



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

DISEÑO DE MEZCLAS Y PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL CON ADICIÓN DE SURFACTANTE CATIONICO

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Grado Académico de Doctora en Ingeniería Civil

Autora:

Sánchez García, María Elena

Asesor:

Soto Vásquez, Duber Enrique
(ORCID: 0000-0001-5855-7045)

Jurado:

Paz Fernández, Rodolfo Jesús
Aroquipa Velázquez, Héctor
Díaz García, Martín Fernando

Lima - Perú

2023



DISEÑO DE MEZCLAS Y PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL CON ADICIÓN DE SURFACTANTE CATIONICO

INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

29%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	vsip.info Fuente de Internet	1%
4	idoc.pub Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ufpso.edu.co Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

DISEÑO DE MEZCLAS Y PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL CON ADICIÓN DE SURFACTANTE CATIONICO

**Línea de Investigación:
Construcción sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Territorio**

Tesis para optar el Grado Académico de Doctora en Ingeniería Civil

Autora:

Sánchez García, María Elena

Asesor:

Soto Vásquez, Duber Enrique
(ORCID: 0000-0001-5855-7045)

Jurado:

Paz Fernández, Rodolfo Jesús
Aroquipa Velázquez, Héctor
Díaz García, Martín Fernando

Lima – Perú

2023

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por hacer posible la Misión asumida, seguir mejorando mi servicio profesional a la humanidad.

Mi agradecimiento especial a mi hijo Carlos quien le da sentido a mi vida, dándome fuerza para alcanzar mis metas.

Expresar mi sincero agradecimiento al director de tesis Dr. Duber, Soto Vásquez por su orientación a lo largo de esta travesía académica.

Agradezco a mi familia por su apoyo en cada instante, a mi hermano Erick por recibir su constante aporte.

Así mismo, agradezco a todas las persona e instituciones que contribuyeron a la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A la memoria de mi querida madre Antonia
Esta tesis está dedicada a ti madre, en
reconocimiento a tu influencia perdurable
en mi vida y en agradecimiento a todas las
enseñanzas y valores que me transmitiste.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
I.- INTRODUCCION.....	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Descripción del Problema	1
1.3. Formulación del Problema	2
1.3.1. Problema General	2
1.3.2. Problemas Específicos.....	2
1.4. Antecedentes	2
1.4.1 Antecedentes Históricos	2
1.4.2 Antecedentes en los últimos 20 años	4
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	8
1.5.1 Justificación.....	8
1.5.2. Importancia de la Investigación.	8
1.5.3. Fundamento.....	8
1.6. Limitación de la Investigación	9
1.6.1. Espacial	9
1.6.2. Temporal.....	9
1.6.3. Social	9
1.7. Objetivos de la Investigación	10
1.7.1. Objetivo General	10
1.7.2. Objetivos Específicos.	10

1.8. Hipótesis	10
1.8.1. Hipótesis. General.....	10
1.8.2. Hipótesis Específicas	10
II.- MARCO TEORICO	11
2.1 Marco Conceptual	11
2.2. Marco Teórico	12
2.2.1. Generalidades del Concreto Ligero Estructural	12
2.2.2. Relación Agua Cemento	13
2.2.3. Peso Específico del Concreto.	13
2.2.4. Vacíos en el Concreto	14
2.2.5. Aditivos para producción de Concreto Ligero.....	15
2.2.6. Ensayos de Laboratorio.....	17
2.2.7. Propiedades del Concreto en estado Fresco	17
2.2.8. Propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido	18
2.3. Marco Filosófico	20
2.4. Marco Tecnológico	22
2.5 Marco Legal	23
2.5.1. Normas Agregados.....	23
2.5.3. Normas Concreto Endurecido.....	23
2.5.4 Norma E060 Concreto Armado.....	24
III. MÉTODO	25
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	25
3.1.1. Tipo de Investigación	25
3.1.2. Nivel.	26
3.1.3. Código y Nomenclatura UNESCO	26
3.1.4. Diseño de Investigación	26

3.2. Población y Muestra	27
3.2.1. Población	27
3.2.2. Tamaño Muestral.....	27
3.3. Operacionalización de Variables	29
3.3.1 Variables e Indicadores	29
3.3.2. Operacionalización de Variables	30
3.4 Técnicas e Instrumentos	31
3.4.1. Técnicas de procesamiento de datos.....	31
3.4.2. Técnicas de análisis e interpretación de la Información	31
3.4.3. Equipos para la medición de resultados en laboratorio.	31
3.4.4. Instrumentos de recolección de datos.	31
3.5. Procedimientos	31
3.5.1. Diseño estadístico	33
3.5.2 Estrategia de prueba de Hipótesis	33
3.6. Análisis de Datos	34
3.7. Consideraciones Éticas	34
IV. RESULTADOS	35
4.1 Propiedades de los Materiales Utilizados	35
4.1.1 Cemento	35
4.1.2 Propiedades Físicas de los Agregados.....	36
4.2 Diseño de Mezclas.	39
4.3 Resultados de Laboratorio.	41
4.4 Análisis Estadístico e interpretación de Resultados	41
4.4.1 Análisis Exploratorio	43
4.4.2 Pruebas de Normalidad	46

4.4.3 Análisis de Varianza	48
4.4.4 Análisis de la superficie de Respuesta	53
4.4.5 Optimización Compuesta Resistencia y Peso.....	68
4.5. Ecuación de Predicción	70
4.5.1 Ecuación de regresión en unidades no codificadas para la Resistencia	70
4.5.2 Ecuación de regresión en unidades no codificadas para el peso.....	71
V. DISCUSION DE RESULTADOS.....	72
VI CONCLUSIONES	74
VII RECOMENDACIONES	75
VIII REFERENCIAS	76
ANEXO A.....	80
ANEXO B	81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CONCRETO POROSO	4
FIGURA 2 MICROGRAFÍA MORTERO AIREADO	5
FIGURA 3 DENSIDAD DEL CONCRETO CELULAR CON VARIOS PORCENTAJES DE	6
FIGURA 4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CELULAR CON VARIOS	6
FIGURA 5 RELACIÓN AGUA/CEMENTOS. PORCENTAJE RESISTENCIA A LA	19
FIGURA 6 IMAGEN DEL CONCRETO CELULAR DE 500 KG / M ³ DE 0.4 DE RELACIÓN	19
FIGURA 7 CORRELACIÓN DENSIDAD - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	20
FIGURA 8 MODELO DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
FIGURA 9 DETERMINACIÓN ZONA DE ACEPTACIÓN - ZONA DE RECHAZO	33
FIGURA 10 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	37
FIGURA 11 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	38
FIGURA 12 PROCESO ESTADÍSTICO	42
FIGURA 13 GRAFICA DE CAJAS - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	43
FIGURA 14 GRÁFICA DE CAJAS – PESO	43
FIGURA 15 PRUEBA DE GRUBBS – RESISTENCIA.....	44
FIGURA 16 PRUEBA DE GRUBBS – PESO	45
FIGURA 17 HISTOGRAMA - MEDIA - DESVIACIÓN ESTÁNDAR – RESISTENCIA	46
FIGURA 18 HISTOGRAMA - MEDIA - DESVIACIÓN ESTÁNDAR – PESO	46
FIGURA 19 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA LA RESISTENCIA	47
FIGURA 20 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL PESO	47
FIGURA 21 DIAGRAMA DE PARETO-RESISTENCIA	55
FIGURA 22 GRAFICA DE RESIDUOS PARA RESISTENCIA	55
FIGURA 23 GRAFICA DE CONTORNO RESISTENCIA.....	56
FIGURA 24 GRÁFICA DE SUPERFICIE DE RESISTENCIA VS. ADITIVO, A/C	56
FIGURA 25 GRÁFICA DE CONTORNO DE RESISTENCIA	57
FIGURA 26 AJUSTE DE RESISTENCIA	58
FIGURA 27 DIAGRAMA DE PARETO- PESO	61

FIGURA 28 GRÁFICA DE RESIDUOS- PESO.....	61
FIGURA 29 DIAGRAMA DE PARETO - EFECTOS ESTANDARIZADOS – PESO.....	64
FIGURA 30 GRÁFICA DE RESIDUOS – PESO	64
FIGURA 31 GRÁFICA DE CONTORNO PESO VS. ADITIVO, A/C.....	65
FIGURA 32 GRÁFICA DE SUPERFICIE PESO VS. ADITIVO, A/C	65
FIGURA 33 GRÁFICA DE CONTORNO DE PESO	66
FIGURA 34 OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA – PESO	68
FIGURA 35 GRÁFICA DE CONTORNO PESO - RESISTENCIA	69
FIGURA 36 OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTA.....	70

ÍNDICE TABLAS

TABLA 1 ADITIVOS DE CONCRETO SEGÚN SU CLASIFICACIÓN.....	16
TABLA 2 CÓDIGO Y NOMENCLATURA UNESCO.....	26
TABLA 3 DISEÑO DE VARIABLES	27
TABLA 4 NÚMERO DE PROBETAS	28
TABLA 5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	30
TABLA 6 PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO	35
TABLA 7 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	36
TABLA 8 GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO	37
TABLA 9 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	38
TABLA 10 DISEÑOS DE MEZCLAS	40
TABLA 11 RESULTADOS DE LABORATORIO.....	41
TABLA 12 PRUEBA DE GRUBBS – RESISTENCIA	44
TABLA 13 PRUEBA DE GRUBBS PESO.....	45
TABLA 14 ANÁLISIS DE VARIANZA – RESISTENCIA – INFLUENCIA A/C * ADITIVO.....	48
TABLA 15 ANÁLISIS DE VARIANZA – RESISTENCIA – INFLUENCIA A/C	49
TABLA 16 ANÁLISIS DE VARIANZA – RESISTENCIA – INFLUENCIA DEL ADITIVO.....	50
TABLA 17 ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO – INFLUENCIA DE A/C * ADITIVO	51
TABLA 18 ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO – INFLUENCIA DE A/C.....	52
TABLA 19 ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO – INFLUENCIA DEL ADITIVO	52
TABLA 20 COEFICIENTES.....	53
TABLA 21 RESUMEN DEL MODELO	54
TABLA 22 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	54
TABLA 23 VALORES DE RESISTENCIA PARA OPTIMIZACIÓN	57
TABLA 24 SOLUCIÓN.....	58
TABLA 25 PREDICCIÓN DE RESPUESTA MÚLTIPLE.....	58
TABLA 26 COEFICIENTES CODIFICADOS	59
TABLA 27 RESUMEN DEL MODELO.....	59

TABLA 28 ANÁLISIS DE VARIANZA	60
TABLA 29 COEFICIENTES CODIFICADOS	62
TABLA 30 RESUMEN DEL MODELO	62
TABLA 31 ANÁLISIS DE VARIANZA	63
TABLA 32 PARÁMETROS - PESO	67
TABLA 33 SOLUCIÓN - PESO	67
TABLA 34 PREDICCIÓN DE RESPUESTA MÚLTIPLE	67
TABLA 35 PARÁMETROS PESO - RESISTENCIA	68
TABLA 36 SOLUCIÓN	68
TABLA 37 PREDICCIÓN DE RESPUESTA MÚLTIPLE	69

RESUMEN

La investigación se enfoca en determinar los parámetros de diseño para el concreto ligero estructural mediante la incorporación de un aditivo surfactante. Para tal fin, se empleó un diseño experimental y prospectivo que involucró la búsqueda de agregados de bajo peso específico y la reducción de la relación agua-cemento para lograr resistencias a la compresión superiores a 175 kg/cm². Se realizaron pruebas en el laboratorio y se llevaron a cabo 15 diseños de mezcla con diferentes dosificaciones del aditivo y relaciones agua-cemento. La estadística descriptiva, la prueba de normalidad y el estadístico ANOVA fueron utilizados para el análisis de datos, mientras que la herramienta Superficie de Respuesta ayudó a obtener los parámetros deseados. Los resultados mostraron que se logró un punto óptimo con una relación agua-cemento de 0.44 y un aditivo del 1%, obteniendo un peso de 1828.72 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 232.835 kg/cm². Este punto óptimo múltiple se obtiene de la interacción de los valores de los factores que influyen en las variables resultado. La investigación concluye que se lograron resistencias estructurales superiores a 175 kg/cm² y pesos inferiores a 1850 kg/m³. La herramienta Superficie de Respuesta ayudó a obtener los parámetros para el peso y la resistencia a la compresión, lo que permitió encontrar diferentes combinaciones de las variables independientes en diferentes dosificaciones para lograr los objetivos de la tesis. En resumen, esta investigación contribuye al conocimiento sobre el uso de aditivos surfactantes en la elaboración de concreto ligero estructural y presenta una metodología útil para la obtención de parámetros de diseño en este campo.

Palabras clave: Concreto Ligero, Espumante, Relación Agua Cemento.

ABSTRACT

The research focuses on determining the design parameters for structural lightweight concrete by incorporating a surfactant additive. For this, an experimental and prospective design was used that involved the search for aggregates of low specific weight and the reduction of the water-cement ratio to achieve compressive strengths greater than 175 kg/cm². Tests were carried out in the laboratory and 15 mix designs were carried out with different dosages of the additive and water-cement ratios. Descriptive statistics, the normality test and the ANOVA statistic were used for data analysis, while the Response Surface tool helped to obtain the desired parameters. The results showed that an optimal point was achieved with a water-cement ratio of 0.44 and an additive of 1%, obtaining a weight of 1828.72 kg/m³ and a compressive strength of 232.835 kg/cm². The investigation concludes that structural resistances higher than 175 kg/cm² and weights lower than 1850 kg/m³ were achieved. The Response Surface tool helped to obtain the parameters for the weight and the resistance to compression, which allowed finding different combinations of the independent variables in different dosages to achieve the objectives of the thesis. In summary, this research contributes to the knowledge about the use of surfactant additives in the production of structural lightweight concrete and presents a useful methodology for obtaining design parameters in this field.

Keywords: Lightweight Concrete, Foaming, Water Cement Ratio.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El concreto es un material muy requerido en todo el mundo por su versatilidad, es indispensable en cualquier tipo de construcción por su facilidad para preparar y manipular, no obstante, una de sus características negativas es el elevado peso específico, que redundará en la carga de la edificación, además la alta conductividad térmica hace que en servicio no sea un material confortable en climas extremos.

La búsqueda de un concreto de peso liviano justifica las necesidades del ser humano, necesidades que se manifiestan de muchas formas, por ejemplo, preparar prefabricados para lograr una tecnología limpia. El uso de prefabricados de peso liviano contribuye a la facilidad que el hombre puede transportar el material sin mucho esfuerzo. Por otro lado, en ocasiones es necesario tener concretos livianos y que éstos tengan una resistencia tal que se pueda utilizar estructuralmente.

Este trabajo de investigación demuestra que es posible conseguir un **Concreto Estructural de Peso Ligero** y obtener **Parámetros** que nos ayuden a diseñar concretos de estas características es decir con resistencias superiores a 175 kg/cm² (17 MPa) y peso inferior a 1850 kg/m³.

1.2. Descripción del Problema

La utilización del concreto masivamente en todo el mundo y las diversas necesidades como menor peso y resistencia adecuadas, hace evidente la necesidad de mejorar sus propiedades, por ello a través del tiempo, desde la aparición del concreto en la vida del ser humano, ha ido mejorando gracias a la infinidad de investigaciones que el hombre ha realizado y sigue haciéndolo.

Existen empresas que han puesto en el mercado diferentes productos, como son los aditivos que producen diversos efectos en el concreto, mejorando sus propiedades en distintos

requerimientos y situaciones, un grupo de estos productos son los aditivos incorporadores de aire, espumantes que producen burbujas de aire muy microscópicas, lo que produce una disminución del peso del concreto y al mismo tiempo bajan la resistencia, es por ello que en la presente investigación se buscará obtener un concreto que cumpla estas dos propiedades deseadas, como es bajo peso y resistencia estructural mínima, además obtendremos parámetros que nos permitirán reproducir este material.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Cómo la incorporación de aditivo Surfactante al Concreto determinará los Parámetros de Diseño para el Concreto Ligeró Estructural?

1.3.2. Problemas Específicos

- A. ¿Con la adición de aditivo surfactante al concreto se obtendrá pesos inferiores a 1850 kg/m³?
- B. ¿Con valores bajos de relación agua/cemento se obtendrá resistencias a la compresión del concreto ligero superiores a 175 kg/cm² sin incrementar el peso de este?

1.4. Antecedentes

1.4.1 Antecedentes Históricos

El concreto es un material utilizado desde la época de los Romanos hasta nuestros días, pero podemos afirmar que existe una gran diferencia del concreto antiguo con el concreto que se utiliza actualmente, porque a través del tiempo se han ido desarrollando diversos tipos de concreto, de acuerdo con los requerimientos e investigaciones de cada época.

El primer uso del concreto ligero se remonta a más de 2000 años, existen muchas estructuras de concreto ligero en la región mediterránea, pero las estructuras más notables se construyeron durante el Imperio romano, citando algunas el puerto de Cosa, la Cúpula del Panteón y el Coliseo Romano (Ries et al., 2003)

En la historia de la humanidad, todas las civilizaciones importantes han dejado construcciones diversas, que nos muestra la evolución que ha tenido cada una de ellas en la búsqueda de satisfacer necesidades de los pueblos, sin embargo, no queda información sobre los procesos utilizados, se encuentra algunos datos solamente en los últimos siglos.

Alrededor de 1892, el francés Feret establece los primeros principios modernos para el proporcionamiento de mezclas de mortero o concreto. Desarrolla interrelaciones entre las cantidades de cemento, aire y agua, y define inicialmente el papel de los poros en la mezcla de concreto. Sin embargo, no llega a establecer claramente las interrelaciones en la mezcla de concreto como un todo, tal como ellas han sido aplicadas en años posteriores. (Rivva, 1992, p. 2)

Probablemente el concreto ligero no apareció como tal, sino que apareció por otras necesidades.

En 1938 estudios, realizados por diversos laboratorios de los Estados Unidos llevaron a la conclusión de que la incorporación voluntaria de aire en las mezclas, en forma de burbujas de muy pequeño diámetro mejora significativamente la durabilidad del concreto frente a los procesos de congelación y deshielo. (Rivva, 1992, p. 5)

Pasando lo años “En 1944 el American Concrete Institute aprueba y publica “Recommended Practice for the desing of concrete mixed” (ACI 603-44). Esta recomendación incluye un conjunto de pasos para el diseño de mezclas de concreto por el método de volúmenes absolutos” (Rivva, 1992, pp. 5-6). Esta publicación tiene una recomendación “cuando el contenido de aire es apreciable, como es el caso en que se emplea agentes incorporadores de aire, debe efectuarse una compensación considerando el aire como reemplazando a un volumen similar de arena”. (Rivva, 1992, p. 6).

Por los años 1954 el American Concrete Institute a través del Comité 613 reemplaza lo publicado en el año 1944 “La nueva incluye procedimientos para el diseño directo de concreto con y sin aire incorporado” (Rivva, 1992. p. 6).

A partir de la década de los 60 se inicia un desarrollo de los aditivos entre ellos los aditivos incorporadores de aire, además en 1965 se desarrollan los concretos livianos, pesados entre otros. (Rivva, 1992)

1.4.2 Antecedentes en los últimos 20 años

El concreto ligero es un material muy cotizado por los ingenieros civiles debido a que su característica de bajo peso facilita la construcción, por tal motivo, a través del tiempo se ha ido realizando muchas investigaciones para mejorarlo, una de éstas es aplicando procesos especiales, como se ha desarrollado en el trabajo de tesis de máster “Concreto Aireado en Autoclave, Estado Actual de la Técnica y Perspectivas del Futuro”.

La invención del concreto aireado en autoclave responde a un conjunto de patentes previas como resultado de los esfuerzos realizados por reducir notablemente el peso del hormigón, con implementación de agregados ligeros o agentes espumosos a partir del siglo XVIII con resultados limitados en sus inicios. (Jiménez, 2014, p.10)

En la figura 01 se muestra la porosidad de un concreto poroso

Figura 1

Concreto Poroso

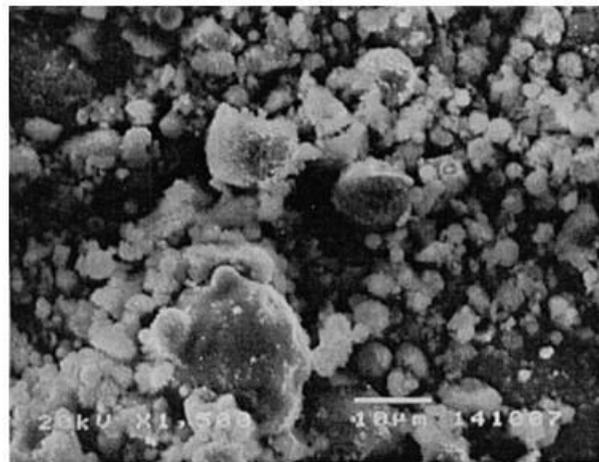


Fuente: Jiménez (2014)

Otras investigaciones han conseguido bajar el peso del concreto disminuyendo el peso de algunos de sus componentes, especialmente los agregados, es decir sustituir una parte de estos por materiales livianos; Narayanan y Ramamurthy, 2000). Así también se ha logrado disminuir el peso del concreto agregando materiales que produzcan porosidad, (Sumiati et al., 2020). En la figura 2 se muestra la micrografía de un mortero aireado, se aprecia la porosidad de la muestra

Figura 2

Micrografía Mortero Aireado



Fuente: Narayanan y Ramamurthy (2000)

Habsya et al. (2020) refieren que un concreto espumado ligero puede ser un buen sustituto de la albañilería de ladrillo, les permite dar esta afirmación, los resultados obtenidos en la investigación donde prueban que a mayor espumante la conductividad térmica se reduce.

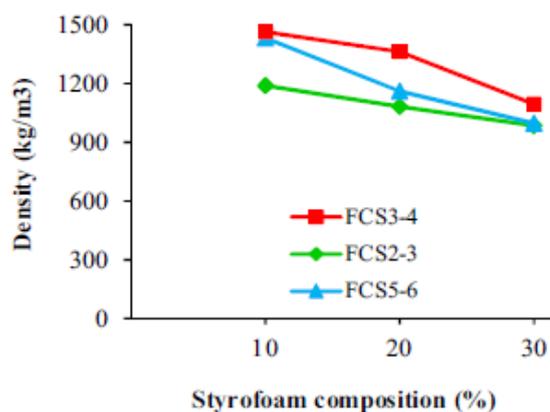
Rommel et al. (2020) afirman que el uso de un 20% de cenizas volantes como material cementoso y un 2% de agente espumante, tienen la capacidad de producir espuma y por tanto hormigón con densidades inferiores a 2000 kg / m³ y resistencia óptima a la compresión de 13 a 24 MPa.

Alfuady y Idris (2019) en su investigación Characteristics Foam Concrete with Polypropylene Fiber and Styrofoam concluyeron que utilizando espuma de poliestireno de 3 -

4 mm de diámetro se obtiene una densidad de 1099 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 11.34 MPa, Figuras 3 y 4

Figura 3

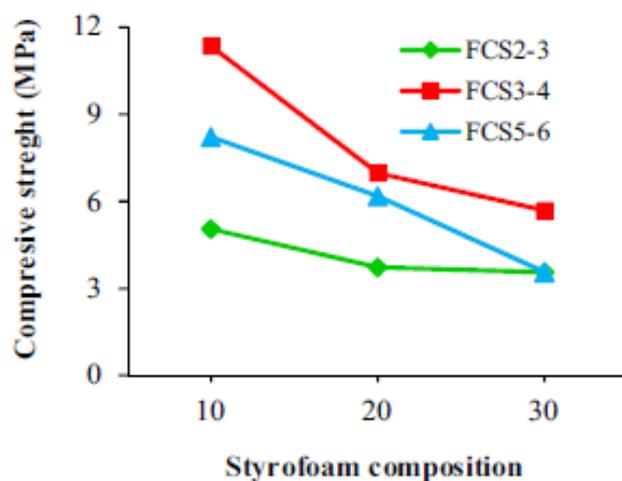
Densidad del concreto Celular con Varios porcentajes de espuma de Poliestireno



Fuente: Alfuady y Idris (2019)

Figura 4

Resistencia a la Compresión del Concreto Celular con varios porcentajes de espuma de poliestireno



Fuente: Alfuady y Idris (2019)

Azzahran et al. (2019) afirman en su investigación, que los hormigones de geo polímero espumado tienen un mejor desempeño en sus propiedades de aislamiento térmico en comparación con los hormigones con geo polímeros normales.

Misri et al. (2018) refieren: La conductividad Térmica depende de la composición del concreto, que está muy influenciada por la densidad, porosidad, temperatura, cantidad o porcentaje de volumen de materiales, tipo de materiales, relación agua cemento, humedad relativa del microambiente y características mineralógicas del agregado.

Vijayalakshmi y Ramanagopal (2020) desarrollaron un hormigón celular reforzado con fibras de alto rendimiento para proporcionar una mejor alternativa que los ladrillos de arcilla para aplicaciones estructurales de mampostería, demostrando que la adición de fibras mejora el comportamiento dúctil de los bloques de concreto celular.

La producción estable de concreto celular depende de varios factores, como el tipo de agente espumante, el método de preparación del agente espumante, la precisión del cálculo del diseño de mezclas y producción de concreto celular. (Amran et al., 2015)

Mugahed et al. (2020) desarrollan un concreto espumado, fabricado con cenizas volantes, humo de sílice y fibras de polipropileno consiguiendo densidades de 1000 a 1900 kg/m³ y resistencias de 20 a 70 MPa respectivamente, para aplicaciones estructurales, en la investigación se apreció que a medida que aumenta el material espumante la resistencia baja, sin embargo la resistencia mejoraba entre 20 a 50% al incluir fibra de polipropileno y humo de sílice.

Falliano et al. (2020) manifiesta que la adición de Sika fume en proporción de 10% del peso del cemento es muy significativa para el incremento de la resistencia a la compresión del concreto

Ebrahim et al.,(2019) en su investigación *Preparación y caracterización de hormigón espumado ultraligero que incorpora áridos ligeros*, manifiestan el efecto del agregado ligero y la ceniza volante reduce las contracciones, pero concluyen “La incorporación de cenizas volantes aumenta ligeramente la densidad seca del hormigón espumado, mientras que los áridos ligeros finos tienen una influencia variada debido a sus diferentes características”.

En el Perú se han realizado muchas investigaciones a nivel pregrado sobre temas de Concretos Ligeros, adicionando agregados ligeros. Así también, en los congresos de Estudiantes de Ingeniería Civil se han realizado concursos acerca de este tema.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1 Justificación

Actualmente el ingeniero civil cuenta con diferentes métodos que facilitan realizar diseños de mezclas de concreto normales. Similarmente, en el presente trabajo se determinó otros parámetros que ayudarán a realizar diseños de concretos de peso ligero y de resistencia estructural, de una manera práctica y rápida.

1.5.2. Importancia de la Investigación.

El presente trabajo de investigación representa un aporte a la Tecnología del Concreto al lograr establecer parámetros para realizar diseños de mezclas de Concretos Ligeros Estructurales.

1.5.3. Fundamento.

En los últimos tiempos una preocupación del ser humano es el medio ambiente, por ello, toda actividad que realiza pretende ser amigable con el ecosistema, consecuentemente la industria de la construcción no es ajena a este propósito sabiendo que es altamente contaminante. Si hablamos específicamente del concreto que es el tema de la presente investigación, “se ha estimado que por 1 kg de cemento producido, se generan entre 0,5 y 0,9 kg de emisiones de CO₂” (Fayomy et al., 2019. p.1). En este sentido es necesario realizar

investigaciones que aminoren el problema de contaminación, por tal motivo en el presente trabajo desarrollamos la búsqueda de un concreto liviano para aminorar el peso de las estructuras de concreto armado, determinando parámetros que faciliten el diseño.

1.6. Limitación de la Investigación

1.6.1. Espacial

La investigación se realizará en la ciudad de Arequipa, por lo que se utilizarán materiales del entorno.

1.6.2. Temporal

El tiempo de ejecución fue de veinte (20) meses.

1.6.3. Social

La investigación se realizará en la ciudad de Arequipa y sus resultados tendrán algunas incidencias en las siguientes instituciones:

- Universidades
- Ministerio de Vivienda, Saneamiento y Construcción (MVSC)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
- Ministerio del Ambiente (MINAM)
- Gobiernos Regionales
- Municipalidades Provinciales y Distritales
- Servicio Nacional de la Industria de la Construcción (SENCICO)
- Colegio de Ingenieros del Perú (CIP).
- Colegio de Arquitectos del Perú (CIP).
- Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO)
- Público en general

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General.

Determinar los Parámetros de Diseño para el Concreto Ligero Estructural, incorporando aditivo Surfactante.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- C. Obtener pesos del Concreto inferiores a 1850 kg/m³, adicionando a la mezcla un aditivo surfactante.
- D. Obtener resistencias a la compresión del concreto ligero superiores a 175 kg/cm² sin subir el peso de este aplicando valores bajos de la relación agua cemento.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis. General

Al incorporar un aditivo Surfactante al concreto se determinarían Parámetros de Diseño para el Concreto Ligero Estructural.

1.8.2. Hipótesis Específicas

- E. Con la adición del aditivo Surfactante al concreto se obtendría pesos del concreto inferior a 1850 kg/m³.
- F. Con valores bajos de la relación agua/cemento se obtendría resistencia a la compresión del Concreto Ligero superiores a 175 kg/cm² sin incrementar el peso de este.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

Aditivo Espumante.

Es un líquido que actúa como un agente espumante para elaborar mezclas livianas de concreto.

Concreto Celular.

Es un concreto que en su interior tiene una red de poros y se encuentra en la clasificación de concretos ligeros.

Concreto de Peso Normal

Es un concreto que tiene un peso aproximado de 2300 Kg/m³ (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, p. 14)

Concreto Espumado.

Es un concreto de peso ligero poroso que para su producción se ha adicionado una sustancia espumosa.

Concreto Estructural.

Es un concreto cuya resistencia a la compresión es superior a 175 kg/cm².

Concreto Ligero.

Es un concreto similar al concreto normal, excepto su peso, que es inferior a 1850 kg/m³.

Dosificar

En la investigación implica establecer proporciones adecuadas de aditivo surfactante en función al peso total del concreto.

Espumante

Surfactantes catiónicos o aniónicos hacen que las moléculas sean más resbaladizas, por lo que es menos probable que se adhieran entre sí.

Parámetro de Diseño del Concreto Ligero Estructural.

Valores constantes resultantes del proceso de investigación que caracterizan la ecuación predictiva para un Concreto Ligero Estructural.

Peso Específico del concreto

Peso del concreto por unidad de volumen

Relación: agua / cemento

Conocida como razón a/c, es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto ya que influye considerablemente en la resistencia a la compresión del concreto.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Generalidades del Concreto Ligero Estructural

Un Concreto Ligero Estructural es aquel que su peso específico es inferior a 1850 kg/m^3 y cuya resistencia a la compresión es superior a 175 kg/cm^2

Es importante mencionar que una de las principales propiedades del concreto es la Resistencia a la compresión y es precisamente esta propiedad por la que se utiliza al concreto “En el diseño del concreto y en el control de la calidad, la resistencia es la propiedad que más generalmente se especifica” (Metha y Monteiro, 1985, p. 33). La resistencia a la compresión del concreto depende de muchos factores, sus materiales componentes, su elaboración, clima etc., en la presente investigación desarrollamos la porosidad que es ocasionada por la inclusión del aditivo Surfactante “En general, existe una relación inversa fundamental entre la porosidad y la resistencia de los sólidos” (Metha y Monteiro, 1985, p. 33).

Existen diversas clasificaciones del concreto, una de ellas es la que se da en el trabajo de mater Concreto Aireado en Autoclave donde se muestra la clasificación dada por Fernández Cánovas, en cuanto a hormigones especiales que pertenecen a la familia de hormigones ligeros cuya característica es su peso inferior a 2000 kg/m^3 , siendo uno de ellos los hormigones

celulares, estos a su vez son de dos tipos los hormigones gaseados y espumados (Jiménez, 2014). Siendo el concreto espumado motivo del presente trabajo.

2.2.2. Relación Agua Cemento

A través del tiempo, de las investigaciones y experiencias de diferentes autores se sabe que la resistencia del concreto está muy ligada a la relación agua cemento, en el texto de Tecnología del Concreto se menciona:

Cuando un concreto está totalmente compactado, su resistencia es inversamente proporcional a la relación agua/cemento. Esta relación fue precedida por una así llamada "ley" -pero realmente era una regla-, establecida por Duff Abrams en 1919. Estableció que la resistencia es igual a:

$$f'c = \frac{K_1}{K_2 \frac{w}{c}}$$

Donde w/c representa la relación agua/cemento de la mezcla (tomada originalmente por volumen) K_1 y K_2 son constantes empíricas. (Neville, 2013, p.185)

Todos los componentes del concreto ya sea en cantidad o calidad influyen en la resistencia a la compresión del concreto, pero el factor más determinante es la relación agua cemento.

2.2.3. Peso Específico del Concreto.

El peso específico llamado también gravedad específica en el concreto, depende del peso de sus componentes especialmente de los agregados, normalmente el peso específico del concreto es considerado 2400 kg/m³ para concretos normales. Debido a ello podemos clasificar al concreto de acuerdo con el peso específico: concretos pesados, concretos normales y concretos livianos, estos últimos son el motivo de la presente investigación.

2.2.4. Vacíos en el Concreto

2.2.4.1. Tipos de Vacíos en el Concreto. El concreto al ser un material producto de la mezcla de cemento, agregados, agua y ocasionalmente aditivos y adiciones, contiene diferentes tipos de vacíos producidos durante su elaboración, estos pueden ser:

- *Poros capilares:* “Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel” (Rivva, 2000, p. 14).
- *Poros de gel:* “Espacios intersticiales interconectados entre las partículas de gel” (Neville, 2014, p. 21). “Los poros Gel tienen un diámetro muy pequeño del orden de aproximadamente 0.0000010 mm, equivalente a las moléculas del agua” (Rivva, 2000, p.15).
- *Poros de aire atrapado:* “Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden del 1% es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación” (Rivva, 2000, p.13).
- *Aire incorporado:* Este tipo de porosidad es intencional, es decir el hombre incorpora al concreto algún aditivo que genere porosidad para bajar su densidad, en el libro Naturaleza y Materiales del Concreto se indica:

Las burbujas de aire incorporado son generalmente de perfil esférico, con diámetros variables que corresponden a un valor promedio de 0.08 a 0.10 mm. Su volumen en la unidad cubica de concreto puede ocupar hasta más del 5% de la misma, pudiendo encontrarse en un concreto con 5% de aire incorporado valores del orden de 330 mil burbujas de aire por centímetro cubico de pasta. (Rivva, 2000, p. 13)

Para efectos de la presente investigación utilizamos aditivos que incorporan espuma al concreto para disminuir su peso

2.2.4.2. Importancia de los Vacíos en el concreto. En los concretos normales los vacíos que se forman durante el mezclado no son deseables, por ello es que se realizan el vibrado durante la colocación del concreto, para evitar las cangrejas que por un lado dan mal aspecto y por otro debilitan el concreto en esa zona, como vimos en el punto anterior existen vacíos que se producen intencionalmente, es decir se adicionan compuestos que forman burbujas de aire ocasionando la disminución de la densidad del concreto y de la resistencia del mismo. Neville (2014) afirma. “En términos estrictos, la resistencia del concreto está influida por el volumen de todos los vacíos dentro del concreto: aire atrapado, poros capilares, poros de gel y aire incluido, si está presente” (p.191).

2.2.5. Aditivos para producción de Concreto Ligero

2.2.5.1. Definición. Existen muchas definiciones de aditivos, adoptaremos la siguiente:

Los aditivos son ingredientes distintos del propio cemento portland, del agua y de los áridos, que pueden añadirse al hormigón para proporcionar una cualidad específica a la mezcla plástica (fresca) o al hormigón endurecido (ASTM C494). Algunos aditivos se añaden a la mezcla en forma de soluciones. En tales casos, el líquido debe considerarse parte del agua de la mezcla. Si los aditivos no pueden añadirse en solución, se pesan o se miden en volumen, según recomienda el fabricante.(Mamlouk y Zaniewski, 2009, p. 229).

2.2.5.2. Tipos de Aditivos. Una clasificación de los Aditivos se muestra en la tabla 1:

Tabla 1

Aditivos de Concreto según su Clasificación

TIPO DE ADITIVO Y NORMAS	EFECTO DESEADO	MATERIAL
Acelerador	Acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana	Cloruro de Calcio, (ASTM D 98 and AASHOTO M 144) trietanolamina, tiocianato de sodio, formiato de calcio nitrito de calcio, nitrato de calcio
ASTM C 494, AASHTO M194 (tipo C) COVENIN 0356 IRAM 1663 NCH2182.Of1995, NMX-C-255, NMX-C-356 NTC 1299(tipo C), NTP 334.088		
Adherencia	Aumentar resistencia adherencia	la Cloruro Polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno
Aditivo para Lechada	Ajustar propiedades lechada aplicaciones específicas	las Consulte los aditivos de inclusores de aire, para aceleradores, retardadores y reductores de agua
Agente Espumante	Producir Concreto Liviano y Concreto Celular con baja densidad	Surfactantes catiónicos o aniónicos. proteína Hidrolizada
Anti- deslave	Aumentar la cohesión del Concreto para su colocación bajo el agua	Celulosa Polímero Acrílico
A Prueba de Humedad	Retrasar penetración humedad en el concreto seco	la Jabones de Estearato de calcio o amonio u oleato. de Estearato butilo. Productos el de petróleo
Auxiliar de bombeo	Mejorar condiciones de bombeo	las Polímeros orgánicos y de sintéticos. Floculantes orgánicos. Emulsiones orgánicas, alquitrán asfalto, acrílicos. Bentonita y sílice pirogénica. Cal hidratada (ASTM C 141)
Colorante	Producir Concreto Colorido	

Fuente: Kosmatka et al., (2004).

Los aditivos que producen similares efectos para obtener concretos ligeros son:

- *Aditivo Espumante:* Aditivo espumógeno superconcentrado de base sintética para la producción de concreto celular liviano.
- *Aditivo incorporador de Aire:* Aditivos inclusores de aire, para crear burbujas microscópicas de aire en el concreto.

2.2.5.3. Aditivo Espumante. El aditivo utilizado en la investigación es Sika Lightcrete Pe. Se muestra la información de la ficha Técnica.

SIKA (2014) “Es un líquido que actúa como agente espumante concentrado para elaborar mezclas cohesivas y livianas ya sea de concreto, mortero, rellenos hidráulicos, etc.; entre 800 y 1,800 kg/m³, según la dosificación utilizada y tipos de agregados empleados”.

Usos.

- Concretos o morteros con fines estructurales
- Elaboración de elementos prefabricados de bajo peso.
- Estructuras de bajo peso vaciadas in situ con el fin de llevar a cabo ampliaciones.
- Revestimiento de estructuras de acero.

2.2.6. Ensayos de Laboratorio

- Muestreo de Agregados
- Ensayos para determinar las propiedades físicas de los agregados
- Ensayos para determinar el contenido de aire en el Concreto Fresco
- Ensayos Normalizados para la toma de muestras del concreto
- Ensayos del concreto endurecido para determinación de la resistencia a la compresión de concreto en muestras cilíndricas.

2.2.7. Propiedades del Concreto en estado Fresco

- Contenido de aire del Concreto.
- Peso del Concreto Fresco.

2.2.8. Propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido

2.2.8.1. Resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión es la propiedad más importante del concreto y es la razón por la que se utiliza este material.

La Resistencia mecánica del concreto endurecido ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción, lo cual se ha considerado atribuible a tres principales razones 1-en la mayoría de los casos, la resistencia mecánica (a compresión o tensión) tiene influencia directa en la capacidad de carga de la estructura 2-es la propiedad más fácilmente determinable en el concreto endurecido, y 3-los resultados de su determinación pueden ser utilizables como datos índice de otras propiedades del concreto. (Instituto de Ingeniería UNAM 1994, p. 10)

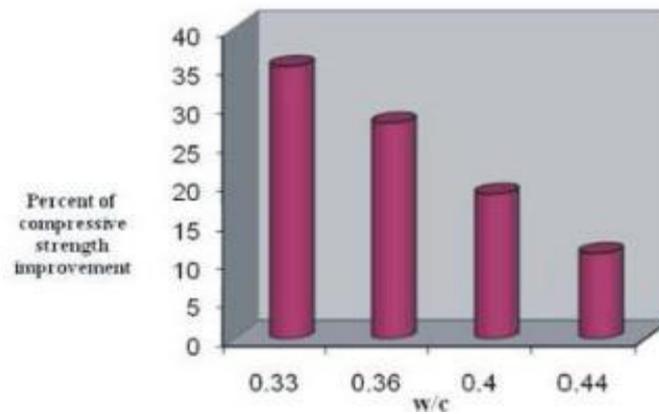
2.2.8.2 Factores que influyen en la resistencia del concreto a la compresión.

- Relación agua/cemento
- Contenido de Vacíos
- Naturaleza de agregados

A través del tiempo muchos investigadores probaron el efecto de la relación agua/cemento en la resistencia del concreto, siendo a menor relación a/c la resistencia será mayor (Diyora et al., 2014). En la figura 5 se muestra como es el comportamiento del esfuerzo de compresión del concreto en función a diferentes relaciones de agua /cemento.

Figura 5

Relación Agua/Cementos. Porcentaje Resistencia a la Compresión

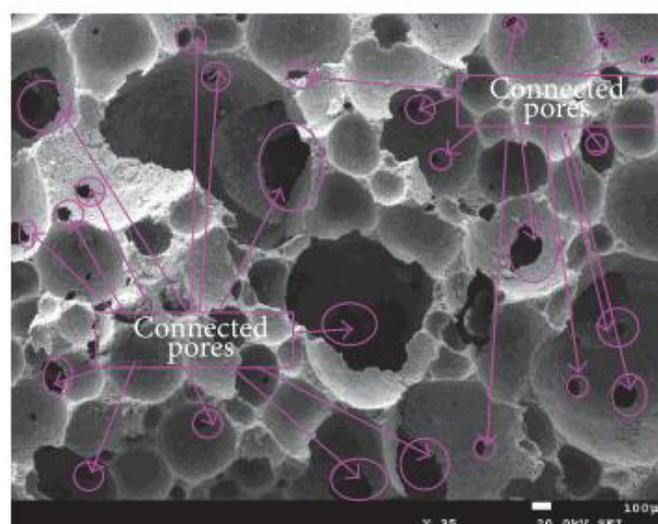


Fuente: Diyora et al. (2014)

Liu et al. (2016) concluyen en su investigación *Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete* “La relación agua-cemento influye en el tamaño, la forma, la distribución y la conectividad de los poros en el hormigón celular” (p. 8). Se puede apreciar en la figura 6 la porosidad del concreto celular

Figura 6

Imagen del Concreto Celular de 500 kg / m³ de 0.4 de relación a / c.



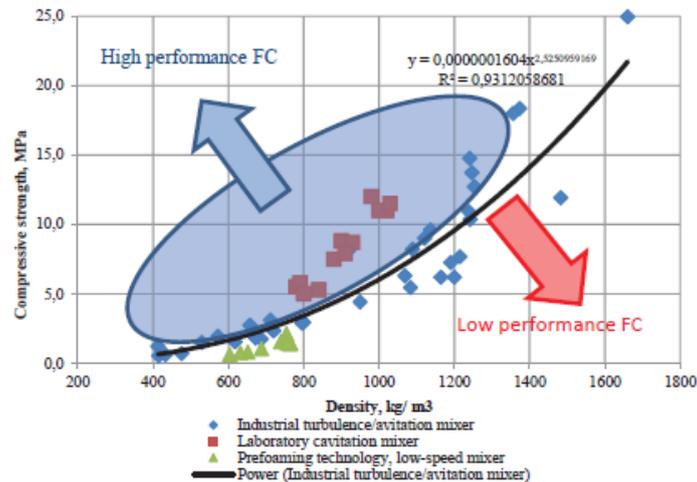
Fuente: (Liu et al., 2016)

Muchos investigadores trataron el problema de durabilidad de este tipo de concreto Namsone et al. (2017) hicieron el estudio para concretos en zonas frías y húmedas,

concluyendo que un concreto celular producido en un mezclador de turbulencia soporta muy bien a las heladas figura 7

Figura 7

Correlación Densidad - Resistencia a la Compresión del Concreto



Fuente: Namsone et al. (2017)

Así también, muchas empresas han tratado de producir concretos de peso ligero, como por ejemplo el caso de la primera planta comercial dedicada al agregado de esquisto expandido, que comenzó a operar en Kansas City, Missouri en 1920 bajo el nombre de Haydite Company, siendo los esquistos expandidos materiales muy ligeros.

2.3. Marco Filosófico

El ser humano desde que apareció en la tierra siempre ha estado en busca de su bienestar, a través del tiempo ha ido enfrentando dificultades, inicialmente sin rigurosidad, poco a poco fue mejorando los métodos para resolver sus problemas, es ahí donde aparecen los científicos.

En medio de esta búsqueda, el concreto se encuentra ligado a la evolución de las civilizaciones desarrolladas a lo largo de la historia de la humanidad, por consiguiente, la

importancia que desde los albores de ésta han tenido y tienen los constructores es innegable. Se entiende como el eterno deseo de buscar bienestar para el hombre, inicialmente protegiéndolo de las inclemencias climáticas hasta llegar al confort, posteriormente solucionando los problemas de salubridad, de vivienda adecuada y de las múltiples necesidades que se van creando con el desarrollo de la civilización, finalmente aceptando que la tecnología del concreto siempre estará en permanente evolución e innovación.

Cuanto más tiempo pasa, existe la sensación de que más rápidos son los cambios. Algunos cambios han sido tan bruscos que muchas personas se resisten a ellos, incluso con violencia, y en el pasado fueron capaces de matar, porque quisieron aferrarse a ciertas ideas y cosas. Es lo que se suele llamar neofobia, temor por lo nuevo. Otros, en cambio vislumbran el futuro sin temor y renuevan ideas, inventan artefactos generando muchas veces reacciones hostiles. Estas tensiones entre pasado y futuro, entre innovadores y conservadores, han sido un factor de progreso (Lucas, 2008, p. 53).

Hempel (1981) manifiesta: que existen dos motivos básicos para la investigación científica del hombre, una mejorar su posición en el mundo y la otra su curiosidad intelectual.

Bunge (2004) nos dice: La ciencia es un estilo de pensamiento y acción, donde tenemos que distinguir entre el trabajo y su producto final, es decir la investigación y el conocimiento. Parte del sentido común de hoy día es resultado de la investigación científica del ayer, pero, la ciencia no es una mera prolongación ni un simple afinamiento del conocimiento ordinario, la ciencia elabora sus propios cánones de validez porque aspira a ser racional y objetiva, mediante la sistematización coherente de enunciados fundados y contrastables, con el fin de incrementar nuestros conocimientos y aplicarlos (ciencia pura y aplicada).

Todo lo que hacemos en la vida debe tener un propósito, en el caso del presente proyecto es contribuir con el bienestar del ser humano, porque la investigación además de servir a la tecnología del concreto donde directamente ayudará al profesional a tener información

segura sobre los resultados del concreto, contribuirá también a conservar el medio ambiente, debemos tener edificaciones confortables y ecológicas.

Toda inquietud por conservar y mejorar nuestro medio ambiente siempre será la preocupación de los que de alguna manera estamos comprometidos en la industria de la construcción, debemos cuidar nuestra casa pequeña para defender nuestra casa grande, que es el mundo que nos rodea y nos cobija. Los ingenieros tenemos la misión de trascender porque nuestras obras siempre quedaran para la posteridad, donde conseguiremos el reconocimiento y tal vez la admiración de nuevas generaciones o el reclamo y tal vez la condena por mirar con indiferencia que la contaminación nos está venciendo.

“La investigación tecnológica, llevada a cabo con el método de la ciencia, es la única capaz de poner a prueba la verosimilitud de las hipótesis y la eficacia de las reglas” (Bunge, 2012, p. 61).

2.4. Marco Tecnológico

La tecnología ha avanzado vertiginosamente, en todos los campos de la humanidad y no es la excepción el área que estamos investigando.

Las interacciones entre la tecnología y la ciencia son fuente de permanente renovación de ambos campos. Quedan aún técnicos rutinarios, especialmente en la industria de la construcción, en las industrias extractivas y en actividades sociales...porque la ciencia y la tecnología, y con ellas la sociedad íntegra, se están renovando a un ritmo tan vertiginoso que lo que cuenta no es la información aislada sino el método y la teoría generales, que capacitan para abordar cualquier problema nuevo (Bunge, 2012, p. 54).

En el ámbito de la Tecnología del Concreto diversas empresas productoras de aditivos nos presentan muchas alternativas para mejorar la calidad del Concreto, igualmente para solucionar problemas que día a día se presentan en las obras de construcción, como climas

extremos, estructuras muy congestionadas de acero, etc. Para el tema que estamos tratando, concreto de baja densidad, podemos hacer uso de lo último en la Tecnología de Aditivos, un producto que al adicionarlo a la mezcla producirá Espuma, la presencia de ésta en el concreto permite crear vacíos, por consiguiente, bajar la densidad del concreto.

2.5 Marco Legal

Existen muchas normas nacionales e internacionales para cada prueba que realizamos en el desarrollo de la elaboración del concreto, es así como nosotros utilizamos las normas Peruanas NTP, que las mencionamos a continuación:

2.5.1. Normas Agregados

NTP 400.013: 2013 Análisis Granulométrico del Agregado Fino, Grueso y Global

NTP 400.018: 2013 Método de Ensayo Normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el Tamiz Normalizado 75 μm (200) por lavado en agregados.

NTP 400.021: 2002 Método de Ensayo Normalizado para peso específico y Absorción del Agregado Grueso.

NTP 400.022: 2013 Método de Ensayo Normalizado para peso específico y Absorción del Agregado Fino.

2.5.2. Normas Concreto Fresco.

NTP 339.080: 2011 Método de Ensayo Normalizado para la determinación del contenido de Aire en el concreto fresco. Método de presión.

NTP 339.081:2017 Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco. 3ª Edición

2.5.3. Normas Concreto Endurecido.

NTP 339.034: 2008 Método de Ensayo Normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de concreto en muestras cilíndricas.

NTP 339.037: 2008 Práctica Normalizada para el Refrentado de testigos cilíndricos de Concreto.

2.5.4 Norma E060 Concreto Armado

La Norma Técnica de Edificación de Concreto Armado nos dá los conceptos, requisitos y control de calidad de los materiales de concreto utilizados en el presente trabajo de investigación.

III. MÉTODO

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

3.1.1.1. De acuerdo con la orientación. La investigación es Básica, Álvarez (2020) Cuando la investigación se enfoca en adquirir nuevo conocimiento de manera sistemática, con la única meta de ampliar el entendimiento de una realidad específica.

3.1.1.2. De acuerdo con la técnica de contrastación. La investigación es Experimental, para su elaboración es necesario hacer uso de laboratorio experimental donde los datos se obtienen por observación, manipulando las variables relación agua/cemento y aditivo surfactante, esperando la respuesta de las variables Resistencia a la compresión y Peso del Concreto.

Es Explicativa ya que los resultados deben interpretarse luego de un análisis exhaustivo sobre como las variables independientes influyen en las variables dependientes.

3.1.1.3. De acuerdo con la direccionalidad. La investigación es Prospectiva, los estudios que se realizan pertenecen al momento que se realice y servirán para su uso en el futuro

3.1.1.4. De acuerdo con el tipo de fuente de recolección de datos. La investigación es Prolectiva, se tomarán datos de los experimentos que se realizarán en el laboratorio.

3.1.1.5. De acuerdo con la evolución del fenómeno estudiado. La investigación es transversal se toman datos en un determinado momento para inmediatamente realizar su análisis e interpretación.

3.1.1.6. De acuerdo con la comparación de las poblaciones. La presente investigación es comparativa, en la cual tomaremos muestras de concreto con diferentes relaciones agua/cemento y diversos porcentajes de aditivo surfactante para poder ver la influencia de estas variables en el mismo.

3.1.2. Nivel.

Nivel IV, Predictiva II ya que se estudiará la estadística inferencial.

3.1.3. Código y Nomenclatura UNESCO

La presente investigación pertenece al Campo de la Tecnología del Concreto, se muestra en la Tabla 2

Tabla 2

Código y Nomenclatura UNESCO

Campo	Disciplina	Subdisciplina	Código
Ciencias Tecnológicas	Tecnología de la construcción	Tecnología del Hormigón	3305.05

Fuente: UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

3.1.4. Diseño de Investigación

La investigación es experimental, para ello se tomó diferentes dosificaciones a la variable aditivo surfactante, combinando con diferentes valores de la relación agua cemento, como mostramos en la Tabla 3, teniendo las siguientes consideraciones para los valores de las variables independientes:

- Relación agua /cemento

Para el diseño inicialmente se considera valores inferiores a 0.5, porque con valores mayores y con la presencia de aditivo, la resistencia a la compresión del concreto se disminuye, por otro lado, el valor mínimo se considera de 0.44 para no utilizar otro aditivo que plastifique el material, el mismo que no estuvo considerado como variable en la presente tesis.

- Aditivo Surfactante

La ficha técnica SIKA, (2014) “recomienda utilizar dosis de 0.5 kg. a 4 kg por metro cúbico de mezcla”, sin embargo, en la investigación se ha considerado valores de 0.25, 0.5, 0.75 y 1 kg/m³ debido a la sensibilidad del producto en sus efectos en el concreto.

Tabla 3*Diseño de Variables*

VARIABLE INDEPENDIENTE		VARIABLE DEPENDIENTE	
		Dimensión	
a/c	Aditivo espumante kg/m ³	Resistencia a la Compresión	Peso
0.50	0	R1	P1
	0.25	R2	P2
	0.50	R3	P3
	0.75	R4	P4
	1	R5	P5
0.45	0	R6	P6
	0.25	R7	P7
	0.50	R8	P8
	0.75	R9	P9
	1	R10	P10
0.44	0	R11	P11
	0.25	R12	P12
	0.50	R13	P13
	0.75	R14	P14
	1	R15	P15

Fuente: Propia

3.2. Población y Muestra**3.2.1. Población**

En la presente investigación la población es el Concreto Ligero Estructural, siendo que “población es un conjunto de elementos que poseen una característica” (Kaseng 2017, p. 209). La característica principal de la población en estudio es el Concreto de Peso Ligero y Estructural.

3.2.2. Tamaño Muestral

La importancia de la muestra radica en que debemos trabajar con una representación de la población “Una muestra representativa es una muestra que recoge todas las características relevantes de la población” (Kaseng, 2017, p. 210). En la presente investigación se ha considerado un muestreo probabilístico, el investigador elabora las muestras dando valores a

las variables agua/cemento y Aditivo, y se elabora concreto conforme a la normatividad existente en la tecnología del concreto. “Se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas” (Ministerio de Vivienda, 2020, p.40). Por otro lado según Hernandez et al., (2014) para lograr la validez interna de un experimento se consigue con varios grupos de comparación. En la Tabla 4 se presenta la distribución de ensayos, siendo estas para cada caso 5 grupos de comparación de tres probetas a los 28 días

Tabla 4

Número de Probetas

VARIABLE INDEPENDIENTE		TOTAL, ENSAYOS A COMPRESIÓN Y PESO		
a/c	Aditivo espumante kg/m ³	Grupos de Control	Número de probetas /grupo	TOTAL, PROBETAS
0.50	0	5	3	15
	0.25	5	3	15
	0.50	5	3	15
	0.75	5	3	15
	1	5	3	15
0.45	0	5	3	15
	0.25	5	3	15
	0.50	5	3	15
	0.75	5	3	15
	1	5	3	15
0.44	0	5	3	15
	0.25	5	3	15
	0.50	5	3	15
	0.75	5	3	15
	1	5	3	15
TOTAL		15		225

Fuente: Propia

3.3. Operacionalización de Variables

3.3.1 Variables e Indicadores

3.3.1.1. Variables independientes

a) De la hipótesis general

- Aditivo Surfactante

b) De las hipótesis secundarias

- Relación Agua/Cemento
- Aditivo Surfactante

3.3.1.2. Variables Dependientes

a) De la hipótesis general

- Parámetros del Concreto Ligero Estructural

b) De las hipótesis secundarias

- Resistencia a la Compresión del Concreto Ligero Estructural
- Peso Específico del Concreto

3.3.2. Operacionalización de Variables

Tabla 5

Operacionalización de Variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	NIVEL DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Relación agua/cemento	Es un valor que resulta de dividir la cantidad de agua, entre la cantidad de cemento por una unidad de medida	En el presente trabajo se dará diferentes valores para esta relación, estos valores serán inferiores a 0.5	Ratio	kg/kg
	Aditivo surfactante	Es una sustancia química cuya propiedad es que al adicionarla en pequeñas dosis al concreto facilita la generación de espuma.	Se adiciona este aditivo al concreto en diferentes dosis, con la finalidad que este produzca espuma y por consiguiente vacíos en el concreto disminuyendo su peso	Peso en función al volumen de concreto	kg/m3
DEPENDIENTE	Resistencia a la Compresión del Concreto	Es la Capacidad para soportar una carga por unidad de área del Concreto	Valores que se obtienen luego de someter a compresión en una prensa, las muestras de concreto, luego dividir el valor obtenido entre el área de la probeta	Valor numérico resultante de la Compresión	kg/cm2
	Peso del Concreto	Peso por unidad de volumen del Concreto	Valor que se obtiene de dividir el peso de una probeta de concreto respecto a una unidad de volumen de la probeta previamente medida	Valor numérico resultante	kg/m3

Fuente: Propia

3.4 Técnicas e Instrumentos

3.4.1. Técnicas de procesamiento de datos

Para el desarrollo de la investigación consideramos los siguientes pasos:

- **Paso 1** Recolección de datos
- **Paso 2** Procesamiento de información
- **Paso 3** Análisis y presentación de resultados

3.4.2. Técnicas de análisis e interpretación de la Información

- Recopilación de data en instrumentos definidos
- Seleccionar data en función de las variables en estudio
- Uso del Software SPSS, Minitab para el procesamiento de la data
- Obtención de reportes para análisis
- Retroalimentación de data para validar resultados
- Preparación de tablas y figuras para presentar resultados.

3.4.3. Equipos para la medición de resultados en laboratorio.

- Mezcladora de concreto
- Olla de Washington
- Prensa para determinar la resistencia a la compresión del Concreto

3.4.4. Instrumentos de recolección de datos.

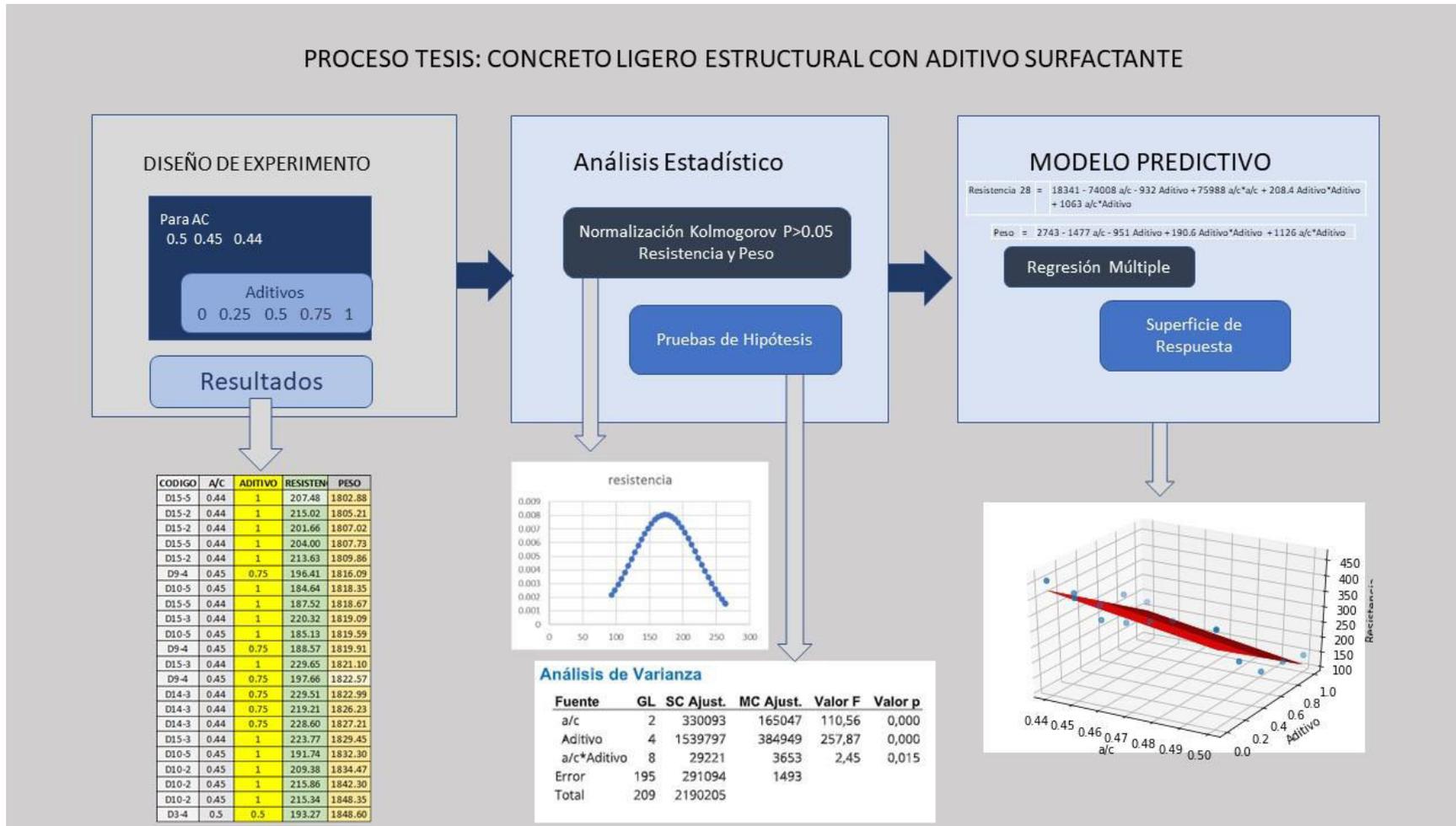
- Formatos para cada prueba que realizamos en el laboratorio.

3.5. Procedimientos

En la Figura 8 se presenta el modelo del proceso de investigación.

Figura 8

Modelo Diseño de Investigación



Fuente: Propia

3.5.1. Diseño estadístico

En la presente investigación se desarrollará el diseño experimental teniendo en cuenta que, “En el trabajo experimental se tiene en general una doble tarea; en primer lugar, se deben diseñar e interpretar los experimentos propios; en segundo lugar, es necesario evaluar de manera crítica la información ya generada en trabajos experimentales ajenos” (Castaño y Dominguez, 2010, p. 1).

3.5.2 Estrategia de prueba de Hipótesis

3.5.2.1 Pasos para Demostrar la Hipótesis Nulas.

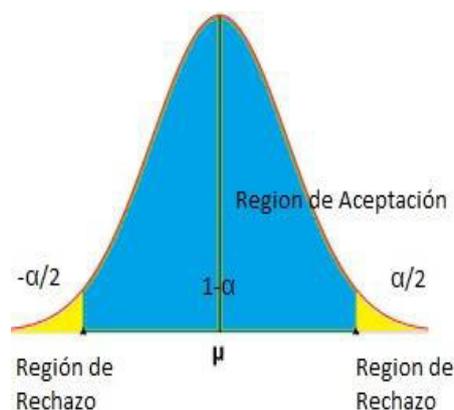
- Paso 1 Planteamiento de la Hipótesis Nula.

“Para someter a prueba o contrastar una hipótesis es necesario, además de formular la hipótesis alterna, elaborar una hipótesis nula, que viene a ser la negación de la alterna” (Ñaupas et al., 2014, p. 283).

- Paso 2 Elegir el nivel de significancia, que es el máximo error que se puede tener para dar por válida la hipótesis nula. En la presente investigación elegimos el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- Paso 3 Determinar la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula figura 9

Figura 9

Determinación Zona de Aceptación - Zona de rechazo



Fuente: Propia

3.6. Análisis de Datos

El proceso se inicia con el análisis exploratorio de los datos obtenidos en laboratorio, para ello utilizamos el software Minitab, determinando los descriptivos y normalidad de la distribución de los datos. Con esta información se determina si los datos son paramétricos o no, luego se elige el estadístico con el que se probará la hipótesis.

Para obtener los parámetros del modelo de un concreto Ligero Estructural se utilizará modelos de Regresión múltiple

3.7. Consideraciones Éticas

La investigación que se ha desarrollado es original. Además, el producto final es un material que contribuye a la conservación del medio ambiente debido a que se ha obtenido concretos de peso liviano, lo que significa la disminución del uso de material de construcción consecuentemente la disminución de la huella de carbono.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha considerado estrictamente los lineamientos dados por la Universidad Nacional Federico Villarreal. Así también el autor ha desarrollado el trabajo con veracidad en todo su contenido.

IV. RESULTADOS

En la Tabla 6 se muestra paso a paso la secuencia que se ha realizado en esta etapa

Tabla 6

Procedimiento Estadístico

OBJETIVO	ACCION	HERRAMIENTA
Captura de datos por registro: Res, AC, Pes, Ad	Se creó la base de datos en Excel	Excel
Determinar si es paramétrica o no (según número de muestras)	PRUEBA KS Usar Shapiro < 30 muestras Kolmogorov > 30 muestras	MINITAB
Gráfico de Distribución Normal	Para cada variable, respuesta	MINITAB
Prueba de Hipótesis	Anova	MINITAB
Ajustes a mejor modelo	Superficie de respuesta	MINITAB
Encontrar lo optimo	Superficie de respuesta	MINITAB
Encontrar optimización múltiple	Deseabilidad Múltiple Gráfico de Contorno	MINITAB
Predicción	Superficie de Respuesta	MINITAB

Fuente: Propia

4.1 Propiedades de los Materiales Utilizados

4.1.1 Cemento

El tipo de cemento utilizado en la presente investigación es Cemento tipo I “ Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo” (INDECOPI Norma Técnica- Cemento NTP 334.009, 2013)

Peso específico 3.11 gr/cm³

Se eligió este tipo de cemento debido a que no contiene adiciones que reducirían la resistencia del concreto, comparado con los cementos adicionados.

4.1.2 Propiedades Físicas de los Agregados.

Una característica del concreto buscado en la presente investigación es el peso bajo, siendo que los agregados en el concreto se encuentran entre el 60 y 80 % de su volumen es que además del aditivo que se incorpora para bajar el peso del concreto se ha buscado agregados que contribuyan en disminuir el peso, por lo cual se ha elegido agregados provenientes de la cantera Los Tres Pastorcitos, y del Km3 de la Carretera a Yura, para el agregado fino y grueso respectivamente, ambos en la provincia y departamento de Arequipa.

En las Tablas 7 se presenta las propiedades físicas de los agregados fino y grueso.

Tabla 7

Propiedades de los Agregados

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS			
DESCRIPCIÓN	Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidades
Peso Específico SSS	2.573	1.994	gr/cm ³
Contenido de Humedad	2.648	0.368	%
Porcentaje de Absorción	2.237	15.838	%
Peso Unitario Compactado	1.725	1.525	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	1.598	1.355	gr/cm ³
Módulo de Fineza	2.83	6.5	
Pasante la Malla 200	8		%
Tamaño Máximo Nominal		½	pul

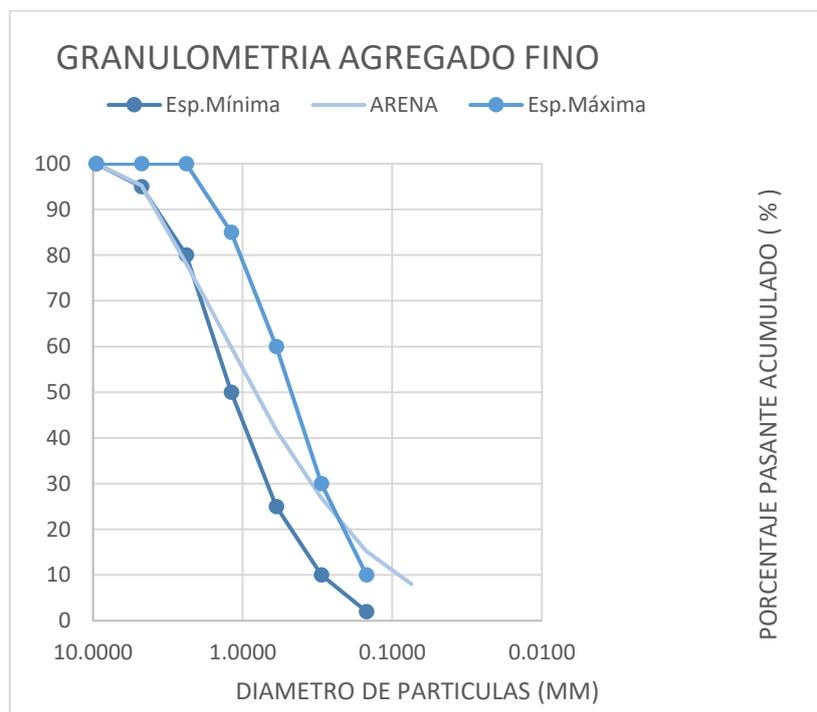
Fuente propia

En la tabla 8 y figura 10 se presenta el análisis granulométrico del agregado fino

Tabla 8*Granulometría Agregado Fino*

Tamiz	Abertura mm	Peso Retenido gr.	Reten. %	Acum. Ret. %	Pasante %
# 3/8	9.525	0	0.00	0.00	100.00
# 4	4.750	23.7	4.74	4.74	95.26
# 8	2.381	85.57	17.11	21.85	78.15
# 16	1.191	91.59	18.32	40.17	59.83
# 30	0.595	90.97	18.19	58.37	41.63
# 50	0.298	73.86	14.77	73.14	26.86
# 100	0.149	58.33	11.67	84.80	15.20
# 200	0.074	35.93	7.19	91.99	8.01
< 200		40.05	8.01	100.00	0.00
Total		500	0.00		

Fuente: Propia

Figura 10*Granulometría del Agregado Fino*

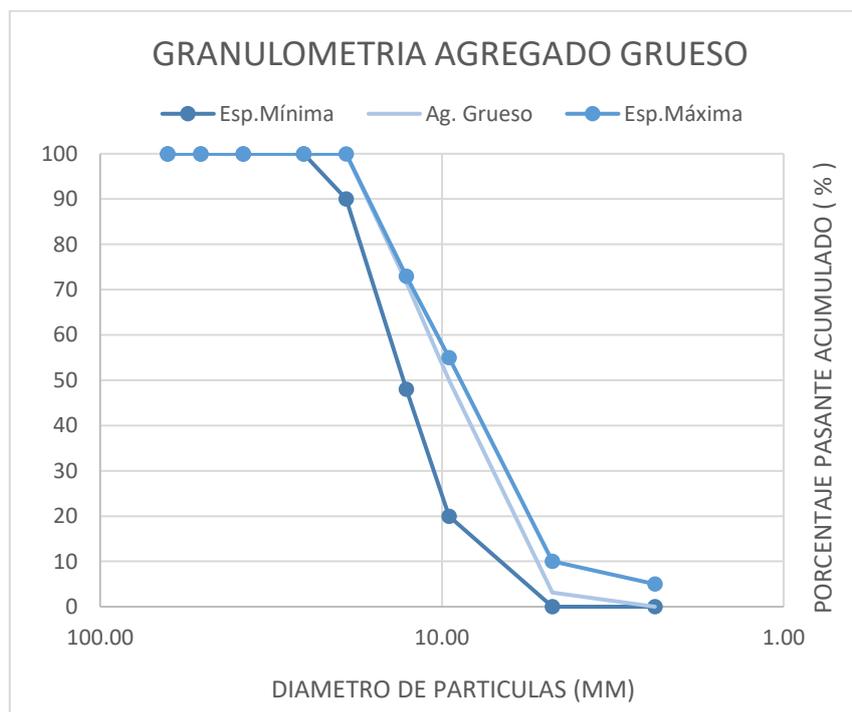
Fuente: Propia

En la tabla 9 y figura 11 se presenta el análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 9*Granulometría del Agregado Grueso*

Malla	Abertura mm	Peso Ret. gr.	Reten. %	Acum. Ret. %	Pasante %
2 1/2"	63.5		0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.05	0	0	0	100
1/2"	12.7	850.8	28.39	28.39	71.61
3/8"	9.525	648	21.63	50.02	49.98
N°4	4.75	1404.7	46.88	96.90	3.10
< N° 4		93	3.10	100	0
Total		2996.5			

Fuente propia

Figura 11*Granulometría del Agregado Grueso*

Fuente propia

4.1.3 Aditivo Surfactante

Para el presente trabajo se eligió el aditivo espumante debido a que el material produce espacios vacíos en el concreto aminorando su peso.

Adicionalmente, según la ficha técnica SIKA, (2014), el material puede ser utilizado con fines estructurales, para lo cual en la presente investigación su uso fue muy cuidadoso debido a que es muy sensible el efecto que produce en la resistencia a la compresión del concreto.

4.2 Diseño de Mezclas.

El método utilizado para el Diseño de Mezclas es del comité 211 de American Concrete Institute ACI, combinado con el método experimental para una mejor compacidad de los agregados. Se realizaron 15 diseños, según las combinaciones que se tienen de las variables independientes, como se muestra en la tabla 10 donde se aprecia 3 diseños con aditivo 0 que vendrían a ser los patrones para cada grupo de relación agua/cemento, y en cada caso adicionamos aditivo en las dosificaciones de 0.25, 0.5, 0.75, y 1, todo conforme a la tabla 3 donde se indica los diferentes valores que toman las variables independientes.

Tabla 10*Diseños de Mezclas*

MATERIALES	DISEÑOS														
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
Cemento kg/m3	410	410	410	410	410	460	460	460	460	460	520	520	520	520	520
Agregado Fino kg/m3	821	821	821	821	821	758	758	758	758	758	670	670	670	670	670
Agregado Grueso kg/m3	636	636	636	636	636	649	649	649	649	649	635	635	635	635	635
Agua kg/m3	205	205	205	205	205	207	207	207	207	207	229	229	229	229	229
Relación a/c	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Aditivo kg/m3	0	0.25	0.5	0.75	1	0	0.25	0.5	0.75	1	0	0.25	0.5	0.75	1

Fuente: Propia

4.3 Resultados de Laboratorio.

A continuación, se muestran los promedios de los resultados de las Resistencias a la Compresión y Peso del concreto de los distintos diseños de mezclas, tabla 11. En el Anexo 2 se muestran el total de valores resultantes de los ensayos de laboratorio

Tabla 11

Resultados de Laboratorio

Codigo	a/c	Aditivo	Promedio Resistencia	Promedio Pesos
D1	0.5	0	403.28	2071.80
D2	0.5	0.25	260.08	1936.50
D3	0.5	0.5	181.09	1855.20
D4	0.5	0.75	167.30	1855.20
D-5	0.5	1	144.23	1810.70
D6	0.45	0	418.40	2073.70
D7	0.45	0.25	307.10	1969.40
D8	0.45	0.5	255.32	1912.00
D9	0.45	0.75	217.22	1860.20
D10	0.45	1	176.70	1806.20
D11	0.44	0	456.39	2071.20
D12	0.44	0.25	377.00	1972.70
D13	0.44	0.5	297.70	1907.30
D14	0.44	0.75	291.10	1899.10
D15	0.44	1	224.97	1834.80

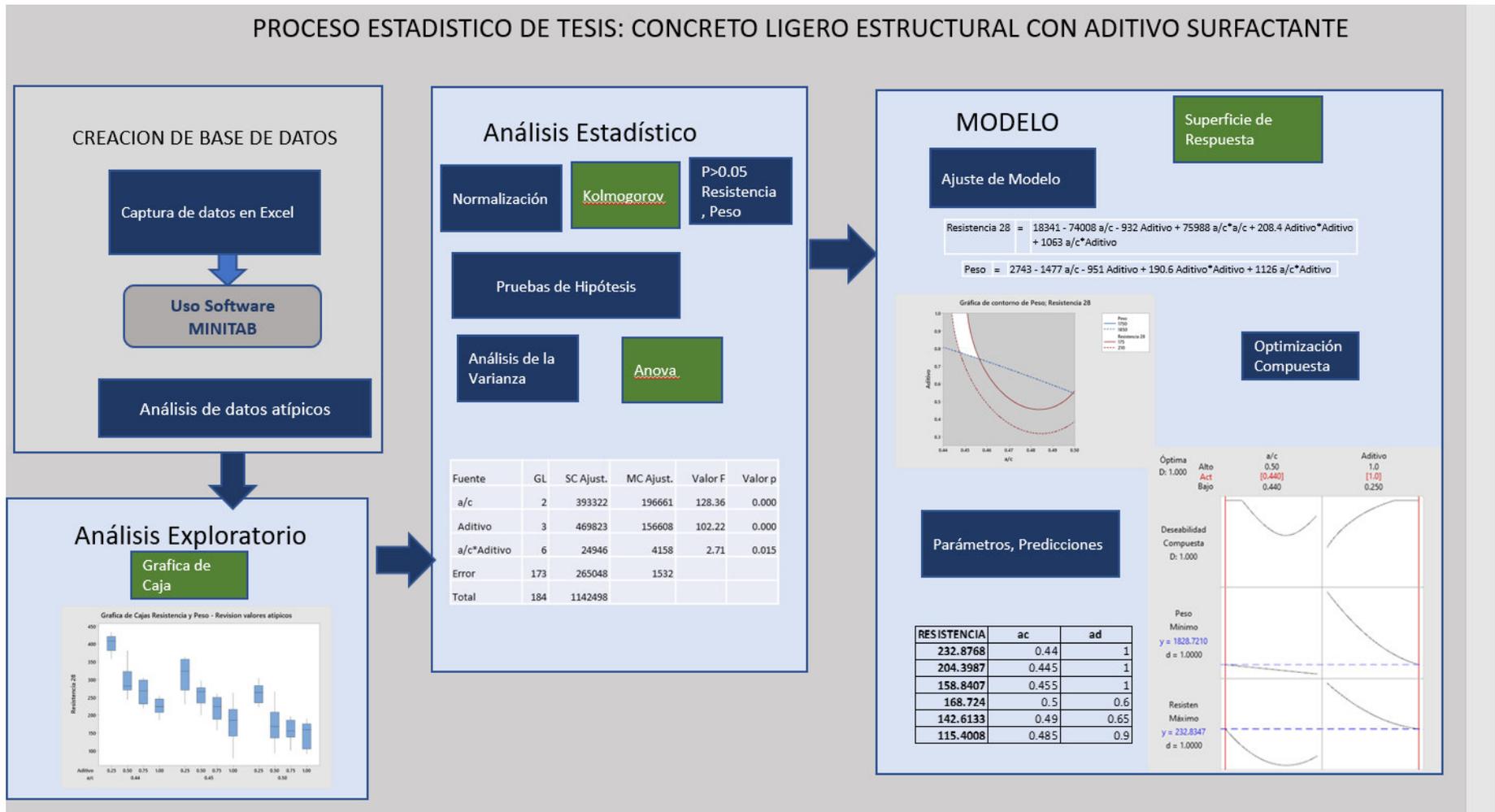
Fuente: Propia

4.4 Análisis Estadístico e interpretación de Resultados

En la figura 12 mostramos el proceso Estadístico que se ha desarrollado en la investigación

Figura 12

Proceso Estadístico



Fuente: Propia

4.4.1 Análisis Exploratorio

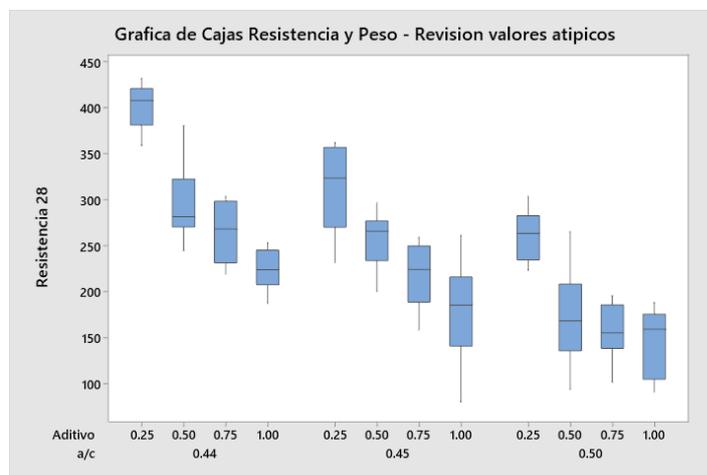
4.4.1.1 Análisis de Datos Atípicos

A. Gráfica de Caja. Con el objeto de detectar los valores atípicos se realiza un primer análisis utilizando la gráfica de caja para las Variables Resistencia a la compresión y Peso.

El resultado luego de eliminar los valores atípicos se muestra en las gráficas para resistencia y peso figuras 13 y 14 respectivamente.

Figura 13

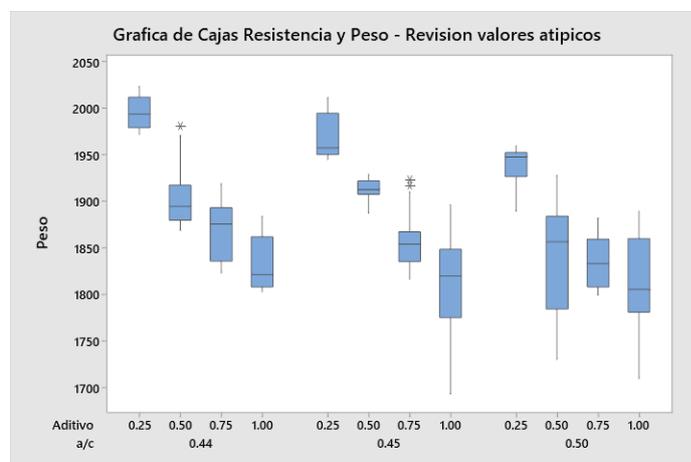
Gráfica de Cajas - Resistencia a la Compresión



Fuente propia

Figura 14

Gráfica de Cajas – Peso



Fuente propia

B. Prueba de Grubbs. Una prueba adicional para la determinación de valores atípicos es la prueba de Grubbs, con la que se corrobora la inexistencia de valores atípicos para poder continuar con el procedimiento estadístico. Figuras 15 y 16 para la resistencia y peso respectivamente

Prueba de valores atípicos: Resistencia

Hipótesis nula: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal

Hipótesis alterna: El valor más pequeño o grande de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 12 Prueba de Grubbs – Resistencia

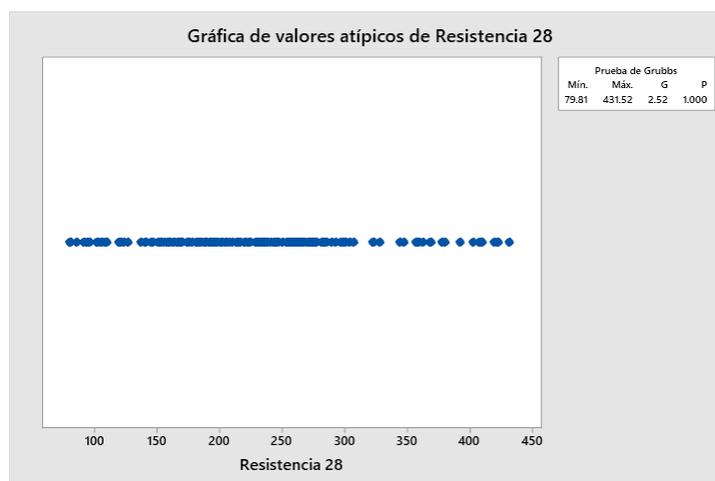
Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Resistencia	185	232.64	78.80	79.81	431.52	2.52	1.000

Fuente propia

No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%

Figura 15

Prueba de Grubbs – Resistencia



Fuente: propia

Prueba de valores atípicos: Peso

Hipótesis nula: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal

Hipótesis alterna: El valor más pequeño o grande de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 13

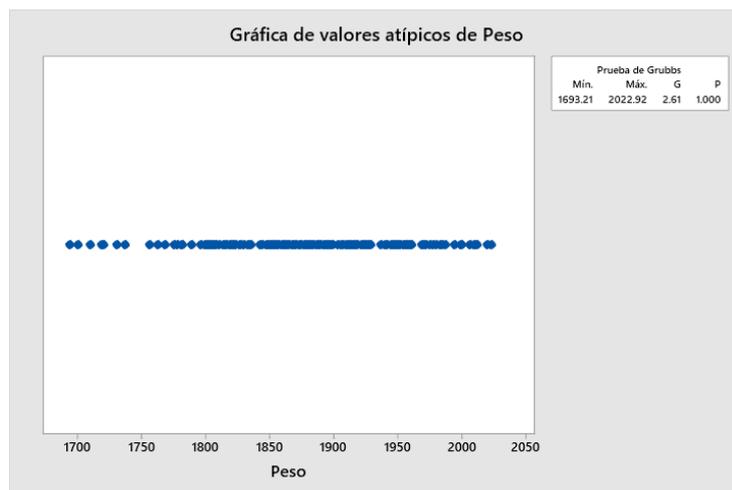
Prueba de Grubbs Peso

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Peso	185	1877.0	70.4	1693.2	2022.9	2.61	1.000

Fuente Propia

No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%

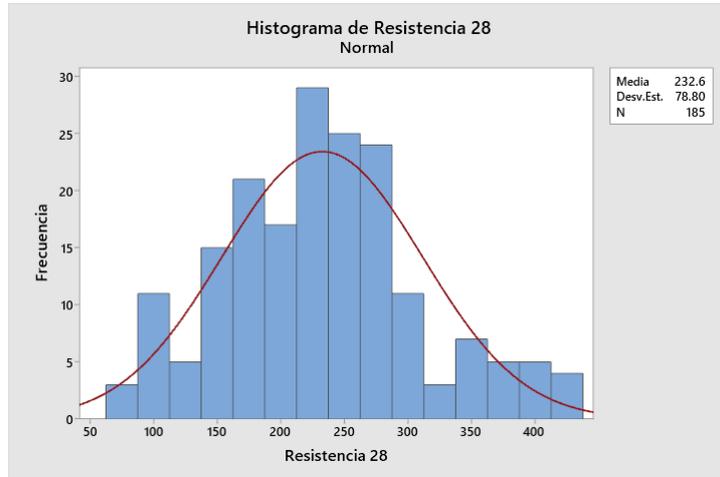
Figura 16 *Prueba de Grubbs – Peso*



Fuente Propia

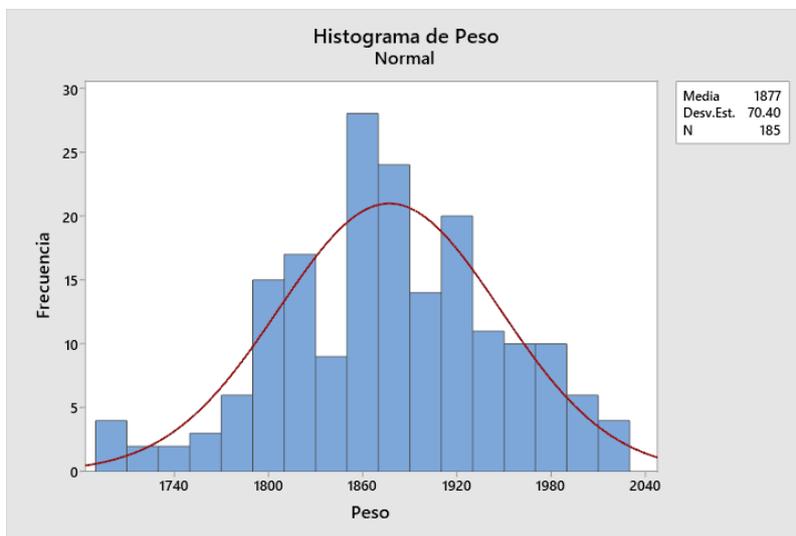
4.4.1.2. Estadística descriptiva. Implica describir las características estadísticas de las variables respuesta como son la Resistencia a la compresión y el Peso del Concreto.

A. Análisis de la Variable Resistencia. En la figura 17 se muestra la media 232.6 y la desviación estándar de 78.8, para 185 datos.

Figura 17*Histograma - Media - Desviación estándar – Resistencia*

Fuente: Propia

B. Análisis de la Variable Peso. En la figura 18 se muestra la media 1877 y desviación estándar de 70.4 para 185 datos.

Figura 18*Histograma - Media - desviación estándar – Peso*

Fuente: Propia

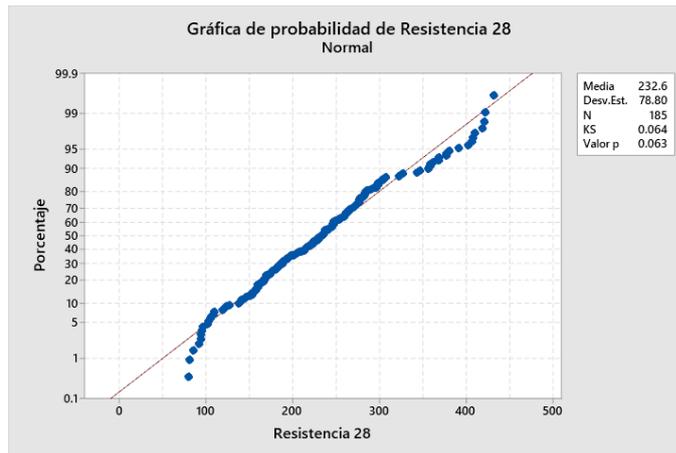
4.4.2 Pruebas de Normalidad

Aplicamos la prueba de Normalidad de Kolmogorov por contar con más de 50 datos

4.4.2.1. Análisis de la Variable Resistencia. La prueba de normalidad dio como resultado un valor de $p= 0.063$ siendo superior al nivel de significancia 0.05, lo que nos indica una distribución Normal de la variable Resistencia. Figura 19

Figura 19

Prueba de Normalidad para la Resistencia

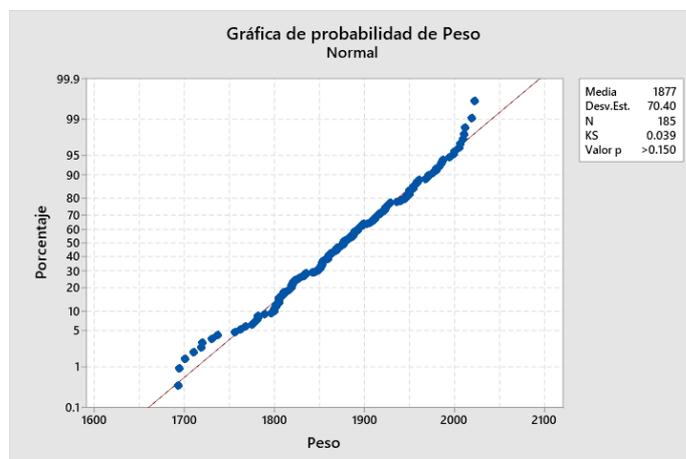


Fuente Propia

4.4.2.2. Análisis de la Variable Peso. La prueba de normalidad dio como resultado un valor de $p= 0.150$ siendo superior al nivel de significancia de 0.05, lo que nos indica una distribución Normal de la variable Peso. Figura 20.

Figura 20

Prueba de Normalidad para el Peso



Fuente Propia

4.4.3 Análisis de Varianza

Como resultado del paso anterior se cumple que las variables respuesta Resistencia a la compresión y Peso, son cuantitativas y tienen una distribución Normal por lo tanto le corresponde estadísticos paramétricos. Así mismo teniendo dos variables independientes Agua/cemento y Aditivo corresponde encontrar la significancia de los efectos sobre las variables respuesta Resistencia y Peso, utilizando el estadístico Anova de dos factores planteando las hipótesis en el análisis de Varianza.

4.4.3.1 Análisis de Varianza de la Resistencia a la compresión

A. Combinación de los niveles de agua/cemento y aditivo para la resistencia En la tabla 14 se muestra los valores del valor p para demostrar la validez de la hipótesis

Hipótesis

HO: No hay interacción entre los niveles de agua cemento y el aditivo que influya en la resistencia

H1: Existe interacción entre los niveles de agua cemento y el aditivo que influya en la resistencia

Nivel de significación: $\alpha=0.05$

Tabla 14

*Análisis de Varianza – Resistencia – Influencia a/c * Aditivo*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
a/c	2	393322	196661	128.36	0
Aditivo	3	469823	156608	102.22	0
a/c*Aditivo	6	24946	4158	2.71	0.015
Error	173	265048	1532		
Total	184	1142498			

Fuente Propia

P Valor < 0.05

P = 0.015

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: Se concluye que con una significancia de 5% hay influencia de los niveles agua/cemento * Aditivo sobre la Resistencia

B. Los niveles de agua/cemento para la resistencia. En la tabla 15 se muestra los valores del valor p para demostrar la validez de la hipótesis

Hipótesis

HO: No hay efecto de agua/cemento que influya en el promedio de la Resistencia

H1: Existe efecto de agua/cemento que influya en la Resistencia

Nivel de significación: $\alpha=0.05$

Tabla 15

Análisis de Varianza – Resistencia – Influencia a/c

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
a/c	2	393322	196661	128.36	0
Aditivo	3	469823	156608	102.22	0
a/c*Aditivo	6	24946	4158	2.71	0.015
Error	173	265048	1532		
Total	184	1142498			

Fuente Propia

P < 0.05

p Valor = 0.000

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: Con una significancia de 5% se concluye que hay influencia de los niveles agua/cemento sobre la Resistencia.

C. Los niveles de aditivo para la resistencia. En la tabla 16 se muestra los valores del valor p para demostrar la validez de la hipótesis

Hipótesis

HO: No hay efecto del aditivo que influya en el promedio de la Resistencia

H1: Existe efecto del aditivo que influya en la Resistencia

Nivel de significación: $\alpha=0.05$

Tabla 16

Análisis de Varianza – Resistencia – Influencia del Aditivo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
a/c	2	393322	196661	128.36	0
Aditivo	3	469823	156608	102.22	0
a/c*Aditivo	6	24946	4158	2.71	0.015
Error	173	265048	1532		
Total	184	1142498			

Fuente: Propia

P valor: 0.000

$P < 0.05$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: Con una significancia de 5% se concluye que hay influencia de los niveles del aditivo sobre la Resistencia

4.4.3.2 Análisis de Varianza del Peso

A. Combinación de los niveles de agua/cemento y aditivo para el Peso. En la tabla 17 se muestra los valores del valor p para demostrar la validez de la hipótesis

Hipótesis

HO: No hay interacción entre los niveles de agua/cemento y el aditivo que influya en el Peso

H1: Existe interacción entre los niveles de agua/cemento y el aditivo que influya en el peso

Nivel de significación: $\alpha=0.05$

Tabla 17

*Análisis de Varianza - Peso – Influencia de a/c * Aditivo*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
a/c	2	71239	35619	21.26	0
Aditivo	3	523205	174402	104.09	0
a/c*Aditivo	6	27974	4662	2.78	0.013
Error	173	289851	1675		
Total	184	911872			

Fuente propia

P Valor = 0.013

$p < 0.05$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: Con una significancia de 5% se concluye que hay interacción entre los niveles agua/cemento y aditivo, que influya en Peso

B. Los niveles de agua/cemento para el Peso. En la tabla 18 se muestra los valores del valor p para demostrar la validez de la hipótesis

Hipótesis

HO: No hay efecto del factor agua/cemento que influya en el promedio de la resistencia

H1: Existe efecto del factor agua/cemento que influya en la resistencia

Nivel de significación: $\alpha=0.05$

Tabla 18*Análisis de Varianza - Peso – Influencia de a/c*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
a/c	2	71239	35619	21.26	0
Aditivo	3	523205	174402	104.09	0
a/c*Aditivo	6	27974	4662	2.78	0.013
Error	173	289851	1675		
Total	184	911872			

Fuente propia

p Valor: 0.000

p < 0.05

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: Para una significancia de 5% se concluye que hay influencia de los niveles agua/cemento sobre el Peso.

C. Los niveles del Aditivo para el Peso En la tabla 19 se muestra los valores del valor p para demostrar la validez de la hipótesis

Hipótesis

HO: No hay efecto del Aditivo que influya en el promedio del Peso

H1: Existe efecto del aditivo que influya en Peso

Nivel de significación: $\alpha=0.05$ **Tabla 19***Análisis de Varianza - Peso – Influencia del Aditivo*

Fuente	GL	SC Ajustados.	MC Ajustados.	Valor F	Valor p
a/c	2	71239	35619	21.26	0
Aditivo	3	523205	174402	104.09	0
a/c*Aditivo	6	27974	4662	2.78	0.013
Error	173	289851	1675		
Total	184	911872			

Fuente propia

P Valor: 0.000

$p < 0.05$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión: Con una significancia de 5% se concluye que hay influencia de los niveles del aditivo sobre el Peso. Con todo lo desarrollado en el Análisis de Varianza se concluye que las Hipótesis específicas de la presente investigación se aceptan.

4.4.4 Análisis de la superficie de Respuesta

La superficie de Respuesta es una técnica matemática estadística, que utilizaremos para ajustar el modelo, optimizar los resultados buscados y obtener la ecuación que permita la predicción de factores y variables respuesta.

4.4.4.1 Modelo – Resistencia

A. Evaluación del modelo. En la tabla 20 se detalla la constante y los coeficientes del modelo Resistencia, mostrando valores de p inferiores a 0.05 que hacen significativo la intervención de cada valor en el modelo.

Regresión de superficie de respuesta: Resistencia vs. a/c; Aditivo

Tabla 20

Coefficientes

Término	Coefficiente	EE del coeficiente	Valor T	Valor p	FIV
Constante	154.1	11.4	13.51	0	
a/c	-57.45	3.62	-15.86	0	1.22
Aditivo	-64.44	4.14	-15.58	0	1.05
a/c*a/c	68.4	12.5	5.49	0	1.21
Aditivo*Aditivo	29.31	6.66	4.4	0	1.01
a/c*Aditivo	11.96	4.59	2.61	0.01	1.04

Fuente propia

En la tabla 21 se muestra el ajuste del modelo al tener un R^2 de 74.21% y R^2 de predicción de 73.27%, indicando que el modelo sirve para predecir.

Tabla 21*Resumen del Modelo*

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado de (predicción)
40.0205	74.91%	74.21%	73.27%

Fuente propia

Tabla 22*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	855804	171161	106.87	0
Lineal	2	763550	381775	238.36	0
a/c	1	402778	402778	251.48	0
Aditivo	1	388795	388795	242.75	0
Cuadrado	2	78341	39171	24.46	0
a/c*a/c	1	48211	48211	30.1	0
Aditivo*Aditivo	1	31037	31037	19.38	0
Interacción de 2 factores	1	10881	10881	6.79	0.01
a/c*Aditivo	1	10881	10881	6.79	0.01
Error	179	286694	1602		
Falta de ajuste	6	21646	3608	2.35	0.033
Error puro	173	265048	1532		
Total	184	1142498			

Fuente propia

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

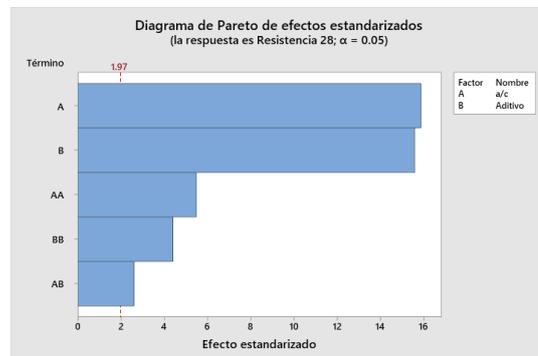
$$Resistencia = 18341 - 74008 A - 932 * B + 75988 * A^2 + 208.4 * B^2 + 1063 A * B$$

Donde

A= Relación agua/cemento

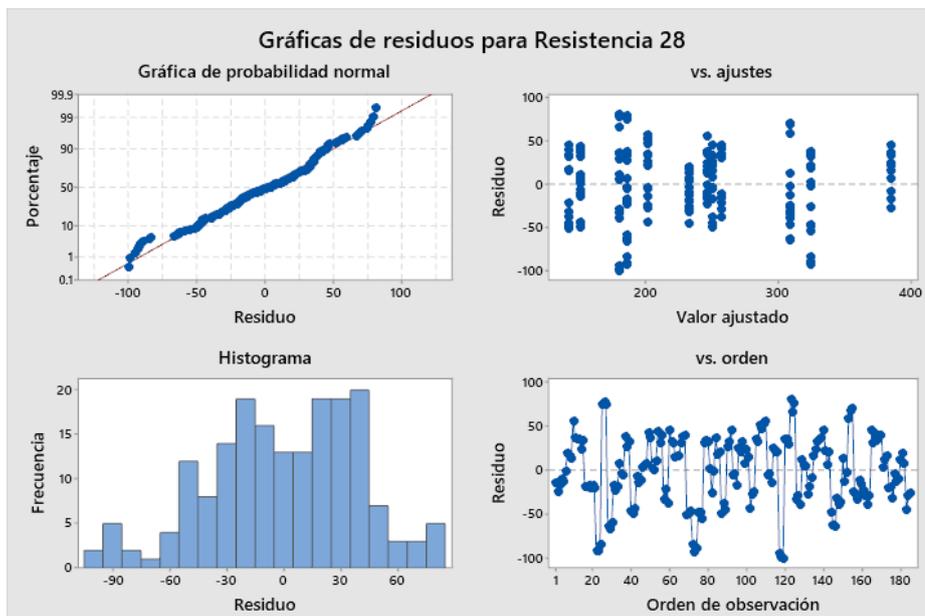
B = Aditivo

La figura 21 muestra la incidencia de los factores significativos sobre la variable dependiente

Figura 21*Diagrama de Pareto-Resistencia*

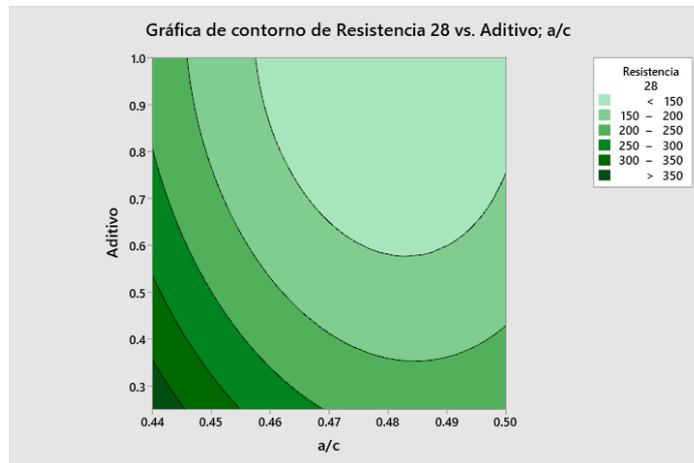
Fuente propia

En la Figura 22 de Residuos, se aprecia en las 4 graficas un buen ajuste del modelo

Figura 22*Gráfica de Residuos para Resistencia*

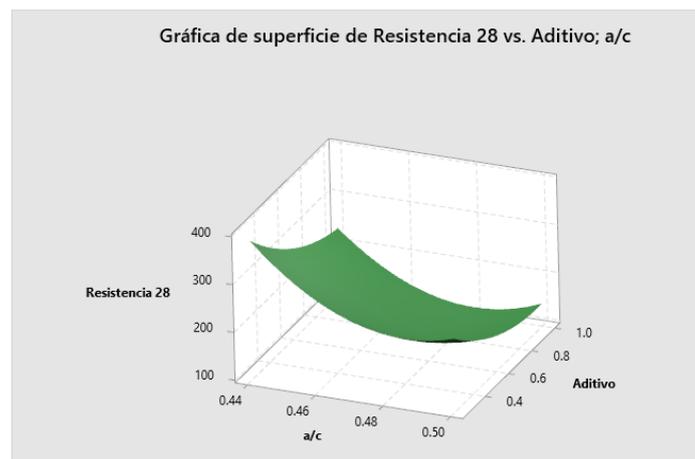
Fuente propia

En la figura 23 podemos determinar los valores deseados de la resistencia según la tonalidad de la leyenda, combinando los valores de los factores a/c y aditivo. Apreciándose que la tonalidad más oscura nos da valores de resistencias más altas

Figura 23*Grafica de Contorno Resistencia*

Fuente Propia

En la figura 24 mostramos en tres dimensiones la superficie respuesta de la resistencia y se corrobora la gráfica anterior donde las resistencias más altas se dan a valores bajos de aditivo y a/c, mostrando el espacio del concreto ligero estructural.

Figura 24*Gráfica de superficie De Resistencia vs. Aditivo, a/c*

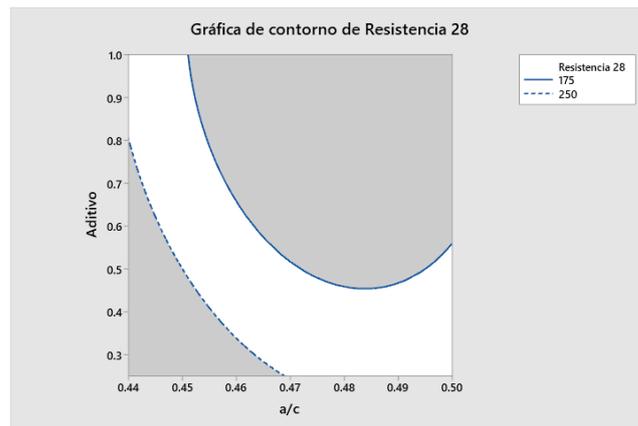
Fuente propia

B Optimización

En la figura 25 se propone un rango de resistencia entre 175 a 250, para ver comportamiento del modelo y se muestra el espacio del aditivo entre 0.8 y 1 en combinación con el a/c en rango de 0.468 y 0.5.

Figura 25

Gráfica de contorno de Resistencia



Fuente propia

Optimización de respuesta: Resistencia

En la Tabla 23 se determina los rangos para el proceso de Optimización de Resistencia

Tabla 23

Valores de Resistencia para optimización

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Resistencia a la Compresión	Máximo	175	250		1	1

Fuente propia

En la Tabla 24 podemos apreciar la solución óptima.

Tabla 24*Solución Óptima*

Solución	a/c	Aditivo	Resistencia a la Compresión Ajuste	Deseabilidad Compuesta
1	0.44	0.25	385.64	1

Fuente propia

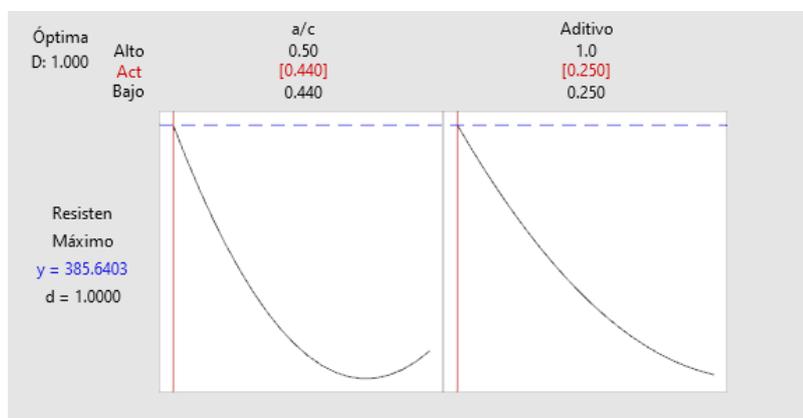
De acuerdo con el indicador de Deseabilidad Compuesta 1, se afirma que los valores de los factores $a/c = 0.44$ y $\text{aditivo} = 0.25$ corresponden a un ajuste de resistencia 385.64 kg/cm^2 , siendo este el valor más alto que se puede obtener, tabla 24 y 25

Tabla 25*Predicción de Respuesta Múltiple*

Variable	Valor de configuración	Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
a/c	0.44	Resistencia	385.64	8.52	(368.83; 402.45)	(304.90; 466.38)
Aditivo	0.25					

Fuente propia

En la figura 26 observamos los valores óptimos para la resistencia

Figura 26*Ajuste de Resistencia*

Fuente propia

4.4.4.2 Modelo Peso

A. Evaluación del modelo

Regresión de superficie de respuesta: Peso vs. a/c; Aditivo

En la Tabla 26 identificamos a/c*a/c con p valor 0.384 no significativo

Tabla 26

Coefficientes Codificados

Término	Coef	EE del coeficiente	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1850.5	12	154.45	0	
a/c	-24.57	3.8	-6.46	0	1.22
Aditivo	-68.76	4.34	-15.83	0	1.05
a/c*a/c	11.4	13.1	0.87	0.384	1.21
Aditivo*Aditivo	26.87	6.99	3.84	0	1.01
a/c*Aditivo	12.76	4.82	2.65	0.009	1.04

Fuente propia

En la Tabla 27 apreciamos r cuadrado con un ajuste considerable

Tabla 27

Resumen del Modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado. Ajustado	R-cuadrado (predictivo)
42.0294	65.32%	64.36%	62.99%

Fuente propia

En la Tabla 28 del Análisis de la Varianza vemos que a/c*a/c cuyo p valor 0.384 no es significativo

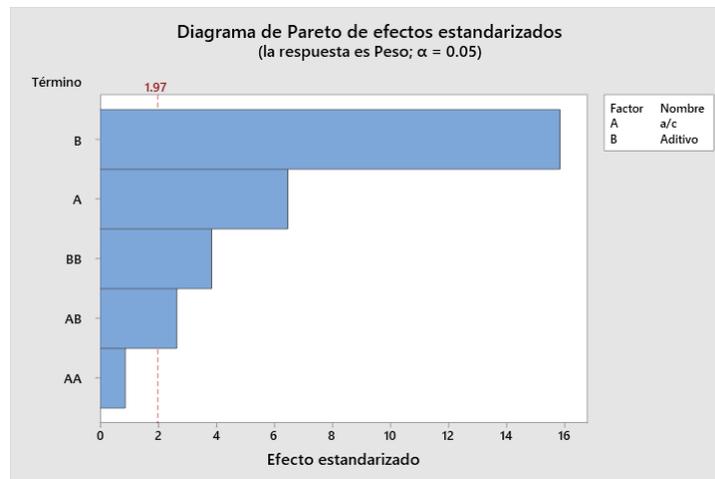
Tabla 28*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	595673	119135	67.44	0
Lineal	2	503722	251861	142.58	0
a/c	1	73669	73669	41.7	0
Aditivo	1	442632	442632	250.57	0
Cuadrado	2	27297	13648	7.73	0.001
a/c*a/c	1	1347	1347	0.76	0.384
Aditivo*Aditivo	1	26086	26086	14.77	0
Interacción de 2 factores	1	12377	12377	7.01	0.009
a/c*Aditivo	1	12377	12377	7.01	0.009
Error	179	316199	1766		
Falta de ajuste	6	26348	4391	2.62	0.019
Error puro	173	289851	1675		
Total	184	911872			

Fuente propia

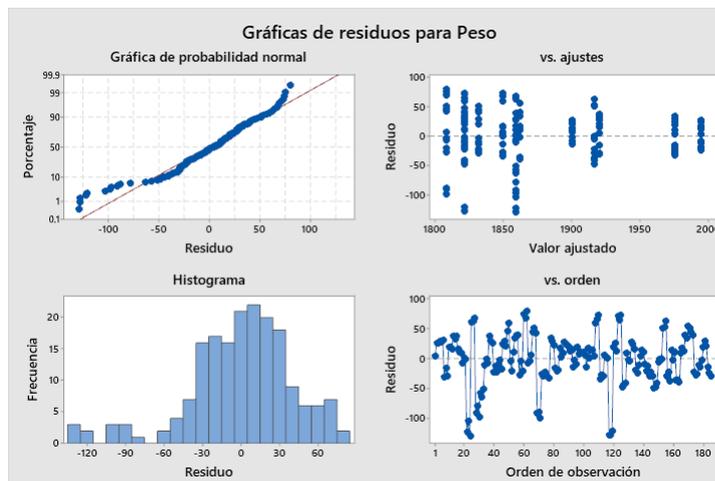
Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Peso = 5564 - 13469A - 955 B + 12703 A^2 + 191.1B^2 + 1134 A * B$$

Figura 27*Diagrama de Pareto- Peso*

Fuente propia

En la Figura 27 del Diagrama de Pareto a/c*a/c aparece como no significativo

Figura 28*Gráfica de Residuos- Peso*

Fuente propia

Se Concluye que se **retira** a/c*a/c por tener un p-valor=0.384 no significativo, para obtener un mejor ajuste al modelo.

Ajuste al modelo

Regresión de superficie de respuesta: Peso vs. a/c; Aditivo

Tabla 29

Coefficientes Codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1860.13	4.81	386.47	0	
a/c	-23.18	3.46	-6.71	0	1.01
Aditivo	-68.72	4.34	-15.83	0	1.05
Aditivo*Aditivo	26.8	6.99	3.84	0	1.01
a/c*Aditivo	12.67	4.82	2.63	0.009	1.04

Fuente propia

En la tabla 29 observamos un mejor ajuste a modelo por los coeficientes con p valor significativos menores a 0.05.

Resumen del modelo

En la Tabla 30 se puede ver un mejor ajuste del modelo con el incremento del R cuadrado

Tabla 30

Resumen del Modelo

S	R²	R² (ajustado)	R² (predictivo)
42.0017	65.18%	64.40%	63.14%

Fuente propia

En la Tabla 31 del Análisis de Varianza se advierte los p valor que indican un buen ajuste

Tabla 31*Análisis de Varianza*

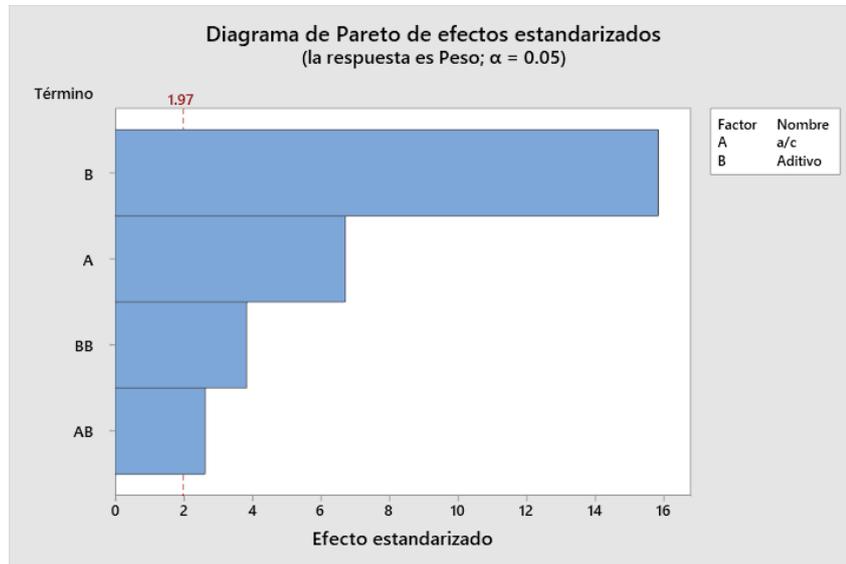
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	594326	148581	84.22	0
Lineal	2	508938	254469	144.25	0
a/c	1	79424	79424	45.02	0
Aditivo	1	442156	442156	250.64	0
Cuadrado	1	25949	25949	14.71	0
Aditivo*Aditivo	1	25949	25949	14.71	0
Interacción de 2 factores	1	12211	12211	6.92	0.009
a/c*Aditivo	1	12211	12211	6.92	0.009
Error	180	317546	1764		
Falta de ajuste	7	27695	3956	2.36	0.025
Error puro	173	289851	1675		
Total	184	911872			

Fuente propia

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

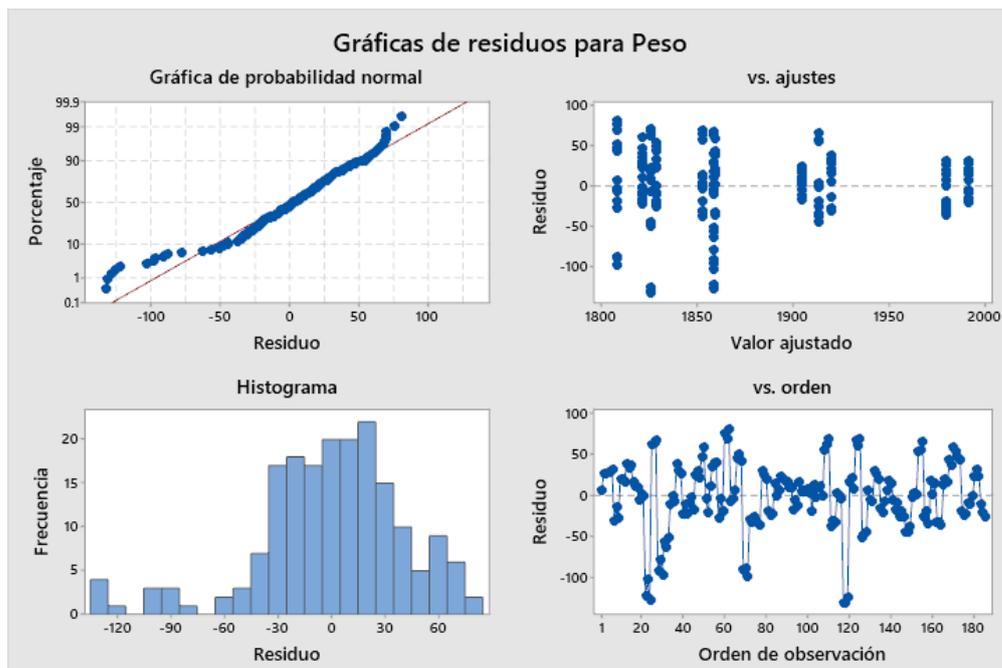
$$Peso = 2743 - 1477A - 951 B + 190.6 B^2 + 1126 A * B$$

En la figura 29 del diagrama de Pareto observamos que el modelo esta con los términos significativos.

Figura 29*Diagrama de Pareto - Efectos estandarizados – Peso*

Fuente propia

En la Figura 30 de Residuos, se aprecia en las 4 graficas un buen ajuste del modelo

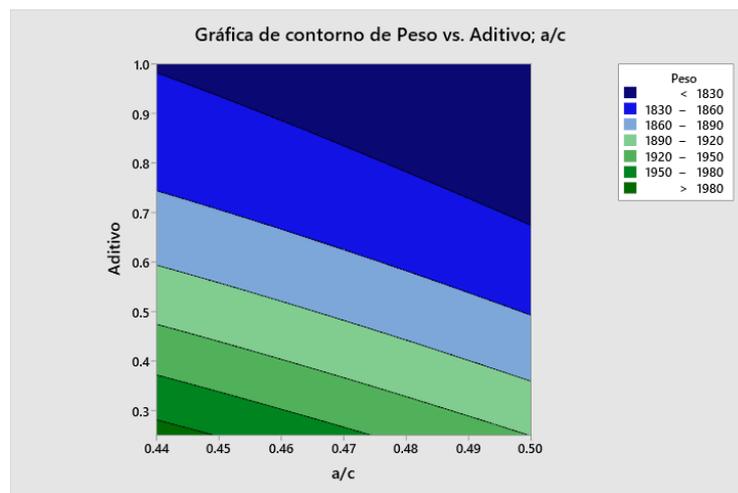
Figura 30*Gráfica de Residuos – Peso*

Fuente propia

En la Grafica 31 Se puede observar que para obtener un concreto ligero estructural se tiene como peso máximo 1850 según el modelo se obtiene de 0.75 a 1 de aditivo y 0.44 a 0.5 de a/c

Figura 31

Gráfica de Contorno Peso vs. Aditivo, a/c

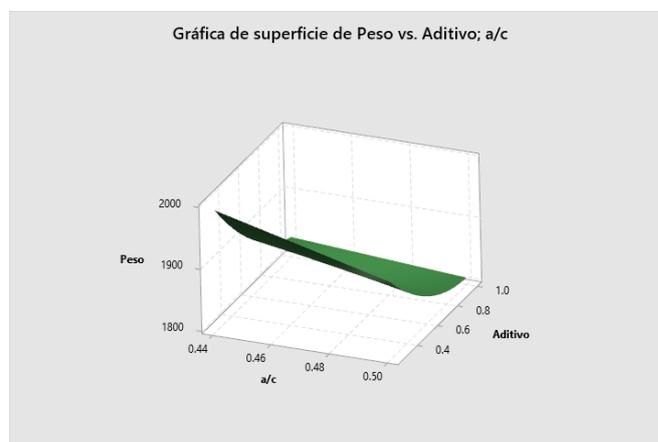


Fuente propia

En la Figura 32 tridimensional situamos el punto límite del peso y verificamos lo anterior.

Figura 32

Gráfica de Superficie Peso vs. Aditivo, a/c



Fuente propia

B Optimización

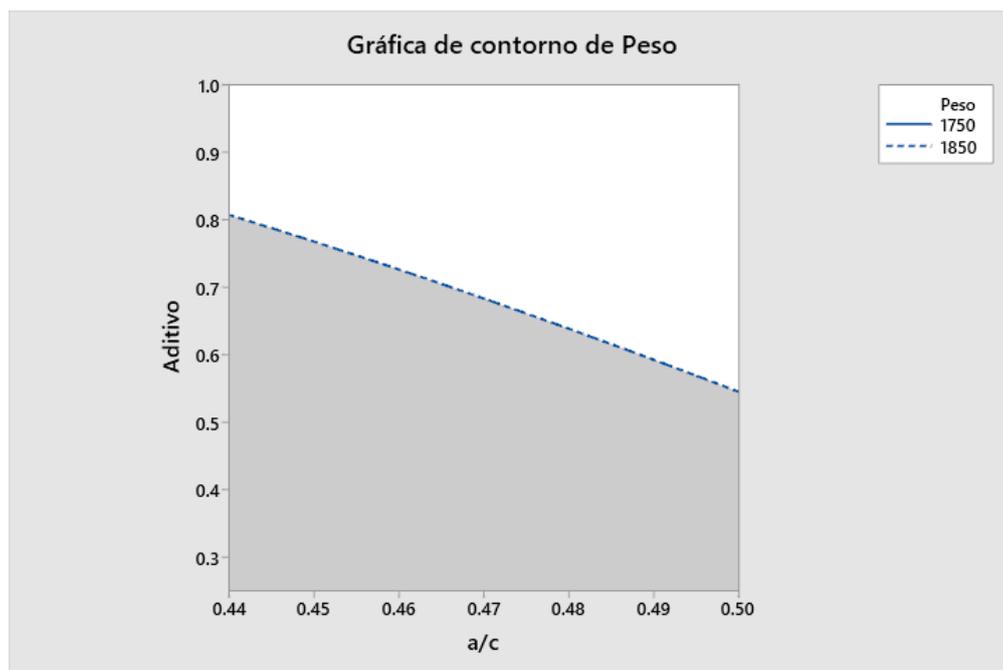
Para encontrar el peso óptimo utilizaremos diversas gráficas y el indicador de optimización.

Para procesar la gráfica de entorno es necesario precisar un rango entre 1750 y máximo 1850.

En la Figura 33 obtenemos una sección en blanco donde encontramos el peso para el concreto ligero estructural.

Figura 33

Gráfica de contorno de Peso



Fuente propia

Optimización de respuesta: Peso**Tabla 32***Parámetros – Peso*

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Peso	Objetivo	1693.21	1850	2022.92	1	1

Fuente propia

La tabla 32 visibiliza el rango del punto óptimo de peso

La Tabla 33 presenta una solución a un peso de 1850 con un indicador de deseabilidad compuesta aceptable de 1, con factores de 0.47 a/c y 0.683871 de aditivo.

Tabla 33*Solución – Peso*

Solución	a/c	Aditivo	Peso Ajuste	Deseabilidad Compuesta
1	0.47	0.683871	1850	1

Fuente propia

En la Tabla 34 el modelo se ajusta e indica que se puede predecir según el índice de predicción al 95% dentro de un rango de 1766.59 a 1933.41

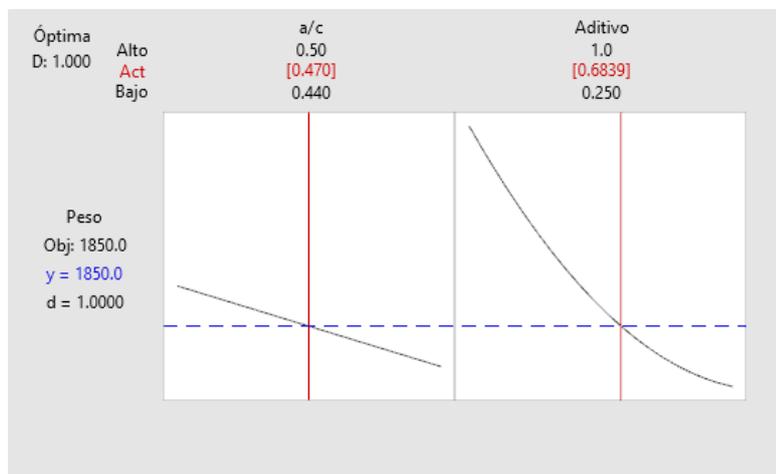
Tabla 34*Predicción de Respuesta múltiple*

Variable	Valor de configuración
a/c	0.47
Aditivo	0.68387

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Peso	1850	4.76	(1840.61; 1859.39)	(1766.59; 1933.41)

La figura 34 nos muestra los rangos de a/c y aditivo en que se puede mover

Figura 34
Optimización de Respuesta – Peso



Fuente propia

4.4.5 Optimización Compuesta Resistencia y Peso

En esta etapa debemos encontrar la optimización compuesta de las variables respuesta Resistencia y Peso, con valores de a/c y aditivo dentro de los límites del modelo.

En la Tabla 35 se muestra los valores con los cuales ponemos los límites al modelo.

Tabla 35

Parámetros Peso – Resistencia

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Peso	Mínimo		1850	2022.92	1	1
Resistencia 28	Máximo	79.81	175		1	1

Fuente propia

La Tabla 36 nos muestra los valores de la solución buscada como optimización compuesta, en sus factores y variables respuesta en conjunto.

Tabla 36

Solución

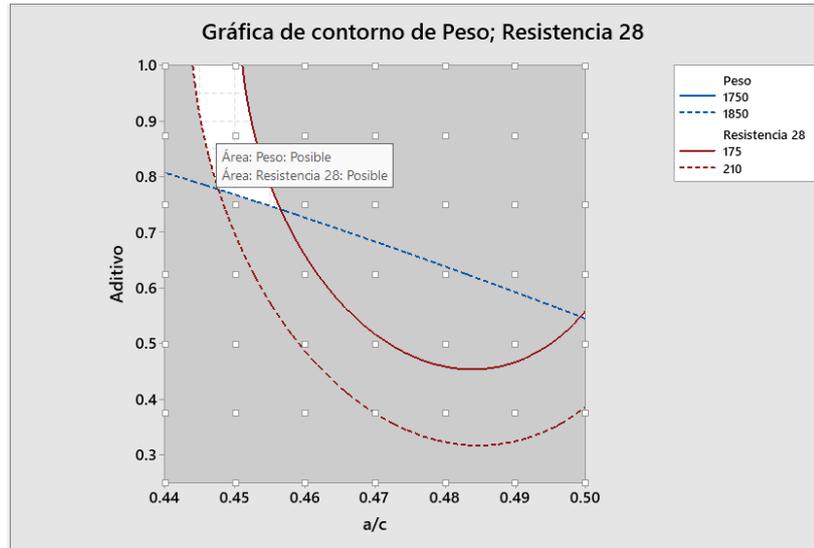
Solución	a/c	Aditivo	Peso ajuste	Resistencia ajuste	Deseabilidad compuesta
1	0.44	1	1828.72	232.835	1

Fuente propia

La figura 35 de la Grafica de Contorno Peso – Resistencia, nos muestra la sección en blanco que es el área Posible para obtener el Concreto Ligero Estructural.

Figura 35

Gráfica de Contorno Peso - Resistencia



Fuente propia

En la Tabla 37 encontramos las medias del peso y la resistencia con la influencia de a/c y aditivo que nos permiten predecir en el rango del IP de 95%

Tabla 37

Predicción de Respuesta Múltiple

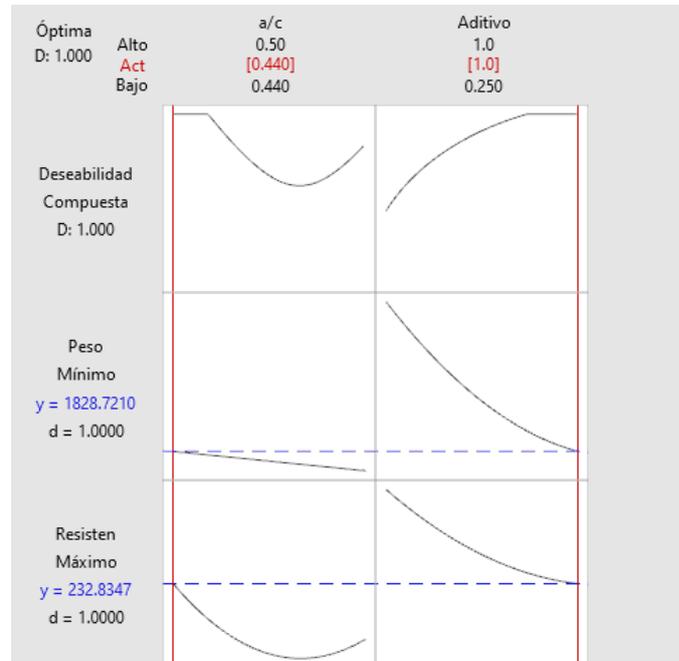
Variable	Valor de Configuración			
a/c	0.44			
Aditivo	1			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Peso	1828.72	7.68	(1813.57; 1843.87)	(1744.47; 1912.97)
Resistencia	232.83	8.1	(216.86; 248.81)	(152.26; 313.41)

Fuente propia

En la figura 36 se muestra gráficamente los valores de la optimización compuesta de las variables respuesta Resistencia y Peso

Figura 36

Optimización de Respuesta



Fuente propia

4.5. Ecuación de Predicción

4.5.1 Ecuación de regresión en unidades no codificadas para la Resistencia

$$\text{Resistencia} = 18341 - 74008 A - 932 B + 75988 A^2 + 208.4 B^2 + 1063 A * B$$

Donde

A = Relación agua/cemento

B = Aditivo

Esta ecuación podría estar modelando cómo la resistencia depende de dos factores, A (agua/cemento) y B (aditivo). Los términos cuadráticos y de interacción sugieren que la

relación entre la resistencia y estos factores no es simplemente lineal, sino que puede cambiar dependiendo de los valores de A y B.

El término $-74008A$ sugiere que a medida que aumenta la proporción de agua/cemento (A), la resistencia disminuye, mientras que el término $75988A^2$ sugiere que el efecto de la proporción de agua a cemento en la resistencia no es constante, sino que depende del cuadrado de esta proporción. El término de interacción $1063 A*B$ sugiere que el efecto combinado de A y B en la resistencia es mayor que la suma de sus efectos individuales.

4.5.2 Ecuación de regresión en unidades no codificadas para el peso

$$Peso = 2743 - 1477 A - 951 B + 190.6 B^2 + 1126 A * B$$

Donde

A = Relación agua/cemento

B = Aditivo

Esta ecuación podría estar modelando cómo el peso depende de dos factores, A (agua/cemento) y B (aditivo). El término cuadrático y de interacción sugieren que la relación entre el peso y estos factores no es simplemente lineal, sino que puede cambiar dependiendo de los valores de A y B.

El término $-1477A$ sugiere que a medida que aumenta la proporción de agua/cemento (A), el peso disminuye, mientras que el término $190.6B^2$ sugiere que el efecto del aditivo (B) en el peso no es constante, sino que depende del cuadrado de la cantidad de aditivo. El término de interacción $1126A*B$ sugiere que el efecto combinado de A y B en el peso es mayor que la suma de sus efectos individuales.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tecnología del Concreto, está muy desarrollado el hecho que a menor relación agua/cemento la resistencia a la compresión aumenta (Diyora et al., 2014), por otro lado investigadores en su afán de disminuir el peso del cemento con diferentes propósitos y diferentes metodologías, consiguieron concretos livianos. Alfuady y Idris, (2019) en su investigación Characteristics Foam Concrete with Polypropylene Fiber and Styrofoam concluyeron que utilizando espuma de poliestireno de 3 - 4 mm de diámetro se obtiene una densidad de 1099 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 11.34 MPa. Rommel et al. (2020) utilizan 20% de cenizas volantes como material cementoso y un 2% de agente espumante, dando como resultados concretos con densidades inferiores a 2000 kg / m³ y resistencia óptima a la compresión de 13 a 24 MPa, estas resistencias similares a las obtenidas en nuestra investigación, siendo la diferencia que no utilizamos ceniza volante.

Vijayalakshmi y Ramanagopal (2020) desarrollaron un hormigón celular reforzado con fibras de alto rendimiento para mejorar la calidad de bloques de concreto celular, se aprecia que en esta investigación se adiciona un material que mejora la resistencia del concreto celular.

Sumiati et al. (2020) han conseguido bajar el peso del concreto, reemplazando parte del agregado grueso por ladrillo triturado, utilizando adicionalmente un agente espumante, consiguiendo concretos de peso liviano y estructurales llegando a una resistencia de 19.2 MPa a los 28 días.

Todos los autores concluyen con los beneficios que conlleva la utilización del concreto liviano, que es compartida en esta investigación. Beneficios como, reducir la conductividad térmica al reducir la densidad del concreto. El peso bajo contribuye a reducir la carga de las edificaciones que a su vez conllevan disminuir el uso de cemento y todos ellos lo consiguieron de diferentes formas adicionando algún tipo de aditivo para disminuir el peso, utilizando agregados más livianos o aumentando fibras.

En este trabajo de investigación, se ha buscado agregado de peso liviano y se ha adicionado un aditivo surfactante que ayuda a crear vacíos en el concreto disminuyendo su peso consiguiendo un concreto con peso inferior a 1850 kgm^3 , pero con una resistencia que supera los 175 kg/cm^2 , así mismo se ha obtenido parámetros que nos permiten predecir diferentes alternativas de diseño, de este modo se ha logrado ecuaciones tanto para la resistencia como para el peso, por lo que se puede afirmar que a diferencia de otros autores en la investigación no se ha adicionado otros materiales diferentes al aditivo surfactante, los que mejoran su resistencia tales como fibras, plastificante, ceniza volante etc. En la presente investigación para llegar a resistencias estructurales y pesos bajos se ha controlado la dosificación del aditivo y la relación agua/cemento a nivel experimental y comprobado estadísticamente.

Así mismo se manifiesta que la investigación demuestra haber alcanzado desde un enfoque sistémico donde se interrelaciona los resultados de resistencia y peso al mismo tiempo, que cumplen las exigencias que nos hemos puesto sobre un concreto estructural de peso liviano característica deseable en muchas aplicaciones como es los prefabricados que se busca el bajo peso para su transporte con resistencias adecuadas.

VI. CONCLUSIONES

A. Como resultado de la experimentación realizada se obtuvo un máximo valor para el peso del concreto, 1850.18 kg/m^3 con 0.45 de a/c y 0.75 de aditivo, lo que se ha demostrado estadísticamente en la optimización de respuesta del peso, evidenciando la influencia del aditivo surfactante para la obtención de un concreto ligero con lo que se comprueba la primera hipótesis específica consiguiendo el primer objetivo específico.

B. De igual manera para la Resistencia se obtuvo un mínimo de 184.64 kg/cm^2 con 0.45 de a/c y 1% de aditivo, con pesos inferiores a 1850 kg/m^3 resultado que se demostró estadísticamente en la optimización de respuesta de la resistencia, evidenciando la influencia del aditivo surfactante para la obtención de un concreto ligero comprobando la segunda hipótesis, consiguiendo el segundo objetivo específico.

C. Luego de haber realizado independientemente el análisis de la variable Peso y la variable Resistencia, se procedió a encontrar valores óptimos compuestos para ambas variables respuesta. Al buscar dentro de un límite superior del peso en 1850 kg/m^3 y la resistencia con un límite mínimo de 175 kg/cm^2 tenemos una solución de un punto óptimo con relación a/c de 0.44 y aditivo 1%, con un peso ajustado de 1828.72 y una resistencia ajustada en 232.835, con una deseabilidad compuesta de 1, el cual se encuentra en el espacio generado por la influencia de los factores a/c 0.44 - 0.455, y aditivo entre 0.75 y 1%, espacio que cumplirá las características de un concreto ligero estructural. Donde a partir de las ecuaciones de resistencia, peso; encontradas con la metodología de superficie de respuesta y las gráficas de deseabilidad compuesta para ambas variables de respuesta se realizan las predicciones y de esta manera se consiguen los Parámetros para un Concreto Ligero Estructural, incorporando aditivo Surfactante.

VII. RECOMENDACIONES

A. Se recomienda continuar la investigación creando algoritmos que aprendan de la información que se le alimente, para que estos puedan resolver los problemas de diseños de mezclas, es decir se podrá conseguir parámetros dependiendo de la diversidad de variables que tiene el concreto.

B. De todas los componentes del concreto, uno muy importante es el agregado, se recomienda hacer el estudio teniendo como variable a este material, de tal modo que controlando este recurso se podría obtener mejores resultados en el peso del concreto ligero.

VIII. REFERENCIAS

- Alfuady, F., y Idris, Y. (2019). Characteristics Foam Concrete with Polypropylene Fiber and Styrofoam C haracteristics Foam Concrete with Polypropylene Fiber and Styrofoam. *Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/8/082020>
- Álvarez Risco, A. (2020). Clasificación de las Investigaciones. *Univesidad de Lima*, 1–5.
- Amran, Y. H. M., Farzadnia, N., y Ali, A. A. A. (2015). Properties and applications of foamed concrete; A review. *Construction and Building Materials*, 101, 990–1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- Azzahran, S., Yun-Ming, L., Al Bakri, M., Cheng-Yong, H., y Zulkifly, K. (2019). Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Lightweight Foamed Geopolymer Concretes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 551(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/551/1/012089>
- Bunge, M. (2004). *La Investigación Científica su Estrategia y su Filosofía* (3ª ed.), s. a. de c. v. Siglo xxi editores.
- Bunge, M. (2012). *Filosofía de la Tecnología y otros Ensayos* (1ª ed.) F. E. de la U. I. G. de la Vega (ed.).
- Castaño, E., y Dominguez, J. (2010). *Diseño de Experimentos: Estrategias y Análisis en Ciencia y Tecnología* (1ª ed.) (Estadísticos e-Book & Papes (ed.).
- Diyora, S., Solanki, G., y Chandiwala, A. K. (2014). A Review On Compressive Strength Of Plain OPC Cement Concrete With Flyash Using Different Water Cement Ratio. *International Journal of Advance Engineering and Research*, 1(12), 129–134.
- Elrahman, M. A., El Madawy, M. E., Chung, S. Y., Sikora, P., y Stephan, D. (2019). Preparation and characterization of ultra-lightweight foamed concrete incorporating lightweight aggregates. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/app9071447>
- ESCSI Expanded Shale Clay y Slate Institute. (2020). *The Story Of Structural Lightweight Concrete*. <https://www.escsi.org/e-newsletter/story-structural-lightweight-concrete/>
- Falliano, D., Restuccia, L., Ferro, G. A., y Gugliandolo, E. (2020). Strategies to increase the compressive strength of ultra-lightweight foamed concrete. *Procedia Structural Integrity*, 28, 1673–1678. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.141>
- Fayomy, G. U., Mini, S. E., Fayomi, O. S., y Ayoola, A. A. (2019). Perspectives on environmental CO2 emission and energy factor in Cement Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755->

1315/331/1/012035

- Habsya, C., Diharjo, K., Setyono, P., y Satwiko, P. (2020). Thermal conductivity of lightweight foamed concrete filled fly ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012033>
- Hempel, C. (1981). *La explicación en la ciencia y en la Historia*.
- Hernandez Sampieri, R., FernándezCollado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6^a ed.) Mc Graw Hill Education
- INDECOPI Norma Técnica- Cemento NTP 334.009. (2013). *PERUANA*.
- Instituto de Ingeniería UNAM. (1994). Manual de Tecnología del Concreto *Sección 3* (1^a ed.). In L. N. Editores.
- Jiménez Lara, R. E. (2014). *Concreto aireado en autoclave*. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona [tesis de Maestría]. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.
- Kaseng, F. (2017). Guía Práctica Para Elaborar Plan de Tesis y Tesis de Post Grado (3^aed.).
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Boletín de Ingeniería EB201 (ed.); (1^a ed.). PCA Portland Cement Association. https://issuu.com/gustavochohlongalcivar/docs/dise_o_y_control_de_mezclas_de_con
- Liu, Z., Zhao, K., Hu, C., y Tang, Y. (2016). Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.
- Lucas, L. (2008). *Epistemología* (1^a ed.). Textos Uni F. E. de la UIGV.
- Mamlouk Michael S. y Zaniewski, J. (2009). *Materiales para Ingeniería Civil* (2^a ed.). Pearson. http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000193&codigo_libro=
- Metha, K., y Monteiro, P. (1985). *CONCRETO Estructura, propiedades y materiales* (2^a ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto AC
- Ministerio de Vivienda, C. y S.-M. (2020). Norma E.060 Concreto Armado. In *Reglamento Nacional de Edificación*. <https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). Norma E.060 Concreto Armado, *NORMA E.060 Concreto Armado Reglamento Nacional De Edificaciones*. SENCICO. <https://drive.google.com/file/d/1YygoHSNpu2-UfJLmSa-C1Wxr6oFAfCwA/view>
- Misri, Z., Ibrahim, M. H. W., Awal, A. S. M. A., Desa, M. S. M., y Ghadzali, N. S. (2018). Review on factors influencing thermal conductivity of concrete incorporating various type of waste materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140(1).

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012141>
- Mugahed Amran, Y. H., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Khudhair, M. H. R., Hejazi, F., Alaskar, A., Alrshoudi, F., y Siddika, A. (2020). Performance properties of structural fibred-foamed concrete. *Results in Engineering*, 5(December 2019), 100092. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100092>
- Namsone, E., Šahmenko, G., y Korjakins, A. (2017). Durability Properties of High Performance Foamed Concrete. *Procedia Engineering*, 172, 760–767. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.120>
- Narayanan, N., y Ramamurthy, K. (2000). Microstructural investigations on aerated concrete. *Cement and Concrete Research*, 30(3), 457–464. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00199-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00199-X)
- Ñaupas, H., Elías, M., Eliana, N., y Alberto, V. (2014). *Metodología de la Investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis* (4ª ed.). Ediciones de la U
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología Del Concreto* (Producción editorial: & M. en A. S. M. Venanzi (eds.); (1ª ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Ries, J., Robinson, M., Akerrs, D., Grygar, J., y Ramme, B. (2003). *Guide for Structural - Lightweight-Aggregate - Concrete*.
- Rivva Lopez, E. (1992). *Diseño de Mezclas* (1ª ed.). Editorial Hozlo S.C.R.L.
- Rivva Lopez, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* (1ª ed.). Capítulo Peruano ACI.
- Rommel, E., Prasetyo, L., Rusdianto, Y., Karimah, R., Riyanto, A. S., y N Cahyo, S. A. (2020). The insulation properties of foam concrete with the use of foam-agent and fly-ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 821(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/821/1/012013>
- SIKA. (2014). *Sika ® Lightcrete PE* (pp. 1–4). Aditivo Espumante. <https://per.sika.com/dms/getdocument.get/bbf9def4-9c02-3aec-bfc3-59b09a358beb/HT-Sika%20LightCrete%20PE.pdf>
- Sumiati, Mahmuda, Sukarman, Indra, S., y Prabudi, D. (2020). The Utilization of Crushed Clay Brick as Coarse Aggregate on Eco-Green Lightweight Foamed Concrete. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012070>
- Vijayalakshmi, R., y Ramanagopal, S. (2020). Compression Behaviour of Polypropylene Fibre Reinforced Cellular Light Weight Concrete Masonry Prism. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 30(1), 145–160. <https://doi.org/10.2478/ceer-2020-0011>

ANEXOS

ANEXO A

Título: “DISEÑO DE MEZCLAS Y PARÁMETROS PARA LA ELABORACION DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL CON ADICIÓN DE SURFACTANTE CATIONICO”

Autor: María Elena Sánchez García

Matriz de Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variabes	Indicadores	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General			
· ¿Cómo la incorporación de aditivo Surfactante al Concreto determinará los Parámetros de Diseño para el Concreto Ligero Estructural?	· Determinar los Parámetros de Diseño para el Concreto Ligero Estructural, incorporando aditivo Surfactante.	· Al incorporar un aditivo Surfactante al concreto se determinarían Parámetros de Diseño para el Concreto Ligero Estructural	VI=Aditivo Surfactante VD= Parámetros de diseño del Concreto Ligero Estructural	Peso Resistencia a la compresión Peso del concreto	Tipo de Inv. Básica, Experimental Prospectiva, Prolectiva Transversal, Comparativa
Problemas Específicos	Objetivo Específicos	Hipótesis Especificas			
· ¿Con la adición de aditivo surfactante al concreto se obtendrá pesos inferiores a 1850 kg/m3?	· Obtener pesos del Concreto inferiores a 1850 kg/m3, adicionando a la mezcla un aditivo surfactante	· Con la adición del aditivo Surfactante al concreto se obtendría pesos del concreto inferior a 1850 kg/m3.	VI Aditivo surfactante VD Peso del concreto	Peso Peso Específico del concreto	Nivel Predictivo II Población: Infinita Muestra: 10 mezclas. Instrumento para procesamiento de Datos: SPSS.v25
· ¿Con valores bajos de relación agua/cemento se obtendrá resistencias a la compresión del concreto ligero superiores a 175 kg/cm2 sin incrementar el peso de este?	· Obtener resistencias a la compresión del concreto ligero superiores a 175 kg/cm2 sin subir el peso de este aplicando valores bajos de la relación agua cemento	· Con valores bajos de la relación agua/cemento se obtendría resistencia a la compresión del Concreto Ligero superiores a 175 kg/cm2 sin incrementar el peso de este.	VI Relación Agua/cemento VD Resistencia del Concreto VD Peso	Ratio Resistencia a la compresión Peso Específico del concreto	

Fuente Propia

ANEXO B

Resultados de laboratorio- Variables Independientes – Variables Dependientes

variables independientes		1_ GRUPO DE COMPARACIÓN		2_ GRUPO DE COMPARACIÓN		3_ GRUPO DE COMPARACIÓN		4_ GRUPO DE COMPARACIÓN		5_ GRUPO DE COMPARACIÓN	
a/c	aditivo	Resistencia	Peso								
0.5	0	381.90	2061.15	378.37	2083.09	412.01	2072.20	433.30	2068.70	433.85	2090.94
0.5	0	375.65	2055.15	375.77	2065.03	427.21	2042.32	439.69	2067.27	399.47	2096.29
0.5	0	379.08	2080.05	364.93	2071.29	401.47	2052.14	419.56	2084.25	426.91	2087.64
0.5	0.25	232.88	1926.04	237.27	1949.73	267.31	1889.53	303.33	1941.24	282.92	1958.80
0.5	0.25	223.25	1947.15	234.50	1949.38	263.28	1905.74	284.97	1940.18	270.92	1953.90
0.5	0.25	229.31	1947.65	246.73	1952.03	260.15	1891.85	282.43	1936.37	282.00	1958.21
0.5	0.5	167.56	1876.53	166.21	1853.06	169.07	1801.99	193.27	1848.60	224.22	1898.38
0.5	0.5	167.32	1870.26	168.81	1860.74	162.93	1795.88	182.48	1859.31	213.07	1888.70
0.5	0.5	169.43	1869.16	165.40	1859.33	167.15	1808.05	180.48	1851.65	219.00	1886.26
0.5	0.75	144.42	1813.52	155.12	1846.85	199.15	2063.54	153.03	1817.97	195.54	1856.56
0.5	0.75	136.88	1820.40	157.32	1851.99	193.65	1869.29	152.15	1800.78	183.12	1862.01
0.5	0.75	139.44	1805.14	158.81	1844.13	188.01	1881.66	162.07	1832.90	190.84	1861.74
0.5	1	109.29	1780.80	187.95	1884.01	157.27	1801.66	173.59	1854.38	90.87	1718.22
0.5	1	120.47	1804.65	175.25	1877.80	159.57	1805.05	180.85	1859.62	93.03	1719.89
0.5	1	104.72	1788.79	173.32	1889.03	159.21	1815.35	182.05	1851.27	96.04	1709.77
0.45	0	304.80	2067.32	378.38	2068.73	456.17	2065.42	438.91	2095.58	447.97	2071.01
0.45	0	374.93	2065.66	390.82	2068.55	476.49	2066.86	458.67	2090.16	465.70	2069.07
0.45	0	319.75	2067.71	380.56	2071.17	457.68	2067.39	447.81	2097.56	477.74	2073.56
0.45	0.25	240.19	1950.30	277.35	1949.89	356.71	2010.84	327.37	1960.63	362.10	1994.29
0.45	0.25	231.41	1946.71	276.73	1945.17	359.10	2005.80	298.79	1955.73	343.42	1979.97
0.45	0.25	235.23	1954.31	269.86	1944.46	357.69	1999.86	323.17	1956.98	346.62	1986.70
0.45	0.5	200.42	1928.52	276.96	1921.14	244.87	1887.06	275.39	1921.66	258.60	1910.26

0.45	0.5	213.05	1925.61	282.95	1914.02	246.98	1898.92	272.27	1909.69	273.94	1912.22
0.45	0.5	204.93	1923.83	296.47	1915.11	233.56	1892.06	283.98	1911.97	265.51	1907.20
0.45	0.75	158.41	1835.03	237.44	1864.06	249.61	1909.69	196.41	1816.09	227.93	1855.94
0.45	0.75	174.59	1866.97	235.41	1864.69	255.56	1916.83	197.66	1822.57	222.92	1852.90
0.45	0.75	177.27	1851.09	253.85	1853.79	258.84	1922.89	188.57	1819.91	223.84	1850.18
0.45	1	84.89	1693.21	215.86	1842.30	260.99	1893.66	146.56	1774.87	191.74	1832.30
0.45	1	80.63	1693.72	215.34	1848.35	246.70	1887.12	150.59	1777.49	185.13	1819.59
0.45	1	79.81	1700.09	209.38	1834.47	257.29	1895.77	140.55	1781.27	184.64	1818.35
0.44	0	449.84	2066.19	430.92	2063.17	480.18	2080.68	468.79	2074.67	440.24	2088.30
0.44	0	421.95	2072.45	422.55	2085.81	507.71	2083.60	485.11	2076.03	503.64	2084.15
0.44	0	424.42	2073.29	386.52	1979.02	447.62	2072.37	502.23	2077.20	474.06	2090.35
0.44	0.25	358.75	2022.92	283.38	1872.29	402.15	1977.08	421.33	1999.29	408.18	1987.09
0.44	0.25	368.07	2019.61	279.89	1887.64	409.71	1971.47	422.50	2009.73	391.94	1975.10
0.44	0.25	377.31	2011.96	273.86	1882.18	419.21	1985.00	431.52	2006.57	407.28	1982.85
0.44	0.5	261.76	1888.27	277.31	1868.48	322.14	1911.78	368.36	1968.47	283.98	1887.78
0.44	0.5	246.08	1894.53	270.11	1868.84	296.08	1917.08	377.75	1970.29	281.26	1894.40
0.44	0.5	244.47	1887.29	273.43	1876.26	307.09	1916.01	380.11	1979.95	275.95	1879.47
0.44	0.75	237.29	1883.35	447.86	2081.87	228.60	1827.21	303.50	1872.83	292.16	1903.16
0.44	0.75	245.18	1876.90	347.48	1989.10	219.21	1826.23	289.10	1880.33	298.30	1897.16
0.44	0.75	249.65	1872.96	387.55	1977.28	229.51	1822.99	300.33	1876.28	298.11	1918.58
0.44	1	237.29	1883.35	213.63	1809.86	229.65	1821.10	245.97	1852.29	187.52	1818.67
0.44	1	245.18	1876.90	215.02	1805.21	220.32	1819.09	253.01	1861.72	204.00	1807.73
0.44	1	249.65	1872.96	201.66	1807.02	223.77	1829.45	240.40	1853.19	207.48	1802.88