregate by 30%, at 28 days of age, a compressive strength of  $302.9 \text{ kg/cm}^2$  is achieved, higher than the design  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ; with a combination of EPS as coarse aggregate by 30% and as fine aggregate by 40%, the compressive strength is reached up to  $F'c = 207.5 \text{ kg/cm}^2$  and with a combination of EPS as coarse aggregate by 60 % and as fine aggregate in 70% the resistance reached was  $24.3 \text{ kg/cm}^2$ , which were less than  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  of the design resistance.

It was concluded that the eco-use of expanded polystyrene and recovered polystyrene in the form of pearls and shredded allow the manufacture of concrete that meets the requirements established by Peruvian and international technical standards.

Keywords: eco-use, recovered extruded polystyrene, recovered expanded polystyrene, environmental pollution.

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La investigación realizada evalúa ecoaprovechar el poliestireno expandido (EPS) y poliestireno extruido (XPS) recuperado en forma de perlas y desmenuzado para la elaboración del concreto en la ciudad de Huancayo, asimismo se logró recuperar el 100% del poliestireno expandido y extruido, se realizaron ensayos de laboratorio en donde se determinaron las propiedades de los agregados gruesos y finos, realizando una serie de combinaciones de los agregados con el poliestireno extruido (desmenuzado - limpio lavado y desmenuzado - limpio sin lavar) y poliestireno expandido (en forma de perlas - limpio) recuperados a fin de determinar los porcentajes adecuados para llegar a resistencias superiores a  $210 \text{ kg/cm}^2$ , del mismo modo cuidando que la densidad del concreto sea la menor a fin de aligerar el concreto.

El poliestireno es un derivado del petróleo que puede ser poliestireno extruido o poliestireno expandido de acuerdo a la cantidad de aire y proceso de fabricación, este material se usa hoy más que antes ya que la mayoría de restaurantes entregan los alimentos en estos envases haciéndose cada vez más su uso indiscriminado, asimismo un problema adicional es que el poliestireno por tener una densidad muy liviana ocupa demasiado espacio en los rellenos sanitarios, teniéndose 12 en el Perú de los 200 que el país necesita – por eso la mayoría de residuos, incluido el poliestireno, termina en botaderos, la calle, los bordes de ríos y, finalmente, el mar, PUCP (2018) El reciclaje de materiales es necesario desde cualquier punto de vista, por lo que es una idea atractiva. Se justifica por el lado ambiental, ya que estos

residuos sólidos pueden tener un segundo uso cuando son remanufacturados, lo cual consecuentemente disminuye su volumen en los botaderos y rellenos sanitarios de la ciudad.

El EPS es uno de los plásticos más problemáticos. Este material no tiene buena rentabilidad para reciclar ya que el 98% de su composición es aire y el 2% restante es poliestireno, C. (2020)

Proyectos que provengan de ideas de reciclado son un beneficio medioambiental que debe ser materializado y su estudio debe ser priorizado. Siendo necesario ver las formas de aprovechamiento del poliestireno extruido y expandido reciclados en este caso en particular utilizar en la fabricación del concreto.

Por lo tanto, se asume que el uso ecológico del poliestireno expandido y el poliestireno extruido recuperado en forma de perla triturada permite que se fabrique un concreto cumpliendo con los parámetros mecánicos de la resistencia de diseño de mezcla por resistencia en la ciudad de Huancayo.

## **1.1 Situación Problemática**

A raíz de la pandemia desde el año 2020 iniciada en el mes de febrero del 2020, la vida de las personas a cambiado significativamente con ello muchos de los hábitos y costumbres se ha modificado, es así que los alimentos que muchos restaurantes brindan por servicio a domicilio es entregado con el poliestireno extruido, del mismo modo todos los productos electrónicos (para oficina, uso doméstico y uso industrial) son embalados con el poliestireno expandido siendo estos productos de gran uso actualmente en el mundo.

El estado coyuntural que se vive por la pandemia del COVID-19 ocasionó que el uso del poliestireno se duplique debido a que se prioriza la cuestión sanitaria sobre la ambiental, Valdés-Rodríguez (2021)

Se prohibirá su comercialización en los mercados para el año 2011 aquellos materiales o insumos plásticos de un solo uso, que tengan otras alternativas

apropiadas, esto según la Unión Europea. Para reducir el impacto sobre el medio ambiente, en los estados miembros de la UE no se deben utilizar diferentes utensilios para beber y comer, así como varios recipientes de poliestireno utilizados en la industria alimentaria. De acuerdo con la Unión Europea estos plásticos representan cerca del 70% de los residuos plásticos que contaminan las aguas de las playas del territorio comunitario. (*La UE prohíbe a partir de 2021 los artículos de plástico de un solo uso | TRT Español*, s. f.)

De acuerdo con los pronósticos realizados el poliestireno expandido - EPS crecerá de USD 15,500 millones en 2018 a USD 20,100 millones en 2023, con un crecimiento anual del 5,3 %. El mercado de EPS viene siendo impulsado por las industrias de la construcción y el embalaje en los países en desarrollo en constante crecimiento, ltd (2022)

México consume cada año 125,000 toneladas de EPS, de los cuales solo se recupera el 1% en su reutilización en nuevos productos, por lo que se apertura un creciente potencial para el reciclaje de este producto, *Reciclaje de poliestireno expandido en México* (2022)

“La densidad del poliestireno expandido es de 10 a 30 kg/cm<sup>3</sup> y el poliestireno extruido es de 20 a 55 kg/cm<sup>3</sup>, su contaminación por volumen es muy alta que su contaminación por peso”, ANAPE (2021)

En el Perú se da la prohibición del uso de plásticos o materiales de un solo uso con la Ley 30884, aprobada en 2018, asimismo desde el 2019 se restringe que los supermercados, tiendas u otros establecimientos hagan entrega sin compensación económica de cañitas, bolsas de plástico. El tecnopor o poliestireno es usado en el Perú considerablemente en todos los restaurantes como recipiente para llevar alimentos. El poliestireno es considerado como un producto que al contacto con el calor desprende sustancias dañinas que son altamente peligrosas para la salud, *Prohibidos en Perú los envases de poliestireno para alimentos y bebidas* (2022)

El sector industrial de plásticos es variable y posee un alto desarrollo tecnológico. La fabricación de recipientes, vestidos, viviendas y bienes de consumo masivo originan un 4% de crecimiento económico en este sector, Betancourt D. Solano J. (2016)

De acuerdo con la caracterización de los residuos sólidos en el distrito de Huancayo en el año 2016, la producción promedio de residuos sólidos domésticos es de 0,53 kg/persona/día, de los cuales el tecnopor, etc. representan el 0,57% del total, Huancayo (2016)

El profesor McCauley (2015), estudió los problemas mecánicos y químicas hacia los animales marinos por el ingerir el poliestireno expandido EPS, llegando a la conclusión “que la degradación ambiental de Poliestireno (por ejemplo, por bacterias) produce fragmentos pequeños (micro plásticos) los que están presentes en el medio ambiente por largo tiempo (ejemplo, en sistemas marinos) y causan efectos físicos”. Por ejemplo, las especies marinas comen el poliestireno producto de su confusión con comida. Esto conduce a la desnutrición ya que el Poliestireno no proporciona a los peces ningún beneficio nutricional mientras los hace sentir llenos, lo que suprime el deseo de comer.

Este problema que está generando el poliestireno expandido y poliestireno extruido no encuentra formas de reciclaje, la contaminación ambiental y el daño a los animales del medio marino serán irremediables, ya que a la fecha se han reportados casos en medios de comunicación donde se encuentra en el estómago de los peces llenos de plásticos y/o poliestireno, del mismo modo los botaderos serán insuficientes para su disposición final, McCauley (2015)



**FIGURA 1: BOTADERO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS RIBERAS DEL RÍO MANTARO HUANCAYO.  
FUENTE: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – (OEFA, 2014)**



**FIGURA 2: BOTADERO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS RIBERAS DEL RIO MANTARO HUANCAYO - AGUAS DE LAS VÍRGENES  
FUENTE: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – (OEFA, 2014)**

La Ley de Manejo de Residuos Sólidos, aprobada por Decreto N° 1278, cuyo objeto principal es prevenir o minimizar la generación de residuos sólidos en origen frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, para los residuos generados, bajo la premisa de velar por la salud y el medio ambiente, se debe priorizar la valorización material y energética y la valorización de los residuos, entre las que destacan alternativas como la reutilización, el reciclaje, el compostaje y el coprocesamiento. son dados. («El nuevo enfoque de la gestión integral de los Residuos Sólidos según el DL 1278», 2020)

Por consiguiente, esta investigación está encausada en reaprovechar el poliestireno expandido y poliestireno extruido para su utilización a manera de insumo para la elaboración del concreto que sirva para en las diferentes obras, incluso construyendo edificaciones modernas aligerando su peso. Esto permitirá que algunas familias puedan generar ingresos a través del reciclado del poliestireno expandido y poliestireno extruido.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General:**

¿De qué formas el ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados permiten fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo?

### **1.2.2 Problemas Específicos:**

- a. ¿Cuál es el asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados en la ciudad de Huancayo?
- b. ¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo?
- c. ¿Cuál es la densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo?

## **1.3 Justificación de la investigación**

Los residuos sólidos generados por el poliestireno (tecnopor nombre común que es conocido) en la ciudad de Huancayo representan el **0.57%** en comparación al desecho sólidos domiciliarios totales que son generados, de acuerdo con su porcentaje en peso. Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos - PIGARS – HUANCAYO 2016. El problema principal es que este material tiene una baja densidad entre  $10 \text{ kg/m}^3$  hasta  $55 \text{ Kg/m}^3$  ocupando volúmenes altos, teniéndose al poliestireno expandido o extruido

macizo y en unidades, este volumen cambia cuando el material se encuentra en recipientes diversos disminuyendo altamente su densidad generada por el desorden y espaciamiento. El poliestireno es muy dañino en aguas marinas generando la muerte de muchas especies. Este material ocupa un volumen muy alto en referencia a su peso, ocupando mayor espacio en un área reducida en el botadero de la ciudad de Huancayo, sumado a ello no existen rellenos sanitarios en la ciudad de Huancayo que hayan sido autorizados por la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA.

### **1.3.1 Justificación Teórica**

La presente investigación fue realizada a fin de aportar conocimientos sobre el aprovechamiento del poliestireno expandido y extruido recuperados en forma de perlas y desmenuzados ya que estos se degradan en más de 500 años, esto aún sin confirmar y su volumen va aumentando todos los años. Es necesidad de esta pesquisa el ecoaprovechar tanto el poliestireno expandido como el poliestireno extruido para reducir el efecto en la contaminación del ambiente (visual – suelo). Aportamos en el conocimiento de que las formas de uso del poliestireno expandido y extruido dan diferentes resistencias a la compresión y son reutilizados en su totalidad como componente del concreto con diferentes porcentajes de remplazo por agregado fino y agregado grueso por EPS y XPS recuperados en la elaboración de concreto.

### **1.3.2 Justificación Práctica**

La pesquisa se realiza porque es indispensable la disminución de la contaminación del ambiente por la utilización del EPS y XPS, reaprovechando en la elaboración del concreto.

Se pretende reducir la contaminación visual por volumen del poliestireno, esto porque su densidad es 32 veces menor que otros materiales.

La contaminación visual será más notoria en 100 años debido a que no se biodegradan en por lo menos 500 años.

La creación de nuevas ofertas de trabajo a nivel industrial de alternativas viables de sustitución del poliestireno expandido, constituyendo un aporte importante a la responsabilidad civil y el desarrollo sustentable económico. También se reduciría la contaminación del mar al ecoaprovechar los poliestirenos expandidos y extruidos ya que mediante estudios mecánicos y químicos dañan a los animales marinos.

### **1.3.3 Justificación ambiental**

El aprovechamiento del poliestireno extruido y expandido es muy importante por los altos índices de consumo que se dan a estos materiales que son de un solo uso y desechables, ello hace que teniendo en cuenta su biodegradación que es en más de 1000 años sin confirmar, estos materiales tiendan a ser muy importantes su contribución con los desechos en 15 o 20 años, por ello es necesario encontrar un segundo uso de este material a fin de evitar la contaminación ambiental por estos materiales, asimismo se evitaría la pérdida de fauna por eso consumo de este material.

## **Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General:**

Determinar las formas de ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados que permitan fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo

### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- a) Determinar el asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados en la ciudad de Huancayo.
- b) Determinar la resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno extruido y expandido recuperados en la ciudad de Huancayo.

- c) Determinar la densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco Filosófico

Los nuevos conocimientos que Prigogine esboza en “El fin de las certidumbres”, muestra que no podemos evitar el caos por lo cual lo inteligente consiste en aprender a convivir con él. A manejar lo solamente probable y atender a lo sólo intuido. (*emariposa01.pdf*, s. f.)

El convencimiento de la existencia inevitable de fenómenos o etapas de éstos, que son impredecibles por su naturaleza y no por deficiencias técnicas en su estudio, es algo que ha aportado el estudio sistemático de la Teoría del Caos. El llegar a esa conclusión resulta de innegable utilidad, pues en situaciones de eventos naturales 2 como el paso de huracanes, permite obrar en consecuencia conociendo las características azarosas de éstos. (*emariposa01.pdf*, s. f.)

El mundo, según Heráclito, se halla en un proceso eterno de nacimiento y de destrucción: “todo fluye, todo cambia”. “En este mismo río entramos y no entramos”. El mundo se compone de contrarios que llevan una lucha entre sí: “La guerra es la madre y reina de todas las cosas”. Los contrarios se convierten los unos en los otros: “lo frío se calienta, lo caliente se enfría; lo húmedo se seca, lo seco se humedece”. Por eso, la presencia de un contrario condiciona la existencia del otro contrario: “la enfermedad hace dulce la salud”. Heráclito afirmaba la identidad de los contrarios: del día y de la noche, del invierno y del verano, de la guerra y de la paz, de la saciedad y del hambre, del bien y del mal, &c. Todos los cambios están sujetos a leyes estrictas. “Todo se produce gracias al conflicto y a la necesidad”. Estas leyes

inherentes a la propia sustancia material son llamadas por Heráclito “el logos”. (*Heráclito de Éfeso en el Diccionario soviético de filosofía*, s. f.)

Según Heráclito el mundo sufre creaciones y destrucciones perpetuas, pues todo fluye, todo cambia. Tal como lo dice un documento antiguo, “Heráclito eliminaba del universo el reposo y la inmovilidad. Pues eso era una propiedad de muerte. Atribuía movimiento a todas las cosas: movimiento perpetuo a las cosas eternas, y movimiento temporal a las cosas perecederas”. Heráclito estima que el mundo se compone de contrarios en lucha que se convierten recíprocamente: “frío-caliente; caliente-frío; húmedo-seco; seco-húmedo”. (*Heráclito de Éfeso en el Diccionario soviético de filosofía*, s. f.)

En el mismo, Prigogine describe el trastorno epistemológico en el pensamiento de muchos físicos y otros científicos, que consideran que la base metafísica de la física moderna desde Newton y Descartes –el determinismo, las evoluciones lineares, la reversibilidad del tiempo- nos ha llevado por mal camino, y que esta concepción del universo no es aplicable más que a unas pocas situaciones muy restringidas y particulares. Piensan que lo esencial de la realidad es que el universo está lleno de incertidumbres y, por lo tanto, de posibilidades inmensas de creatividad. Prigogine y sus colegas ponen en el centro de sus análisis la *flecha de la historia*, pero consideran que su camino tiene bifurcaciones sucesivas debido a las cuales es intrínsecamente imposible saber de antemano qué ruta seguirá la flecha. (*Immanuel Wallerstein El fin de las certidumbres y los intelectuales comprometidos*, s. f.)

La ontología se basa respecto a lo que conocemos mientras que la epistemología como conocemos existe una relación estrecha, pues radica sobre todo en poseer la idea para alcanzar un conocimiento de valor que porte, esto parte de identificar o de escribir la imaginación desde las imágenes, sombras, reflejos, significa que se conoce la realidad pero de una forma indirecta de la cual necesitamos información para describirla siendo esta un nivel más bajo del conocimiento si se aplica de esa manera. El segundo nivel de la creencia debido a que se desea evitar el error entonces se sostiene a identificar los objetos sensibles por ende interviene un conocimiento sensorial esto Consecuentemente vendrá a ser el mundo

sensible sujeto a cambio. (*Choque\_Flores\_Leopoldo\_Doctorado\_2021.pdf*, s. f.)

Toda la ingeniería emplea métodos heurísticos, fijados en las teorías, y reglas tecnológicas con el fin de diseñar artefactos (en el caso de la ingeniería civil estos artefactos son las infraestructuras o servicios) que permitan resolver problemas específicos de la sociedad. Ahora bien, existen muchas ramas de la ingeniería civil, la diferencia entre ellas radica en el tipo de problema de la sociedad que cada una aborda. (Cruz Zúñiga & Centeno Mora, 2018)

## **2.2 Antecedentes del Problema**

### **2.2.1 Antecedentes Internacionales**

**San Juan, Viegas y Jodra (2020)**, en su tesis “aislación térmica alternativa, reutilizando poliestireno expandido de descarte, orientado a las necesidades de cooperativas de reciclado”, indica: Al reutilizar láminas de poliestireno expandido provenientes de residuos de envases, hacen que el material sea apto para paneles de muy bajo costo. Asimismo, pretende incrementar el beneficio social y/o el escenario ambiental de las viviendas autoconstruidas. La cooperativa desarrolló el reciclaje, un bien social y ambiental, y descubrió que el poliestireno expandido comprado a los envases no era propicio para su comercialización. Las viviendas de interés social y/o con niveles inestables de calor y humedad no son propicias para establecer calidad de vida, ya que pertenecen a grupos de escasos recursos económicos y por debajo de la línea de pobreza, por lo que se plantea la posibilidad de utilizar paneles utilizados (por recursos quebrados y composición pegada). La investigación avanza tanto cuantitativa como cualitativamente en base a la posibilidad de aislar estos componentes mediante un procedimiento de medición de flujo de calor de "caja caliente". Se analizó la relación de dosificación, tamaño de partícula y espesor adecuado del ligante, y se comparó con los materiales aislantes térmicos del mercado. El resultado verifica la precisión de la parte técnica realizada por el equipo de reciclaje o

cooperativa de autoconstrucción y autogestión, asegurando así la uniformidad y estandarización del producto final. Se explica la transmitancia térmica ("K") medida en laboratorio y los resultados de la cuantificación de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del material de aislamiento opcional realizado "temporalmente".

**Flórez (2016)** en la investigación "Revisión del estado del arte de la logística inversa y adaptación al estudio técnico para la disposición final del poliestireno expandido", indica: El propósito fue revisar la posibilidad técnica del esquema, el cual examinará efectivamente los esfuerzos y beneficios de los residuos de poliestireno expandido, especificando y verificando todos los elementos de la estructura física requerida para su funcionamiento. En conclusión, el método de reparación y beneficio efectivo de los residuos de EPS no es muy complicado, por lo que su uso es más fácil y hace una valiosa contribución a la ecología, nuevamente, el desarrollo termo mecánico es la mayor opción para la reutilización de materiales, porque admite tener un producto limpio sin cambios en sus propiedades.

**González (2017)** en su tesis "Caracterización de compuestos ecoeficientes de yeso aligerado con residuo de poliestireno (XPS)" el *objetivo* general planteado es: Disminuir el impacto ambiental del grupo residencial con el boceto de un material ecoeficiente de acuerdo con un agregado de yeso al cual se le adiciona restos de poliestireno extruido procedente de obras de construcción, con el detalle de conseguir un material aligerado con características térmicas perfeccionadas para reutilizar restos de construcción lo cual de otra manera sería desechando en vertedero o quemados. Resultados: obtuvieron índice de aligeramiento ecoeficiente para las composiciones del yeso aligerados con residuos de poliestireno extruido y expandido, el compuesto empleado en revestimiento y falsos techos es la composición de yeso que se incorpora el 3% de residuo de poliestireno extruido y para tabicón es el 4% de residuos de poliestireno extruido medio. En conclusión, otros causantes del impacto ambiental son los materiales tradicionales que son empleados en este sector, los cual no aportan ninguna mejora ambiental más aun contribuyen a la reducción de materias primas.

Como modelo el alto impacto ambiental por origen del yeso en aprovechamiento de las canteras. Es posible sustituir parcialmente el yeso por agregados ligeros, asimismo mejorarían el comportamiento térmico del yeso.

**Torres y Arias (2018)** en su trabajo de investigación “Comportamiento de losas alivianadas de hormigón tradicional y mezclado con poliestireno expandido”, manifiesta: El presente estudio tiene por objetivo cotejar la conducta del hormigón típico con un hormigón que tiene un porcentaje de poliestireno expandido hacia un adecuado diseño de un concreto ligero. Asimismo, encuentre la mezcla más adecuada de hormigón liviano teniendo como sustento el poliestireno expandido para su uso en la construcción. Para verificar el comportamiento en estado fresco y sólido, se tomó el porcentaje agregado de poliestireno expandido. Explicar los usos y precios de la producción de hormigón, reducir así el poliestireno expandido y el hormigón típico. La pregunta de investigación es ¿cómo reemplazar las desigualdades en calidad y dureza del concreto agregado fino con poliestireno expandido para el uso de losas? Pregunta específica: ¿Cuál es la dureza del hormigón de poliestireno expandido y el hormigón ordinario? ¿Cuál es el comportamiento del hormigón de poliestireno expandido en estado fresco y sólido? Al final, se concluyó que los resultados de las muestras de prueba mostraron que cuando se reemplazó el concreto de baja dureza con un alto porcentaje de poliestireno expandido y arena, los resultados de las muestras de prueba fueron de concreto liviano con un patrón de diseño encontrado de 240 kg. /cm<sup>2</sup>, porque existe. No termina con la dureza. Diseño de hormigón para losas medianas. Una vez más, la viabilidad de este hormigón con perlas de poliestireno expandido en lugar de arena al 2% es excelente, así como la viabilidad y el uso de las muestras. El más favorable y de alta resistencia de los tres tipos de hormigón con EPS, fue el dos por ciento de poliestireno. Las muestras experimentadas no demuestran una alteración expresiva con el peso en apoyo a la consistencia de las perlas de poliestireno.

**Chaudhary, A. K., Chaitanya, K., y Vijayakumar, R. P. (2021)** en su estudio “Synergistic effect of UV and chemical treatment on biological degradation

of Polystyrene by Cephalosporium strain NCIM 1251”, indica: La cepa de Cephalosporium NCIM 1251, tiene la capacidad de degradar láminas de poliestireno pretratadas. Para obtener una muestra de poliestireno puro, inicialmente se trabajó con UV en la introducción de moléculas de oxígeno. Se tuvo que examinar por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), crea un estiramiento C-C tratado químicamente en poliestireno con UV, lo cual inserta un grupo funcional de cetonas alifáticas en poliestireno. Pasado las 8 semanas de incubación se demuestra que con el estudio gravimétrico el poliestireno disminuye su peso en un 20,62 -+ 1,47%. El grado de biodegradación se correlaciona con el pH, conductividad de los medios de sales minerales y los sólidos totales disueltos (TDS). La estabilidad térmica disminuye el poliestireno pretratado después de la incubación con la cepa de Cephalosporium NCIM 1251 mediante el estudio de análisis termogravimétrico (TGA) y el tratamiento de UV y ácido se expande la estabilidad térmica del poliestireno puro. Con el análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) se halló morfologías y patrones de superficie en poliestireno pretratado después de incubación con cepa, lo cual esta cepa Cephalosporium NCIM 1251 produce una eficiente descomposición de poliestireno pretratado.

**Ganesh Kumar, A., Hinduja, M., Sujitha, K., Nivedha Rajan, N., y Dharani, G. (2021)** en su estudio “Biodegradation of polystyrene by deep-sea Bacillus paralicheniformis G1 and genoma”, indica: El tratamiento más sostenible para los residuos de poliestireno (PS) es la biodegradación. Los termófilos obtienen altamente capacidades de biotransformación, así mejorarían la biodegradación de los desechos sólidos orgánicos. Tal manera que es muy poca la información sobre la degradación de los plásticos PS por los termófilos. Se realizo una examinación del rendimiento de degradación de una cepa de Geobacillus stearothermophilus FAFU011, los cual la cepa forma una biopelícula estable en la superficie de los fragmentos de PS y se utilizaría única fuente de carbono, en el periodo de 56 días la cepa FAFU0011 provoca una reducción de peso molecular de 17,4% al 18,2% y a la vez una pérdida de masa total de PS del 4,2%. Realizadas las observaciones de SEM, FAFUA011 provoca huecos de erosión en la

superficie de PS, generando aumento de tipo y número de estructuras que contienen oxígeno que distorsionan las propiedades hidrofílicas los cuales facilitan la colonización de otros microorganismos promoviendo más la biodegradación. Según el análisis de 2D-COS, el orden cronológico los cambios de los grupos funcionales en el proceso de degradación se identificó de la siguiente manera:  $1491\text{ cm}^{-1}$  (CH) $>1450\text{ cm}^{-1}$  (CH) $>1601\text{ cm}^{-1}$  (C=C) $>1027\text{ cm}^{-1}$  (CO) $>1068\text{ cm}^{-1}$  (C=O) $>1366\text{ cm}^{-1}$  (C-OH). Estos resultados finales nos revelan que FAFU011 generaría la degradación biooxidativa termófila del plástico PS.

**Zegardło, B., y Kobylński, K. (2021)** en su artículo “Analysis of the Possibility of Using Extruded Polystyrene (XPS) Wastes to Make Lightweight Cement Composites”, indica: El problema es la utilización de los residuos de poliestireno extruidos como carga para compuestos de cemento. Estos residuos se obtuvieron de una empresa que realizaba la termo modernización. Se realizó el método de tamiz para la separación de los restos. Los residuos básicos son evaluados para el uso como áridos ligeros para hormigón. Los áridos tradicionales son comparados con las propiedades técnicas de los residuos. Según el trabajo de investigación el residuo sirvió de relleno de las muestras elaboradas de un cemento compuesto. Sucesivamente el agregado en la mezcla, los residuos constituyeron una serie de 30, 50 y 100% a la vez se realizó muestras sin desperdicio. Finalmente, los resultados demuestran que se podrían usarse potencialmente los desechos para la producción de compuestos livianos con parámetros de mayor resistencia.

**Liang, Y., Yang, X., Wang, Y., Liu, R., Gu, H., y Mao, L. (2021)** en su artículo “Influence of polystyrene microplastics on rotifer (*Brachionus calyciflorus*) growth, reproduction, and antioxidant responses”, indica: La contaminación mediante los micro plásticos en los ambientes acuáticos perjudica las características ecológicas y fisiológicas de los animales acuáticos. El gen del glutatión peroxidasa del hidroperóxido de fosfolípidos (PHGPx) poseen una función importante para las defensas antioxidantes de los organismos. Detallamos únicamente que el ADNc de longitud completa

de PHGPx en *Brachionus calyciflorus* contenía un marco de lectura abierto de 512 pb y 817 pb de largo. Asimismo, se expuso a 0 (control),  $1 \times 10^4$ ,  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$  y  $1 \times 10^7$  partículas ml<sup>-1</sup> de poliestireno. Tasa de crecimiento (SGR); tasa de reproducción (R); actividades de superóxido dismutasa (SOD); catalasa (CAT) y PHGPx; expresión de superóxido dismutasa de manganeso (MnSOD), superóxido dismutasa de cobre y zinc (CuZnSOD), CAT y PHGPx; y la indagación de los grados de especies reactivas de oxígeno (ROS). La investigación dio resultados donde el poliestireno mejora la producción de ROS. En cambio, la actividad de SGR, R, PHGPx y la expresión de PHGPx disminuyen el aumento de concentración de poliestireno. Las actividades de los niveles de expresión de MnSOD, CuZnSOD, CAT y SOD, aumentan la exposición a  $1 \times 10^4$ - $1 \times 10^6$  partículas ml<sup>-1</sup> de poliestireno, asimismo disminuyen con la expresión a  $1 \times 10^7$  partículas ml<sup>-1</sup> de poliestireno. Estos resultados demuestran que la expresión CAT, PHGPx, MnSOD y CuZnSOD regula las actividades de las enzimas antioxidantes.

**Badylak, S., Philips, E., Batich, C., Jackson, M., y Wachnicka, A. (2021)** en su artículo científico "Polystyrene microplastic contamination versus microplankton abundances in two lagoons of the Florida Keys", indica: En dos lagunas costeras de los Cayos de Florida se realizó un estudio de microplancton, los cuales los resultados fueron coincidente e inesperadamente la alta presencia de concentración de micro plásticos de partículas de poliestireno. Se realizó dos años de estudios de comunidades de fitoplancton, en los cuales se vio por primera vez en el segundo año las partículas de poliestireno. Las densidades de partículas de poliestireno llegaron a un nivel de 76.000 L<sup>-1</sup>. El tamaño de las partículas varía de 33 a 190  $\mu\text{m}$ , similar al rango de tamaño de las algas micro planctónicas (20-200  $\mu\text{m}$ ). Las densidades máximas del poliestireno son similares a las densidades promedio de células de algas micro planctónicas. Es importante las partículas micro plásticas para la ecología de las aguas cristalinas de los Cayos de Florida, si persisten.

**Tan, K. M., Mohd Fauzi, N. A., Mohd Kassim, A. S., Razak, A. H. A., y Kamarudini, K. R. (2021)** en su artículo "Isolation and Identification of Polystyrene Degrading Bacteria from Zophobas morio's Gut", indica: Los plásticos más usados en muchas industrias son los poliestirenos (PS) y el poliestireno expandido (EPS). Asimismo, el aumento de PS en el medio ambiente provoca daños ecológicos. El investigador puso su atención en los intestinos de las larvas donde se estableció relaciones entre hongos, bacterias e insectos hospedadores ya que las larvas de los escarabajos se alimentan de envases de plástico. El objetivo del estudio es aislar e identificar microbios que degradan PS de super gusanos. Para aislar las positivas que degradan el PS se utilizó poliestireno como fuente de carbono. Para el crecimiento positivo de la placa agar-PS modificada se aislaron 5 grupos bacterianos. Estos grupos son identificados mediante secuenciación parcial del gen 16 SrRNA. Cuyos resultados son relacionados entre las cepas de *Bacillus aryabhattai* y *Bacillus megaterium*. Se adicionó un examen de estudio bioquímico para distinguirlos. Los aislamientos fueron identificados como *Bacillus megaterium*. Se utilizó cloruro de 2, 3, 5-trifeniltetrazolio (TTC) para la viabilidad de los aislamientos, resultando positivo con trifenilformazán (TPF) formado de 5 a 7 días. Las bacterias del intestino de *Zophobas morio* y el aislamiento, pueden utilizarse como fuente de una enzima degradadora del plástico, lo cual sería favorable para el desarrollo de la biodegradación enzimática en los residuos sólidos.

**Domenech, J., Hernández, A., Rubio, L., Marcos, R., y Cortés, C. (2020)** en su artículo "Interactions of polystyrene nanoplastics with in vitro models of the human intestinal barrier", indica: En la salud humana la presencia de nano plásticos (MNPL) y sus efectos son una preocupación. Lo cual se solicita datos fiables para evaluar su seguridad. Se evaluó dos grupos in vitro que simulan la barrera intestinal humana y sistema linfático asociados ya que la ingestión es una principal vía de exposición de los seres humanos. Son dos diferentes grupos de cocultivo (células intestinales Caco-2 / HT29 diferenciadas y células Caco-2 / HT29 + Raji-B) a nanopartículas de poliestireno (PSNP). Para tener una visión integral de sus efectos altamente dañinos se tuvieron que evaluar puntos finales de viabilidad, localización,

integridad de la membrana y translocación de NPS, inducción de ROS y daños genotóxicos. En los sistemas analizados no se hallaron efectos citotóxicos. Según el análisis de microscopia confocal demostró que los MNPL son muy absorbidos por ambos sistemas de modelo de barrera. En las células Raji-B se detectaron MNPL, ubicada en el compartimiento basolateral del inserto. La internalización es evaluada mediante citometría de flujo. En el ADN no se produjo inducción de daño genotóxico u oxidativo. Finalmente, no se pudo detectar variaciones en la transcripción de genes oxidativos en ningunos de los grupos in vitro. Los resultados demuestran que los MNPL pueden entrar y cruzar la barrera epitelial del sistema digestivo, sin provocar efectos peligrosos aparentes.

**Trzaskalska, M., y Chwastek, R. (2021)** en su artículo “Damping properties and density of helmet liners made of expanded polystyrene (EPS)”, indica: El desarrollo del trabajo tiene un propósito hallar la influencia de la densidad aparente  $\rho_z$  de los gránulos, la densidad de las inserciones de esquí  $\rho_w$  y los parámetros de procesamiento del poliestireno expandido (EPS). Se hicieron 3 densidades aparentes diferentes para el casco de esquí. Se cambiaron la presión y tiempo de sinterización. En la prueba de resiliencia al rebote se realizó para determinar el factor de amortiguamiento porcentual  $\eta$ . Finalmente con los datos obtenidos y analizados que al aumentar la densidad de las almohadillas de EPS  $\rho_w$ , incrementa sus propiedades de amortiguamiento y asimismo contribuye a una disminución en elasticidad, fragilidad de los productos y aumento de dureza de EPS.

**Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Gonabadi, N., y Asadi, M. (2019)** en su artículo “Usage of polystyrene disposable food dishes in the lightweight concrete making”, indica: El uso y la acumulación de envases de poliestireno provocaron un problema medioambiental sustancial. Se utilizaron residuos sólidos de porcentajes variados para el estudio. Para la producción de muestras de hormigón ligero de  $350 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  de cemento y una densidad de  $1.300 \text{ kg/m}^3$ , se utilizaron platos de poliestireno desechable de comida, lo cual se molieron en perlas de 0 a 3 (mm) y de 3 a 6 mm de tamaño. En primer

lugar, se evaluaron las características del cemento Portland Tipo II, poliestireno y agregados. Las características del hormigón como el asentamiento, resistencia a la compresión, capacidad para resistir la penetración de iones de cloruros y resistencia del hormigón a ciclos rápidos de congelación y descongelación, fueron aprobados por las normas del Instituto de Normalización Británica y ASTM International. Se utilizaron técnicas de espectroscopia de rayos X de dispersión. La variación del asentamiento de la muestra es entre 40 y 70 mm, lo cual no dependió del porcentaje de poliestireno ni del tamaño de las perlas de poliestireno en las muestras de hormigón (valor  $p > 0,05$ ). Utilizando diferentes porcentajes de poliestireno y la resistencia a la compresión de la muestra de concreto a los 90 días, variaron en 96 y 113 kg/cm<sup>2</sup>. Con la presencia del poliestireno son afectados desfavorablemente la resistencia de la muestra al ciclo de congelación y descongelación. La muestra de hormigón de 15% y 25% de poliestireno tenía más densos y menos vacíos a comparación de la muestra de concreto de 40% y 55% de poliestireno de acuerdo con la técnica de SEM.

**Auclair, J., Quinn, B., Peyrot, C., Wilkinson, K. J., y Gagné, F. (2020)** en su artículo "Detection, biophysical effects, and toxicity of polystyrene nanoparticles to the cnidarian *Hydra attenuata*", indica: El riesgo eco toxicológico para los organismos acuáticos se debe a la presencia de partículas nano plástica (NOP) en el medio ambiente. La intención de estudio es indagar la biodisponibilidad y toxicidad del poliestireno transparente de 50 y 100 nm. Las hidras fueron comprometidas aglomeraciones crecientes de NP de 50 y 100 nm (1,25, 2,5, 5, 10, 20, 40 y 80 mg / L) durante 96 h a 20° C después de refinación de 24 h. El ensayo novedoso para NP de poliestireno, estrés oxidativo (peroxidación de lípidos), lípidos polares, cristales líquidos y cambios de viscosidad en la fracción post-mitocondrial, para el análisis de la morfología de las hidras. Asimismo, los resultados demuestran que los organismos acumularon cantidades detectables de NP de una manera unido de la concentración para NP de 50 y 100 nm después de mantenerse 24 h en medio limpio. Se visualizó cambios en la morfología con una manifestación de efecto del 50% de 3.6 y 18 mg/L para los 50 y 100 nm de diámetro respectivamente. Pero la concentración de

las partículas, los 100 nm probaron ser 1.7 veces más tóxicos que los NP de 50 nm. La presentación a NP conlleva a una disminución de la biomasa, aumento de los niveles de lípidos polares, viscosidad, peroxidación de lípidos (LPO) y formación de CL a nivel intracelular. La formación de LC organizadas y lípidos polares de NP en células estuvo implicado con NP toxicidad, lo cual podría representar un mecanismo de desintoxicación / bioactivación no identificado contra los plásticos coloidales en las células. En conclusión, los NP tiene la capacidad de aumentar los lípidos. Los NP conducen a la LPO y la movilización de lípidos en la hidra, los NP están biodisponibles para la hidra. La movilización y las CL podrían establecer la toxicidad de la NP por dependencia del tamaño.

**Nizhegorodov, A. I., Gavrilin, A. N., y Moizes, B. B. (2020)** en su artículo *Development of Bulk Lightweight Spherosilicate Material Technology Based on Sublimation of Expanded Polystyrene Granules*, indica: Examinar la tecnología para generar materiales de esferosilicatos ligeros a granel como opción de productos de aislamiento térmico expandidos a base de vermiculita. La tecnología apoya la idea de emplear poliestireno expandido granulado para inventar un núcleo de esferas de silicato recubierta con una mezcla líquida a base de vidrio y convenio con dióxido de carbono para el proceso de formación de gránulos mineralizados de poliestireno-silicato así consolidamos endurecimiento rápido de ellos. Asimismo, investigan equipos especiales como un mezclador para generar gránulos mineralizados de poliestireno-silicato y un horno de tambor eléctrico para tostar esferas y sublimar gránulos de poliestireno expandido.

**Lu, W., Wang, J., y Zhang, Y. (2020)** en su artículo "Strength Characteristics of Cement Treated and Expanded Polystyrene Mixed Lightweight of Waste Soil from the Construction Site of a Yangtze River Bridge in China", indica: En las últimas décadas las construcciones de infraestructuras China se han transformado en una gran amenaza para la protección del medio ambiente. Sería un gran beneficio para el país si el desperdicio de la construcción sería a bajo costo. El comportamiento mecánico de la resistencia del poliestireno tratado con cemento y expandido se tuvo que realizar un estudio

experimental preliminar. Se realizaron una serie de muestras cubicas con diferentes proporciones de mezcla y aditivos del cemento tratado y poliestireno expandido mixto ligero para la resistencia a la compresión no confinada y las muestras de cilíndricas preparadas a mano fueron examinados por el ensayo de cizallamiento triaxial convencional. (a relación exponencial entre la mezcla del cemento y la resistencia a la compresión uniaxial es muy buena). El tiempo de curado del espécimen en un periodo de 28 días y la resistencia a la compresión se fundó la ración y se capturó una relación logarítmica. Las muestras demuestran un comportamiento estable y endurecimiento por deformación, y eso que las muestras realizadas de diferentes suelos como materia prima tienen diferentes resistencias. Los resultados muestran que las características de resistencia mecánica del cemento tratado y poliestireno expandido suelo de desecho mixto dependen principalmente de las proporciones de mezcla ligera.

**Mardani, H., Roghani-Mamaqani, H., Khezri, K., y Salami-Kalajahi, M. (2020)** en su artículo “Polystyrene-attached graphene oxide with different graft densities via reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization and grafting through approach”, indica: Para injertar cadenas de poliestireno en su superficie mediante la polimerización de estireno por transferencia de cadena de adición – fragmentación reversible (RAFT), se utilizó oxido de grafeno (GO) modificado con doble enlace. Para la modificación que debe de ir en diferentes densidades de injerto mediante una reacción nucleofílica, se preparó y se usó metacrilato de dimetilsili propilo (OD) con doble enlace y grupo amina. Mediante la polimerización RAFT de estireno, se obtuvo GO injertado con poliestireno. Se estudiaron diferentes aspectos de las cadenas de poliestireno libre y unida al grafeno. Según la espectroscopia de resonancia magnética la síntesis DO fue exitosa. Mediante el uso de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X, se confirmó el injerto en GO. La transformada infrarroja de Fourier es utilizada para investigar las capas GO limpias y modificadas. Para el estudio del índice de polidispersidad y peso molecular de las cadenas de poliestireno se utilizó la cromatografía de exclusión por tamaño. Para las capas de GO modificadas con alto y densidades de injerto bajas la relación de injerto de OD fue 10,3 y

4,4%. Visualmente se estudió la morfología de las capas con barrido y transmisión de electrones. Después de la oxidación las plaquetas de grifo planas y lisas se cambiaron a capas arrugadas

**Yi, X., Wang, J., Li, Z., Zhang, Z., Chi, T., Guo, M., Li, W., y Zhou, H. (2019)** en su artículo “the effect of polystyrene plastics on the toxicity of triphenyltin to the marine diatom *Skeletonema costatum*—influence of plastic particle size”, indica:

Para la toxicidad del trifenilestano (TPT) para la diatomea marina *Skeletonema costatum*, que efectos causa las partículas de poliestireno (PS). Para evitar efectos contradictorios sobre el desarrollo de la diatomea, se adhirieron las partículas de PS de 0,1  $\mu\text{m}$  a las paredes celulares de *S. costatum*. En los sistemas de agua de mar, la adsorción de TPT a partículas de PS fue insignificante, para la reducción de concentración biodisponibles de TPT en el medio f/2 tuvo que ver la presencia de 0,1  $\mu\text{m}$  de PS. La adsorción de TPT a PS de menor tamaño (es decir 0,1  $\mu\text{m}$ ) fue más fuerte que la de PS de mayor tamaño (es decir, 5  $\mu\text{m}$ ), lo que probablemente se atribuyó a áreas de superficie más grandes de partículas de PS más pequeñas. Para la reducción de la toxicidad de TPT debe de haber la presencia de PS. Los valores de CI50 de TPT aumentaron de 0,56 a 0,85 y 0,71  $\mu\text{g} / \text{L}$  en presencia de 20  $\text{mg} / \text{L}$  de PS de 0,1  $\mu\text{m}$  y PS de 5  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Finalmente, los resultados perfilaron los efectos tóxicos combinados de PS y TPT en las especies de fitoplancton marino y eliminaron la diferencia en la adsorción de contaminantes orgánicos por micro plásticos en diferentes medios ambientales.

**Araujo, G. S., Iwamoto, L. C., Lintz, R. C. C., y Gachet, L. A. (2021)** en su artículo “Influence of Incorporation and Dimension of Expanded Polystyrene on Lightweight Concrete”, indica: La elaboración de concreto liviano, poliestireno expandido (EPS) unidos con arcillas expandida se utilizaron para reemplazar los agregados de la naturaleza. Se realizó ensayos al hormigón en estado endurecido y fresco. Según los requisitos de ABNT NBR 15823-1:2017, las pruebas realizadas al hormigón de EPS cumplen y es clasificado como autocompactante. Se observó la resistencia a la compresión,

absorción de agua, índice de vacío, masa específica y resistencia a la tracción, en la prueba del hormigón endurecido. Pasaron los 20 MPa la resistencia de los hormigones y presento masa especifica baja, por debajo de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , catalogando como hormigón ligero. Gracias a las imágenes (SEM) captaron una mejor compresión de la microestructura, así justificando los resultados mecánicos obtenidos. Fueron considerado el número de vacíos en la pasta de cemento y la aparición de micro fisuras.

**Abdulkareem, S. A., y Adeniyi, A. G. (2019)** en su artículo “Recycling Copper and Polystyrene from Solid Waste Stream in Developing Conductive Composites”, indica: El interés combinado de sostenibilidad económica y ambiental se debe a la producción de compuestos conductores de la mezcla de desechos de cobre y poliestireno. El siguiente estudio es la preparación de compuestos conductores de micropartículas de cobre y resina de poliestireno solvatado. Mediante agitación mecánica, proceso de laminado manual y prensado frio en las formas deseadas, las partículas de cobre y la resina de poliestireno solvatado se mezclaron a fondo. Mediante el método de sonda de cuatro puntos se determinó la conductividad eléctrica de los compuestos y los conductores se elaboraron con contenido variable de cobre. Con la configuración de densidad realizada en laboratorio y microscopia metalúrgica, los compuestos se caracterizaron más. Se obtuvo una conductividad de  $4,57 \times 10^{-8} \text{ S cm}^{-1}$  con una carga de cobre del 10% en peso y se logró una conductividad máxima de  $2,53 \times 10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$  con un 40% en peso de contenido de cobre. Los compuestos tienen una red conductora creciente, ya que la composición del cobre aumento en la matriz de poliestireno solvatado, esto se debe a los resultados de densidad y microscopia. Según los resultados obtenidos de los compuestos conductores indican un alto potencial para su uso victorioso en las aplicaciones eléctricas y electromagnéticas.

**Espinoza-Merchán, M. P., Torres-Parra, L. J., Rojas-Arias, N., & Coha-Vesga, P. M. (2020)** en su artículo “Recovery and Incorporation of expanded polystyrene Solid Waste in Lightweight Concrete”, indica: Al momento de eliminar las piezas fabricadas en poliestireno expandido (EPS) genera problemas medioambientales. El objetivo es producir una opción en

la utilización de los residuos de EPS, como agregado grueso en la elaboración de hormigón ligero. Procedimiento: La investigación uso el envase de EPS desechados como materia prima. El proceso es de limpieza, molienda y luego reducción de tamaño mediante la aplicación de acetona, que producen varios tipos de poliestireno (R-PS), que se utilizan como agregados gruesos para la producción de concreto liviano en diversas cantidades. Asimismo, para saber su comportamiento las partes fueron sometidos a un proceso de ataque químico. Resultados: El uso de diversas cantidades de acetona, estableció el mejor rango de deducción (volumen) del poliestireno en piezas de EPS. Las pruebas de ataque químico que demuestran el comportamiento de R-PS frente a varios reactivos en muestras de R-PS, y diferentes pruebas de falla del concreto determinan la relación óptima de R-PS para la producción de concreto liviano como grueso. Conclusiones: Según los datos logrados demuestran que el empleo de acetona en muestras de EPSW disminuye la magnitud hasta en un 55%. Según ensayos de resistencia del hormigón, el valor óptimo de P-RS para su uso como árido en la producción de hormigón ligero es del 7%, aumentando su resistencia a los agentes químicos y al peso.

**Adhikary, S. K., Rudzionis, Z., y Zubrus, M. (2019)** en su artículo "Investigations of the Influence of Polystyrene Foamed Granules on the Properties of Lightweight Concrete", indica: El siguiente artículo trata del comportamiento de la pasta de cemento tras el incremento de espuma de poliestireno triturada. Para elaborar la espuma se utiliza espuma de poliestireno triturado con una densidad de  $13,97 \text{ kg/m}^3$  y cal hidratada. Son elaborados tres tipos de muestra S-1, S-2 y S-3 para luego ver el comportamiento de la pasta de cemento luego a añadir diferentes dosis de espuma en constante proporción de agua/cemento. La relación volumétrica de EPS y pasta de cemento fue 1: 1,294; 1: 0,863; y 1: 0,647. Se mantiene la proporción de 0,28 agua/cemento, en cada tipo de muestra. Según la prueba de asentamiento realizado en estado fresco y se halló que el valor del asentamiento reduce al aumentar espuma en la muestra de hormigón. El ensayo de resistencia a la compresión se realiza a los 7 y 28 días del proceso de curado. Al ser adicionado en grandes cantidades la espuma ocasiona la

disminución a la resistencia a la compresión y la densidad. A los 28 días del curado se realiza la prueba de absorción de agua y análisis microscópico. Se halló en el estudio que las muestras de conductividad térmica funcionan proporcionalmente.

**Ho, B. T., Roberts, T. K., y Lucas, S. (2018)** en su artículo “An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach”, indica: El poliestireno es un plástico usado en muchos aspectos de la vida humana e industrias por tener características útiles de bajo costo, facilidad de fabricación, versatilidad, peso ligero, eficiencia térmica, durabilidad y resistencia a la humedad. El poliestireno es muy difícil su degradación en el medio ambiente luego de su eliminación. Se puede utilizar como fuente de carbono para microorganismos iguales a muchos otros hidrocarburos. Recientemente se estableció la capacidad de los microorganismos para usar poliestireno como fuente de carbono. Su alto peso molecular del poliestireno limita el uso como sustrato para que se elaboren reacciones enzimáticas.

**Murana, A. A., Akilu, K., y Olowosulu, A. T. (2020)** en su artículo “Use of Expanded Polystyrene from Disposable Food Pack as a Modifier for Bitumen in Hot Mix Asphalt”, indica: El siguiente estudio evalúa el uso de Disposable Food Pack (DFP) como modificador del betún para un asfalto de mezcla en caliente mejorado (HMA). A partir de los residuos sólidos, el betún se modificó con 2%, 4%, 6%, 8% y 10% DFP. El betún modificado disminuyó de 68 mm a 59,5 mm, de 110 cm a 101 cm y de 1,025 a 1,012 según la penetración, ductilidad y gravedad específica, asimismo el punto de ablandamiento aumento de 49,5°C hasta 54,5°C con adiconamiento de DFP. Los resultados de la estabilidad Marshal y revelaron que el betún modificado con DFP aumentó los valores de estabilidad de las mezclas compactadas hasta un máximo de 9,33 kN al 8% de contenido de DFP. El flujo mostró una disminución de 3,18 mm al 2% DFP a 2,94 mm al 10% DFP, mientras que la densidad de las mezclas compactadas aumentó hasta un máximo de 2.293g / cm<sup>3</sup> con un mayor modificador. El contenido óptimo de

DFP del 6,7% en peso del contenido óptimo de betún (OBC) es recomendado.

**Pczieczek, A., Schackow, A., Effting, C., Dias, T. F., y Gomes, I. R. (2017)** en su artículo *Properties of Mortars Containing Tire Rubber Waste and Expanded Polystyrene*, indica: El objetivo de la investigación es evaluar la utilidad de los residuos de caucho de neumáticos desechados y Poliestireno Expandido (EPS) en mortero. El agregado fino fue reemplazado por 10%, 20% y 30% de caucho y 7,5% y 15% de EPS, para los morteros. Se comprobó la cantidad de aire, consistencia, densidad y retención de agua en estado fresco. En su estado endurecido se verificó, la rotura de probetas, la relación de vacíos, la absorción de agua y la gravedad específica. El uso de caucho en polvo ayuda a aumentar el aire atrapado y disminuir la gravedad, así como a reducir la resistencia a la compresión a los 28 días. La incorporación de EPS contribuyó el aumento de trabajabilidad, relación de vacíos y la absorción de agua y descenso de la densidad y resistencia a la compresión para comparar con el mortero de referencia. El material es más ligero y manejable por el uso de residuos de caucho y EPS. Los mejores resultados que tiene el mortero es la mezcla de 10% de caucho y un 7,5% de EPS.

## **2.2.2 Antecedentes Nacionales**

**De La Cruz Mariños y Mori Pinedo (2019)** en su tesis “Comportamiento sísmico de un sistema aporticado utilizando poliestireno expandido en el concreto, Trujillo – La Libertad”, indican: El presente estudio tiene como objetivo estimar el comportamiento sísmico de los métodos de pórticos con poliestireno expandido en hormigón de acuerdo con las normas técnicas E.020, E.030 y E060. La primera etapa consistió en experimentos sobre 9 especímenes cilíndricos en el grupo de control (CG) y 27 especímenes cilíndricos en los tres grupos experimentales (GE1, GE2 y GE3), cada uno con una proporción de 0%, 3%, 6% y 9 % Poliestireno expandido, produciendo una alta resistencia de 216 kg/cm<sup>2</sup> y un peso específico de 2360 kg/m<sup>3</sup> a los 28 días en la primera etapa. La segunda etapa comprende

específicamente el análisis sísmico del concreto modificado, la resistencia del concreto patrón es de  $240 \text{ kg/cm}^2$  y la gravedad específica es de  $2400 \text{ kg/m}^3$ , y se describe la estructura de cuatro pisos para la residencia localizada en la ciudad de Trujillo. Obteniendo un método aporticado empleando concreto convencional, desplazamiento máximo absoluto  $0,98 \text{ cm}$ , peso total de  $899,39 \text{ Tn}$ , fuerza cortante de diseño de  $119,52 \text{ Tn}$ , deriva máxima de  $0,0076$  y ciclo de vibración de  $0,439 \text{ s}$ . Los estudios sísmicos se realizaron con hormigón modificado, el análisis se realizó con un peso de losa de  $295 \text{ kg/m}^2$ , resistencia de  $216 \text{ kg/cm}^2$  y gravedad específica de  $2360 \text{ kg/m}^3$ , un peso total de  $884,74 \text{ Tn}$ , un desplazamiento máximo de  $0,81 \text{ cm}$  y un esfuerzo cortante de diseño de  $117,57 \text{ Tn}$ . La deriva máxima es de  $0,0063$  y el período de vibración es de  $0,398 \text{ s}$ . Finalmente, una estructura liviana con desempeño suficiente para resistir esfuerzos sísmicos moderados, con un sistema de pórticos de concreto modificado.

**Rodriguez (2017)**, en su tesis “Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural – Cajamarca”, indica: El propósito de este estudio fue determinar las propiedades físico-mecánicas del hormigón liviano soportado por EPS para la elaboración de unidades de concreto liviano, así mismo tienen las propiedades de los morteros típicos, se combinan con cemento, agregado fino y agua, en lugar de grava, añadiendo poliestireno expandido. Se elaboraron probetas patrón de concreto ligero con poliestireno expandido, sacando propiedades del concreto ligero en situación fresco y endurecido, midiendo la viabilidad para encontrar la cuantía de agua utilizado en cada turno. Obtener el resultado de la resistencia a la compresión a los 4, 14 y 28 días en las distribuciones de:  $1200 \text{ kg/m}^3$ ,  $1400 \text{ kg/m}^3$  y  $1600 \text{ kg/m}^3$ , lo cual variaban la relación a/c para obtener una cuantía óptima y así producir las unidades de albañilería de acuerdo con las normas referentes.

Los bloques elaborados con proporciones para  $1600 \text{ kg/m}^3$ , pasados los 28 días se sometieron al ensayo de resistencia a la compresión, absorción y humedad, de acuerdo con la norma NTP 339.600, NTP 399.602 y NTP 399.60, obteniendo una resistencia a la compresión propicio de  $6,15 \text{ MPa}$  ( $62,75 \text{ kg/cm}^2$ ). Al final se llegó a un estudio de incremento de costo de los

bloques ligeros creados esto se debe al costo vigente de demanda de las perlititas de poliestireno expandido. Si embargo el alto precio es equilibrado con la economía de transporte, en la ganancia en la realización de los trabajos ya que tampoco no solicitan de acabados, por lo tanto, sea adquiere economía de periodo y plata al usar bloque con estas propiedades.

## 2.3 Bases Teóricas

La biodegradación del poliestireno expandido y poliestireno extruido no está confirmada se cree que puede ser en 500 años, otros países como España realizan el reciclaje de estos materiales y lo aprovechan como energía, mejora de suelos, materia prima, entre otros, ANAPE (2021).

### 2.3.1 Poliestireno expandido

Material derivado del poliestireno plástico espumado, cuya utilización se da en sectores de envase y construcción. El poliestireno expandido se mantiene sin alteraciones debido a que no tiene sustrato nutritivo para los microorganismos, es un material que tiene de alta higiene. No descompuesto, propicio para ventas frescas, peso ligero, resistencia a la humedad, resistencia al impacto. La densidad nominal que posee el EPS es muy baja encontrándose entre  $10\text{kg/cm}^3$  hasta  $35\text{kg/cm}^3$ . La Tabla 1 muestra las propiedades físicas del poliestireno. Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, ANAPE (2021).

TABLA 1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

PROPIEDADES	NORMA UNE	Und	VALORES MARGEN DE OSCILACIÓN
DENSIDAD Nominal	EN-1602	kg/m <sup>3</sup>	10-35
DENSIDAD Mínima		kg/m <sup>3</sup>	9-31.5
ESPESOR MÍNIMO		mm	50-20
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA $\lambda$ (10°C)	92201	mW/(mK)	46-33
Tensión por COMPRESIÓN con deformación del 10% ( $\sigma_{10}$ )	EN-826	kPa	30-250
Resistencia permanente a la COMPRESIÓN con una deformación del 2%		kPa	15-70
Resistencia a la Flexión ( $\sigma_B$ )	EN-12089	kPa	50-375
Resistencia al CIZALLAMIENTO	EN-12090	kPa	25-184
Resistencia a la TRACCIÓN	EN-1607 EN-1608	kPa	<100-580
Módulo de elasticidad		MPa	<1.5-10.8

Indeformabilidad al calor instantánea		°C	100
Indeformabilidad al calor duradera con 20000 N/m <sup>2</sup>		°C	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal		1/K (xE-5)	5-7
Capacidad Térmica Específica		J/(kgK)	1210
Clase de reacción al fuego		-	M1 o M4
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo 7 días		% (vol.)	0.5-1.5
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días		% (vol.)	1-3
Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua		-	<20-120

FUENTE: (ANAPE, 2021)

### 2.3.2 Propiedades físicas del poliestireno expandido

- Densidad
- Comportamiento mecánico
- Confort térmico
- Permanencia dimensional
- Persistencia frente a la temperatura

#### 2.3.2.1 Densidad

Se caracterizan por ser extremadamente ligeros, aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10Kg/m<sup>3</sup> hasta los 50Kg/m<sup>3</sup>, Hassan (2009).

#### 2.3.2.2 Resistencia mecánica

La resistencia mecánica es evaluada mediante las propiedades siguientes, Bustamante (2011):

- ✓ Resistencia a la compresión para una deformación del 10%.
- ✓ Resistencia a la flexión.
- ✓ Resistencia a la tracción.
- ✓ Resistencia al esfuerzo cortante.
- ✓ Fluencia a la compresión.

#### 2.3.2.3 Aislamiento térmico

Presentan una excelente capacidad de aislamiento frente al calor y el frío. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia

estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno. Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (poliestireno). De todos es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico, Fahy y Walker (2005).

#### **2.3.2.4 Permanencia dimensional**

Como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa entre 0,05 y 0,07 mm. por metro de longitud y grado centígrado, Gómez (2001).

#### **2.3.2.5 Persistencia frente a la temperatura**

El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción) (Anónimo, 2015). Con respecto al extremo superior el límite de temperatura de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuas y con el material sometido a una carga de 20 kPa (Stewart y Craik 2000).

#### **2.3.3 Ventajas del poliestireno**

El sector construcción explota estos beneficios según Gómez, (2001).

- Su ligereza, debido a su composición volumétrica de 98% de aire y 2% de poliestireno.
- No tiene propiedades higroscópicas.
- Es térmicamente estable.
- Sirve como aislador térmico.
- Fuerte absorción de impactos.
- No es biodegradable

- Aislamiento acústico elevado.
- Es ligero para estructuras

#### **2.3.4 Protección del medio ambiente**

El poliestireno expandido (EPS) es un plástico, que no guarda una buena relación por sus efectos dañinos con el medio ambiente, si este material es reciclado adecuadamente podría reducir significativamente el impacto ambiental (Schlaich et al. 1987).

Los puntos más destacables son:

- No genera de gases tóxicos para la atmósfera.
- La ozonósfera no se ve afectada por el proceso de elaboración.
- El suelo, napas freáticas no son contaminadas por este material, por lo que puede utilizarse para aumentar la capacidad de drenaje del terreno.
- Es ideal para ser utilizado como aislante para edificaciones, logrando una alta eficiencia energética, que permite disminuir el costo de energía.
- Se reducen las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.
- Su reciclaje - reutilización se puede realizar al 100%. (Wight y MacGregor 2012)

#### **2.3.5 Propiedades Químicas**

No es estable frente a químicos como disolventes orgánicos, disolventes orgánicos, ácidos concentrados (sin agua), esterres, etc. Tiene alta resistencia ante el agua de mar o soluciones salinas, siendo resistente a los ácidos concentrados, aceite de diésel, hidrocarburos alifáticos saturado, disolventes orgánicos carburantes, como se puede apreciar en la Tabla N° 02, (2020). (*ficha73.pdf*, s. f.)

TABLA 2: PROPIEDADES QUÍMICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

TABLA DE RESUMEN PROPIEDADES QUÍMICAS	
SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución salina (agua de mar)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensioactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (35%) Ácido nítrico (50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: El EPS no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, ester, ...)	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diésel	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: El EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

FUENTE: (ANAPE, 2021)

### 2.3.6 Propiedades Biológicas

El EPS “no se enmohece por no ser nutritivo para los organismos, tampoco se descompone. Estos productos cumplen con exigencias de seguridad e higiene establecidas, así como exigencias sanitarias, por ello su utilización en los embalajes de productos alimenticios”. Según ANAPE, es amigable con el medio ambiente, se puede incinerar y no representa un peligro para el agua. Se pueden agregar a los desechos sólidos domésticos o se pueden incinerar. “Es estable hasta los 85°C, donde no se descomponen ni forman gases nocivos.” Asociación Nacional de Poliestireno Expandido - Propiedades del EPS, ANAPE (2021)

### 2.3.7 Comportamiento frente al fuego

Debido a su composición de materia prima que tiene el poliestireno de polímeros y copolímeros de estireno, conteniendo estas mezclas de hidrocarburos de bajo punto de ebullición, es que no son materiales combustibles.

Cuando son expuestos a mayores temperaturas de 100°C tienden a reblandecer poco a poco para luego contraerse, si la temperatura subiera

estos se funden. Si está expuesto prolongadamente al calor termina emitiendo gases inflamables.

Cuando la exposición es por altas temperaturas y sin fuego estos materiales se inflaman al llegar a obtener temperaturas oscilantes entre 400 – 500°C.

Según el desarrollo y extensión de los incendios, sus propiedades tenderán a variar, teniendo en cuenta la influencia de las propiedades del insumo específico utilizado para fabricar poliestireno expandido: estampado (M4) o auto extingible (M1). “Hay muchos aditivos que pueden ser usados para tener mayor resistencia al fuego, cuando se usan estos el poliestireno es denominado poliestireno auto extingible”, (*ficha73.pdf*, s. f.)

**TABLA 3: PROPIEDADES FRENTE AL FUEGO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Probeta	Componentes de los gases de combustión	Composición del gas de combustión en ppm a una determinada temperatura de ensayo			
		300°C	400°C	500°C	600°C
Material expandido de producto estándar	Monóxido de carbono	50*	200*	400*	1000*
	Estireno monómero	200	300	500	50
	Otras sustancias aromáticas	traza	10	30	10
	Acido bromhídrico	0	0	0	0
Material expandido de producto auto extingible	Monóxido de carbono	10*	50*	500*	1000*
	Estireno monómero	50	100	500	50
	Otras sustancias aromáticas	trazas	20	20	10
	Acido bromhídrico	10	15	13	11
Madera de abeto	Monóxido de carbono	400*	6000*	12000*	15000**
	Sustancias aromáticas	-	-	-	300
Planchas aislantes de aglomerado de madera	Monóxido de carbono	14000**	24000**	59000**	69000**
	Sustancias aromáticas	trazas	300	300	1000

\*Combustión sin llama

\*\* Combustión con llama

Fuente: (ANAPE, 2021)

### 2.3.8 Poliestireno extruido

Su obtención se da de la extrusión de poliestireno se conoce también por sus siglas en ingles XPS o styrofoam, su utilización por lo general es como aislante térmico. Su composición química es la misma que del EPS, constituido por 95% poliestireno expandido y 5% gas. “La diferencia se encuentra únicamente en la fase de extrusionado ocasionando una

estructura de burbuja cerrada, por lo que es capaz de mojarse sin perder sus propiedades”, (*ficha73.pdf*, s. f.)

### 2.3.8.1. Características

*De acuerdo con la Asociación Nacional de poliestireno expandido (2020).*

Propiedades del EPS, ANAPE (2021)

- **Conductividad térmica:** es baja debido a su aislamiento térmico por su estructura cerrada.
- **Resistencia mecánica:** Tiene alta resistencia debido a su proceso de fabricación tecnológico.
- **Resistencia frente al agua:** La absorción al agua es casi nula, siendo altamente resistente al agua.
- **Resistencia a la compresión:** Siendo el factor importante que determinará el producto elegir. Es restringida por las cargas que soportará la cubierta.

### 2.3.8.2. Aplicaciones

- Como material aislante para pisos bajo aceras.
- Suelos industriales o cámaras frigoríficas.
- Calefacción por suelo.
- Aislamiento de cubierta invertida.
- Aislamiento de tejas inclinadas.
- Construir falsos techos lavables para la industria agroalimentaria.

### 2.3.9 Concreto

Material que está constituido por agregados áridos (fino y grueso), cemento portland, agua, aire, con o sin aditivos, Rivva (2014)

Afectan en su calidad las propiedades del concreto fresco, por lo que no solo se debe de elegirse un concreto en función a su resistencia sino también en función a su trabajabilidad. La forma, granulometría, textura, tamaño máximo de los agregados influye en las propiedades del concreto fresco y endurecido, Rivva (2014)

### 2.3.9.1 Tipos de concreto

De acuerdo con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento: **Concreto estructural:** concreto que es utilizado para fines estructurales, pudiendo ser el concreto simple y el concreto reforzado. **Concreto armado o reforzado:** Estructuras de hormigón armado pretensado con no menos de la cantidad mínima de refuerzo. **Hormigón simple:** Hormigón estructural sin armadura o armadura inferior a la armadura mínima especificada para hormigón armado. **Concreto Liviano Estructural:** Concreto agregado liviano con una densidad de equilibrio, determinada por el "Método de prueba para determinar la densidad del concreto liviano estructural" (ASTM C 567), que no exceda los 1850 kg/m<sup>3</sup>. El hormigón ligero sin arena natural se denomina hormigón ligero de componente completo, y el hormigón ligero con todos los agregados finos de arena ordinaria se denomina hormigón ligero con arena ordinaria. **Hormigón de Peso Normal:** Es un hormigón con un peso aproximado de 2300 Kg/m<sup>3</sup>. **Concreto Ciclópeo:** Es el concreto simple en cuya masa se incorporan piedras grandes. **Concreto de Cascote:** Es el constituido por cemento, agregado fino, cascote de ladrillo y agua. **Concreto Premezclado:** Es el concreto que se dosifica en planta, que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a obra. **Concreto Preesforzado:** Concreto estructural al que se le han introducido esfuerzos internos con el fin de reducir los esfuerzos potenciales de tracción en el concreto causados por las cargas, Saneamiento (2009)

### 2.3.9.2 Propiedades del concreto

#### 2.3.9.2.1 *En estado fresco*

A. Trabajabilidad, docilidad o manejabilidad (Abanto Castillo, pág. 47), es la fácil manipulación del concreto fresco en sus etapas de mezclado, instalado, compactado y culminado sin segregación y exudación en estas etapas. La trabajabilidad está relacionada con la cantidad de cemento; sus características de gradación, proporción de los agregados finos-gruesos; con la cantidad de agua y aire; con la incorporación de aditivos; y los escenarios ambientales. "La fineza del cemento, determinada por su superficie específica, tiene influencia

sobre la trabajabilidad. Los cementos de alta fineza la mejoran notablemente, pero pueden causar agrietamiento superficial en el secado". "Se consideran que las finezas del orden de 3300 cm<sup>2</sup>/gr son las más recomendables". (Rivva López, 1992, pág. 32) "Se recomienda para el porcentaje acumulado que pasa la malla N° 50 del 10% al 30%; y para el porcentaje acumulado que pasa la malla N° 100 del 2% al 10%". (Rivva López, 1992, pág. 32) Un problema en el diseño de mezclas son las partículas chatas y alargadas siendo es dañino en la trabajabilidad obligando al empleo de cantidades adicionales de cemento y agua, (Rivva López 1992 pág. 33).

- B. Consistencia o movilidad (Abanto Castillo, pág. 47) "Definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. Capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos".
- C. Exudación o sangrado: se define por el ascenso de una parte del agua de la mezcla a la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno ocurre en momentos después del colocado del concreto en el encofrado. Su causa principal es una inadecuada dosificación de la mezcla y/o exceso de agua, incorporación de aditivos, temperaturas altas y su consecuente rapidez de exudación, entre otros. (Abanto Castillo, pág. 54), otra causa de la exudación son las cantidades excesivas de finos en los agregados, la finura del cemento.

#### **2.3.9.2.2 En estado endurecido**

- A. *Resistencia*: (Abanto Castillo, pág. 50) La resistencia a la compresión es una propiedad del concreto que es fácil de realizar los ensayos a su vez está relacionado con otras propiedades y a medida que se incrementa las otras propiedades también. El concreto alcanza su resistencia de diseño a los 28 días, su curado es muy importante a fin de obtener resultados confiables. "El molde de las probetas de ensayos es de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Los moldes normalizados se construyen de acero;

eventualmente se utilizan de material plástico duro, de hojalata y de cartón parafinado”

B. *Elasticidad*: “El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva”. Es conocido como Módulo de Elasticidad la relación del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva. Para el diseño estructural se supone un módulo de la elasticidad constante; en la práctica, es una magnitud variable cuyo valor promedio es mayor que aquel obtenido mediante una fórmula. (Rivva López, 1992, pág. 42)

### **2.3.10 Resistencia a la compresión del concreto**

De acuerdo con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento: Resistencia a la compresión del concreto empleado en el diseño y evaluada de acuerdo con las consideraciones del diseño, expresada en MPa. Cuando dicha cantidad esté bajo un signo radical, se quiere indicar sólo la raíz cuadrada del valor numérico, por lo que el resultado está en MPa.

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide rompiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascuales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17 MPa para concreto residencial hasta 28 MPa y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 170 MPa y más. ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión? • Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada

cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada,  $f'c$ , del proyecto. • Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura. Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31 “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”. Para estimar la resistencia del concreto insitu, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo con ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”. • Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, **dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar** o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad. En la mayoría de los casos, los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días. Civil Geek (2017), Prueba de Resistencia a la Compresión del concreto. Recuperado de (<https://civilgeeks.com/2017/08/24/prueba-resistencia-la-compresion-del-concreto/>)

### **2.3.11 Contaminación Ambiental**

Según Aguilar:

Es cuando un ambiente está sometido a agentes (físico, químico o biológico) nocivos, siendo uno de estos o la combinación de agentes en formas, lugares u concentraciones tales que son dañinos para los pobladores o la vida vegetal o animal que imposibiliten uso normal de las propiedades y lugares de recreación.

Se denomina contaminación ambiental a la incorporación de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas o mezclas de estas, que afecten negativamente las condiciones oriundas del receptor y puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar de las personas. El hombre a medida que se desarrolla aumenta

sus necesidades en la sociedad, por lo que está en un constante avance tecnológico incorporándose nuevas necesidades en la sociedad, debiéndose tener especial cuidado a no llegar a atentar el equilibrio ecológico – biológico existente. No es que exista una incompatibilidad absoluta entre el desarrollo tecnológico, el avance de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico, pero es importante que el hombre sepa armonizarlos. El hombre debe tomar en conciencia sobre la protección de los recursos renovables y no renovables siendo fundamental para la vida.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

La contaminación puede surgir a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o bien debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida diaria.

Tradicionalmente se ha dividido el medio ambiente para su estudio en aire, suelo y agua, debiéndose cuidar de las fuentes de contaminación de origen antropogénico más importantes como los industriales (frigoríficos, mataderos y curtiembres, actividad minera y petrolera), comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos), L. (2006)

#### **2.3.11.1 Tipos de Contaminación**

**Contaminación del agua:** “es la presencia de componentes químicos o de otra naturaleza en una densidad superior a la situación natural, de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural”, Zarza.

**Contaminación del suelo:** “es la concentración de químicos que provocan cambios perjudiciales y reduce el empleo de este tanto para los humanos como para la naturaleza”, Twenergy (2019).

**Contaminación del aire:** “es una alteración de los niveles de calidad y pureza del aire debido a emisiones naturales o de sustancias químicas y biológicas”, Placeres (2006).

#### **2.3.11.2 Causas de la contaminación ambiental**

- Desperdicios sólidos caseros
- Residuos sólidos industriales
- Demasía de abono y materiales químicos
- Deforestación
- Incendios
- El óxido de carbono de los coches
- Aguas residuales

#### **2.3.12 Aprovechamiento de los residuos**

Se busca recuperar los residuos sólidos otorgándoles un valor económico después de su recuperación mediante la reutilización, manufactura, utilización en energía, etc. Se aprovechan los residuos a fin de que ingresen nuevamente al ciclo económico por ello tienen un nuevo valor comercial. Aprovechables son aquellos que pueden ser utilizados o transformados en otro producto reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial.

La maximización del uso de los desechos sólidos y, por lo tanto, la minimización de la disposición final de los desechos debe hacerse cuando sea técnica, económica y ambientalmente factible.

El reciclaje de residuos debe considerar lo siguiente:

- Las leyes del mercado rigen el valor de las materias primas y se clasifica como un insumo
- Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de biocarbono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.

- En los planes de Gestión de residuos sólidos a reformular se debe considerar la definición de residuo aprovechable. (SINIA, Reciclaje y disposición final segura de residuos sólidos).

### **2.3.13 Residuos sólidos**

Montes (2009): se definen como “aquellos materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte vital”. “Asimismo, explica que el concepto de residuo sólido es un concepto dinámico que evoluciona paralelamente al desarrollo económico y productivo”.

El Decreto N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, “asegura la maximización continua de la eficiencia en el uso de los materiales, regula el manejo y disposición de los desechos sólidos, incluyendo la reducción de la generación de residuos sólidos en origen, material y energético, reciclaje de residuos sólidos, adecuada”. Sustentabilidad de servicios de disposición final y aseo público. La gestión de residuos incluye las siguientes operaciones o procesos:

- a. Barrido y limpieza de espacios públicos
- b. Segregación
- c. Almacenamiento
- d. Recolección
- e. Valorización
- f. Transporte
- g. Transferencia
- h. Tratamiento
- i. Disposición Final

### **2.3.14 Reciclaje**

El reciclaje puede ser definidos como “es un método de reutilización de materiales que de otro modo se eliminarían en un vertedero o incinerador. Materiales desechados que contienen vidrio, aluminio, papel o plástico se pueden reciclar recogiendo y procesándolos en materias primas que luego se utilizan para fabricar nuevos productos. El reciclaje tiene muchos beneficios: ahorra dinero en costos de producción y energía, ayuda a conservar existencias de recursos vírgenes, y disminuye la cantidad de

desechos sólidos que deben ser depositados en rellenos sanitarios o incineradores”, Kitty Richman (2017).

#### 2.3.14.1 Proceso de reciclaje

El reciclaje es un proceso de cuatro pasos.

- El primer paso es la recolección y separación de otra basura.
- El segundo es reprocesar en un crudo material.
- El tercero es la fabricación de nuevos productos.
- El paso final es la compra y uso de productos reciclados por parte de los consumidores, incluidos individuos, empresas e instituciones gubernamentales.

### 2.4 MARCO CONCEPTUAL

**Materia Prima:** Es todo material básico que es transformado durante un proceso de producción del que proviene un producto, Telmo Pereira, Xavier Terradas y Nuno Bicho (2017).

**Ecoaprovechamiento:** Es el aprovechamiento sostenible de un material que no es dañino para el medio ambiente, Junichi Hojo, Tohru Sekino, Jian Feng Yang, Hyung Sun Kim and Wen Bin Cao (2018).

**Aprovechamiento Sostenible:** El aprovechamiento sostenible implica el manejo racional de los recursos naturales teniendo en cuenta su capacidad de renovación, evitando su sobreexplotación y reponiéndolos cualitativa y cuantitativamente, de ser el caso. (2022)

**Agregado Fino:** aquel material que pasa el tamiz  $\frac{3}{8}$ " y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas, Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI, 2014, página 6

**Agregado Grueso:** De acuerdo con la Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI se define: es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra

chancada y grava, Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI, 2014, página 6

## **CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **3.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El Ecoaprovechamiento del Poliestireno Expandido y Poliestireno Extruido recuperados en forma de perlas y desmenuzados permiten fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo.

### **3.2 HIPÓTESIS ESPECIFICAS**

- 3.2.1** El asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados tiene consistencia seca en la ciudad de Huancayo.
- 3.2.2** La resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados supera la resistencia de diseño.
- 3.2.3** La densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados es menor a  $2240 \text{ kg/cm}^3$ .

### **3.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.3.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

- 3.3.1.1** Ecoaprovechamiento del Poliestireno Expandido y Poliestireno Extruido Recuperados

#### **3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

- 3.3.2.1** Fabricación de concreto

## CAPITULO IV: METODOLOGÍA

### 4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 4.1.1 Tipo de investigación: Aplicada

**Investigación aplicada:** La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto, Lozada (2014). Según (Sampieri, 2010) por el tipo de investigación la presente tesis fue una investigación aplicada ya que se analizaron datos y parámetros para el diseño y fabricación del concreto con la sustitución del agregado grueso y fino por el poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados.



FIGURA 3: POLIESTIRENO EXTRUIDO LIMPIO CON UN PAÑO ABSORBENTE



FIGURA 4: POLIESTIRENO EXTRUIDO LAVADO Y SECADO CON UN PAÑO ABSORBENTE



FIGURA 5: DESMENUZADO DEL POLIESTIRENO EXTRUIDO CON UN RAYADOR DOMESTICO

#### 4.1.2 Diseño de la investigación: Experimental

Según Behar, recibe este nombre la investigación que obtiene su información de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo, D. (2008)

- Por el nivel de conocimientos que se adquieren: exploratoria, descriptiva o explicativa.

El diseño de la investigación es experimental con posprueba únicamente y grupo de control:

G1	X	O1
G2	-	O2

**Donde:**

Grupo experimental G1 se le aplica el estímulo (X), se le aplica la posprueba O1

Grupo experimental G2 no se le aplica el estímulo (-), se le aplica la posprueba O2

En este diseño se incluye dos grupos, uno recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control). Un grupo que no se adiciona el poliestireno extruido y expandido y otro que recibe el poliestireno extruido y expandido. Es decir, la manipulación de la variable independiente alcanza sólo dos niveles: presencia y ausencia.

Después de que concluye el periodo experimental, a ambos grupos se les administra una medición sobre la variable dependiente en estudio. Una vez adicionado el poliestireno extruido y expandido y el otro grupo sin tratamiento, se realizó la medición.

## **4.2 UNIDAD DE ANALISIS**

La unidad de análisis son las probetas de concreto fabricadas con el poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en formas de perlas y desmenuzados y las probetas de concreto patrón.

## **4.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población de estudio de la investigación son las 100 probetas de concreto fabricadas con el remplazo del poliestireno extruido y expandido en formas de perlas por agregado pétreo grueso y fino.

TABLA 4: CANTIDAD DE PROBETAS FABRICADAS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PROBETAS PATRÓN	10
2	PROBETAS CON 30% A.G. Y 20%AF SUSTITUCIÓN EPS	10
3	PROBETAS CON 30% A.G. Y 40%AF SUSTITUCIÓN EPS	10
4	PROBETAS CON 60% A.G. Y 70%AF SUSTITUCIÓN EPS	10
5	PROBETAS CON 30% A.G. Y 20%A.F. SUSTITUCIÓN XPS LAVADO	10
6	PROBETAS CON 30% A.G. Y 40%A.F. SUSTITUCIÓN XPS LAVADO	10
7	PROBETAS CON 60% A.G. Y 70%A.F. SUSTITUCIÓN XPS LAVADO	10
8	PROBETAS CON 30% A.F. Y 20%AG SUSTITUCIÓN XPS SIN LAVAR / LIMPIO	10
9	PROBETAS CON 30% A.F. Y 40%AG SUSTITUCIÓN XPS SIN LAVAR / LIMPIO	10
10	PROBETAS CON 60% A.F. Y 70%AG SUSTITUCIÓN XPS SIN LAVAR / LIMPIO	10
TOTAL, DE PROBETAS		100

#### 4.4 TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra para la investigación fueron las 100 probetas de concreto, obtenidas con la mezcla de poliestireno extruido y expandido recuperados con la sustitución de agregado grueso y fino, y la muestra control.

#### 4.5 SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Se tomaron muestras del reciclaje de poliestireno expandido y poliestireno extruido. Selección no probabilística - Por conveniencia. El muestreo de los agregados se realizó con la norma técnica peruana NTP 400.010. Debido a que recolectar muestras de los botaderos es muy peligroso ya que existen muchos animales que pudieran atacar a las personas quienes recolectaron el poliestireno, asimismo estos botaderos no se encuentran en lugares accesibles.

#### 4.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realizó la recolección de datos mediante los ensayos de laboratorio y observación directa.

#### Equipos y herramientas:

Se utilizó balanzas a fin de determinar el peso de los materiales a utilizar, moldes de probetas de concreto de 10 cm x 20 cm, máquina mezcladora

tambor, tanque para curado, prensa automatizada para compresión de especímenes de concreto cilíndricos.

**TABLA 5: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO - ASTM C33-16**

Ensayo de granulometría del agregado fino	Sensibilidad	Precisión
Balanza de 1 kg	0,1 g	0,01 g
Tamiz N° 4	--	--
Tamiz N° 8	--	--
Tamiz N° 12	--	--
Tamiz N° 16	--	--
Tamiz N° 30	--	--
Tamiz N° 40	--	--
Tamiz N° 50	--	--
Tamiz N° 60	--	--
Tamiz N° 100	--	--

**TABLA 6: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO. (ASTM C33-16)**

Ensayo de granulometría del agregado grueso	Sensibilidad	Precisión
Balanza de 1 kg	0,1 g	0,01 g
Tamiz 3/8"	--	--
Tamiz 1"	--	--
Tamiz 1 1/2"	--	--
Tamiz 2"	--	--
Tamiz 3"	--	--

**TABLA 7: EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PRUEBA DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO. (N.T.P. 400.022)**

Ensayo de peso específico del agregado fino	Sensibilidad	Precisión
Balanza de 500 g	0,1 g	--
Tamiz 4"	--	--
Horno de tiro forzado de temperatura de 110°C	0,1° C	--

**TABLA 8: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE LABORATORIO DEL PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO. (N.T.P. 400.022)**

Ensayo de peso específico del agregado grueso	Sensibilidad	Precisión
Balanza de 5000 g	0,50 g	0,1 g
Tamiz 4"	--	--
Horno de tiro forzado de temperatura de 110°C	0,1° C	--

**TABLA 9: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE LABORATORIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO. (A.S.T.M. C29/C29M - 17 A.)**

Ensayo del peso unitario compactado del agregado fino y grueso	Sensibilidad	Precisión
Balanza de 500 g	0,1 g	--
Ensayo de equivalente de arena	Sensibilidad	Precisión
Tamiz N° 4"	0,50 g	0,1 g

**TABLA 10: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE LABORATORIO DE EQUIVALENTE DE ARENA. (N.T.P. 339.146:2000)**

Ensayo de equivalente de arena	Sensibilidad	Precisión
Tamiz N° 4"	0,50 g	0,1 g

**TABLA 11: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE LABORATORIO DE MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ NRO**

Ensayo de material que pasa por la malla 200	Sensibilidad	Precisión
Tamiz N° 40	--	--
Tamiz N° 200	--	--
Horno de tiro forzado de temperatura de 110°C	0,1° C	--
Balanza de 1 kg	0,1 g	0,01 g

**200. (MTC 202-2016)**

**TABLA 12: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE LABORATORIO DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES. (MTC E 207-2016)**

Ensayo de abrasión de los Ángeles	Sensibilidad	Precisión
Tamiz ¾"	--	--
Tamiz ½"	--	--
Tamiz 3/8"	--	--
Tamiz ¼"	--	--
Tamiz N° 4	--	--
Tamiz N° 8	--	--
Tamiz N° 12	--	--
Balanza de 1 kg	0,1 g	0,01 g
Juego de esferas	5000 g + - 25 g	0,01 g
Máquina de Abrasión de los Ángeles	--	1

**TABLA 13: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE LABORATORIO DE DURABILIDAD /PÉRDIDA AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO (MTC E 209-2016)**

Ensayo de durabilidad / pérdida al sulfato de magnesio del agregado grueso y fino	Sensibilidad	Precisión
Tamiz 2 ½"		
Tamiz 2"		
Tamiz 1 ½"		
Tamiz 1 ¼"		
Tamiz 1"		
Tamiz ¾"		
Tamiz 5/8"		
Tamiz ½"		
Tamiz 3/8"		
Tamiz 5/16"		
Tamiz N° 4	--	--
Tamiz N° 5	--	--
Tamiz N° 8	--	--
Tamiz N° 16	--	--
Tamiz N° 30	--	--
Tamiz N° 50	--	--
Tamiz N° 100	--	--
Balanza de 500 g	0,1 g	--
Horno de tiro forzado de temperatura de 110°C	0,1° C	--

**TABLA 14: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO QUÍMICO DE SALES DEL AGREGADO FINO (MTC E 219-2016)**

Ensayo de sales del agregado fino	Sensibilidad	Precisión
Tamiz N° 10	--	--
Balanza de 200 g	0,1 mg	--

**TABLA 15: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO QUÍMICO DE SULFATOS DEL AGREGADO FINO Y GRUESO (MTC E 219-2016)**

Ensayo de sulfatos del agregado fino y grueso	Sensibilidad	Precisión
Tamiz N° 10	--	--
Balanza de 200 g	0,1 mg	--

**TABLA 16: EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN CILÍNDRICA. (ASTM C39/C39M-12)**

Ensayo de Compresión Cilíndrica	Sensibilidad	Precisión
Equipo de ensayo a compresión de muestra cilíndrica	1000 KN	0,0009

### **Materiales:**

Para el lavado del poliestireno reciclado se utilizó detergente

### **Implementos de seguridad:**

Por bioseguridad se utilizaron guantes, bolsas, costales, mascarillas en la recolección de los especímenes para minimizar una probable contaminación.

- El proceso de indagación conto con diferentes etapas que se detallan:
- **Selección de especímenes elegidos.** - Se identificó especímenes de reciclamiento del poliestireno expandido - extruido.
  - **Caracterización y traslado de materiales.** – Se identificó el nivel de deterioro o rescate del poliestireno para efectuar el muestreo de los especímenes con su tipificación correspondiente, para ser luego trasladado los especímenes para ensayarlos.
  - **Pruebas de laboratorio.** – Se ejecutaron las pruebas de acuerdo con las especificaciones de las Normas Técnicas Peruanas, Norma E 060 de concreto armado y las normas ASTM.

#### 4.6.1 Ensayos de Laboratorio

Para los ensayos de laboratorio se emplearon los siguientes equipos que a continuación se detalla su sensibilidad, precisión y fecha de calibración:

TABLA 17: DETALLE DE EQUIPOS – SENSIBILIDAD – PRECISIÓN Y FECHA DE CALIBRACIÓN

Descripción	Sensibilidad	Precisión	Fecha de calibración
Balanza de 1 kg	0,1 g	0,01 g	6/02/2018
Balanza de 500 g	0,1 g	--	--
Balanza de 200 g	0,1 mg	--	--
Balanza de 5000 g	0,50 g	0,1 g	6/02/2018
Balanza de 6000 g	1 g	0,1 g	6/02/2018
Balanza de 3000 g	1 g	1 g	6/02/2018
Equipo de ensayo a compresión de muestras cilíndricas	1000 KN	0,0009	13/02/2018
Máquina de Abrasión de los Ángeles	--	1	4/10/2017
Juego de esferas	5000 g + - 25 g	0,01 g	4/10/2017
Horno con mantenimiento de temperatura estable de 110°C	0,1° C	--	27/08/2018
Tamiz N° 4	--	--	31/01/2018
Tamiz N° 8	--	--	11/04/2018
Tamiz N° 12	--	--	--
Tamiz N° 16	--	--	11/04/2018
Tamiz N° 30	--	--	11/04/2018
Tamiz N° 40	--	--	26/01/2018
Tamiz N° 50	--	--	11/04/2018
Tamiz N° 60	--	--	24/01/2018
Tamiz N° 100	--	--	26/01/2018
Tamiz 1/4"	--	--	--
Tamiz 3/8"	--	--	31/01/2018
Tamiz 5/16"	--	--	--
Tamiz 1/2"	--	--	--

Tamiz 3/4"	--	--	31/01/2018
Tamiz 5/8"	--	--	--
Tamiz 1"	--	--	26/01/2018
Tamiz 1 1/4"	--	--	--
Tamiz 1 1/2"	--	--	4/01/2018
Tamiz 2"	--	--	31/01/2018
Tamiz 2 1/2"	--	--	--
Tamiz 3"	--	--	31/01/2018

#### 4.6.2.1 Ensayos de Agregados de Canteras

##### 4.6.2.1.1 Ensayo de granulometría del agregado fino (ASTM C33-16).

**Método:** Método de ensayo para la determinación de la granulometría del agregado fino mediante tamizado.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma ASTM C33-16

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 27°C
- Humedad Relativa: 35%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma ASTM C33-16



FIGURA 6: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO - ASTM C33-16

#### 4.6.2.1.2 Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso (ASTM C33-16).

**Método:** Método de ensayo para la determinación de la granulometría del agregado grueso mediante tamizado

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma ASTM C33-16

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 27°C
- Humedad Relativa: 35%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma ASTM C33-16



FIGURA 7: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO -- ASTM C33-16

#### 4.6.2.1.3 Ensayo de laboratorio de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino y del Agregado Grueso (N.T.P. 400.022).

##### A. Ensayo de peso específico del agregado fino:

**Método:** Este método de prueba se utiliza para obtener la gravedad específica del agregado fino después de la inmersión en agua durante 24 horas.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma N.T.P. 400.022

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 18°C
- Humedad Relativa: 38%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma N.T.P. 400.022

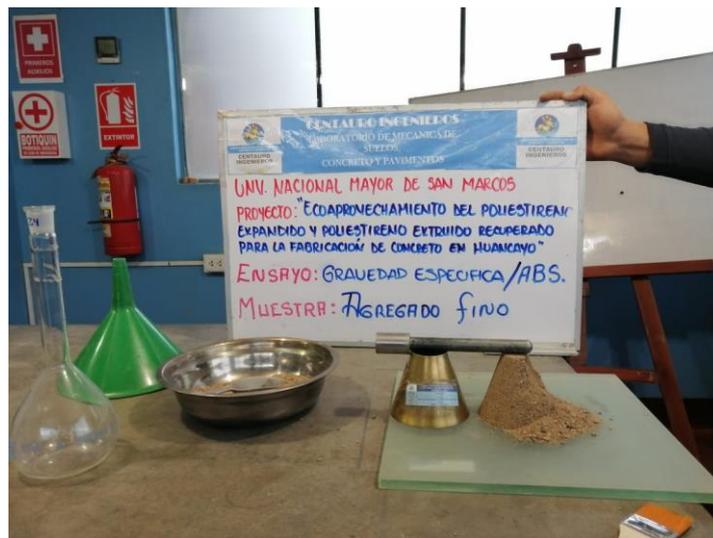


FIGURA 8: ENSAYO DE LABORATORIO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO N.T.P. 400.022

### B. Ensayo de laboratorio del peso específico del agregado grueso (N.T.P. 400.021).

**Método:** Este método de prueba se utiliza para determinar la gravedad específica de los agregados gruesos de tamaño 4,75 mm o más (tamiz de tamaño 4) después de la inmersión en agua durante 24 horas.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma N.T.P. 400.021

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 22°C
- Humedad Relativa: 39%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa

- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma N.T.P. 400.021



FIGURA 9: PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO

#### 4.6.2.1.4 Ensayo de laboratorio del Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Fino (A.S.T.M. C29/C29M - 17 a.).

##### A. Ensayo del Peso Unitario Suelto del Agregado Fino – A.S.T.M. C29/C29M – 17 a

**Método:** Este método de prueba consiste en determinar el peso base compactado del agregado fino.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a.

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 25°C
- Humedad Relativa: 39%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a

## B. Ensayo del Peso Unitario Compactado del Agregado Fino (A.S.T.M. C29/C29M – 17 a).

**Método:** Este método de prueba consiste en determinar el peso base compactado de los finos.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a.

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 25°C hasta 27°C
- Humedad Relativa: 39%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a



FIGURA 10: PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

### 4.6.2.1.5 Ensayo del Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Grueso (A.S.T.M. C29/C29M - 17 a)

#### A. Ensayo del peso unitario suelto del agregado grueso

**Método:** Esta prueba consiste determinar el peso unitario suelto del agregado grueso y fino.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a.

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 27°C
- Humedad Relativa: 35%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a

**B. Ensayo del peso unitario compactado del agregado grueso y fino (A.S.T.M. C29/C29M - 17a).**

**Método:** Esta prueba consiste determinar el peso unitario compactado del agregado grueso y fino.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a.

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 19°C hasta
- Humedad Relativa: 40%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma A.S.T.M. C29/C29M - 17 a



FIGURA 11: PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO - A.S.T.M. C29/C29M - 17 A

#### 4.6.2.1.6 Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino y del Agregado Grueso (A.S.T.M. C566).

**Método:** Esta prueba de ensayo radica en determinar la cantidad de agua del agregado fino y grueso.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma A.S.T.M. C566

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 22°C
- Humedad Relativa: 35%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma A.S.T.M. C566



FIGURA 12: CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

#### 4.6.2.1.7 Ensayo de Equivalente de Arena (N.T.P. 339.146:2000).

**Método:** En esta prueba, las proporciones relativas de arcilla o suelo plástico fino y polvo en suelo granular y agregado fino que pasa a través de un tamiz No. 4 (4,75 mm) se muestran en condiciones estándar.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma N.T.P. 339.146:2000

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 24°C
- Humedad Relativa: 36%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma N.T.P. 339.146:2000



FIGURA 13: EQUIVALENTE DE ARENA - N.T.P. 339.146:2000

#### 4.6.2.1.8 Ensayo de Material que Pasa por la Malla 200 (MTC E 202-2016).

**Método:** Incluye separación de partículas menores a 75 micras (No. 200). La prueba se realiza lavando con agua a través de un tamiz No. 200 (75  $\mu$ m).

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma MTC E 202-2016

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 26°C hasta
- Humedad Relativa: 39%

- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma MTC E 202-2016



FIGURA 14: MATERIAL QUE PASA LA MALLA Nº 200 - MTC E 202-2016

#### 4.6.2.1.9 Ensayo de Abrasión de los Ángeles (MTC E 207-2016).

**Método:** Este método de ensayo consiste en determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

**Fuente:** Norma MTC E 207-2016

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 13,5°C
- Humedad Relativa: 43%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma MTC E 207-2016



FIGURA 15: ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES

#### 4.6.2.1.10 Ensayo de Impurezas Orgánicas. (MTC E 213-2016).

**Método:** Este método de ensayo consiste en obtener el valor aproximado de la presencia de impurezas orgánicas nocivas en los áridos finos que se utilizarán en morteros de hormigón o cemento hidráulico.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma MTC E 213-2016

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 15°C
- Humedad Relativa: 39%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma MTC E 213-2016

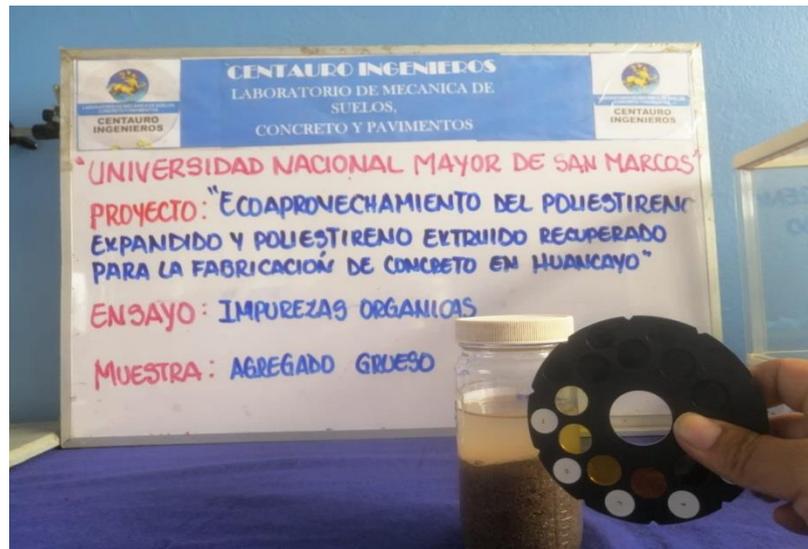


FIGURA 16: IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO

#### 4.6.2.1.11 Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio (MTC E 209-2016).

**Método:** Este método de ensayo determina la resistencia a la desintegración de los agregados por una solución saturada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

**Fuente:** Ensayo concordante con la norma MTC E 209-2016

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 19°C
- Humedad Relativa: 40%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos según la norma MTC E 209-2016



FIGURA 17: DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO - MTC E 209-2016

#### 4.6.2.1.12 Ensayo de Sales del Agregado Fino (MTC E 219-2016).

**Método:** Ejecutar procesos analíticos de cristalización para cuantificar el contenido de cloruros y sulfatos (solubles en agua) de la piedra utilizada para estabilizar mezclas base y asfálticas.

**Fuente:** Ensayo de acuerdo con la norma MTC E 219-2016

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 25°C
- Humedad Relativa: 35%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma MTC E 219-2016

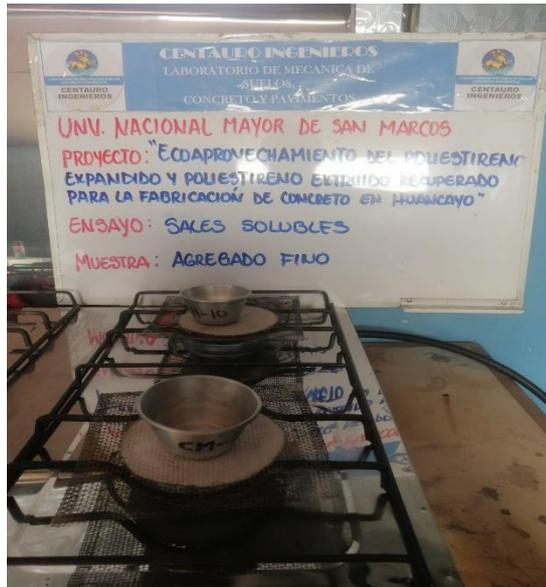


FIGURA 18: SALES EN EL AGREGADO FINO Y GRUESO

#### 4.6.2.1.13 Ensayos químicos de sulfatos del agregado fino y del agregado grueso (MTC E 219-2016).

**Método:** Para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

**Fuente:** Ensayo concordante con la norma MTC E 219-2016

**Lugar de ensayos:** Laboratorio de ensayo de materiales Inversiones Generales Centauro Ingenieros S.A.C.

**Condiciones de Laboratorio:** Condiciones de laboratorio Normalizadas en:

- Temperatura: 13,5°C
- Humedad Relativa: 41%
- Presión atmosférica: 1010 hPa a 1020 hPa
- Alimentación eléctrica: 220 V

**Equipos utilizados:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma MTC E 219-2016

#### 4.6.2.1.14 Método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en especímenes cilíndricos (ASTM C39/C39M-12).

**Aparatos:** Según la norma indicada.

TABLA 18: TOLERANCIAS PERMISIBLES

TIEMPO DE ENSAYO	TOLERANCIA PERMITIDA
24 h	$\pm 0,5$ h o 2,1%
3 d	$\pm 2$ h o 2,8%
7 d	$\pm 6$ h o 3,6%
28 d	$\pm 20$ h o 3,0%
90 d	$\pm 48$ h o 2,2%

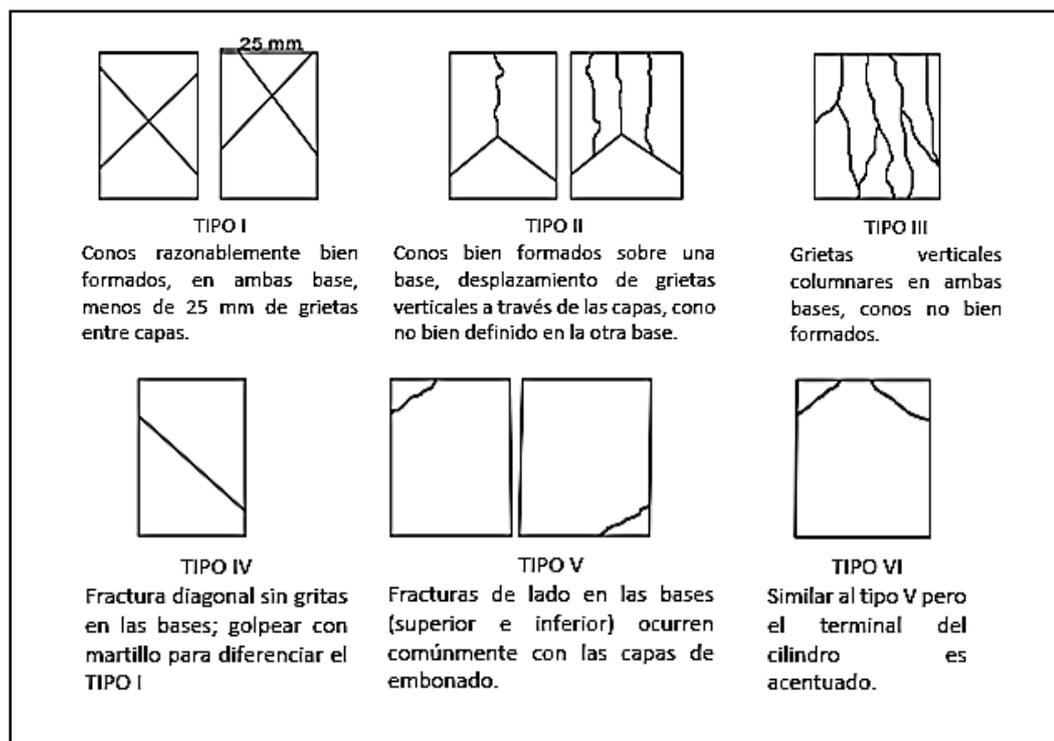


FIGURA 19: TIPOS DE FALLAS DEL CONCRETO SOMETIDO A COMPRESIÓN

Fuente: ASTM C39/C39M-12: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

#### 4.6.2.1.15 Partículas Chatas y alargadas en agregados (ASTM D 4791).

Implica determinar el porcentaje de partículas planas o alargadas en el agregado grueso. Las partículas planas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación del material.

**Equipos para utilizar:** Se utilizaron los equipos de acuerdo con la norma ASTM D 4791

TABLA 19: PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA DEL ENSAYO

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL MALLA CUADRADA mm – (pulgada)	PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA DEL ENSAYO kg – (lb)
9,5 – (3/8)	1 – (2)
12,5 – (1/2)	2 – (4)
19,0 – (3/4)	5 – (11)
25,0 – (1)	10 – (22)
37,5 – (1 1/2)	15 – (33)
50 – (2)	20 – (44)
63 – (2 1/2)	35 – (77)
75 – (3)	60 – (130)
90 – (3 1/2)	100 – (220)
100 – (4)	150 – (330)
112 – (4 1/2)	200 – (440)
125 – (5)	300 – (660)
150 – (6)	500 – (1100)

Fuente: ASTM D 4791 Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate

Longitud: La dimensión más grande de la partícula, ancho: la dimensión más grande en el plano perpendicular a la longitud, espesor: la dimensión más grande perpendicular a la longitud y el ancho.



FIGURA 20: PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS



FIGURA 21: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 7 DÍAS PARA ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA - ASTM C39/C39M-12 – EPS

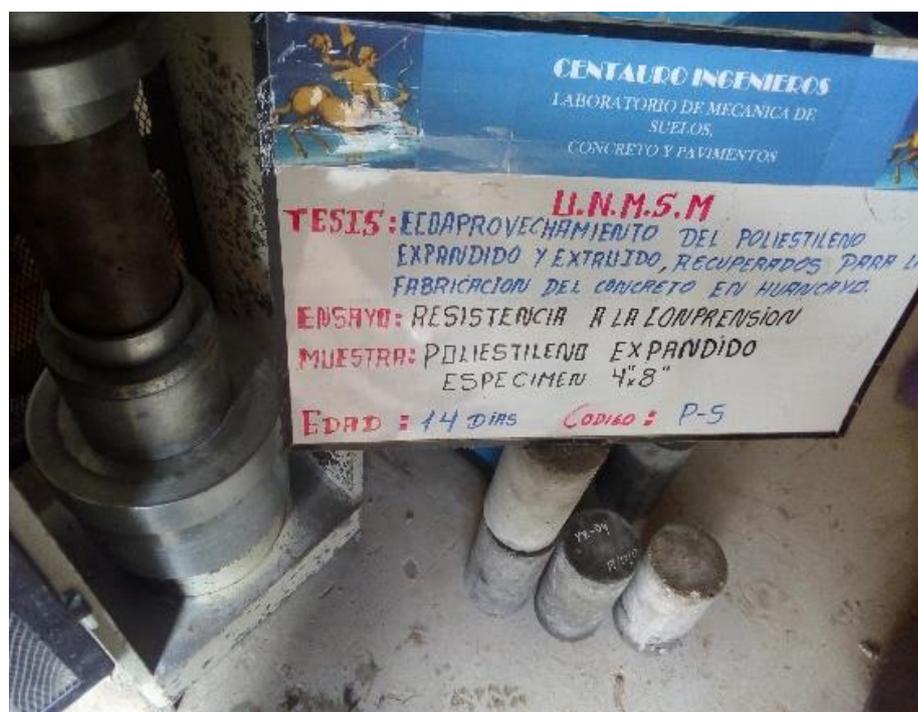


FIGURA 22: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 14 DÍAS PARA ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA - ASTM C39/C39M-12 – EPS



FIGURA 23: ESPÉCIMEN DE 4" x 8" DE 28 DÍAS PARA ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA - ASTM C39/C39M-12 – EPS



FIGURA 24: ESPÉCIMEN DE 4" x 8" DE 28 DÍAS PARA ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA - ASTM C39/C39M-12 – EPS

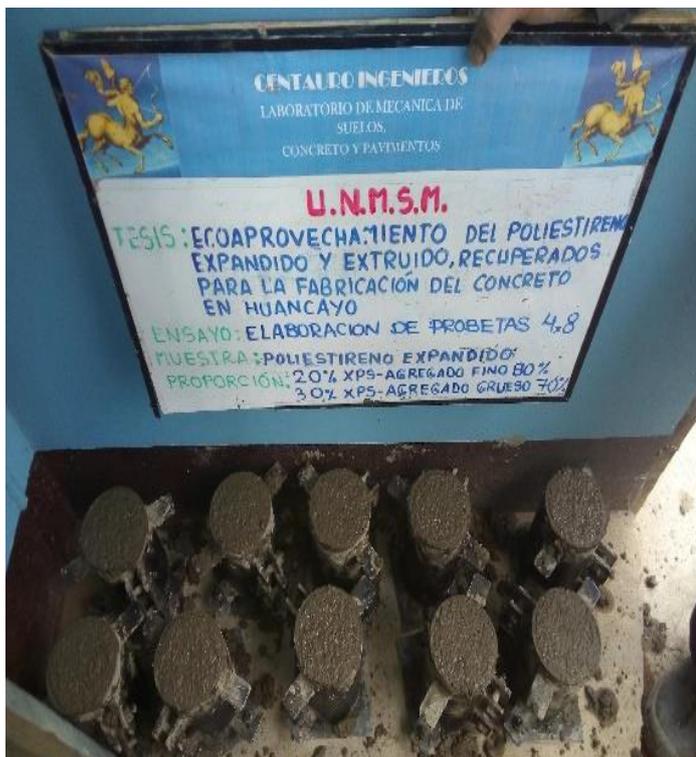


FIGURA 25: ESPÉCIMENES DE CONCRETO – EPS CON SUSTITUCIÓN DEL 20% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO

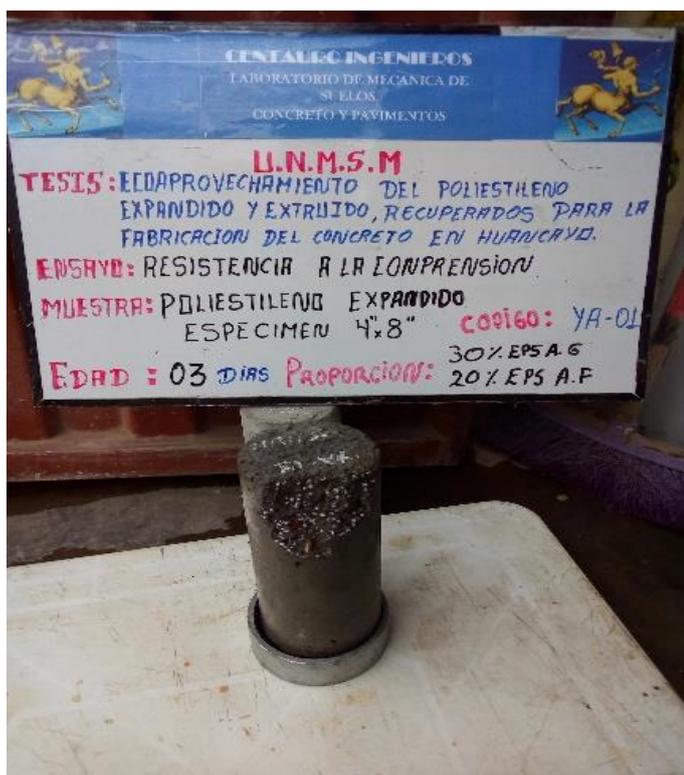


FIGURA 26: ESPÉCIMEN ENSAYADO DE 4" x 8" DE 3 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 20% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO. EPS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS. - ASTM C39/C39M-12



FIGURA 27: ESPÉCIMEN ENSAYADO DE 4" X 8" DE 7 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 20% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO – EPS. ASTM C39/C39M-12



FIGURA 28: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 21 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 20% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO – EPS - ASTM C39/C39M-12



FIGURA 29: ESPÉCIMEN ENSAYADO DE 4" X 8" DE 3 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 40% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - EPS - ASTM C39/C39M-12



FIGURA 30: ESPÉCIMEN ENSAYADO DE 4" X 8" DE 28 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 60% AGREGADO FINO Y 70% AGREGADO GRUESO - EPS - ASTM C39/C39M-12



FIGURA 31: ESPÉCIMEN ENSAYADO DE 4" X 8" DE 7 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 30% AGREGADO FINO Y 20% AGREGADO GRUESO - XPS LAVADO - ASTM C39/C39M-12



FIGURA 32: ESPÉCIMEN ENSAYADO DE 4" X 8" DE 21 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 20% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - XPS LAVADO - ASTM C39/C39M-12



FIGURA 33: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 14 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 40% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS LAVADO.



FIGURA 34: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 21 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 40% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS LAVADO.



FIGURA 35: ESPÉCIMEN DE 4" x 8" DE 3 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 70% AGREGADO FINO Y 60% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS.



FIGURA 36: ESPÉCIMEN DE 4" x 8" DE 21 DÍAS, CON SUSTITUCIÓN DEL 70% AGREGADO FINO Y 60% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS LAVADO.

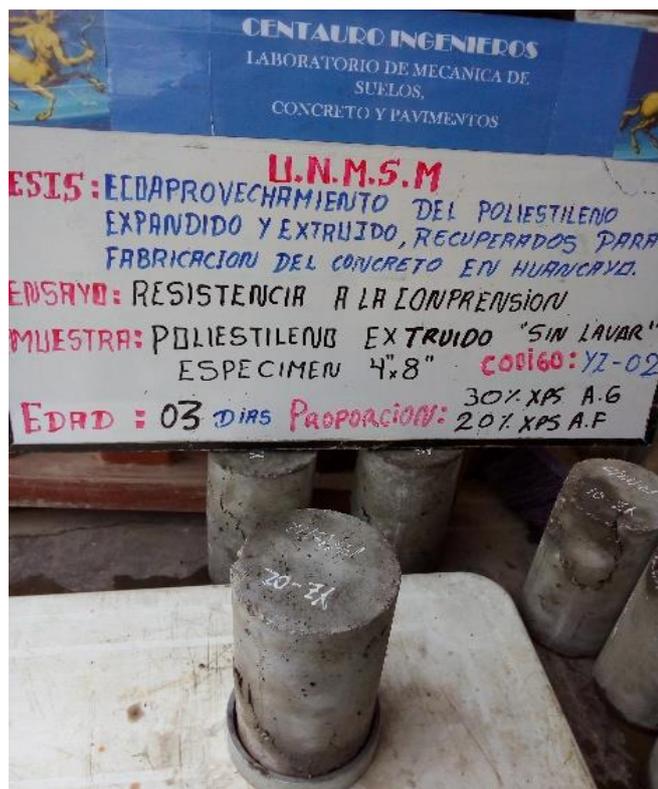


FIGURA 37: ESPÉCIMEN DE 4" x 8" DE 3 DÍAS, SUSTITUCIÓN DEL 20% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS SIN LAVAR.



FIGURA 38: ESPÉCIMEN DE 4" x 8" DE 7 DÍAS, SUSTITUCIÓN DEL 40% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS SIN LAVAR.



FIGURA 39: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 7 DÍAS, SUSTITUCIÓN DEL 40% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS SIN LAVAR.



FIGURA 40: ESPÉCIMEN DE 4" X 8" DE 7 DÍAS, SUSTITUCIÓN DEL 40% AGREGADO FINO Y 30% AGREGADO GRUESO - ASTM C39/C39M-12 – XPS SIN LAVAR

#### **4.7 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los instrumentos de recolección de datos para la investigación fueron:

- Formato de ensayo de contenido de humedad
- Formato de ensayo de peso unitario suelto y peso unitario compactado de agregados finos y gruesos
- Formato de ensayo de granulometría de agregado fino y agregado grueso
- Formato de ensayo de peso específico de los agregados
- Formato de ensayo de absorción de los agregados
- Formato de ensayo de equivalente de arena
- Formato de ensayo de impurezas orgánicas
- Formato de ensayo de pasante de malla Nro 200
- Formato de ensayo de desgaste de los ángeles
- Formato de ensayo sales solubles en agregados
- Formato de ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino y grueso
- Formato de ensayo de sulfatos en agregados
- Formato de ensayo resistencia a la compresión de muestras cilíndricas

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados de los ensayos (resumen)

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio:

TABLA 20: AGREGADO GRUESO: CANTERA RÍO MANTARO, ANEXO SANTA ROSA

ÍTEM	ENSAYOS DE LABORATORIO	LIMITES PERMISIBLES NORMA NTP 400.037	RESULTADO
1	Abrasión de los Ángeles	Máx. 50%	20,32%
2	Porcentaje de una cara fracturada	No Precisa	88,40%
3	Porcentaje de dos a más caras fracturadas	No Precisa	82,20%
4	Inalterabilidad del agregado fino por sulfato de magnesio	Máx. 18%	2,949%
5	Porcentaje de partículas chatas 1 ½"	No Precisa	24,90%
6	Porcentaje de particular alargadas 1 ½"	No Precisa	31,30%
7	Porcentaje de partículas chatas ¾"	No Precisa	31,12%
8	Porcentaje de partículas alargadas ¾"	No Precisa	6,94%
9	Sulfatos en agregados	No Precisa	548,13 ppm

Se puede apreciar en la Tabla 20 que de acuerdo con los límites permisibles de la Norma NTP 400.037 el agregado grueso de la cantera Río Mantaro, anexo Santa Rosa del distrito de Huamancaca Chico cumple con estos requisitos. Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037 y Propia.

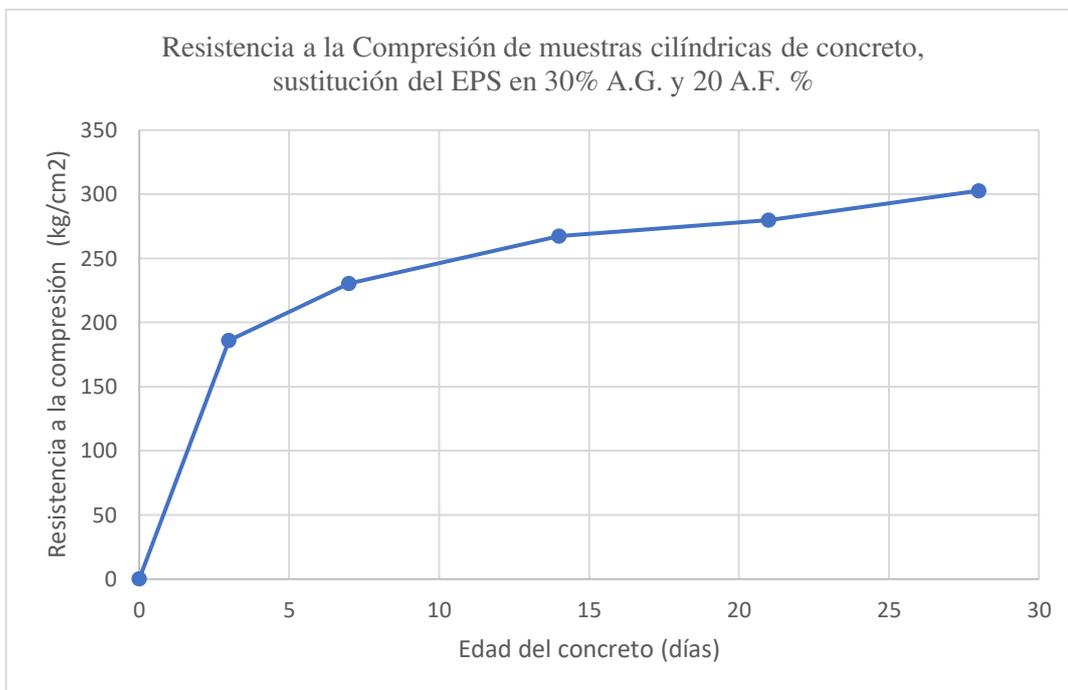
TABLA 21: AGREGADO FINO: CANTERA RÍO MANTARO, PUENTE LAS PALMAS

ÍTEM	ENSAYOS DE LABORATORIO	LIMITES PERMISIBLES NORMA NTP 400.037	RESULTADO
1	Inalterabilidad del agregado fino por sulfato de magnesio	Máx. 15%	9,376%
2	Sales solubles en agregados	No Precisa	720 ppm
3	Equivalente de arena	Min. 75%	82%
4	Impurezas Orgánicas	Máx. 3	1
5	Pasante por la malla Nro 200	Máx. 5%	0,54%
6	Sulfatos en Agregados	No Precisa	563,89 ppm
7	Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en agregados	Máx. 3%	4,00%

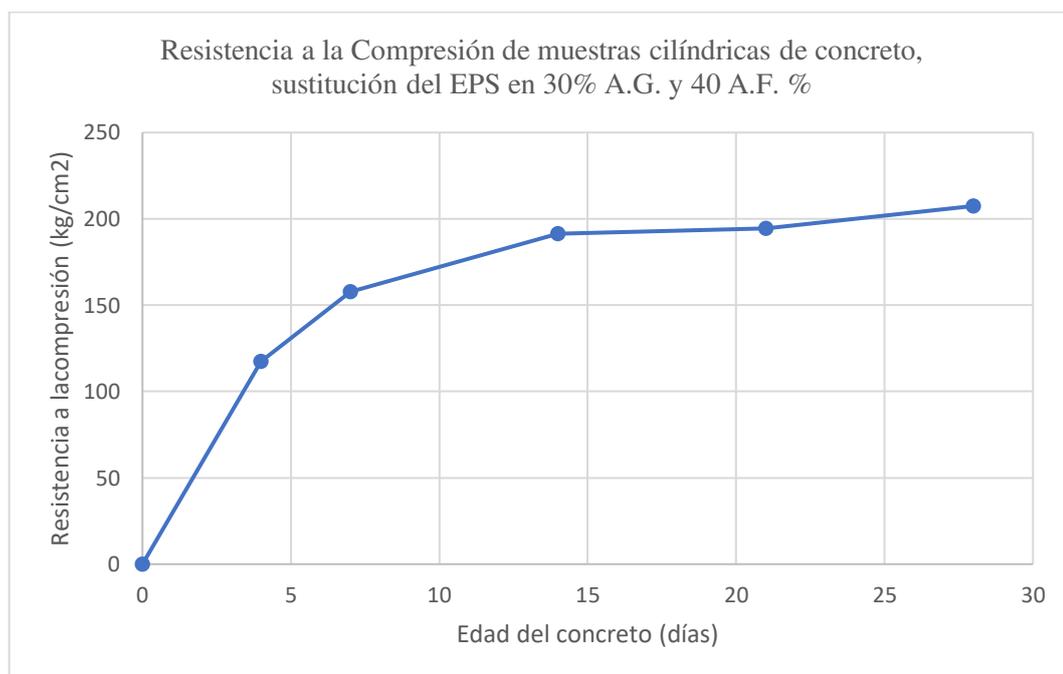
De la Tabla 21 el agregado fino de la cantera Río Mantaro - Puente Las Palmas, Anexo La Huaycha – Orcotuna, cumple con los requisitos de los límites permisibles norma NTP 400.037 de inalterabilidad del agregado fino con Sulfato de Magnesio, Impurezas orgánicas, Pasante por la malla N° 200 y no cumple con el requisito de arcilla en terrones partículas desmenuzables (friables) en agregados, asimismo la norma NTP 400.07 no precisa límites en sales solubles en agregados y sulfatos en agregados. Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037 y Propia.

TABLA 22: CANTIDAD DE MATERIALES PARA CONCRETO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , CEMENTO, AGUA, AGREGADO FINO (ARENA GRUESA), AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA) EN PESO (POR BOLSA DE CEMENTO Y POR METRO CÚBICO) Y VOLUMEN (POR BOLSA DE CEMENTO Y POR METRO CÚBICO).

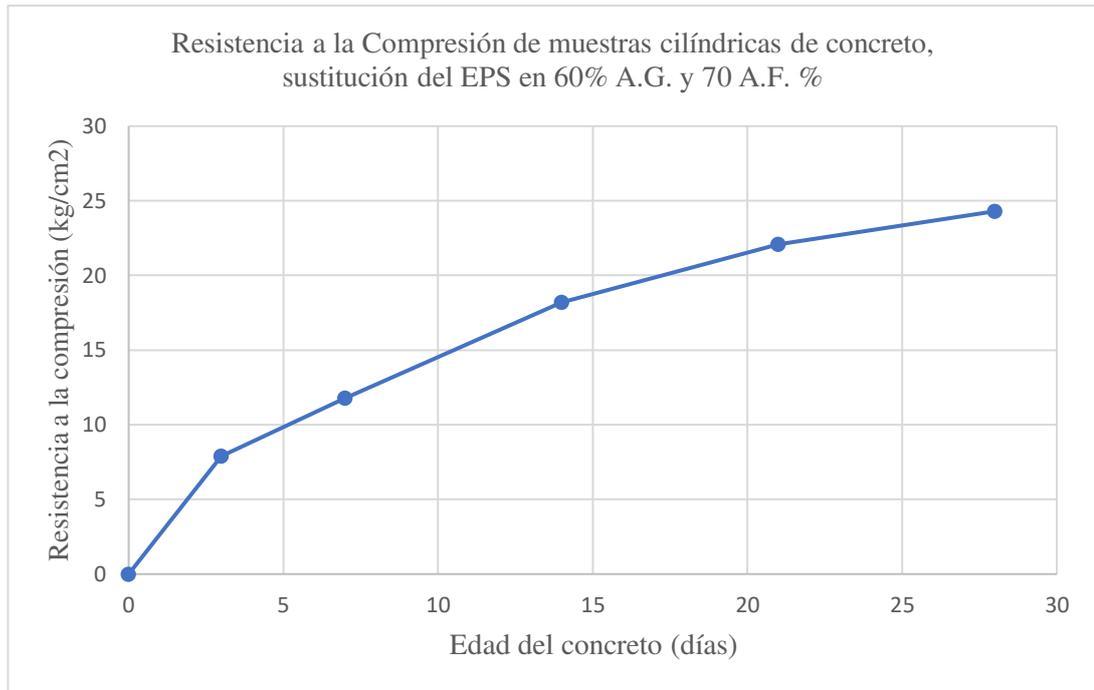
PESOS POR TANDA POR BOLSA DE CEMENTO	
Cemento	42,50 kg/bolsa
Agua	21,13 l/bolsa
Agregado Fino (Arena gruesa)	99,96 kg/bolsa
Agregado Grueso (Piedra chancada)	107,22 kg/bolsa
PESO POR TANDA POR METRO CÚBICO	
Cemento	359,07 kg/m <sup>3</sup>
Agua	178,54 l/m <sup>3</sup>
Agregado Fino (Arena gruesa)	844,53 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso (Piedra chancada)	905,89 kg/m <sup>3</sup>
VOLUMEN POR TANDA POR BOLSA DE CEMENTO	
Cemento	1,00 pie <sup>3</sup> /bolsa
Agua	21,13 l/bolsa
Agregado Fino (Arena gruesa)	2,25 pie <sup>3</sup> /bolsa
Agregado Grueso (Piedra chancada)	2,7 pie <sup>3</sup> /bolsa
VOLUMEN POR TANDA POR METRO CÚBICO	
Cemento	8,45 pie <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Agua	178,54 l/m <sup>3</sup>
Agregado Fino (Arena gruesa)	19,02 pie <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Agregado Grueso (Piedra chancada)	21,75 pie <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>



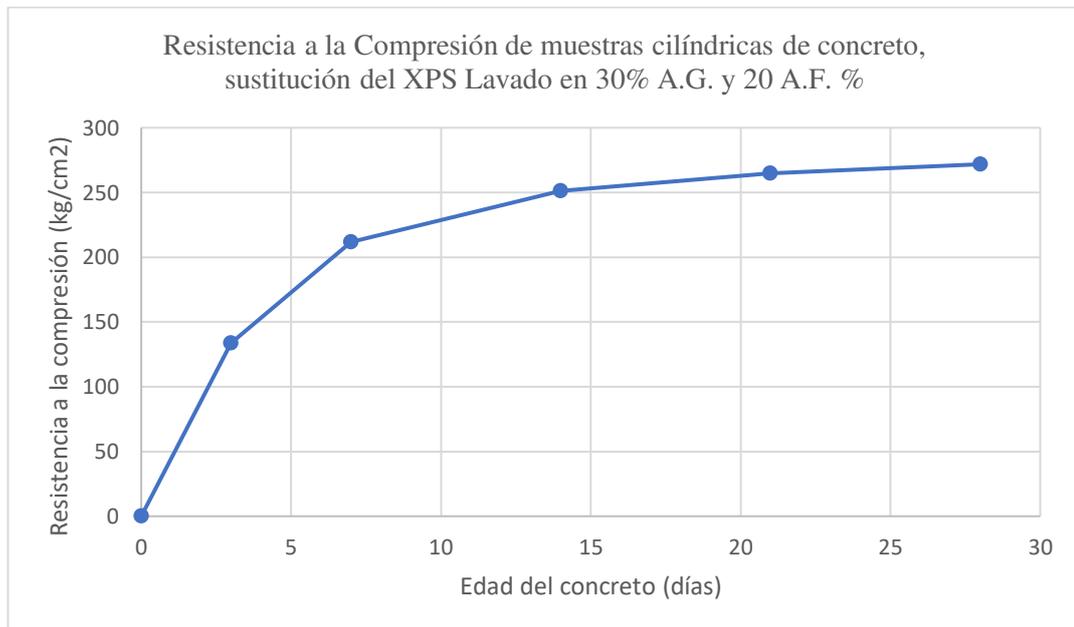
**FIGURA 41:** CON EL AGREGADO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECUPERADO (30% DE AGREGADO DE EPS GRUESO Y 20% DE AGREGADO DE EPS FINO), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 300 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS



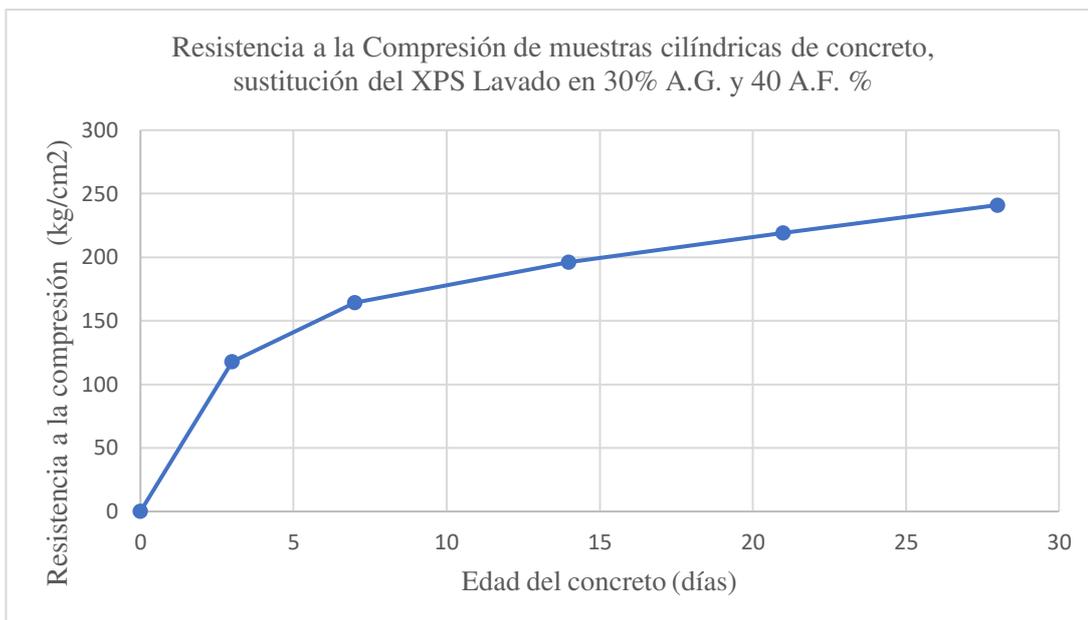
**FIGURA 42:** CON EL POLIESTIRENO EXPANDIDO RECUPERADO (30% DE ÁRIDOS GRUESOS Y 40% DE ÁRIDOS FINOS), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 200 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



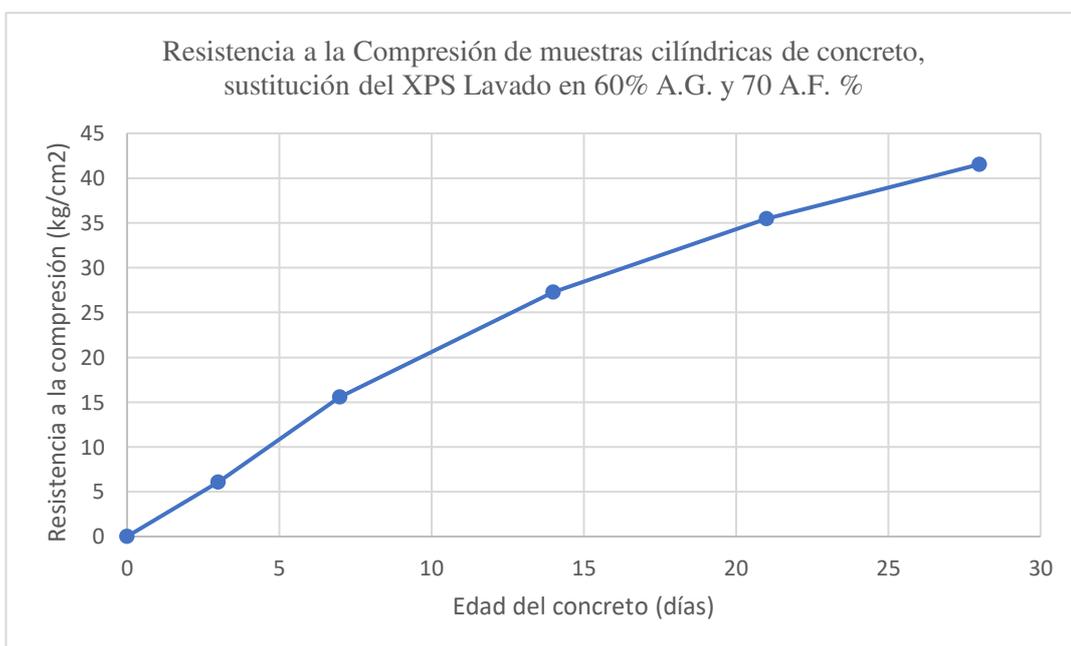
**FIGURA 43:** CON LOS ÁRIDOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECUPERADOS (60 POR CIENTO DE ÁRIDOS DE EPS GRUESOS Y 70% DE ÁRIDOS DE EPS FINOS), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ALCANZA LOS 24 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



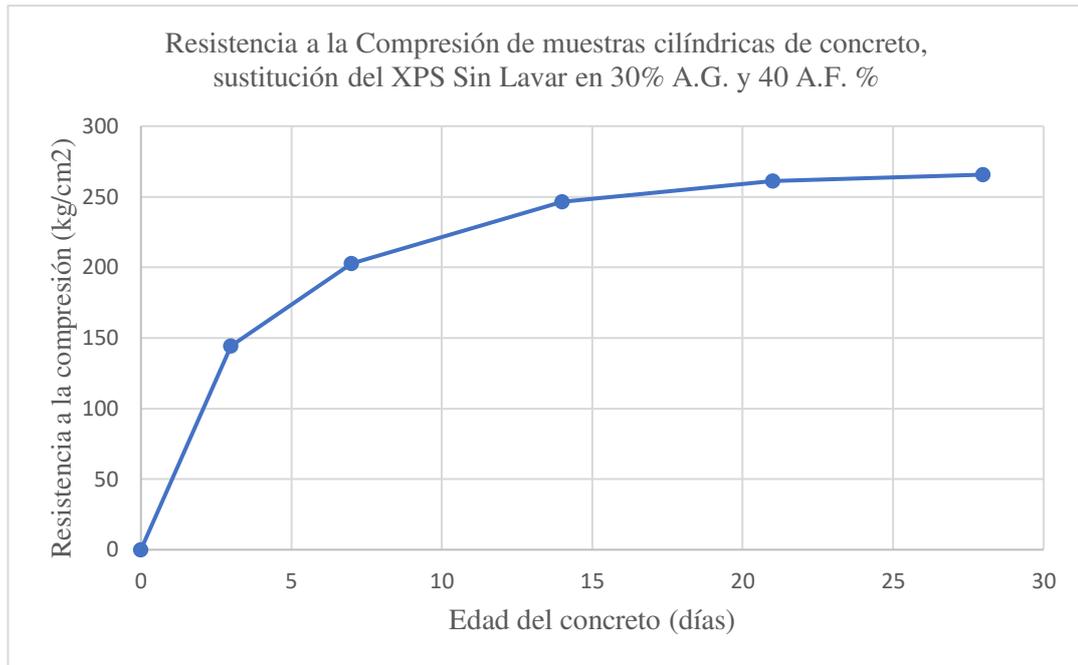
**FIGURA 44:** CON LOS ÁRIDOS DE POLIESTIRENO EXTRUIDO RECUPERADOS (30 POR CIENTO DE ÁRIDOS DE XPS LAV. GRUESOS Y 20% DE ÁRIDOS DE XPS LAV. FINOS), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ALCANZA LOS 272 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



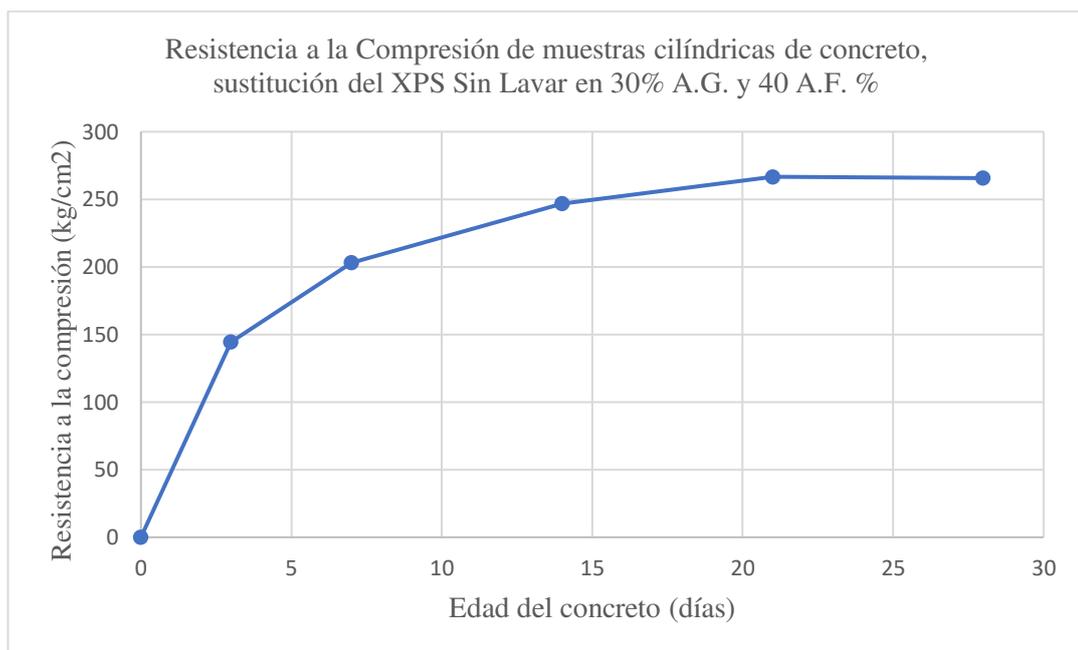
**FIGURA 45:** CON EL POLIESTIRENO EXTRUIDO LAVADO RECUPERADO (30% DE ÁRIDOS GRUESOS POR XPS LAV. Y 40% DE ÁRIDOS FINOS POR XPS LAV.), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 241 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



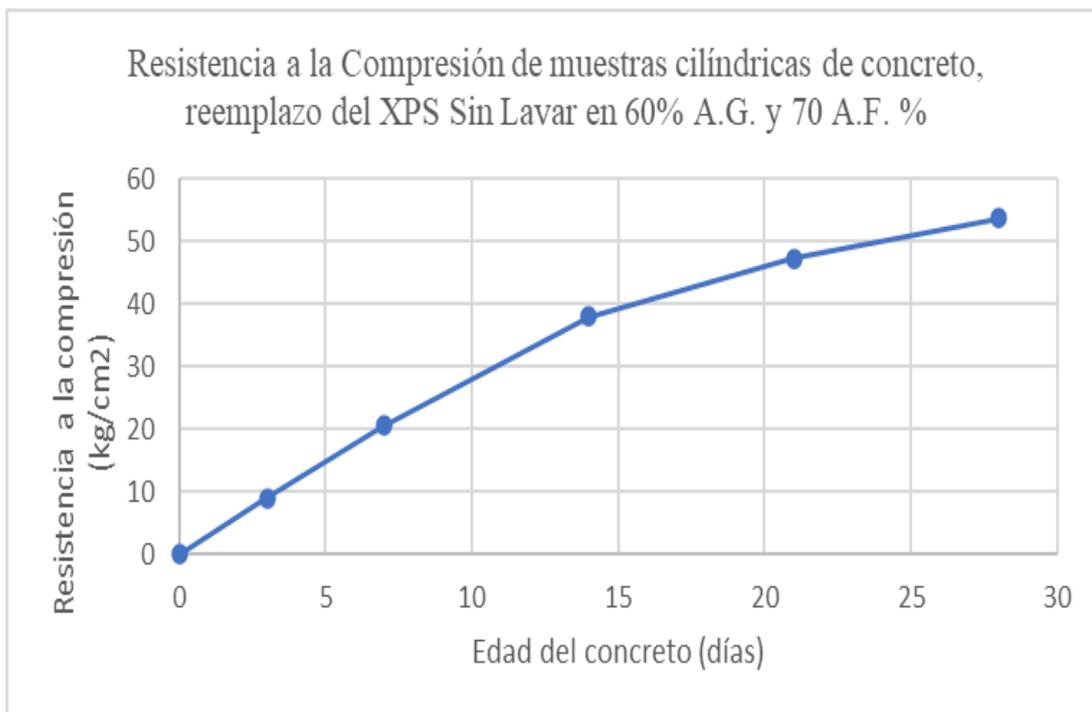
**FIGURA 46:** CON EL POLIESTIRENO EXTRUIDO LAVADO RECUPERADO (60% DE ÁRIDOS GRUESOS POR XPS LAV. Y 70% DE ÁRIDOS FINOS POR XPS LAV.), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 42 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



**FIGURA 47:** CON EL POLIESTIRENO EXTRUIDO RECUPERADO LIMPIO (30% DE ÁRIDOS GRUESOS XPS SIN LAV. Y 40% DE ÁRIDOS FINOS POR XPS SIN LAV.), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 265 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



**FIGURA 48:** CON EL POLIESTIRENO EXTRUIDO RECUPERADO LIMPIO (30% DE ÁRIDOS GRUESOS SIN LAV. Y 40% DE ÁRIDOS FINOS POR XPS SIN LAV.), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 266 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.



**FIGURA 49:** CON EL POLIESTIRENO EXTRUIDO RECUPERADO LIMPIO (60% DE ÁRIDOS GRUESOS SIN LAV. Y 70% DE ÁRIDOS FINOS POR XPS SIN LAV.), SE OBSERVA QUE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SUPERA LOS 54 KG/CM<sup>2</sup> DESPUÉS DE 28 DÍAS.

**TABLA 23:** RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS CILÍNDRICAS A DIFERENTES EDADES – MUESTRA CONTROL

Muestra Control $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ Resistencia de diseño		
Especificación	Edad	$f'c$ promedio
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	0	0
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	3	189
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	7	214
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	14	246
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	21	275
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	28	297

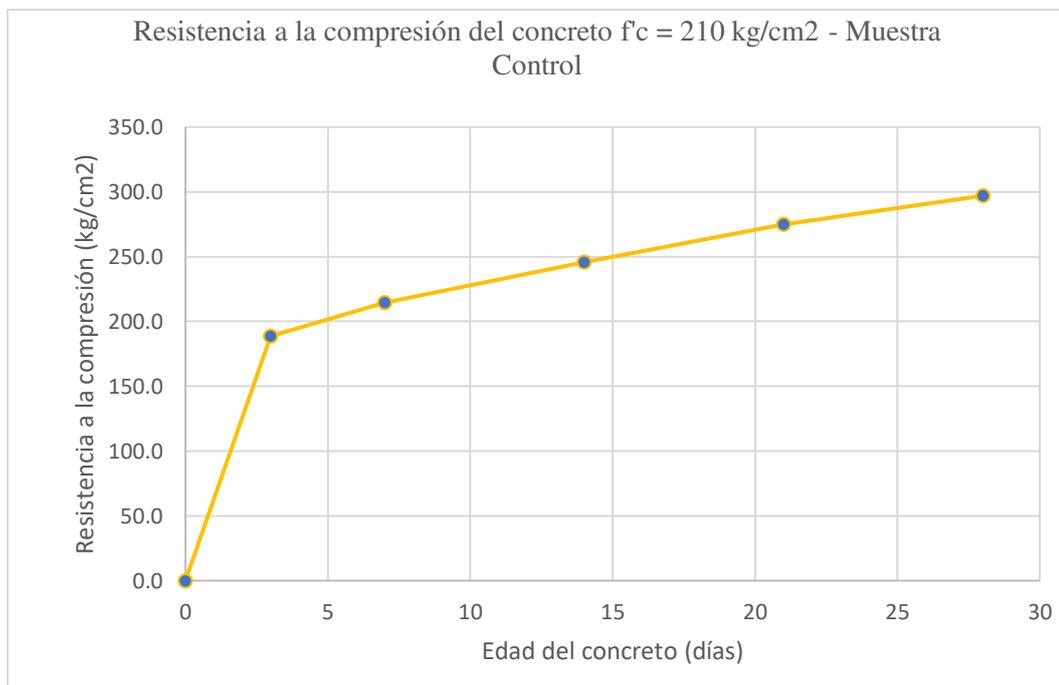
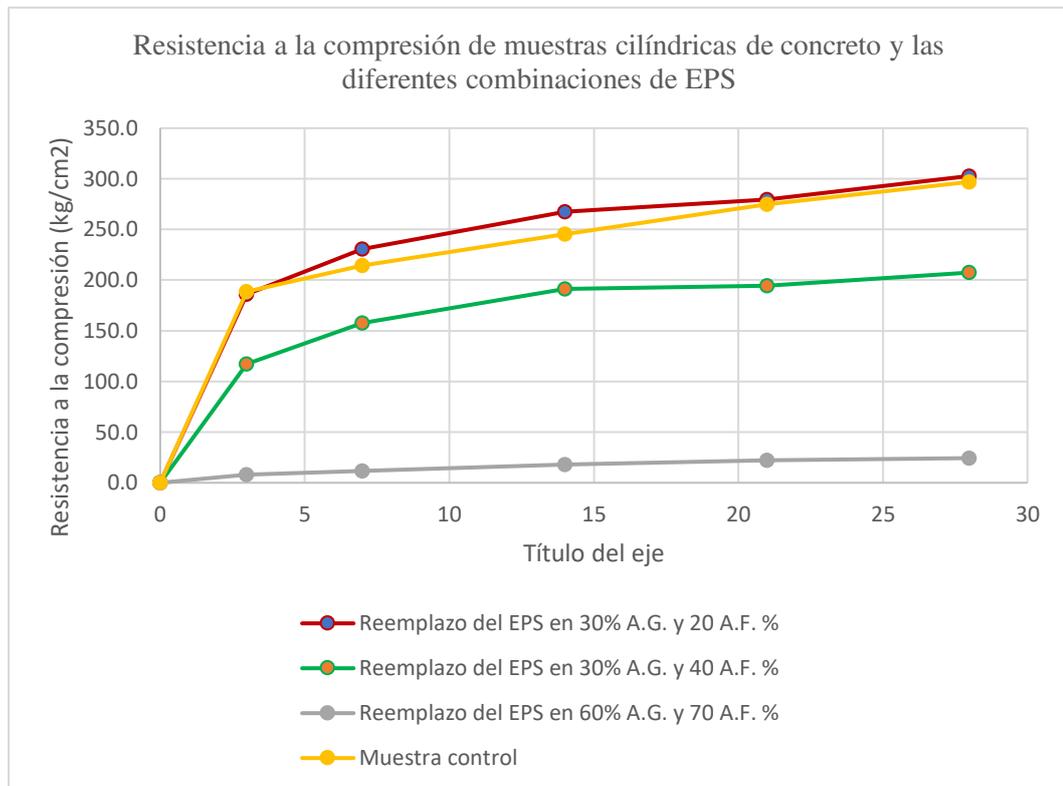


FIGURA 50: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO - MUESTRA CONTROL

TABLA 24: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE EPS

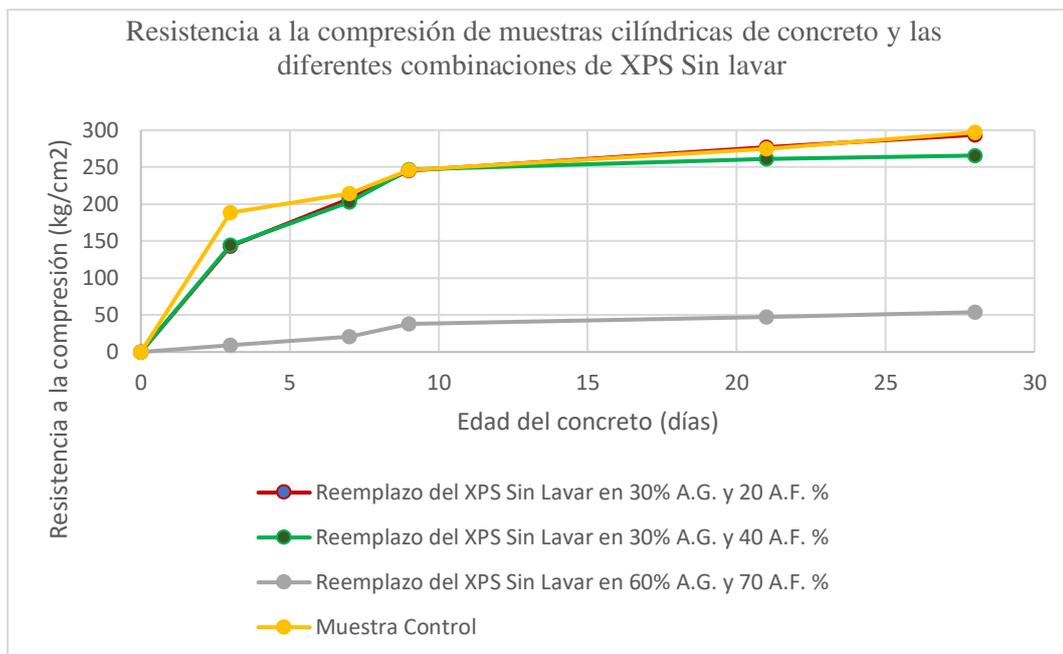
Concreto de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes dosificaciones de EPS					
Especificación	Edad	Muestra control	Sustitución del EPS en 30% A.G. y 20 A.F. %	Sustitución del EPS en 30% A.G. y 40 A.F. %	Sustitución del EPS en 60% A.G. y 70 A.F. %
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	0	0	0	0	0
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	3	189	186	117	8
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	7	214	231	158	12
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	14	246	267	191	18
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	21	275	280	194	22
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	28	297	303	207	24



**FIGURA 51: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO Y LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE EPS**

**TABLA 25: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE XPS SIN LAVAR**

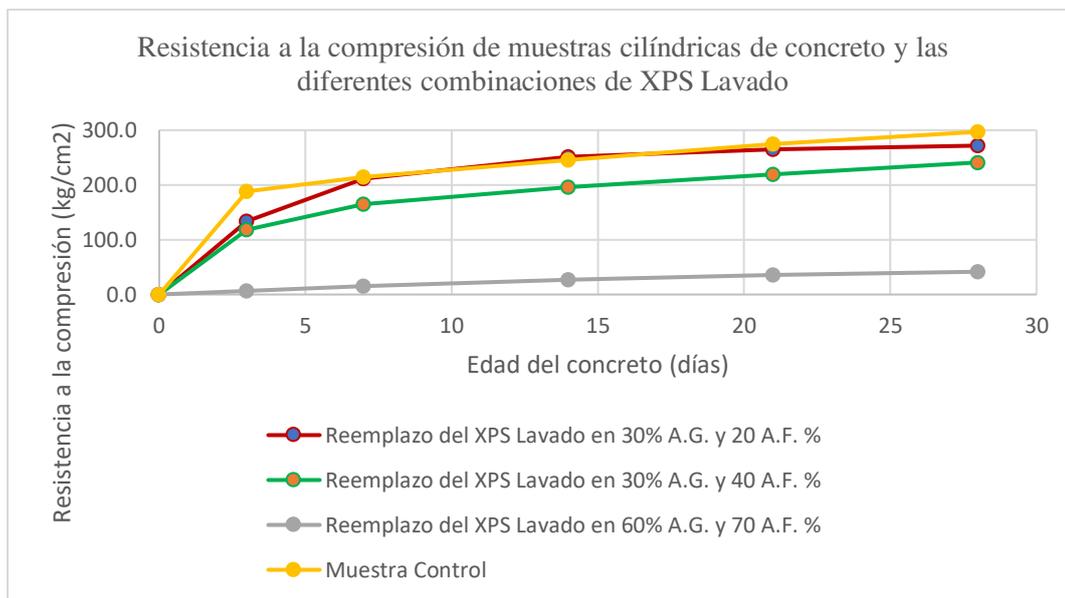
Concreto de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes dosificaciones de XPS Sin Lavar					
Especificación	Edad	Muestra Control	Sustitución del XPS Sin Lavar en 30% A.G. y 20 A.F. %	Sustitución del XPS Sin Lavar en 30% A.G. y 40 A.F. %	Sustitución del XPS Sin Lavar en 60% A.G. y 70 A.F. %
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	0	0	0	0	0
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	3	189	143	144	9
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	7	214	207	203	21
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	9	246	245	247	38
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	21	275	277	261	47
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	28	297	294	266	54



**FIGURA 52: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO Y LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE XPS SIN LAVAR**

**TABLA 26: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE XPS LAVADO**

Concreto de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes dosificaciones de XPS Lavado					
Especificación	Edad	Muestra Control	Sustitución del XPS Lavado en 30% A.G. y 20 A.F. %	Sustitución del XPS Lavado en 30% A.G. y 40 A.F. %	Sustitución del XPS Lavado en 60% A.G. y 70 A.F. %
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	0	0	0	0	0
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	3	189	134	118	6
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	7	214	212	164	16
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	14	246	251	196	27
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	21	275	265	219	35
Cantera Pilcomayo / Cantera Río Mantaro	28	297	272	241	42



**FIGURA 53: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO Y LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE XPS LAVADO**

**TABLA 27: SUSTITUCIÓN DEL EPS COMO A.G. 30% Y 20% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días	Sustitución del EPS en 30% A.G. y 20 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 20% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 20% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7	210.0	186.1	99%	144%
7	214.3		230.5	108%	
14	245.7		267.4	109%	
21	275.0		279.8	102%	
28	297.0		302.9	102%	

**TABLA 28: SUSTITUCIÓN DEL EPS COMO A.G. 30% Y 40% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días	Sustitución del EPS en 30% A.G. y 40 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 40% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 40% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7	210.0	117.4	62%	99%
7	214.3		157.9	74%	
14	245.7		191.3	78%	
21	275.0		194.5	71%	
28	297.0		207.5	70%	

**TABLA 29: SUSTITUCIÓN DEL EPS COMO A.G. 60% Y 70% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Sustitución del EPS en 60% A.G. y 70 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 60% en A.G. y 70% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 60% en A.G. y 70% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7	210.0	7.9	4%	12%
7	214.3		11.8	6%	
14	245.7		18.2	7%	
21	275.0		22.1	8%	
28	297.0		24.3	8%	

**TABLA 30: SUSTITUCIÓN DEL XPS SIN LAVAR COMO A.G. 30% Y 20% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días	Sustitución del XPS Sin Lavar en 30% A.G. y 20 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 20% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 20% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7	210.0	143.0	76%	140%
7	214.3		207.1	97%	
14	245.7		244.9	100%	
21	275.0		276.6	101%	
28	297.0		293.7	99%	

**TABLA 31: SUSTITUCIÓN DEL XPS SIN LAVAR COMO A.G. 30% Y 40% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días	Sustitución del XPS Sin Lavar en 30% A.G. y 40 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 40% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 40% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7	210.0	144.3	76%	127%
7	214.3		202.9	95%	
14	245.7		246.6	100%	
21	275.0		261.1	95%	
28	297.0		265.7	89%	

**TABLA 32: SUSTITUCIÓN DEL XPS SIN LAVAR COMO A.G. 60% Y 70% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Sustitución del XPS Sin Lavar en 60% A.G. y 70 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 60% en A.G. y 70% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 60% en A.G. y 70% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7		9.0	5%	
7	214.3		20.5	10%	
14	245.7		38.1	15%	
21	275.0		47.4	17%	
28	297.0		210.0	53.8	

**TABLA 33: SUSTITUCIÓN DEL XPS LAVADO COMO A.G. 30% Y 20% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días	Sustitución del XPS Lavado en 30% A.G. y 20 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 20% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 20% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7		133.9	71%	
7	214.3		211.9	99%	
14	245.7		251.4	102%	
21	275.0		265.0	96%	
28	297.0		210.0	271.8	

**TABLA 34: SUSTITUCIÓN DEL XPS LAVADO COMO A.G. 30% Y 40% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días	Sustitución del XPS Lavado en 30% A.G. y 40 A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 40% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 30% en A.G. y 40% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7		117.9	62%	
7	214.3		164.5	77%	
14	245.7		196.3	80%	
21	275.0		219.1	80%	
28	297.0		210.0	241.1	

**TABLA 35: SUSTITUCIÓN DEL XPS LAVADO COMO A.G. 60% Y 70% A.F. – COMPARACIÓN CON LA MUESTRA CONTROL Y CON LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Días	Muestra control (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de Diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Sustitución del XPS Lavado en 60% A.G. y 70% A.F. %	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 60% en A.G. y 70% A.F. en función de la muestra control	Porcentaje de Resistencia a la compresión del Sustitución del EPS en 60% en A.G. y 70% A.F. en función de la resistencia de diseño
3	188.7		6.1	3%	
7	214.3		15.6	7%	
14	245.7		27.3	11%	
21	275.0		35.5	13%	
28	297.0		41.6	14%	

**TABLA 36: DENSIDAD DEL CONCRETO, ASENTAMIENTO CON EPS Y CON XPS EN DIFERENTES PORCENTAJES**

Descripción	Peso (gr)	Densidad del concreto con poliestireno (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad del concreto normal (gr/cm <sup>3</sup> )	% con respecto al concreto normal	Asentamiento del concreto
Peso de la probeta XPS lavado 20% en A.G. y 30% en A.F.	3642	2,21	2,40	92%	2,75"
Peso de la probeta XPS lavado 30% en A.G. y 40% en A.F.	3475	2,11	2,40	88%	2,50"
Peso de la probeta XPS lavado 60% en A.G. y 70% en A.F.	2312	1,40	2,40	56%	2"
Peso de la probeta XPS sin lavar / limpio 20% en A.G. y 30% en A.F.	3628	2,20	2,40	92%	3"
Peso de la probeta XPS sin lavar / limpio 30% en A.G. y 40% en A.F.	3426	2,08	2,40	87%	2,8"
Peso de la probeta XPS sin lavar / limpio 60% en A.G. y 70% en A.F.	2315	1,41	2,40	59%	2,2"
Peso de la probeta EPS 20% en A.G. y 30% en A.F.	3489	2,12	2,40	88%	2,9"
Peso de la probeta EPS 30% en A.G. y 40% en A.F.	3270	1,99	2,40	83%	2,7"
Peso de la probeta EPS 60% en A.G. y 70% en A.F.	2309	1,40	2,40	58%	2,3"

## 5.2 Análisis Descriptivo de la Resistencia a la compresión de concreto

TABLA 37: MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO

Mezcla	Poliestireno	Mediciones	Media	Desviación estándar
30% AG y 20% A. F	Control	2	<b>297,000</b>	1,4142
	EPS	2	<b>302,850</b>	6,7175
	XPS SL	2	293,650	2,1920
	XPS LA	2	271,800	1.9799
	Total	8	291.325	12.8684
30% AG y 40% A. F	Control	2	<b>297,000</b>	1,4142
	EPS	2	<b>207,45</b>	40.0930
	XPS SL	2	<b>265,650</b>	9.9702
	XPS LA	2	241,10	12.1622
	Total	8	252.800	38.6954
60% AG y 70% A. F	Control	2	<b>297,000</b>	1,4142
	EPS	2	24,300	192,8280
	XPS SL	2	53,750	172,0037
	XPS LA	2	41,550	180,6304
	Total	8	6216.092	107.9519
Total	Control	6	297.000	1.0954
	EPS	6	178.200	127.9148
	XPS SL	6	204.350	117.4359
	XPS LA	6	184.817	111.9576
	Total	24	216.092	107.9519

La resistencia a la compresión de concreto es de 216,09 kg/cm<sup>2</sup> con desviación estándar de 107,95 kg/cm<sup>2</sup>.

La resistencia media por grado de mezcla de agregado grueso (AG) y agregado fino (AF) oscila entre 104.15 kg/cm<sup>2</sup> (60% AG y 70% AF) y 291.32 kg/cm<sup>2</sup> (30% AG y 20% AF) con desviación típica de 119.57 kg/cm<sup>2</sup> y 12.86 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Por tipo de poliestireno, la media de la resistencia fluctúa de 178.2 kg/cm<sup>2</sup> (EPS) y 297 kg/cm<sup>2</sup> (Control) con desviación estándar de 127.91 kg/cm<sup>2</sup> y 1.09 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

La media de la resistencia en las interacciones mezcla y tipo de poliestireno varía desde 24.3 kg/cm<sup>2</sup> (60% AG y 70% AF con EPS) y 302.85 kg/cm<sup>2</sup> (30%

AG y 20% AF con EPS) con desviaciones típicas de 1.27 kg/cm<sup>2</sup> y 6,72 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Por otra parte, solo la media de la combinación 30% AG y 20% AF con EPS (302.85 kg/cm<sup>2</sup>) supera a la media del poliestireno (297 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días), mientras que la media de la combinación 30% AG y 40% AF con EPS (293.65 kg/cm<sup>2</sup>) es aproximadamente igual a 297 kg/cm<sup>2</sup>.

En los gráficos de cajas (boxplots) se observa la resistencia a la compresión de concreto por grado de mezcla de agregados (figura 54), resistencia por tipo de poliestireno (figura 55), resistencia por tipo de poliestireno y mezcla de agregados (figura 56), y resistencia por mezcla de agregados y tipo de poliestireno (figura 57).

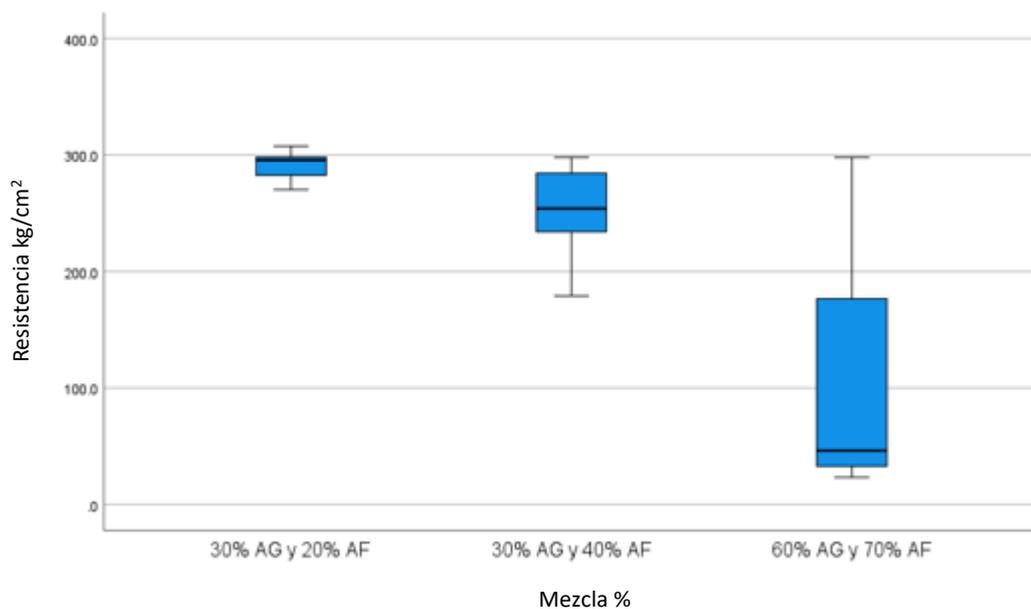


FIGURA 54: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO SEGÚN GRADO DE MEZCLA DE AGREGADOS

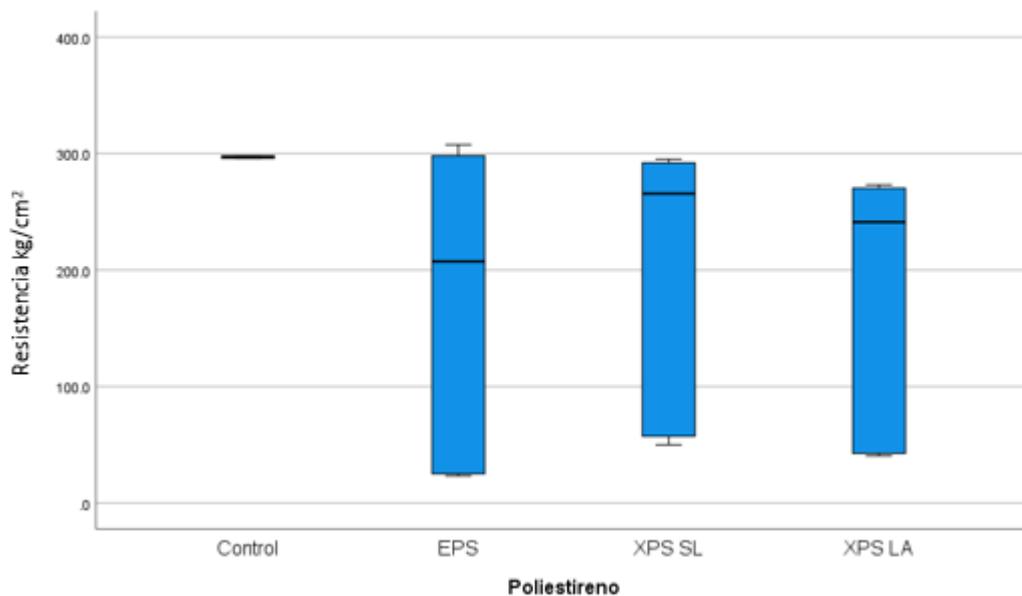


Figura 55: Resistencia a la compresión de concreto según tipo de poliestireno

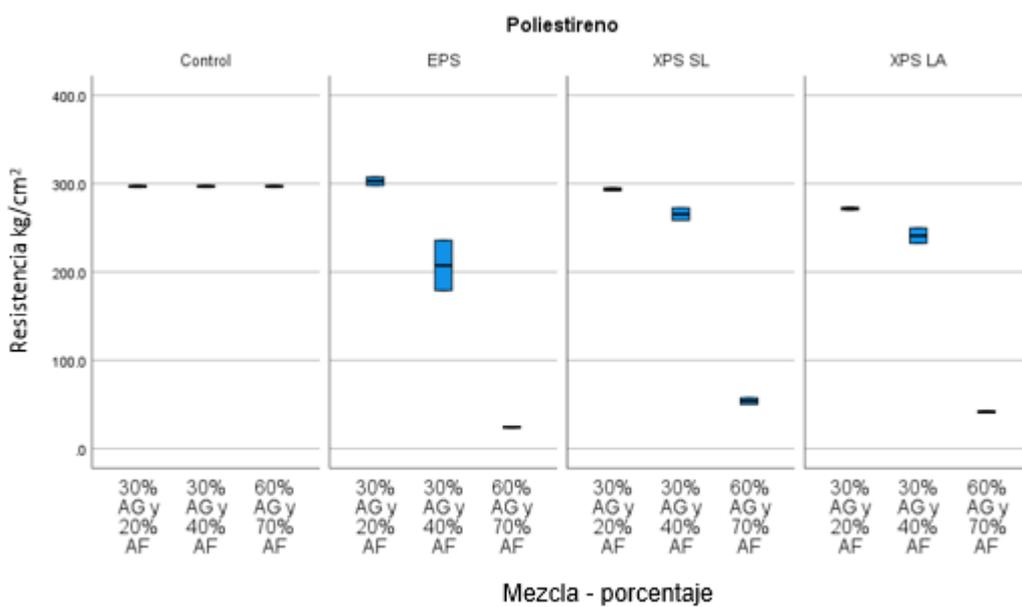


FIGURA 56: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO SEGÚN TIPO DE POLIESTIRENO Y GRADO DE MEZCLA DE AGREGADOS

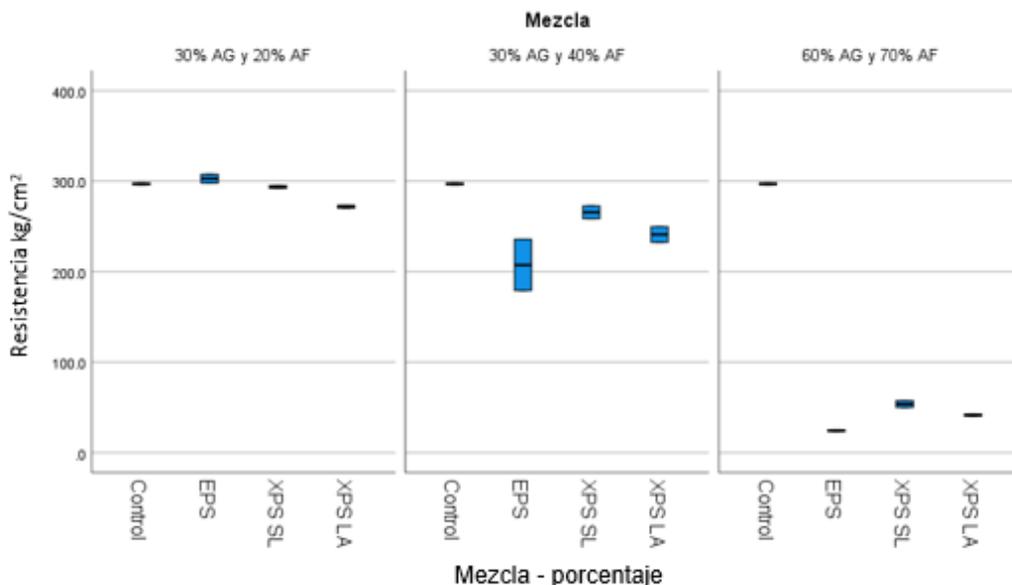


Figura 57: Resistencia a la compresión de concreto según grado de mezcla de agregados y tipo de poliestireno

En la figura 54, se aprecia que la resistencia a la compresión de concreto de la tercera mezcla (60% AG y 70% AF) es inferior a la de las otras mezclas y, en la figura 55, la resistencia de los diferentes tipos de poliestireno es menor a la del control o patrón.

En la figura 56, se observa que la resistencia de la mezcla 30% AG y 20% AF de EPS es ligeramente mayor a la resistencia del control y la resistencia de esta mezcla de XPS LS y XPS LA es inferior a la del control. La resistencia de las mezclas es menor a la resistencia del control. La resistencia de la mezcla 60% AG y 70% AF de las mezclas es significativamente menor a la resistencia del control.

En la figura 57, se constata que en la mezcla 30% AG y 20% AF, la resistencia del poliestireno EPS es ligeramente mayor a la resistencia del control y la resistencia de los poliestirenos XPS SL y XPS LA es inferior a la del control. En la mezcla 30% AG y 40% AF, la resistencia de los poliestirenos es inferior a la del control. En la mezcla 60% AG y 70% AF, la resistencia de los poliestirenos es significativamente inferior a la del control.

## Las condiciones del ANOVA

### a) Independencia de las observaciones

La prueba de aleatoriedad o de rachas de Wald–Wolfowitz revela que la resistencia a la compresión de concreto es una sucesión o serie aleatoria (observaciones aleatorias), al reportar el valor p de 0.06, mayor que el nivel de significación de 0.05 (Figura 58).

FIGURA 58: PRUEBA DE ALEATORIEDAD DE WALD–WOLFOWITZ PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO

n total	24
Estadístico de prueba	8.000
Error estándar	2.396
Estadístico de prueba estandarizado	-1.878
Sig. asintótica (prueba bilateral)	.060

### b) Normalidad de las observaciones

Dado que hay dos factores (grado de mezcla de agregados con tres niveles y tipo de poliestireno con cuatro niveles) y diseño factorial balanceado 3x4x2 ( $n = 24$  observaciones,  $n < 30$ ), la estadística para evaluar la normalidad de las observaciones es Shapiro–Wilk. Los resultados son:

#### 1) Normalidad de la resistencia según grado de mezcla de agregados

FIGURA 59: NORMALIDAD DE LA RESISTENCIA SEGÚN GRADO DE MEZCLA DE AGREGADOS

Pruebas de normalidad							
Mezcla	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Resistencia	30% AG y 20% AF	.274	8	.078	.854	8	.104
	30% AG y 40% AF	.175	8	.200*	.935	8	.562
	60% AG y 70% AF	.402	8	<.001	.651	8	<.001

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Dado que las muestras son pequeñas ( $n = 8$ ,  $n < 30$ ), de acuerdo con el estadístico de Shapiro–Wilk, la resistencia a la compresión de concreto de las mezclas 30% AG y 20% AF y 30% AG y 40% AF es normal, pues sus valores  $p$  (0.104 y 0.562) son mayores que el nivel de significación de 0.05, mientras que la resistencia de la mezcla 60% AG y 70% AF no es normal, ya que su valor  $p$  ( $< 0.001$ ) es menor que 0.05.

## 2) Normalidad de la resistencia según tipo de poliestireno

FIGURA 60: NORMALIDAD DE LA RESISTENCIA SEGÚN TIPO DE POLIESTIRENO

Pruebas de normalidad							
Poliestireno	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Resistencia	Control	.319	6	.056	.683	6	.004
	EPS	.218	6	.200*	.854	6	.170
	XPS SL	.345	6	.025	.732	6	.013
	XPS LA	.332	6	.038	.738	6	.015

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Dado que las muestras son pequeñas ( $n = 6$ ,  $n < 30$ ), de acuerdo con el estadístico de Shapiro–Wilk, la resistencia a la compresión de concreto del poliestireno EPS es normal, pues su valor  $p$  (0.17) es mayor que el nivel de significación de 0.05, mientras que la resistencia de los poliestirenos XPS SL y XPS LA y la del control no es normal, ya que sus valores  $p$  (0.013, 0.015 y 0.004) son menores que 0.05.

## c) Homocedasticidad de las observaciones (varianzas constantes entre los grupos)

En vista que la resistencia no es normal en todos los grupos, se emplea el estadístico de Levene que se muestra en las Figura 61 y 62.

FIGURA 61: PRUEBA DE LEVENE PARA LA HOMOCEDASTICIDAD DE LA RESISTENCIA SEGÚN EL GRADO DE MEZCLA DE AGREGADOS

<b>Pruebas de homogeneidad de varianzas</b>				
Methods	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	11.614	2	21	<.001
Se basa en la mediana	1.891	2	21	.176
Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.891	2	7.767	.214
Se basa en la media recortada	9.187	2	21	.001

FIGURA 62: PRUEBA DE LEVENE PARA LA HOMOCEDASTICIDAD DE LA RESISTENCIA SEGÚN EL TIPO DE POLIESTIRENO

<b>Pruebas de homogeneidad de varianzas</b>				
Methods	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	8.332	3	20	<.001
Se basa en la mediana	2.021	3	20	.143
Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.021	3	13.872	.158
Se basa en la media recortada	7.531	3	20	.001

La prueba de Levene (basada en la mediana) revela que las varianzas de la resistencia a la compresión de concreto son homogéneas tanto según el grado de mezcla como según el tipo de poliestireno, al reportar valores p de 0.176 y 0.143, mayores que el nivel de significación de 0.05, respectivamente.

### 5.3 Análisis de la influencia del poliestireno recuperado en la fabricación del concreto

### 5.3.1 Análisis general (modelo lineal general univariado, ANOVA bifactorial)

FIGURA 63: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO SEGÚN MEZCLA DE AGREGADOS Y TIPO DE POLIESTIRENO

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Resistencia

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	266087,948 <sup>a</sup>	11	24189,813	149,236	,000
Intersección	1120694,602	1	1120694,602	6913,991	,000
Mezcla	156307,943	2	78153,972	482,162	,000
Poliest	54587,575	3	18195,858	112,257	,000
Mezcla * Poliest	55192,430	6	9198,738	56,751	,000
Error	1945,090	12	162,091		
Total	1388727,640	24			
Total corregido	268033,038	23			

a. R al cuadrado = ,993 (R al cuadrado ajustada = ,986)

El análisis de varianza (ANOVA) bifactorial (modelo lineal general univariado) de la resistencia a la compresión de concreto con los factores mezcla (tres niveles: 30% AG y 20% AF, 30% AG y 40% AF, 60% AG y 70% AF) y tipo de poliestireno (cuatro niveles: control, EPS, XPS SL, XPS LA), reportado por el programa estadístico SPSS v. 28, indica que:

- 1) Existen diferencias altamente significativas en la resistencia media según el grado de mezcla de agregados, al reportar el valor p de 0, menor que el nivel de significación de 0.01.
- 2) Se observan diferencias altamente significativas en la resistencia media según el tipo de poliestireno, al mostrar el valor p de 0, menor que el nivel de significación de 0.01.
- 3) Se aprecian diferencias altamente significativas en la resistencia media según la interacción grado de mezcla de agregados y tipo de poliestireno, al revelar el valor p de 0, menor que el nivel de significación de 0.01.

De estos resultados se deriva que hay diferencias significativas en la media de la resistencia a la compresión de concreto, según grado de mezcla de agregados, tipo de poliestireno, y la interacción grado de mezcla de agregados y tipo de poliestireno.

### 5.3.2 Comparaciones múltiples

#### a) Resistencia a la compresión de concreto según grado de mezcla de agregados

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey revela que, al 95% de confianza estadística, hay diferencias altamente significativas entre las medias de la resistencia a la compresión de concreto de las mezclas (30% AG y 20% AF) y (60% AG y 70% AF), con medias de 291.32 y 104.15 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, favorable a la primera mezcla, al reportar el valor p de < .001, menor que el nivel de significación de .05. Asimismo, la prueba revela que existen diferencias altamente significativas entre las medias de las mezclas (30% AG y 40% AF) y (60% AG y 70%), con medias de 252.8 y 104.15 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, favorable a la segunda mezcla, al reportar el valor p de .002. Por otra, la prueba revela que no existen diferencias significativas entre las medias de las mezclas (30% AG y 20% AF) y (30% AG y 40% AF), al dar el valor p de .551, mayor que el nivel de significación de 0.05 (Figura 64 y Figura 65).

FIGURA 64: ESTADÍSTICOS DE LA RESISTENCIA SEGÚN GRADO DE MEZCLA DE AGREGADOS

<b>Descriptivos</b>			
Resistencia	n	Media	Desv. estándar
30% AG y 20% AF	8	291.325	12.8684
30% AG y 40% AF	8	252.800	38.6954
60% AG y 70% AF	8	104.150	119.5734
Total	24	216.092	107.9519

En síntesis, según la prueba de Tukey, la primera mezcla de agregados (30% AG y 20% AF) alcanza la media más alta de la resistencia a la compresión

de concreto sobre la segunda (30% AG y 40% AF) y la tercera (60% AG y 70% AF). Dicha media (291.32 kg/cm<sup>2</sup>) es estadísticamente igual a la media del control (297 kg/cm<sup>2</sup>).

FIGURA 65: PRUEBA DE TUKEY DE LA RESISTENCIA SEGÚN GRADO DE MEZCLA DE AGREGADOS

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Resistencia  
HSD Tukey

(I) Mezcla	(J) Mezcla	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
30% AG y 20% AF	30% AG y 40% AF	38.5250	36.4700	.551	-53.400	130.450
	60% AG y 70% AF	187.1750*	36.4700	<.001	95.250	279.100
30% AG y 40% AF	30% AG y 20% AF	-38.5250	36.4700	.551	-130.450	53.400
	60% AG y 70% AF	148.6500*	36.4700	.002	56.725	240.575
60% AG y 70% AF	30% AG y 20% AF	-187.1750*	36.4700	<.001	-279.100	-95.250
	30% AG y 40% AF	-148.6500*	36.4700	.002	-240.575	-56.725

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

## b) Resistencia a la compresión de concreto según tipo de poliestireno

Dado que el tipo de poliestireno cuenta con un control, patrón o testigo, la prueba de comparaciones múltiples de Dunnett indica que no existen diferencias significativas entre las medias de la resistencia a la compresión de concreto de poliestireno EPS, XPS SL y XPS LA con el control, al reportar valores p (0.145, 0.304 y 0.177), mayores que el nivel de significación de 0.05 (Figura 66 y 67).

FIGURA 66: ESTADÍSTICOS DE LA RESISTENCIA SEGÚN TIPO DE POLIESTIRENO

**Descriptivos**

Resistencia

	n	Media	Desv. estándar
Control	6	297.000	1.0954
EPS	6	178.200	127.9148
XPS SL	6	204.350	117.4359
XPS LA	6	184.817	111.9576
Total	24	216.092	107.9519

FIGURA 67: PRUEBA DE DUNNETT DE LA RESISTENCIA SEGÚN TIPO DE POLIESTIRENO

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Resistencia

T de Dunnett (bilateral)<sup>a</sup>

(I) Poliestireno	(J) Poliestireno	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EPS	Control	-118.8000	59.6441	.145	-270.318	32.718
XPS SL	Control	-92.6500	59.6441	.304	-244.168	58.868
XPS LA	Control	-112.1833	59.6441	.177	-263.702	39.335

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

De acuerdo con la prueba de Dunnett, los poliestirenos logran medias de la resistencia a la compresión de concreto estadísticamente iguales a la media del control.

**c) Resistencia a la compresión de concreto según la interacción grado de mezcla de agregados y tipo de poliestireno**

Los grados de mezcla de agregados son: 30% AG y 20% AF (m1), 30% AG y 40% AF (m2), y 60% AG y 70% AF (m3); y los tipos de poliestireno: control (c), EPS (p1), XPS SL (p2) y XPS LA (p3). Las interacciones de estos factores son: m1p2, m1p3, m1p4, m2p2, m2p3, m2p4, m3p2, m3p3 y m3p4.

La prueba de comparaciones múltiples de Dunnett indica que hay diferencias significativas entre las medias de la resistencia a la compresión de concreto entre las interacciones m2p1, m2p3, m3p1, m3p2 y m3p3 con el control, ya que sus valores p ( $< 0.001$  y  $0.015$ ) son menores que el nivel de significación de 0.05, con medias de 207.45, 241.1, 24.3, 53.75 y 41.55 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, favorable al control. Las medias de la resistencia de las interacciones m1p1, m1p2, m1p3 y m2p2 (302.85, 293.65, 271.8 y 265.65 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente), son estadísticamente iguales a la media del control, al dar valores p (0.999, 1, 0.42 y 0.23) mayores que el nivel de significación de 0.05 (Figuras 68 y 69).

FIGURA 68: ESTADÍSTICOS DE LA RESISTENCIA SEGÚN GRADO DE MEZCLA Y TIPO DE POLIESTIRENO

<b>Descriptivos</b>			
Resistencia			
	n	Media	Desv. estándar
Control	2	297.000	1.4142
m1 y p1	2	302.850	6.7175
m1 y p2	2	293.650	2.1920
m1 y p3	2	271.800	1.9799
m2 y p1	2	207.450	40.0930
m2 y p2	2	265.650	9.9702
m2 y p3	2	241.100	12.1622
m3 y p1	2	24.300	1.2728
m3 y p2	2	53.750	5.1619
m3 y p3	2	41.550	1.4849
Total	20	199.910	111.5931

En concordancia con la prueba de Dunnett, las interacciones m1p1, m1p2, m1p3 y m2p2 alcanzan medias de la resistencia al concreto estadísticamente iguales a la media del control, con la media de la interacción (30%AG y 20% AF) y EPS (302.85 kg/cm<sup>2</sup>). Por su parte, las medias de las interacciones m2p1, m2p3, m3p1, m3p2 y m3p3 logran menores a la media del control.

FIGURA 69: PRUEBA DE DUNNETT DE LA RESISTENCIA SEGÚN GRADO DE MEZCLA Y TIPO DE POLIESTIRENO

<b>Comparaciones múltiples</b>						
Variable dependiente: Resistencia						
T de Dunnett (bilateral) <sup>a</sup>						
(I) Interac	(J) Interac	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
m1 y p1	Control	5.8500	13.9323	.999	-39.349	51.049
m1 y p2	Control	-3.3500	13.9323	1.000	-48.549	41.849
m1 y p3	Control	-25.2000	13.9323	.420	-70.399	19.999
m2 y p1	Control	-89.5500*	13.9323	<.001	-134.749	-44.351
m2 y p2	Control	-31.3500	13.9323	.230	-76.549	13.849
m2 y p3	Control	-55.9000*	13.9323	.015	-101.099	-10.701
m3 y p1	Control	-272.7000*	13.9323	<.001	-317.899	-227.501
m3 y p2	Control	-243.2500*	13.9323	<.001	-288.449	-198.051
m3 y p3	Control	-255.4500*	13.9323	<.001	-300.649	-210.251

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

## 5.4 Análisis - interpretación y Discusión de resultados

A partir de los resultados aceptamos la **hipótesis alternativa general**: El ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en forma de perlas y desmenuzados permiten fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo. Estos resultados guardan relación con lo que sostienen **De La Cruz & Mori (2017)**, estos autores expresan “Obteniendo que el sistema aporticado con concreto modificado, es una estructura liviana, comportándose adecuadamente frente a solicitaciones sísmicas moderadas”, asimismo **Zegardło, B., & Kobylński, K. (2021)** estos autores expresan que los resultados demuestran que se podrían usarse potencialmente los desechos de poliestireno extruido para la producción de compuestos livianos con parámetros de mayor resistencia, ello es acorde con este estudio en el que se puede realizar el sustitución por poliestireno expandido y extruido hasta en 30% en agregado grueso y un 40% de agregado fino, porcentajes mayores nos dan resultados no favorables, los porcentajes de sustitución podrían ser mayores si consideramos la adición de un aditivo superplastificante a fin de disminuir la cantidad de agua, disminuir la relación agua – cemento y aumentar la resistencia del concreto modificado.

De acuerdo a los resultados aceptamos la **hipótesis alternativa específica 1**: El asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados tienen consistencia seca en la ciudad de Huancayo, de acuerdo a los autores: **Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Gonabadi, N., & Asadi, M. (2019)**, en su artículo Usage of polystyrene disposable food dishes in the lightweight concrete making, concluyen que la variación del asentamiento de la muestra es entre 40 y 70 mm, lo cual no dependió del porcentaje de poliestireno ni del tamaño de las perlas de poliestireno en las muestras de hormigón (valor  $p > 0,05$ ), valores que son acordes con los obtenidos en la investigación de 2” a 3”, siendo la consistencia seca, esto puede ser en obra muchas veces poco trabajable por lo que se podría utilizar

un aditivo plastificante a fin de aumentar su asentamiento y ser más plástico o fluido el concreto modificado.

De los resultados aceptamos la **hipótesis alternativa específica 2**: La resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados supera la resistencia de diseño. Los resultados no guardan relación con lo que sostienen **Torres K. & Arias J. (2018)**, estos autores expresan “los especímenes ensayados en el momento de sustituir un mayor porcentaje de poliestireno expandido con arena se obtiene un hormigón muy liviano por consiguiente con una resistencia baja siendo el modelo de diseño investigado de  $240 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual no cumple con la resistencia optimo esperado de un diseño de hormigón para losas alivianadas.” ello difiere con este estudio encontrándose que a menor porcentaje de sustitución se cumple con la resistencia de diseño y a mayor cantidad de sustitución del poliestireno expandido y extruido se obtiene menor resistencia a la compresión, esto es evidente ya que el poliestireno expandido y poliestireno extruido no aportan resistencia debido a sus características y propiedades.

De los resultados que se obtuvieron aceptamos la **hipótesis alternativa específica 3**: La densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados es menor a  $2240 \text{ kg/cm}^3$ , según los autores **Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Gonabadi, N., & Asadi, M. (2019)** en su artículo Usage of polystyrene disposable food dishes in the lightweight concrete making, indican que para la producción de muestras de hormigón ligero de  $350 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  de cemento y una densidad de  $1.300 \text{ kg/m}^3$ , se utilizó platos de poliestireno desechable de comida, lo cual se molieron en perlas de 0 a 3 (mm) y de 3 a 6 mm de tamaño. En primer lugar, se evaluaron las características del cemento Portland Tipo II, poliestireno y agregados. La muestra de hormigón de 15% y 25% de poliestireno tenía más densos y menos vacíos a comparación de la muestra de concreto de 40% y 55% de poliestireno de acuerdo con la técnica de SEM, esto es coherente con los resultados obtenidos en donde a mayor cantidad de poliestireno expandido y poliestireno extruido se tiene menor densificación del concreto

modificado, asimismo influye en la resistencia del concreto la cantidad de poliestireno utilizado, podría evaluarse incluso la utilización del poliestireno expandido y poliestireno extruido molidos finamente pasante por el tamiz Nro 40, a fin de verificar las propiedades físicas y mecánicas del concreto modificado.

## **5.5 Prueba de Hipótesis**

### **a) HIPÓTESIS GENERAL**

- El Ecoaprovechamiento del Poliestireno Expandido y Poliestireno Extruido recuperados en forma de perlas y desmenuzados permiten fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo.

De acuerdo con la experimentación el poliestireno expandido, poliestireno extruido recuperados permiten fabricar concreto hasta con un remplazo del 20% de agregado grueso y 30% de agregado fino por el EPS en forma de perlas, en el caso del XPS permite fabricar concreto con remplazos de hasta un 30% A.G. y 40% A.F. en forma desmenuzada, en sustitución mayores por estos materiales no se llega a obtener la resistencia de diseño de mezcla de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

### **b) HIPÓTESIS ESPECIFICAS**

- El asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados tienen consistencia seca en la ciudad de Huancayo.

De acuerdo con la experimentación realizada el asentamiento del concreto fabricado con poliestireno expandido y extruido recuperados presentan consistencia seca en la ciudad de Huancayo.

- La resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados supera la resistencia de diseño.

De acuerdo con la experimentación realizada el poliestireno expandido recuperado EPS en forma de perlas hasta una combinación de 20% por agregado grueso y 30% por agregado fino de EPS, supera la resistencia de diseño obteniéndose 303 kg/cm<sup>2</sup>; en el caso del poliestireno extruido recuperado sin lavar XPS se supera la resistencia de diseño hasta una combinación de 30% de agregado grueso y 40% de agregado fino por XPS obteniéndose una resistencia de 266 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso del poliestireno extruido recuperado lavado XPS se supera la resistencia de diseño hasta una combinación de 30% de agregado grueso y 40% de agregado fino por XPS obteniéndose una resistencia de 241 kg/cm<sup>2</sup>.

- La densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados es menor a 2240 kg/cm<sup>3</sup>.

De acuerdo con los resultados obtenidos la densidad del concreto con remplazo de poliestireno expandido y extruido recuperados en un 20% de agregado fino y 30% de agregado grueso por EPS o XPS es menor a 2240 kg/cm<sup>3</sup>, para mayores combinaciones se tiene menor densidades.

## CONCLUSIONES

- La forma de utilización en perlas y desmenuzado para el ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados permiten fabricar concreto que superen la resistencia a la compresión de concreto de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , cumpliendo con el diseño de mezcla del concreto por resistencia.
- El asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados tiene consistencia seca con valores de 2" a 3" de slump, este asentamiento obtenido hace poco trabajable al concreto, debiéndose llegar a un asentamiento mínimo de 3" a 4" con la utilización de aditivos.
- La resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados cuya mezcla es de 30 % de agregado grueso por poliestireno expandido recuperado en forma de perlas (EPS) y 20 % de agregado fino por EPS, XPS sin lavar y XPS lavado a la edad de 28 días, nos proporcionan los mejores resultados superando la resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , obteniéndose un valor de  $303 \text{ kg/cm}^2$ ,  $294 \text{ kg/cm}^2$ ,  $272 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- Se aprecia que a menor cantidad de sustitución con poliestireno expandido y poliestireno extruido la densidad del concreto es mayor que a mayor sustitución de poliestireno expandido y poliestireno extruido donde la densidad disminuye, obteniéndose que la densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados es menor a  $2240 \text{ kg/cm}^3$ , con una combinación de 20% por agregado fino y 30% por agregado grueso por EPS o XPS.

## RECOMENDACIONES

- La utilización del poliestireno expandido y extruido recuperados en forma de perlas y desmenuzados pueden ser utilizados en la fabricación de concreto en combinaciones que cumplan con la resistencia del diseño de mezcla, estas formas y combinaciones deben evaluarse a fin de poder obtener concretos de alta resistencia.
- Para mejorar el asentamiento se debe utilizar aditivos plastificantes a fin de mejorar la consistencia del concreto de seca a plástica o fluida.
- La resistencia a la compresión debe ser evaluada para concreto de alta resistencia con la incorporación del poliestireno expandido y poliestireno extruido en diferentes combinaciones y sustitución.
- La densidad del concreto debe ser evaluada para concretos de alta resistencia.
- Se deben evaluar otras propiedades del concreto con el poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados: como porcentaje de aire incorporado, temperatura del concreto, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexocompresión.
- Para futuras investigaciones se debe evaluar diferentes formas y tamaños de poliestireno expandido y extruido con diferentes reemplazos a fin de obtener concretos de alta y media resistencia.
- Al tener un mayor conocimiento de las propiedades del concreto con diferentes dosificaciones, tamaño y forma del poliestireno extruido y poliestireno expandido se deberían incorporar estos materiales para su uso en el concreto a fin de aligerar las edificaciones.
- Se deben crear políticas de reutilización de materiales de un solo uso priorizando su acopio en lugares donde puedan ser luego recuperados con nuevas tecnologías e innovaciones, a fin de reducir la contaminación ambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A., G. (2017).** Caracterización de compuestos ecoeficientes de yeso aligerado con residuo de poliestireno (XPS). 99-237.
- Abanto Castillo, F. (1995).** *Tecnología del concreto*, Perú: Universidad Mayor de San Marcos.
- Abdulkareem, S. A., & Adeniyi, A. G. (2019).** *Recycling Copper and Polystyrene from Solid Waste Stream Developing Conductive Composites*. Obtenido de <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2019.39>
- Adhikary, S. K., Rudzionis, Z., & Zubrus, M. (2019).** *Investigations of the Influence of Polystyrene Foamed Granules on the Properties of Lightweight Concrete*. Obtenido de <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0002>
- Aguilar, L. (2006).** *Contaminación ambiental*. Recuperado de <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com/>
- ANAPE. (03 de abril de 2021).** *Ficha técnica Propiedades del EPS*. Obtenido de <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>
- Araujo, G. S., Iwamoto, L. C., Lintz, R. C. C., & Gachet, L. A. (2021).** *Influence of Incorporation and Dimension of Expanded Polystyrene on Lightweight Concrete*. Obtenido de <https://doi.org/10.14359/51728280>
- Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Gonabadi, N., & Asadi, M. (s.f.).** *Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Gonabadi, N., & Asadi, M.* Obtenido de 2019: <https://doi.org/10.1002/tqem.21622>
- Auclair, J., Quinn, B., Peyrot, C., Wilkinson, K. J., & Gagné, F. (2020).** *Detection, biophysical effects, and toxicity of polystyrene nanoparticles to the cnidarian Hydra attenuata*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07728-1>
- Badylak, S., Philips, E., Batich, C., Jackson, M., & Wachnicka, A. (2021).** *Polystyrene microplastic contamination versus microplankton abundances in*

*two lagoons of the Florida Keys.* Obtenido de <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85388-y>

**Betancourt D. Solano J. (2016).** *Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes.* Obtenido de <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.13>

**C., G. E. (2020).** Preparation of a Composite Material from Palm Oil Fiber and an Ecological Emulsion of Expanded Polystyrene Post-Consumption. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29-54.

**Chaudhary, A. K., Chaitanya, K., & Vijayakumar, R. P. (2021).** *Synergistic effect of UV and chemical treatment on biological degradation of Polystyrene by Cephalosporium strain NCIM 1251.* Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02228-3>

**Choque\_Flores\_Leopoldo\_Doctorado\_2021.pdf.** (s. f.). Recuperado 21 de junio de 2022, de [http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/5000/Choque\\_Flores\\_Leopoldo\\_Doctorado\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/5000/Choque_Flores_Leopoldo_Doctorado_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Cruz Zúñiga, N., & Centeno Mora, E. (2018).** La construcción epistemológica en Ingeniería Civil: Visión de la Universidad de Costa Rica. *Actualidades Investigativas en Educación*, 19(1), 30. <https://doi.org/10.15517/aie.v19i1.35328>

**D., B. (2008).** *Metodología de la Investigación.* Shalom.

**De La Cruz Mariños, & Mori Pinedo. (2019).** *Comportamiento sísmico de un sistema aporticado utilizando poliestireno expandido en él.*

**Domenech, J., Hernández, A., Rubio, L., Marcos, R., & Cortés, C. (2020).** *Interactions of polystyrene nanoplastics with in vitro models of the human intestinal barrier.* Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02805-3>

**Espinoza-Merchán, M. P., Torres-Parra, L. J., Rojas-Arias, N., & Cocha-Vesga, P. M. (2020).** *Recovery and Incorporation of expanded polystyrene Solid Waste in Lightweight Concrete.* Obtenido de <https://doi.org/10.14483/23448393.15681>

***Emariposa01.pdf.*** (s. f.). Recuperado 21 de junio de 2022, de <http://casanchi.org/ref/emariposa01.pdf>

**Ganesh Kumar, A., Hinduja, M., Sujitha, K., Nivedha Rajan, N., & Dharani, G. (2021).** *Biodegradation of polystyrene by deep-sea Bacillus paralicheniformis G1 and genome analysis.* Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145002>

***Heráclito de Éfeso en el Diccionario soviético de filosofía.*** (s. f.). Recuperado 21 de junio de 2022, de <https://www.filosofia.org/enc/ros/herae.htm>

**Ho, B. T., Roberts, T. K., & Lucas, S. (2018).** *An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach.* Obtenido de <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>

**Huancayo, M. P. (2016).** Plan de Manejo Integral de Gestión ambiental de Residuos Sólidos. *PIGARS.*

***Immanuel Wallerstein El fin de las certidumbres y los intelectuales comprometidos.*** (s. f.). Recuperado 21 de junio de 2022, de <http://www.pensamientocritico.org/inmwax1105.htm>

**Itd, R. and M. (2022).** *Expanded Polystyrene (EPS) Market by Product Type (White, Grey, Black), End-use Industry (Building & Construction, Packaging, Others), and Region (Asia Pacific, Europe, North America, Middle East & Africa, South America)—Global Forecast to 2023.* Recuperado 4 de febrero de 2022, de <https://www.researchandmarkets.com/reports/4663565/expanded-polystyrene-eps-market-by-product-type>

- J., F. (2018).** Revisión del estado del arte de la logística inversa y adaptación al estudio técnico para la disposición final del poliestireno expandido. 18-111.
- L., A. (2006).** *Contaminación Ambiental*. Obtenido de <https://contaminacion-ambiente.blogspot.com/>
- Liang, Y., Yang, X., Wang, Y., Liu, R., Gu, H., & Mao, L. (2021).** *Influence of polystyrene microplastics on rotifer (Brachionus calyciflorus) growth, reproduction, and antioxidant responses*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09885-y>
- Lozada, J. (2014).** Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.
- Lu, W., Wang, J., & Zhang, Y. (2020).** *Strength Characteristics of Cement Treated and Expanded Polystyrene Mixed Lightweight of Waste Soil from the Construction Site of a Yangtze River Bridge in China*. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2020/3640510>
- Mardani, H., Roghani-Mamaqani, H., Khezri, K., & Salami-Kalajahi, M. (2020).** *Polystyrene-attached graphene oxide with different graft densities via reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization and grafting through approach*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00339-020-3428-5>
- Murana, A. A., Akilu, K., & Olowosulu, A. T. (2020).** *Use of Expanded Polystyrene from Disposable Food Pack as a Modifier for Bitumen in Hot Mix Asphalt*. Obtenido de <https://doi.org/10.4314/njt.v39i4.7>
- Nizhegorodov, A. I., Gavrilin, A. N., & Moizes, B. B. (2020).** *Development of Bulk Lightweight Spherosilicate Material Technology Based on Sublimation of Expanded Polystyrene Granules*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11148-020-00389-0>
- Pcziecsek, A., Schackow, A., Effting, C., Dias, T. F., & Gomes, I. R. (2017).** *Properties of Mortars Containing Tire Rubber Waste and Expanded*

*Polystyrene (Eps).* Obtenido de  
<https://doi.org/10.4090/juee.2017.v11n2.219225>

**PUCP. (10 de julio de 2018).** *Clima de Cambios PUCP.* Obtenido de  
<https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/el-tecnopor-la-amenaza-invisible/>

**QUIMINET. (03 de abril de 2021).** *Historia del Poliestireno.* Obtenido de  
<https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-poliestireno-2681667.htm#:~:text=El%20primer%20poliestireno%20de%20uso,natural%20debido%20a%20su%20escasez>

**Rivva. (2014).** Concreto.

**Rodríguez. (2017).** *Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural – Cajamarca.*

**San Juan, Viegas, & Jodra. (2018).** Aislación térmica alternativa, reutilizando poliestireno expandido de descarte, orientado a las necesidades de cooperativas de reciclado. 1.

**Saneamiento, M. d. (2009).** Tipo de Concreto. 26.

**SINIA. (s.f.).** *Reciclaje y disposición final segura de residuos sólidos.*

**TAN, K. M., MOHD FAUZI, N. A., MOHD KASSIM, A. S., RAZAK, A. H. A., & KAMARUDIN, K. R. (2021).** *Isolation and Identification of Polystyrene Degrading Bacteria from Zophobas morio's Gut.* Obtenido de  
<https://doi.org/10.48048/wjst.2021.9118>

**Torres, & Arias. (2018).** Comportamiento de losas alivianadas de hormigón tradicional y mezclado con poliestireno expandido. 7-92.

**TRZASKALSKA, M., & CHWASTEK, R. (2021).** *Damping Properties and Density of Helmet Liners Made of Expanded Polystyrene (Eps).* Obtenido de  
 Damping Properties and Density of Helmet Liners Made of Expanded Polystyrene (Eps).

**Valdés-Rodríguez, D. O. A. (2021).** *Poliestireno expandido: Un estudio bibliométrico para comparar sus avances e investigaciones en los idiomas español e inglés.* 13(1), 7.

**Venturini, M., Salvaor, G., Costa, CH y Ferreira. (2021).** Artefactos de hormigón ligero y permeable producidos a partir de residuos sólidos de construcción y poliestireno expandido. 30-35.

**Yi, X., Wang, J., Li, Z., Zhang, Z., Chi, T., Guo, M., Li, W., & Zhou, H. (2019).** *The effect of polystyrene plastics on the toxicity of triphenyltin to the marine diatom Skeletonema costatum—influence of plastic particle size.* Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05826-3>

**Zegardło, B., & Kobylński, K. (2021).** *Analysis of the Possibility of Using Extruded Polystyrene (XPS) Wastes to Make Lightweight Cement Composites.* Obtenido de <https://doi.org/10.12911/22998993/139063>

**El nuevo enfoque de la gestión integral de los Residuos Sólidos según el DL 1278. (2020, febrero 18).** *Pachapp - Gestión integral de residuos.* <https://pachapp.pe/blog/el-nuevo-enfoque-de-la-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-segun-el-dl-1278/>

**La UE prohíbe a partir de 2021 los artículos de plástico de un solo uso | TRT Español.** (s. f.). Recuperado 4 de febrero de 2022, de <https://www.trt.net.tr/espanol/ciencia-y-tecnologia/2019/05/21/la-ue-prohibe-a-partir-de-2021-los-articulos-de-plastico-de-un-solo-uso-1205382>

**Lozada, J. (2014).** Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

**ltd, R. and M. (s. f.).** *Expanded Polystyrene (EPS) Market by Product Type (White, Grey, Black), End-use Industry (Building & Construction, Packaging, Others), and Region (Asia Pacific, Europe, North America, Middle East &*

*Africa, South America)—Global Forecast to 2023*. Recuperado 4 de febrero de 2022, de <https://www.researchandmarkets.com/reports/4663565/expanded-polystyrene-eps-market-by-product-type>

***Prohibidos en Perú los envases de poliestireno para alimentos y bebidas.***

**(2022)**. SWI swissinfo.ch. Recuperado 4 de febrero de 2022, de [https://www.swissinfo.ch/spa/per%C3%BA-medioambiente\\_prohibidos-en-per%C3%BA-los-envases-de-poliestireno-para-alimentos-y-bebidas/47207420](https://www.swissinfo.ch/spa/per%C3%BA-medioambiente_prohibidos-en-per%C3%BA-los-envases-de-poliestireno-para-alimentos-y-bebidas/47207420)

***Reciclaje de poliestireno expandido en México. (2022).*** Recuperado 4 de

**febrero de 2022**, de <https://www.plastico.com/temas/Mexico-construye-una-industria-del-reciclaje-de-EPS+125381>

**Valdés-Rodríguez, D. O. A. (2021).** *Poliestireno expandido: Un estudio bibliométrico para comparar sus avances e investigaciones en los idiomas español e inglés. 13(1), 7.*

**(S. f.). Recuperado 4 de febrero de 2022,** de <https://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1996/ambiente/lib01/9.htm>

## ANEXOS

### OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	UNIDADES / ESCALA
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Poliestireno expandido y poliestireno extruido	El poliestireno es un polímero termoplástico común hecho de compuestos aromáticos estireno monómero con buena formabilidad. (Matzuda, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>El poliestireno expandido y extruido recuperados serán utilizados en porcentaje, grado de limpieza, forma, color y densidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poliestireno expandido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentaje</li> <li>Grado de limpieza</li> <li>Forma</li> <li>Color</li> <li>Densidad</li> </ul>	% Alto Perlas Blanco Baja
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Poliestireno extruido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentaje</li> <li>Grado de limpieza</li> <li>Forma</li> <li>Color</li> <li>Densidad</li> </ul>	% Alto Desmenuzado Blanco Baja
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Fabricación del concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>El concreto es un material heterogéneo, que este compuesto por agregados pétreos, agua, cemento, aire, aditivos, su fabricación puede ser manual, con mezcladora o mixers. (Rivva, 2014)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La fabricación del concreto será determinada teniendo en cuenta el asentamiento, resistencia a la compresión, densidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asentamiento</li> <li>Resistencia a la compresión</li> <li>Densidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seco</li> <li>Plástico</li> <li>Fluido</li> <li>Baja resistencia</li> <li>Mediana resistencia</li> <li>Alta resistencia</li> <li>Baja</li> <li>Normal</li> <li>Alta</li> </ul>	2" – 3" 3" – 4" 6" – 7" De 100 kg/cm <sup>2</sup> a de 210 kg/cm <sup>2</sup> De 210 kg/cm <sup>2</sup> – 500 kg/cm <sup>2</sup> Más de 500 kg/cm <sup>2</sup> 1440 kg/cm <sup>3</sup> – 1900 kg/cm <sup>3</sup> 2240 kg/cm <sup>3</sup> – 2700 kg/cm <sup>3</sup> Mayor a 3000 kg/cm <sup>3</sup>

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p><b>“ECOAPROVECHAMIENTO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y POLIESTIRENO EXTRUIDO RECUPERADOS PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO HUANCAYO”</b></p>	<p>PROBLEMA GENERAL:</p> <p>¿De qué formas el ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados permiten fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados en la ciudad de Huancayo?</li> <li>• ¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo?</li> <li>• ¿Cuál es la densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo?</li> </ul>	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Evaluar las formas de ecoaprovechamiento del Poliestireno Expandido y Poliestireno Extruido recuperados que permitan fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados en la ciudad de Huancayo.</li> <li>• Determinar la resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo.</li> <li>• Determinar la densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados en la ciudad de Huancayo.</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL:</b></p> <p>El Ecoaprovechamiento del Poliestireno Expandido y Poliestireno Extruido recuperados en forma de perlas y desmenuzados permiten fabricar concreto que cumpla con la resistencia del diseño de mezcla en la ciudad de Huancayo.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El asentamiento del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y extruido recuperados tienen consistencia seca en la ciudad de Huancayo.</li> <li>○ La resistencia a la compresión del concreto fabricado a partir de poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados supera la resistencia de diseño.</li> <li>○ La densidad del concreto fabricado con poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados es menor a 2240 kg/cm<sup>3</sup>.</li> </ul>	<p><b>VARIABLES INDEPENDIENTES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poliestireno Expandido y Poliestireno Extruido</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación de concreto.</li> </ul>